

# International and European standards for geotechnical monitoring and instrumentation

## Internationale und europäische Normen für geotechnische Überwachung und Instrumentierung

Geotechnical monitoring and instrumentation are indispensable parts of the Observational Approach in tunnel design and construction. They are an essential requirement for a proper risk management. Since 2013 several standards, valid both in Europe under CEN and international under ISO, were developed dealing with geotechnical monitoring. Five standards have been published by 2020, covering general rules, extensometer, inclinometer, piezometer and pressure cells. Further standards on settlement measurements, strain monitoring and load cells are in progress and will be published in the next few years.

**Keywords** in-situ observations; observational method; extensometer; inclinometer; piezometer; stress measurements

### 1 General

The knowledge of ground conditions is limited during planning and construction of geotechnical works thus important risks remain to geotechnical works and construction. Ground, rock mass and soil are heterogeneous and anisotropic and furthermore show large dispersion of parameters.

With geotechnical monitoring during the construction and operation phase assumptions are made during planning as scenarios are adapted during execution. Geotechnical monitoring forms part of an effective risk management during the construction and operation phases. The procedures and sequence of the “Observational method” have been described in Eurocode 7 EN 1997 [1] where also the importance of reliable geotechnical monitoring and measuring instruments is stressed.

The standard series ISO-18674 shall form the basis of a common international understanding of geotechnical instrumentation and execution of measurements.

### 2 Elaboration of international and European standards

These standards are elaborated by working group ISO TC182/WG2 “Geotechnical Monitoring” following ISO rules [2]. Delegates from participating ISO member country organizations (P-members) must be nominated through the ISO central secretariat. The elaborated standards will be submitted by the main committee ISO TC-182 for ballot.

In Grundbau, Tunnelbau, bei Instabilitäten von Hängen sind geotechnische Überwachungsmessungen unverzichtbar. Im Zusammenhang mit der europäischen Normierung wurden seit mehreren Jahren Normen für die geotechnische Überwachung entwickelt, die sowohl europäisch unter CEN gültig sind als auch international unter ISO. Bis 2020 wurden fünf Normen veröffentlicht: Allgemeine Regeln, Extensometer, Inclinometer, Piezometer und Druckmessdosen. Weitere Normen über Setzungsmessungen, Dehnungsüberwachung und Kraftmessdosen sind in Bearbeitung und werden in den nächsten Jahren veröffentlicht.

**Sichworte** In-situ-Beobachtungen; Beobachtungsmethode; Extensometer; Inclinometer; Piezometer; Spannungsmessungen

### 1 Allgemeines

Aufgrund mangelnder Kenntnis über geotechnische, geologische und hydrogeologische Verhältnisse des Baugrunds während der Planung und der Baudurchführung ist die Errichtung geotechnischer Bauwerke mit wesentlichen Risiken verbunden. Gebirge und Boden sind in der Regel inhomogen und anisotrop, und darüber hinaus weisen die Parameter große Streuungen auf.

Mithilfe geotechnischer Messungen während der Bauphase werden Annahmen, die während der Planungsphase getroffen wurden, mit tatsächlichen Verhältnissen verglichen und die Planung während der Ausführung laufend angepasst. Geotechnische Messungen sind Grundlage eines effektiven Risiko Managements während der Bau- und Betriebsphase.

Der wesentliche Ablauf dieser „Beobachtungsmethode“ wurde bereits in der Europanorm EN 1997, Eurocode 7 [1] beschrieben. Daraus geht auch der Stellenwert zuverlässiger geotechnischer Messungen und Messinstrumente hervor. Die Normenreihe ISO-18674 soll die Grundlage eines gemeinsamen Verständnisses hinsichtlich der Qualität geotechnischer Instrumentierung und Messdurchführung auf internationaler Ebene werden.

### 2 Ausarbeitung internationaler und europäischer Normen

Die Normen werden von der Arbeitsgruppe ISO TC182/WG2 nach ISO-Regeln [2] ausgearbeitet. Die Delegierten

The working group is led by a convenor (chairman), who has been elected by the main commission ISO TC-182 on geotechnical testing. The linking to the European standardization (CEN) is governed by the Vienna agreement. The national member bodies must agree whether the standard is developed under ISO or CEN lead, which must be voted by both organizations, here ISO TC-182 and CEN TC-341. ISO standard may become valid internationally and must be accepted by individual countries to be a standard. In Europe accepted standards (EN\_ISO) become valid for all member countries of CEN. Once a standard has been developed it must be voted and balloted in parallel ISO and CEN. Part 1 (EN\_ISO 18674-1) had been developed under CEN TC-341 [3,4,5] and was sent 2013 into enquiry and balloting by CEN and in parallel also to ISO and became accepted. For part 2 (EN\_ISO 18674-2) with the title "Measurements along a line: extensometers", the first vote as new work item gave a voting result of extra European countries that the development should follow ISO rules, such that extra European countries could also send delegates to the meetings of the working group ISO TC182/WG2.

### 3 Standards for geotechnical monitoring and instrumentation

In European countries CEN standards become national standards by adding the abbreviation of the country standard organization in front of EN\_ISO, which is in Austria: OENORM, in Germany DIN and in Switzerland SN, in addition to a declaration that the European standard is a national standard.

The following standards for geotechnical monitoring have either been published, are in elaboration or planned.

- Published standards:
  - EN\_ISO 18674-1 "General rules"; 2015 [6],
  - EN\_ISO 18674-2 "Measurement of displacements along a line: Extensometers" 2016 [7],
  - EN\_ISO 18674-3 "Measurement of displacements across a line: Inclinometers", 2017 [8],
  - EN\_ISO 18674-4 "Measurement of pore water pressures: Piezometers, 2020 [9],
  - EN\_ISO 18674-5 "Stress change measurements by total pressure cells (TPC). 2019 [10],
- Standards in elaboration or planned:
  - Part 6: Settlement measurements by hydraulic level gauges,
  - Part 7: Strain gauges,
  - Part 8: Load cells,
  - Part 9: Geodetic measurements in geotechnical monitoring,
  - Part 10: Vibration measurements.

der einzelnen Länder müssen von diesen nominiert werden. Die Leitung dieser Gruppe wird von einem Vorsitzenden (Convenor), der von der Hauptkommission ISO TC-182 gewählt wird, wahrgenommen. Zur europäischen Normung über CEN besteht eine Vereinbarung (Wiener Vereinbarung), die regelt, wie die Normen parallel entweder mit ISO- oder CEN-Führung entwickelt werden. Diese Normen müssen parallel von ISO und CEN zur Begutachtung und Abstimmung vorgelegt werden. Der Teil 1 (EN\_ISO 18674-1) wurde noch unter CEN TC-341 entwickelt und 2013 [3, 4] in die Umfrage zur Begutachtung und Abstimmung gesandt und von ISO genehmigt. Beim zweiten Teil (Verschiebungsmessungen entlang einer Messlinie: Extensometer) ergab die Abstimmung unter den außereuropäischen Ländern, dass die Ausarbeitung unter ISO Regeln erfolgen soll, damit außereuropäische Länder auch Vertreter delegieren können.

### 3 Normen für geotechnische Überwachung und Instrumentierung

In den europäischen Ländern werden CEN-Normen zu nationalen Normen, dabei wird die Abkürzung der Landesnormenorganisation dem EN\_ISO vorangefügt, in Österreich: OENORM, in Deutschland DIN und in der Schweiz SN.

Für die geotechnische Überwachung sind folgende Normen entweder ausgearbeitet, publiziert oder zur Ausarbeitung vorgesehen [5]:

- Veröffentlichte Normen
  - EN\_ISO 18674-1 „Allgemeine Regeln“, 2015 [6]
  - EN\_ISO 18674-2 „Messung der Verschiebung entlang einer Linie: Extensometer“, 2016 [7]
  - EN\_ISO 18674-3 „Messung der Verschiebung quer zu einer Linie: Inclinomometer“, 2017 [8]
  - EN\_ISO 18674-4: „Wasserdruckmessungen mit Piezometer“, 2020 [9]
  - EN\_ISO 18674-5: „Messung von Spannungsänderungen mit Druckmessdosen“, 2019 [10]
- In Ausarbeitung befindliche oder vorgesehene Normen
  - Teil 6: Hydraulische Setzungsmessungen (Schlauchwaagen) in Bearbeitung
  - Teil 7: Dehnungsmesser: in Bearbeitung
  - Teil 8: Kraftmessdosen: in Bearbeitung
  - Teil 9: Geodätische Überwachung im Bauwesen (in der Geotechnik)
  - Teil 10: Erschütterungsmessungen

### 4 Anforderungen an geotechnische Messsysteme laut EN\_ISO 18674-1

Geotechnische Messsysteme werden oft in exponierter Lage unter rauesten Bedingungen installiert und betrieben. Dadurch ergeben sich besondere Anforderungen an mechanische Komponenten, Messwertaufnehmer und

## 4 Requirements on geotechnical measuring systems according to

Geotechnical monitoring systems are often exposed to harsh conditions, installation and operation has to consider this. As consequence, particular requirements on mechanical components, sensor and data transmission cables arise, from mechanical, hydromechanical and thermodynamic loading. Environmental conditions like aggressive groundwater and/or attack from gases, stresses in ground and rock have to be considered. Another important factor is the infrastructure for collection of the data, like cabling within the construction sites. All these requirements must be considered.

### 4.1 Robustness

A geotechnical monitoring system must be planned to be sufficiently robust to withstand the above-mentioned factors over a sufficiently extended period to deliver reliable data. The potential risk of damage to the system and failure of data collection shall be considered in the monitoring programme and procedure and means to substitute or repair of parts or the entire system must be planned. This applies to monitoring systems that form part of a warning and alert system.

### 4.2 Influencing factors

Measurements are always influenced by external factors, either direct, related to construction, or indirect factors. These factors are usually not all recognized at the time of data acquisition. Therefore, it is important to document all potential indirect factors, like temperature, atmospheric pressure, humidity, weather conditions (Rain or snow), vibrations, electromagnetic fields from power lines or power transformers and the construction activity itself.

Evaluations that initially seem implausible can often be explained and often corrected with the help of this additional information.

### 4.3 Redundancy

For very important and safety relevant monitoring systems redundancy must be considered to ensure the continuous operation during disturbances, but redundancy also permits to recognize measurement errors and allows their correction. Redundancy can be achieved with multiple readings, targeted installation of multiple sensors for over-determination of measuring tasks, multiple installation of endangered components or the simultaneous application of alternative measuring systems for monitoring the same parameter (diversification).

Messleitungen hinsichtlich mechanischer, hydromechanischer oder thermodynamischer Belastung. Umweltbedingungen wie aggressives Grundwasser und/oder Gase, Spannungen im Boden oder Fels sind zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk ist auf die Dateninfrastruktur wie Verkabelungen im Baustellenbereich zu legen. Diese speziellen Bedingungen sind bei der Erstellung des Messprogramms und bei der Auswertung der Daten unbedingt zu berücksichtigen.

### 4.1 Robustheit

Ein geotechnisches Messsystem muss robust genug sein, um trotz oben genannter Einflüsse über einen ausreichend langen Zeitraum zuverlässige Daten zu liefern. Bei Gefahr einer Beschädigung sollten bereits im Messprogramm mögliche Vorgangsweisen und Mittel zum Ersatz oder zur Reparatur von Teilkomponenten oder dem gesamten Messsystemen berücksichtigt werden. Dies betrifft im Besonderen Messsysteme, die Teil eines Warn- oder Alarmsystems sind.

### 4.2 Berücksichtigung von Einflussfaktoren

Messungen können immer durch äußere Einflüsse beeinträchtigt werden. Diese Faktoren werden meist, zum Zeitpunkt der Datenaufnahme, nicht alle erkannt. Deshalb ist es wichtig, bei der Messung sämtliche Einwirkungen, die eine spätere Auswertung beeinflussen könnten, zu dokumentieren. Es handelt sich dabei um Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit, Wetterbedingungen (Schneefall oder Regen), Erschütterungen, elektromagnetische Störungen durch Hochspannungsleitungen, Trafostationen, oder den Bauablauf selbst.

Vorerst nicht plausibel erscheinende Auswertungen können mithilfe dieser Zusatzinformationen oft erklärt und häufig auch korrigiert werden.

### 4.3 Redundanz

Bei maßgeblichen und besonders sicherheitsrelevanten Messsystemen sollte auf Redundanz geachtet werden. Redundante Messanlagen stellen nicht nur den fortlaufenden Betrieb im Störfall sicher, sondern ermöglichen auch das Erkennen von Messfehlern und deren Korrektur. Redundanz kann durch Mehrfachablesungen, gezielte Mehrfachinstallationen von Sensoren zur Überbestimmung von Messaufgaben, Mehrfacheinbau gefährdeter Komponenten oder die Anwendung verschiedener Messprinzipien zur Erfassung derselben Messgröße (Diversifizierung) erreicht werden.

#### 4.4 Function check and calibration

Functions checks and calibrations are executed during all phases of a monitoring project, starting with the manufacture, installation, and operation.

The manufacturer issues a calibration protocol prior to delivery, which includes tables or mathematical relations that links the signal of the sensor to a correct measuring value with a physical unit. It also includes an estimation of expected measurement error and parameters for linearization. The verification of long-term stability may be particularly demanding and time consuming. As an example, the normal verification of long-term stability of in-place inclinometers (IPI) might last over several months or even years, alternatively a short-term test over one day in the plant is carried out proving that the signal is stable. The readings of the angular deviations within one day must not exceed 0.1 mm/m under repeatability conditions.

Prior to the installation of an instrument a function test shall be carried out, together with a zero check. The direction of measurement is particularly important for bore hole inclinometers. The placement of inclinometers in wrong orientation, the wrong polarity for potentiometric sensors or the assignment of erroneous channels for multiple sensor systems are the most frequent errors leading to non-interpretable measurement results. After installation of a monitoring system an overall validation check shall be carried out and documented.

During the monitoring phase it is recommended that accessible components (sensors) are regularly checked visually and recalibrated. The intervals for verification and the checking procedure are generally recommended by the manufacturer; but have to be integrated in the overall monitoring programme and put down in writing. When reasonable doubts about the reliability or precision of the results exist, verifications and recalibrations have also to be carried out outside the regular verification intervals.

#### 4.5 Minimum requirements on content of instrument data sheets

The minimal requirements on documentations of monitoring instruments are described in Annex A on EN ISO 18674-1 [6] under consideration ISO/IEC guide 99:2007[11] and must be provided by the manufacturer.

Normative requirements are: Measurement principle, range, accuracy, repeatability, stability. Optional are resolution, hysteresis, over range, dead band.

For electrical devices power supply, power consumption, output signal and sensitivity are mandatory information. Besides that the documentation must include information about used material, temperature range, IP-class according to IEC 60259 and possibly ATEX classes.

#### 4.4 Funktionsüberprüfung und Kalibrierung

Funktionsüberprüfung und/oder Kalibrierung werden in folgenden Phasen des Messprojekts durchgeführt: Herstellung, Installation und im Betrieb.

Vor der Auslieferung verfasst der Hersteller ein Kalibrierprotokoll. Dieses Protokoll beinhaltet Tabellen oder mathematische Zusammenhänge, durch die das Ausgangssignal des Sensors in einen korrekten Messwert mit physikalischer Einheit übergeführt wird. Es beinhaltet auch eine Abschätzung der erwarteten Messunsicherheit sowie Parameter zur Linearisierung. Die zu überprüfenden Qualitätsparameter der Geräte selbst werden in den einzelnen Instrumentennormen vorgeschrieben. Die Prüfung der Langzeitstabilität kann besonders aufwendig und langwierig sein. Beispielsweise würde ein Langzeittest bei Inclinometermessketten mehrere Monate oder Jahre in Anspruch nehmen. Es ist deshalb im Werk ein Nachweis über einen Tag zu führen, dass das Sensorsignal stabil ist. Die Ablesungen von Winkelabweichungen innerhalb eines Tags dürfen bei stationären Wiederholbedingungen einen nicht kumulierten Wert von lediglich 0,1 mm/m nicht überschreiten.

Vor der Installation erfolgt ein Funktionstest und, wenn möglich, auch die Kontrolle des Nullpunkts. Besonders wichtig ist die Überprüfung der „Vorzeichen“, beispielsweise bei Bohrlochinklinometern. Ein Sondeneinbau in falscher Drehrichtung, simples Verpolen von Messleitungen bei potentiometrischen Messaufnehmern oder falsche Kanaluordnung von Multi-Sensorsystemen sind häufige Ursachen für nicht interpretierbare Messergebnisse. Nach der Installation sollte eine Abnahmeprüfung durchgeführt und dokumentiert werden.

Während der Messphase werden zugängliche Komponenten in regelmäßigen Intervallen visuell überprüft und gegebenenfalls kalibriert. Das Überprüfungsintervall sowie die Prüfprozedur werden in der Regel vom Hersteller empfohlen, müssen aber auf alle Fälle im Messprogramm berücksichtigt und niedergeschrieben werden. Bestehen begründete Zweifel an der Zuverlässigkeit oder Genauigkeit der Messergebnisse, müssen Überprüfungen oder Nachkalibrierungen auch außerhalb der regulären Überprüfungsintervalle durchgeführt werden.

#### 4.5 Mindestanforderungen an Dokumentationen für Messgeräte

Im Anhang A von EN ISO 18674-1 [6] sind die normativen Mindestanforderungen an die Dokumentationen von Messgeräten aufgeführt (auch unter Berücksichtigung der ISO/IEC Richtlinie 99:2007[11]).

Normative (verbindliche) Angaben sind Messprinzip, Messbereich, Messunsicherheit, Wiederholgenauigkeit (Präzision) und Stabilität. Optional werden Auflösung, Hysterese und Verhalten bei Messbereichsüberschreitung



### 5 Carrying out the measurements, data processing and verification

In case of manual measurements it should be ensured that the measurements are carried out by the same person or the same group in the entire project. For the change of personnel, a controlled transition must be assured.

Measurements must follow a predetermined time schedule which shall be defined in the monitoring programme. For complex tunnelling and construction works the measurements must often be prepared daily in a meaningful way for the daily on-site construction meetings. For large monitoring programmes this may be a daily challenge for the measuring crew, as the readings must be taken, then evaluated, verified, and prepared in an easily comprehensible form. This step is an essential part of the “Observational method”.

The context between conceptual design, construction and execution is presented as a control loop (Fig. 1.) in annex C of EN ISO 18674-1 [6]. The data processing has to be carried out such that all changes leading to intervention on site are recognized in time. Data processing includes transformation of measured raw values (like readings of a dial gauge, frequency of a measurement signal) with calibration factors into technically or physically correct measuring values.

angegeben. Verbindliche Angaben über elektrisches Verhalten beinhalten Informationen über Stromversorgung, Leitungsbedarf, Ausgangssignal und Empfindlichkeit. Zusätzlich muss die Dokumentation Angaben über verwendete Materialien, Temperaturbereich für Lagerung und Betrieb, IP-Schutzklasse gem. IEC 60529 und eventuell eine ATEX-Klassifizierung beinhalten.

### 5 Durchführung von Messungen, Datenverarbeitung und Verifizierung

Bei manuellen Messungen ist darauf zu achten, dass im gesamten Beobachtungsprojekt nach Möglichkeit die Messdurchführung von derselben Person oder Gruppe durchgeführt wird. Bei Wechsel von Personal muss eine geregelte Übergabe sichergestellt werden.

Die Messungen unterliegen in der Regel einem im Messprogramm festgelegten Zeitplan.

Bei anspruchsvollen Vortriebsarbeiten im Tunnelbau sind zur täglichen Baubesprechung üblicherweise Darstellungen der geotechnischen Situation vorzulegen. Bei umfangreichen Messprogrammen bedeutet dies eine besondere Herausforderung an das Messpersonal. Die Messungen müssen nicht nur durchgeführt werden, sondern

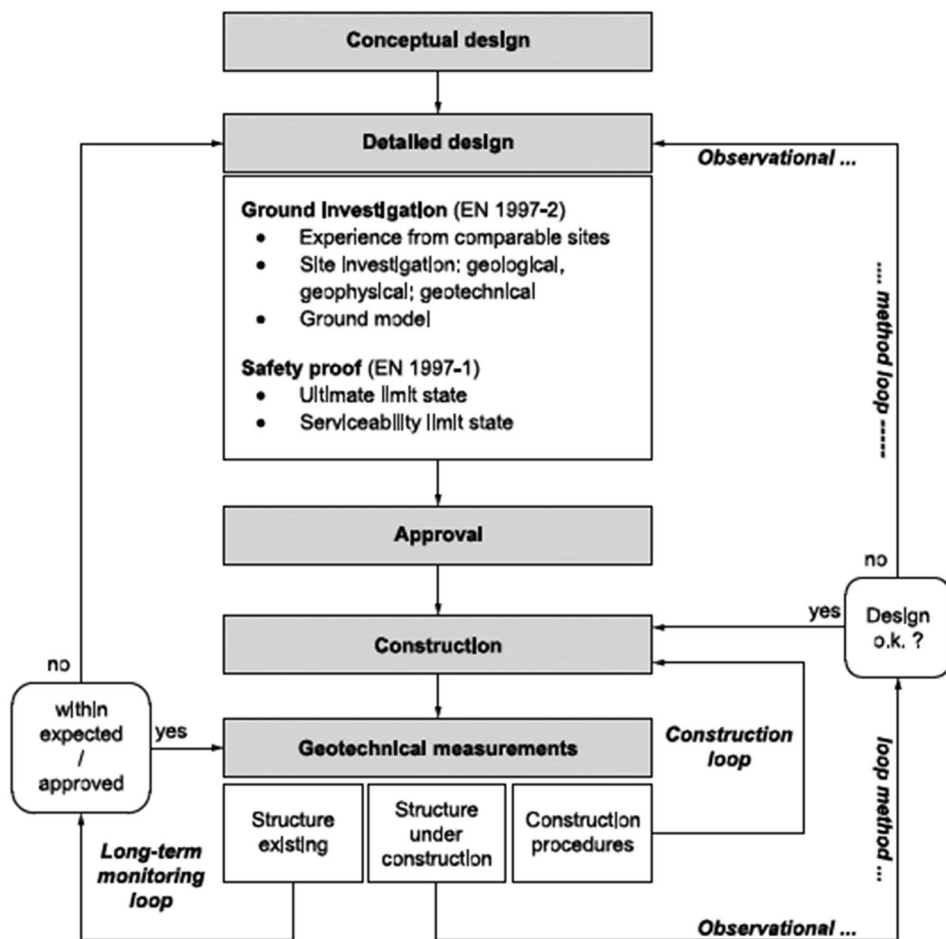


Fig. 1 Scheme for Planning and execution of geotechnical monitoring EN\_ISO 18674-1 (Annex C)  
 Bild 1 Planung und Ausführung geotechnischer Messungen nach EN ISO 18674-1 (Anhang C)

When unexpected measurement values occur outside the limits the reasons for the deviations must be detected and need to be corrected and reported.

The minimal requirements for the presentation of the measurement values are prescribed in EN ISO 18674-1.

For automated data collection systems, the data processing and elaboration should possibly be made completely automatic, without manual intervention by personnel to reduce potential user errors.

## 6 Long term monitoring

Long term stability of geotechnical instruments and instrumentation for long-term monitoring pose particular challenges that are often different from short term monitoring.

In order, to acquire initial displacements or deformation in tunnelling the monitoring instruments are placed as close as possible to the tunnel face. During excavation, particularly by drill-and-blast method, these instruments will be extremely loaded or may even be destroyed. Therefore, instrumentation for short-term observation is often different from long-term monitoring applications. Usually, different types of instruments or techniques are used. Instruments permanently placed in boreholes, like rod extensometers or pore pressure transducers are no longer accessible and cannot be exchanged. Extensometers with an exchangeable rod that allows maintenance may be useful. For piezometers a special construction of a pipe with filter and transducers with a packer or a docking station with conical tip may be applied. With this system the transducer can be exchanged or removed and recalibrated.

During the last quarter century, the electronic measurement techniques have rapidly developed and brought many advantages for measurement accuracy, frequency, and data transmission. Regarding long-term monitoring, say over a century, critical questions may be raised, as true long-term experience does not really exist. In addition, electronic systems are susceptible to power surges, lightning, cable damage due to not expected deformation in the ground, and often unforeseen drift phenomena of electric signals. For this reason, in concrete and earth dams often proven, direct measurable mechanical and hydraulic measuring systems are installed, like hydraulic or pneumatic piezometers (EN ISO 18674-4 [9]) or stress measurement cells with measurement gauges (EN ISO 18674-5 [10]).

For about two decades there has been a euphoria for fibre optic measurements for distributed systems. Depending on the application of the fibre it seems that all parameters, like deformation, settlements, temperature, force along the measuring line can be determined. Due to the insensitivity to lightning and over voltage this technique

auch ausgewertet, verifiziert und in eine aussagekräftige Form gebracht werden. Dies ist ein unverzichtbarer Bestandteil der Beobachtungsmethode.

Im informativen Anhang C von EN ISO 18674-1 [6] werden die Zusammenhänge zwischen Planung, Bemessung und Ausführung dargestellt. Der Regelkreis „Langzeitüberwachung und Beobachtungsmethode“ ist im Bild 1 dargestellt.

Die Datenverarbeitung muss so durchgeführt werden, dass alle Veränderungen, die unmittelbare Maßnahmen erfordern, schnell erkannt werden.

Die Auswertung muss die Umwandlung der gemessenen Werte (z. B. auf einer Messuhr angezeigte Werte, Frequenz eines elektrischen Signals des Messwertaufnehmers) mit Kalibrierfaktoren in die entsprechenden technischen Einheiten einschließen. Falls aufgrund systematischer Messfehler Messwerte außerhalb der erforderlichen Fehlergrenzen zu liegen kommen, sind diese zu korrigieren. Derartige Korrekturen sind im Messbericht anzugeben.

Die Mindestanforderungen an die Messwertdarstellung werden in der EN ISO 18674-1 festgelegt.

Bei automatischen Datenerfassungsanlagen wird das Prozessieren und Darstellen der Messdaten vorzugsweise ohne manuellen Eingriff durch das Messpersonal bewerkstelligt. Dabei werden Anwenderfehler weitgehendst vermieden.

## 6 Langzeitüberwachung

Langzeitstabilität von geotechnischen Messungen sowie Installationen für Langzeitüberwachungen stellen eine besondere Herausforderung dar. Zum Beispiel im Tunnelbau, um Anfangsverformungen sehr früh feststellen zu können sollten geotechnische Messquerschnitte möglichst nahe der Ortsbrust eingebaut werden. Jedoch werden diese Installationen, insbesondere im Sprengvortrieb, maximal belastet und oftmals zerstört. Deshalb sollte im Messprogramm klar zwischen Instrumentierung zur Überwachung während der Bauphase und einer Langzeitüberwachung in der Betriebsphase unterschieden werden. Oft kommen für beide Anwendungsfälle verschiedene Instrumente oder Technologien zum Einsatz.

Instrumente in Bohrlöchern wie Stangenextensometer oder Porenwasserdrucksensoren sind in der Regel nach dem Einbau nicht mehr zugänglich. In diesem Fall kommen spezielle Anordnungen wie Extensometer mit wartbarem Gestänge oder spezielle Piezometer mit andockbaren und ausbaubaren, konusförmigen Sensorspitzen zum Einsatz.

Die rasante Entwicklung preiswerter elektronischer Sensoren in den letzten 25 Jahren hat viele Vorteile hinsichtlich Messgenauigkeit und Datenübertragung gebracht. Im Zusammenhang mit Langzeitüberwachungen sind diese

is more frequently used in power plants and high mountain construction. The installed fibres may fulfil the requirements for long term monitoring however the read-out devices are very complex and expensive and are still under continuous development.

During the last decades transducers based on the vibrating wire system (VW) have proven reliable and replaced potentiometric, electric strain gauges or piezo-resistance sensors. The decisive advantage is that there are no sensitive electronic parts inside the sensor. The only components are a tensioned steel-wire (chord) and an electromagnet. The wire is excited to vibrate by the magnetic coil. Then the resonant frequency is detected by the same coil and transmitted to a read-out device. The change of strain in the wire results in a change of the resonant frequency, which is then converted in displacement or pressure with appropriate calibration. The change in strain is proportional to square of the frequency ( $\Delta\varepsilon = k \cdot f^2$ ). This technique is simple, robust and suitable for long-term monitoring and applicable to other transducers.

Many applications of geotechnical monitoring are not simple standard cases and must be adapted to different requirements like the way of installation, accessibility, frequency of reading and many more factors, thus a selection cannot follow strict rules. The selection must be adapted in each individual case. The standards provide prescriptions for a correct selection in often complex requirements.

## 7 Standards for instruments

The standards for geotechnical monitoring are valid and applicable for soil or rock mechanics tasks. In each individual case different requirements may have to be fulfilled. Extensometers are more frequently applied in rock mechanics applications (tunnels, rockslides), whereas inclinometer are more used in soil mechanics applications like deep excavations, walls, slope stability.

### 7.1 Structure of the standards

Standards of ISO follow ISO rules [2] as does ISO 18674 with the following structure:

1. Scope
2. Normative references
3. Terms
4. Symbols
5. Measurement equipment
6. Installation and carrying out the measurement
7. Data processing and evaluation
8. Reporting
9. Annexes (normative and informative)

In a normative annex the data processing and evaluation procedures may be described in detail. Special applica-

tionen Technologien jedoch kritisch zu betrachten. Zum einen fehlt es an wirklicher Langzeiterfahrung, wenn man von Langzeitanwendungen jenseits der 100 Jahre ausgeht, zum anderen sind elektronische Systeme anfällig für Überspannung, Blitzeinwirkung, Kabelschäden aufgrund großer Verformungen und nicht vorhersehbarer und kompensierbarer Drifterscheinungen. Nicht ohne Grund werden besonders in Staumauern oder Dämmen konservative, alt bewährte mechanische oder hydraulische Messsysteme, beispielsweise Piezometer oder Druckdosen mit Ventildruckgeber (siehe EN ISO 18674-4 [9] und EN ISO 18674-5 [10]) bevorzugt.

Seit rund zwei Jahrzehnten gibt es eine Euphorie für faseroptische Messungen, insbesondere für verteilte Systeme. Es wird der Anschein erweckt, dass alle Parameter entlang einer Faser gemessen werden können, wie Dehnung, Temperatur, Biegung oder Setzung. Aufgrund der Unempfindlichkeit gegenüber Blitzschlag wird diese Technologie auch vermehrt im Kraftwerksbau oder bei Bauvorhaben im Hochgebirge eingesetzt. Die eingebaute Faser entspricht sicher den Anforderungen einer Langzeitbeobachtung. Die Ausleseeinrichtungen sind jedoch sehr kostspielige und noch in Entwicklung befindliche Komponenten.

Aufnehmer auf Basis der „schwingenden Saite“ (Vibrating Wire sensors) haben sich in den letzten Jahren in der Geotechnik gegenüber analogen Sensoren, wie Potentiometer, Dehnmessstreifen oder piezo-resistiver Technologien durchgesetzt. Entscheidender Vorteil dieser VW-Sensoren ist das Fehlen jeglicher empfindlichen Elektronik. Im Wesentlichen besteht der Aufnehmer aus einer vorgespannten Stahlsaite und einem Elektromagneten. Die Stahlsaite wird über die Magnetspule zum Schwingen angeregt, dann wird über dieselbe Spule ein Spannungssignal mit der Resonanzfrequenz an ein Auslesegerät geleitet. Die Änderung der Saitendehnung, gemessen als Änderung der Frequenz wird in Messgrößen wie Weg oder Druck umgesetzt. Die Dehnungsänderung ist proportional zum Quadrat der Frequenz ( $\Delta\varepsilon = k \cdot f^2$ ). Aufgrund der Einfachheit dieser Technologie sind VW-Sensoren besser für Langzeitüberwachungen geeignet als analoge Aufnehmer.

Viele Anwendungen sind keine Standardfälle, sondern müssen unterschiedlichen Anforderungen wie Einbaumöglichkeit, Zugänglichkeit, Ablesehäufigkeit, Genauigkeit und weiteren Faktoren genügen, sodass es bis zum letzten Entscheid schwierig ist, genaue Regeln festzulegen. Die Auswahl muss für den individuellen Fall getroffen werden. Die Vorschriften in den Normen dienen dazu, die richtige Wahl zu treffen, die aus den oft komplexen Anforderungen entstehen.

## 7 Normen für Instrumente

Die Normen für geotechnische Instrumentierung sind grundsätzlich für alle geotechnischen Anwendungen in

tions are described in the informative (non-normative) annexes.

## 7.2 Excerpts from published standards

### 7.2.1 Base standard EN\_ISO 18674-1

The table of contents of the base standard is to a large extent self-explanatory (Tab.1), some important issues are explained below.

**Tab. 1** Content of the base standard EN\_ISO 18674-1 [6]

**Tab. 1** Inhalt der Grundnorm EN\_ISO 18674-1 [6]

	Foreword / <i>Vorwort</i>
1	Scope / <i>Anwendungsbereich</i>
2	Normative references / <i>Normative Verweisungen</i>
3	Terms and symbols / <i>Begriffe und Symbole</i>
4	Principal requirements / <i>Allgemeine Anforderungen</i>
5	Requirements of a geotechnical monitoring system / <i>Anforderungen an ein geotechnisches Messsystem</i>
6	Location of measuring points and geotechnical parameters / <i>Lage der Messpunkte und geotechnische Parameter</i>
7	Carrying out of the measurement / <i>Durchführung von Messungen</i>
8	Data processing and verification / <i>Datenverarbeitung und -verifizierung</i>
9	Reporting / <i>Berichterstattung</i>
Annex A (normative)	Minimum requirements on content of instrument data sheets / <i>Mindestanforderungen an den Inhalt von Datenblättern zu Messgeräten</i>
Annex B (normative)	Geotechnical measurements in boreholes / <i>Geotechnische Messungen in Bohrlöchern</i>
Annex C (informative)	Field measurements in connection with the design and construction of geotechnical structures / <i>Messungen vor Ort im Zusammenhang mit der Planung und Ausführung geotechnischer Bauwerke</i>
Annex D (informative)	Measurement and monitoring of geotechnical key parameters / <i>Messung und Überwachung geotechnischer Schlüsselparameter</i>
D.1	Geotechnical key parameters and their measurement / <i>Geotechnische Schlüsselparameter und deren Messung</i>
D.2	Monitoring of geotechnical key parameters (value change measurements) / <i>Überwachung geotechnischer Schlüsselparameter (Messungen von Wertänderungen)</i>
Annex E (informative)	Types of instruments and monitoring methods commonly used / <i>Arten von Messgeräten und Messverfahren, die üblicherweise angewendet werden</i>
	Bibliography / <i>Literaturhinweise</i>

der Boden- und Felsmechanik gültig und anwendbar. Je nach Einsatzfall bestehen aber unterschiedliche Anforderungen an die Geräte. Extensometer werden häufiger in felsmechanischen Aufgabestellungen (Tunnelbau, Felsrutschungen) angewendet, während Inklinometer eher bei bodenmechanischen Aufgaben (Böschungsstabilität, Baugruben) eingesetzt werden.

### 7.1 Aufbau der Normen

Sämtliche Normen dieser Reihe EN ISO 18674 unterliegen einem, von der internationalen Normenorganisation [2] vorgegebenen Aufbau:

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Normative Verweisungen
- 3 Begriffe
- 4 Symbole
- 5 Messeinrichtung
- 6 Installation und Messdurchführung
- 7 Datenverarbeitung und Auswertung
- 8 Berichterstattung
- 9 Anhänge

In normativen Anhängen können die Auswerteverfahren detailliert beschrieben werden. Die Anwendungsmöglichkeiten werden in nicht normativen Anhängen beschrieben. Ein informativer Anhang zeigt verschiedene Anwendungsbeispiele der Instrumente.

### 7.2 Auszüge aus bereits veröffentlichten Normen

#### 7.2.1 Die Grundnorm EN\_ISO 18674-1

Inhaltsverzeichnis der Grundnorm ist zum Teil selbsterklärend (Tabelle 1). Einige wesentliche Punkte werden erläutert.

#### 7.2.2 Allgemeine Anforderungen

Die geotechnischen Messungen müssen im Zusammenhang mit dem geotechnischen Entwurf geplant, umgesetzt und ausgewertet werden.

Jedes geotechnische Überwachungsprojekt muss auf mindestens einer speziellen geotechnischen Fragestellung beruhen, die im Messprogramm zu formulieren ist. Dabei kann es sich um eine Einzelfrage oder um komplexe Fragestellungen handeln. Die Messanordnung muss die Fähigkeit besitzen, zuverlässige Antworten zu den gestellten Fragen zu liefern. Der Zweck jeder Installation muss klar definiert sein.

Die Schlüsselparameter der geotechnischen Fragestellung müssen ermittelt und der zu erwartende Werte-Bereich abgeschätzt werden. Die Fehlergrenze und Unsicherheit, sowie die geotechnisch tolerierbaren Bandbreiten sind



### 7.2.2 Principal requirements

Geotechnical monitoring is always related to geotechnical design and must be planned, implemented, and evaluated. Each monitoring instrument must be based on at least one geotechnical question which should be formulated in the monitoring programme. This might be a single question or a complex set of queries. The monitoring application shall be capable to provide reliable answers to this raised question. The purpose of each instrument must be clearly defined.

Key parameters must be identified, the expected measuring range must be estimated. Error limits and tolerable uncertainties are to be determined. Based on this information suitable measuring techniques and monitoring instruments can be selected.

festzulegen. Basierend auf diesen Informationen können geeignete Messtechnologien und Überwachungsinstrumente ausgewählt werden.

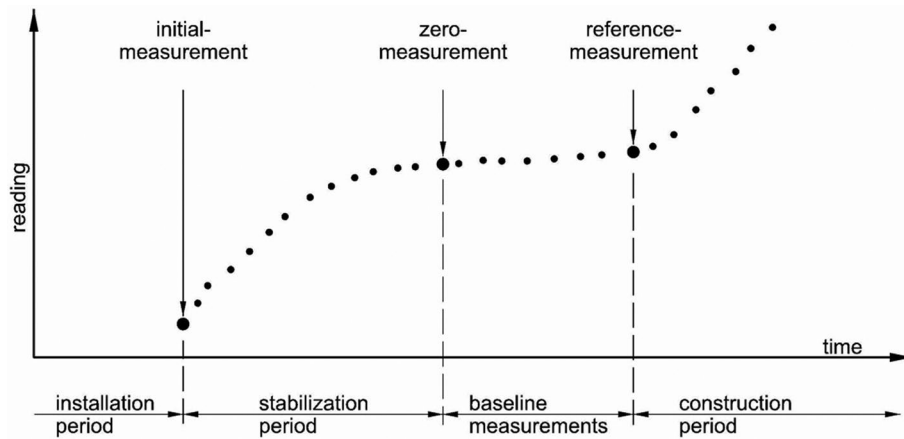
Bei einem geotechnischen Überwachungsprojekt soll zur Unterstützung, Überprüfung und Kontrolle der geotechnischen Messungen auch auf geodätische Verfahren zurückgegriffen werden, sofern dies zweckmäßig ist.

Die Grundnorm definiert in Kapitel 3 Begriffe und Symbole. Besonders Augenmerk wird auf verschiedene Messphasen in Abhängigkeit der Zeit gelegt. (Bild 2). Die „Anfangsmessung“ erfolgt, wenn das Messgerät installiert wurde und dient lediglich der Funktionskontrolle. Die „Nullmessung“ wird durchgeführt, wenn sich die Messwerte stabilisiert haben und erfordert oft erhöhten Aufwand, da sie als Vergleichsbasis für nachfolgende Mes-

**Tab. 2** Link between geotechnical and geodetic measurements according to EN ISO 18674-1 [6]

**Tab. 2** Geotechnische und geodätische Messungen gemäß EN ISO 18674-1 (Anhang C.1 [6])

Measuring value (parameter) <i>Messwert (Parameter)</i>	Geotechnical measurements <i>Geotechnische Messungen</i>	Geodetic measurements <i>Geodätische Messungen</i>
Measuring value (generally) <i>Messwert (allgemein)</i>	All kinds of parameters <i>Alle Arten von Parametern</i>	Location of measuring points in space and time <i>Lage der Messpunkte in Raum und Zeit</i>
Measuring values (specific) <i>Messwerte (spezifisch)</i>	By means of (e.g.): <i>Gemessen mithilfe von (z. B.):</i>	
– Displacement of measuring points incl. special cases such as vertical displacement component (= settlement or heave) and deduced parameters such as tilt and strain <i>Verschiebung von Messpunkten einschließlich Sonderfällen wie vertikale Verschiebungskomponente (= Setzung oder Hebung) und abgeleitete Parameter, z. B. Kippung und Dehnung</i>	– Extensometer (ISO 18674-2), inclinometer and deflectometer (ISO 18674-3), liquid level gauge, pendulum (normal and inverse), tiltmeter, strain gauge <i>Extensometer (EN ISO 18674-2), Inklinometer und Deflektometer (EN ISO 18674-3), Flüssigkeitsstandmesser, Pendel (normal und invers), Kippmesser; Dehnungsmesser</i>	– Total station, levelling instrument, electronic distance meter, laser scanner, GNSS (Differential GPS), radar interferometry (InSar, terrestrial or satellite) <i>Totalstation (Tachymeter), Nivellierinstrument, elektronisches Entfernungsmessgerät, Laserscanner, GNSS (Differential-GPS), Radar-Interferometrie (Interferenzmessverfahren mit Radar) (InSar, terrestrisch oder satellitengestützt)</i>
– Velocity <i>Geschwindigkeit</i>	– Accelerometer; geophone <i>Beschleunigungsmesser, Geophon</i>	–
– Acceleration (vibration) <i>Beschleunigung (Schwingung)</i>	– Accelerometer <i>Beschleunigungsmesser</i>	–
– Pressure, stress, force <i>Druck, Spannung, Kraft</i>	– Total pressure cell (ISO 186 74-5); piezometer, stress/strain cell; anchor load cell <i>Druckmessdose (EN ISO 18674-5), Piezometer, Spannungs-Verformungsmessdose; Ankerkraftmessdose</i>	Not subject in geodetic measurements <i>Nicht Gegenstand geodätischer Messungen</i>
– Flow <i>Durchfluss</i>	– Flowmeter; measuring weir <i>Durchflussmessgerät; Messwehr</i>	Not subject in geodetic measurements <i>Nicht Gegenstand geodätischer Messungen</i>
Locality of measuring points <i>Lage der Messpunkte</i>	– At visible surface <i>An der sichtbaren Oberfläche</i> – In borehole <i>Im Bohrloch</i> – Embedded (e.g. in earth fill dam) <i>Eingebunden (z. B. in Erdschüttungsdamm)</i>	At visible surface <i>An der sichtbaren Oberfläche</i>
Further features and requirements <i>Weitere Merkmale und Anforderungen</i>		Common in every construction project <i>Üblich bei jedem Bauprojekt</i>



**Fig. 2** Definition of key measurement points installation through poperation and construction phase, according to EN ISO 18674-1 (3.1.12) [6]

**Bild 2** Definition ausgeprägter Messpunkte im Zeitraum der Installation bis einschließlich der Bauphase nach EN ISO 18674-1 (Abschnitt 3.1.12) [6]

If appropriate, a geotechnical monitoring project should be supplemented with geodetic procedures (Table 2) to support, verify, and control the geotechnical measurements.

In chapter 3 “Terms and Symbols”, terms for geotechnical monitoring are defined. Special attention is paid to different measuring phases depending on time. (Fig. 2). The “Initial measurement” is taken immediately after installation and is only used for function control. The “Zero measurement” is taken once the measurement has stabilized (stabilization period) and often requires increased effort, since it serves as a basis for comparison for subsequent measurements.

Then, prior to construction activities, the period of baseline monitoring follows, during which the measured values should be stable. It is later used to identify changes in the measurement series that are not caused by the construction.

The “reference measurement” is carried out immediately before construction work begins. It is the reference point for the subsequent construction phase. New reference measurements are often used for new construction phases.

**7.2.3 The standard EN\_ISO 18674-2: Measurement along a line – Extensometer**

Standard EN\_ISO 18674-2 [7] considers the measurement of changes of displacement along a line with various types of instruments. The table of content (Table 3) gives an overview of the topics.

The standard differentiates between in-place single and multiple extensometers with rods or wires, and probe extensometers with single or dual point measurements. Also, the convergence measurement with measuring tape or invar wire is described. Stationary extensometer can be read automatically, which is usually not possible for probe extensometers (Table 4).

**Tab. 3** Contents of standard EN\_ISO 185674-2: Extensometers [7]

**Tab. 3** Inhaltsverzeichnis der Norm EN\_ISO 18674-2: Extensometer [7]

	Foreword / <i>Vorwort</i>
1	Scope / <i>Anwendungsbereich</i>
2	Normative references / <i>Normative Verweisungen</i>
3	Terms and definitions/ <i>Begriffe</i>
4	Symbols / <i>Symbole</i>
5	Instruments /
5.1	General /
5.2	In-place extensometer / <i>Stationäres Extensometer</i>
5.3	Probe extensometer / <i>Sondenextensometer</i>
5.4	Tape extensometer (convergence tape) / <i>Konvergenzmessgerät</i>
5.5	Measuring range and accuracy / <i>Messbereich und Fehlergrenze</i>
6	Installation and measuring procedures / <i>Installation und Messdurchführung</i>
6.1	Installation / <i>Installation</i>
6.2	Carrying out the measurement / <i>Messdurchführung</i>
7	Data processing and evaluation / <i>Datenverarbeitung und Auswertung</i>
8	Reporting / <i>Berichterstattung</i>
8.1	Installation report / <i>Installationsbericht</i>
8.2	Monitoring report / <i>Messtechnischer Bericht</i>
Annex A (normative)	Measuring and evaluation procedure / <i>Mess- und Auswerteverfahren</i>
A.1	In-place extensometer / <i>Stationäres Extensometer</i>
A.2	Probe extensometer / <i>Sondenextensometer</i>
A.3	Tape extensometer (convergence tape) / <i>Konvergenzmessgerät</i>
Annex B (informative)	Backfill materials / <i>Verfüllmaterialien</i>
Annex C (informative)	Geo-engineering applications / <i>Geotechnische Anwendungen</i>
Annex D (informative)	Measuring examples / <i>Messbeispiele</i>
	Bibliography / <i>Literaturhinweise</i>

**Tab. 4** Types and properties of various extensometer types according to EN\_ISO 18674-2 (5.1.1) [7]  
**Tab. 4** Unterschiedliche Extensometertypen und Eigenschaften gemäß EN\_ISO 18674-2 (5.1.1) [7]

Extensometer <i>Extensometer</i>		Feature <i>Merkmal</i>	Automatic data acquisition <i>Automatische Datenerfassung</i>
Type <i>Typ</i>	Subtype <i>Ausführung</i>		
In-place <i>Stationär</i>	Single-point/multiple-point in-place extensometer <i>Stationäres Einfach-/Mehrfachextensometer</i>  Rod/wire extensometer <i>Stangen-/Drahtextensometer</i>	All instrument components are permanently installed in the ground or at accessible surfaces <i>Sämtliche Bestandteile der Messeinrichtung sind dauerhaft im Baugrund oder an zugänglichen Oberflächen installiert</i>	Possible <i>möglich</i>
Probe <i>Sonde</i>	Single-point/ double-point probe extensometer <i>Ein-Punkt-Sondenextensometer/Zwei-Punkt-Sondenextensometer</i>	Measuring unit sequentially moved into measuring positions <i>Messeinheit wird der Reihe nach in Messposition gebracht</i>	Not common <i>nicht üblich</i>
Tape <i>Konvergenz-</i> <i>messgerät</i>	Steel/wire tape extensometer <i>Messband-/Draht-Konvergenzmessgerät</i>	Measuring unit sequentially moved into measuring positions <i>Messeinheit wird der Reihe nach in Messposition gebracht</i>	Not common <i>nicht üblich</i>

The standard describes measurement ranges and expected error limits which are important parameters for the different types of extensometers and of the monitoring applications (Table 5). These issues of system accuracy are often the cause for intense discussions between designer, on-site geotechnical engineer, manufacturer, and measurement technician. This underlines the need of a well-founded prediction of the expected measuring values for different construction phases during the design of the monitoring system. Assuming to large measurement ranges, either by ignorance or to be “on the safe side” leads to smaller accuracy or precision during important measuring phases, where the detection of the initial behaviour immediately after installation is crucial.

In the Annex A the measuring procedure and data evaluation is normatively prescribed. In Annex B backfill materials are described. An informative guide for the application of the different types is given in Annex C and in Annex D five examples of application are presented.

**7.2.4 The standard EN\_ISO 18674-3: Measurements across a line – Inclinometer**

The standard EN\_ISO 18674-3 [8] treats in its main part (Table 6) inclinometers with moving probes and in-place inclinometers, abbreviated IPI. In annex B deflectometers are treated that can measure lateral displacements in horizontal boreholes.

With the inclinometer, inclinations are recorded relative to gravity along a measuring line with an inclinometer probe. This measuring line usually consists of an inclinometer guide tube (inclinometer casing) installed in a borehole. This allows the determination of the curvature and course of a borehole, relative to a zero measure-

sungen dient. Anschließend folgt, vor Baubeginn, der Zeitraum der Basismessung, in dem die Messwerte stabil sein sollten. Sie dient später zur Identifizierung von Änderungen in der Messreihe, die nicht durch den Bau bedingt sind. Unmittelbar vor Beginn einer Bautätigkeit erfolgt die „Referenzmessung“. Sie ist der Bezugspunkt für die darauffolgende Bauphase. Oft werden für neuen Bauphasen auch neue Referenzmessungen angewendet.

**7.2.3 Die Norm EN\_ISO 18674-2: Messung längs einer Linie – Extensometer**

Die Norm EN\_ISO 18674-2 [7] befasst sich mit der Messung von Längenänderungen entlang einer Linie. Das Inhaltsverzeichnis (Tabelle 3) gibt einen Überblick über die behandelten Themen.

In der Norm wird unterschieden zwischen stationärem Einfach- und Mehrfach-Extensometer, entweder mit Stangen oder mit Drähten, und dem Sondenextensometer mit Ein- oder Zweipunktmessung. Weiter ist noch das Konvergenzmessgerät mit Messband oder Invardrahtmessung beschrieben. Stationäre Extensometer können automatisch abgelesen werden, dies ist bei Sondenextensometern meist nicht möglich (Tabelle 4).

Ein sehr wesentlicher Punkt dieser Norm beschreibt Messbereiche und zu erwartende Fehlergrenzen verschiedener Extensometertypen (Tabelle 5). Systemgenauigkeit in Zusammenhang mit Messbereichen ist sehr oft Grund heftiger Diskussionen zwischen Planer, Geotechniker vor Ort, Messgerätehersteller und Messtechniker. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer wohl durchdachten Prognose der zu erwartenden Messwerte in der Planungsphase des Messprogramms. Zu groß angenommene Messbereiche, aus Unwissenheit, oder nur „um auf der sicheren

**Tab. 5** Typical Measuring length, Ranges and error limits of extensometers according to EN\_ISO 18674-2 (5.5), [7]  
**Tab. 5** Übliche Messlängen, Messbereiche und Fehlergrenzen von Extensometer-Typen gemäß EN\_ISO 18674-2 (5.5) [7]

Technical feature <i>Technisches Merkmal</i>	In-place extensometer <i>Stationäres Extensometer</i>		Probe extensometer <i>Sondenextensometer</i>			Tape extensometer (convergence tape) <i>Konvergenzmessgerät</i>		
	Rod <i>Stange</i>	Wire <i>Draht</i>	1-Point <i>Ein-Punkt</i>	2-point <i>Zwei-Punkt</i>		Cardan joint with measuring butt <i>Kardangelenk mit Messanschlag</i>	Hook and eye <i>Haken und Ösen</i>	
				Non-mechanical <i>Nicht mechanisch</i>	Mechanical <i>mechanisch</i>		Invar wire <i>Invar-Draht</i>	Steel tape(punched or graduated) <i>Stahlband (gestamzt oder graduert)</i>
Designation (abbreviated) <i>Bezeichnung (abgekürzt)</i>	Ex-rod	Ex-wire	PrEx 1	PrEx 2-1	PrEx 2-2	CV1	CV2	CV3
Common (extreme) lengths of measuring lines [m] <i>übliche (extreme) Länge der Messlinie [m]</i>	30 (300)	10 (300)	30 (200)	30 (150)	30 (150)	15 (100)	15 (20)	15 (30)
Common measuring range of extensometer sensor [mm] <i>Üblicher Messbereich des Messaufnehmers [mm]</i>	± 50	± 250	± 1000 or ± 10% of tube length	± 20 per metre	± 10 to ± 50 per metre	± 50	± 20 <sup>1</sup>	± 50 <sup>1</sup>
Typical accuracy of installed extensometer [mm] <sup>2</sup> over a measuring length of ... [m] <i>Übliche Systemgenauigkeit des Extensometers [mm]<sup>2</sup> über eine Messlänge von ... [m]</i>	± 0.2 30	± 2 10	± 5 30	± 0.3 30	± 0.05 to ± 0.5 30	± 0.05 15	± 0.1 15	± 0.5 15

<sup>1</sup> Measuring range, adjustable to higher values / Messbereich anpassbar an höhere Werte  
<sup>2</sup> For relative displacements / für Relativverschiebung

ment. The main areas of application are observation of sliding slopes, embankments, retaining walls or tube umbrellas.

Since several years, the inclination is measured mostly by MEMS (Micro-electro-mechanical System) Technology. Multiple (dual) axis sensors enable the acquisition of in inclination in two axes simultaneously. For horizontal guide tubes, only vertical displacements can be evaluated. Horizontal changes in direction (Azimuth) cannot be determined. For such measurement, a deflectometer is required, as described in Annex B of this standard.

The requirements on precision of probe inclinometer and IPIs are prescribed (Table 7). In-place inclinometer have to be tested at the manufacturer with a one-day test where the stability of the sensor signal does not exceed a deviation of 0.1 mm/m, which is not cumulative.

The methods of execution of the installation and measuring procedures, instrumentation check and calibration, measurements are prescribed. Data processing, verification and evaluation methods are prescribed in general in the main text, detailed instructions are given in Annex A.

Seite zu sein“ führt zu geringerer Genauigkeit oder Präzision in wichtigen Messphasen, bei denen es um die Erfassung von Anfangsreaktionen unmittelbar nach dem Einbau geht.

Die Auswerteverfahren sind im normativen Anhang A, Verfüllmaterialien zur Installation sind in Anhang B beschrieben. Ein Leitfaden zur Auswahl der unterschiedlichen Extensometertypen ist in Anhang C beschrieben, während in Anhang D fünf Anwendungsbeispiele unterschiedlicher Extensometertypen dargestellt sind.

### 7.2.4 Die Norm EN\_ISO 18674-3: Messung quer zu einer Linie – Inklinometer

Die Norm EN\_ISO 18674-3 (Tabelle 6) behandelt im Hauptteil Inklinometer mit beweglichen Sonden und fest eingebaute Inklinometer, abgekürzt aus dem Englischen mit IPI (In-Place Inclinometer).

Beim Inklinometer werden Neigungsverläufe relativ zur Schwerkraft entlang einer Messlinie mit einer Sonde erfasst. Diese Messlinie besteht meist aus einem, in einem



**Tab. 6** Contents of standard EN\_ISO 18674-3: Inclinometers [8]**Tab. 6** Inhaltsverzeichnis der Norm EN\_ISO 18674-3: Inklinometer [8]

	Foreword / <i>Vorwort</i>
1	Scope / <i>Anwendungsbereich</i>
2	Normative references / <i>Normative Verweisungen</i>
3	Terms and definitions / <i>Begriffe</i>
4	Symbols / <i>Symbole</i>
5	Instruments / <i>Messeinrichtung</i>
5.1	General / <i>Allgemeines</i>
5.2	Probe inclinometers / <i>Sondeninklinometer</i>
5.3	In-place inclinometers / <i>Stationäre Inklinometer</i>
5.4	Inclinometer casing / <i>Inklinometerverrohrung</i>
5.5	Measuring range, accuracy and repeatability / <i>Messbereich, Genauigkeit und Präzision</i>
6	Installation and measuring procedures / <i>Installation und Messdurchführung</i>
6.1	General / <i>Allgemeines</i>
6.2	Installation of guide tubes at accessible surfaces and in concrete / <i>Installation von Führungsrohren an zugänglichen Oberflächen und in Beton</i>
6.3	Installation of guide tubes in boreholes / <i>Installation von Führungsrohren in Bohrlöchern</i>
6.4	Installation of in-place inclinometers / <i>Installation von stationären Inklinometern</i>
6.5	Carrying out the measurement / <i>Messdurchführung</i>
7	Data processing and evaluation / <i>Datenverarbeitung und Auswertung</i>
8	Reporting / <i>Berichterstattung</i>
8.1	Installation report / <i>Installationsbericht</i>
8.2	Monitoring report / <i>Messtechnischer Bericht</i>
Annex A (normative)	Measuring and evaluation procedure / <i>Mess- und Auswerteverfahren</i>
Annex B (normative)	Deflectometers / <i>Deflektometer</i>
Annex C (informative)	Backfill materials / <i>Verfüllungsmaterialien</i>
Annex D (informative)	Geo-engineering applications / <i>Geotechnische Anwendungen</i>
Annex E (informative)	Measuring examples / <i>Messbeispiele</i>
	Bibliography / <i>Literaturhinweise</i>

Backfilling methods are described in Annex C, in addition to the traditional cement-bentonite mixtures also back-fill procedures with granular mixes are described, as well as methods with geotextile hoses to stabilize the backfill in particular cases, like karst.

An informative guide on the application of the different methods is given in Annex D, several application examples are presented in Annex E.

Bohrloch installierten Inklinometer-Führungsrohr. Damit lassen sich Änderungen von Bohrlochverläufen bezogen auf eine Nullmessung erfassen. Hauptanwendungsgebiete sind Rutschhangbeobachtungen, Böschungen, Stützwände oder Rohrschirme.

Seit einigen Jahren haben sich für die Neigungsmessung Sensoren auf Basis der MEMS-Technologie (Micro-Electro-Mechanical System) durchgesetzt.

Der Einsatz mehrachsiger Sensoren ermöglicht die simultane Erfassung von Richtungsänderungen in zwei Achsen. Bei horizontal eingebauten Führungsrohren lassen sich nur Neigungsänderungen in vertikaler Richtung beobachten. Die Bestimmung von horizontalen Richtungsänderungen (Azimut) ist nicht möglich.

In Anhang B wird der Deflektometer als Instrument, die Installation, die Messung und Auswertung beschrieben. Dieser ermöglicht bei waagrecht eingebauten Führungsrohren die Erfassung von seitlichen Auslenkungen (Azimut).

Die Anforderungen an Sondeninklinometer und festeingebaute Inklinometern sowie an die Führungsrohre und deren Installation werden beschrieben. Die Sonden müssen eine bestimmte Präzision (Wiederholgenauigkeit) erreichen (Tabelle 7).

Stationäre Sonden müssen im Werk geprüft werden und während einem Tag eine Abweichung des Sensorsignals kleiner als 0,1 mm/m innehalten.

Die Methoden der Durchführung der Messungen und die Überprüfung der Mess- und Ableseinstrumente werden vorgegeben. Die Datenerfassung sowie die Kontroll- und Auswertemethoden sind im Haupttext grundsätzlich und im Anhang A detailliert beschrieben.

In Anhang C werden Materialien zum Verfüllen der Bohrung beschrieben. Neben den üblichen Zement-Bentonit-Mischungen werden auch Verfüllverfahren mit körnigen Mischungen und Stabilisierung des Bohrlochs mit Geotextilschläuchen für besondere Fälle (Karst) beschrieben.

Ein Leitfaden in Anhang D zeigt die Auswahl von Inklinometer und Deflektometer für verschiedene geotechnische Anwendungen. In Anhang E werden vier Anwendungsbeispiele vorgestellt.

## 8 Schlussbemerkungen

Die neuen Normen für geotechnische Messungen und Instrumentierung bieten dem planenden Ingenieur, den geotechnischen Spezialfirmen, den Bauunternehmern und der Bauüberwachung Hilfsmittel zur Planung, Ausschreibung und Durchführung von geotechnischen Überwachungen. Mit diesen Normen stehen Werkzeuge zur Verfügung, die es erlauben, geotechnische Instrumente

**Tab. 7** Requirements on precision of inclinometer measurements according to EN\_ISO 18674-3 (5.5.1) [8]

**Tab. 7** Anforderungen an Genauigkeit von Inclinometermessungen gemäß EN\_ISO 18674-3 (5.5.1) [8]

Type	Issue	Inclinometer	
		Vertical	Horizontal
Probe Sonde	Accuracy of the instrument (probe or IPI element) <i>Genauigkeit des Neigungsmesselements (Sonde oder IPI-Element)</i>	±0,02% full scale (e.g. ±0,1 mm/m for ±30° range)	
	Repeatability (precision) of a complete survey along a measuring line: <i>Wiederholpräzision einer vollständigen Neigungsmessung entlang einer Messlinie:</i>	±2 mm	±10 mm
	Difference between the cumulated displacements of a measuring point relative to a reference point 30 m apart, when repeatedly carrying out the survey under repeatability conditions <i>Abweichung der integrierten Verschiebungen eines Messpunkts relativ zu einem 30 m entfernten Referenzpunkt unter Wiederholbedingungen</i>		
In-place Stationär	Repeatability (precision) of a string of IPI elements, measuring range ±10°, spaced at 2 m: <i>Wiederholpräzision einer Reihe an IPI-Elementen, Messbereich ±10°, Abstand 2 m:</i>	±2 mm	±2 mm
	Difference between the cumulated displacements of a measuring point relative to a reference point 30 m apart, when repeatedly carrying out the survey under repeatability conditions <i>Abweichung der kumulierten Verschiebungen eines Messpunkts relativ zu einem 30 m entfernten Referenzpunkt unter Wiederholbedingungen</i>		
Probe and in-place Sonde und stationär	Stability of sensor signal: <i>Stabilität des Sensorsignals</i>	±0,1 mm/m	
	Difference after a 24 h period under repeatability conditions, the limit of which is not cumulative <i>Abweichung des Signals innerhalb eines Zeitraums von 24 h unter Wiederholbedingungen, deren Grenze nicht kumulativ ist</i>		

## 8 Concluding remarks

These new international standards for geotechnical measurements and instrumentation provide tools for planning, tendering and execution to design engineer, geotechnical engineer, the instrumentation specialist, contractor, and construction supervision.

The standards were elaborated in English language and underwent the approval procedure of ISO and CEN. For the final vote a French version was translated. These standards are available from <https://www.iso.org> and ISO. In Europe the standards become CEN standards, which is expressed by the prefix EN in front of ISO: EN ISO 18674. A German translation is made by DIN.

The standards can be purchased at CEN: <https://standards.cen.eu> or at national standard bodies like in Austria at [www.austrian-standards.at](http://www.austrian-standards.at), in Germany at [www.din.de](http://www.din.de) or in Switzerland at the web-shop of VSS: [www.vss.ch/shop](http://www.vss.ch/shop).

## References

- [1] Eurocode 7, *Geotechnical design – Part 1* (EN 1997-1: 2004) *General rules*, Part 2 (EN 1997-2: 2007), *Ground investigation and testing*. CEN, Brussels
- [2] ISO/IEC (2017) *Directives Part 1, Consolidated ISO Supplement*, Procedures specific to ISO, Eight edition.
- [3] Bock, H. (2011) *Geotechnical monitoring standards in Germany: DIN 4107, Parts 1 to 4* in Gattermann (ed), *Proceedings 8<sup>th</sup> International Symposium on Field Measurements in Geomechanics (FMGM), Workshop 3: Standardisation and Product Data Sheets*, pp. 45–58.

zielgerecht auszuwählen, ordnungsgemäß einzubauen und zu betreiben.

Die Normen werden in englischer Sprache ausgearbeitet. Von ISO wird für die Schlussabstimmung eine französische Fassung erstellt. In Europa werden diese Normen zu CEN-Normen, was durch die vorangestellten Buchstaben EN = Europäische Norm erkennbar ist. Es wird vom Deutschen Institut für Normung (DIN) eine deutsche Fassung erstellt und in weiterer Folge in eine ÖNORM übergeführt.

Die Normen können in Österreich bei Austrian Standards (in Englisch und deutscher Übersetzung) [www.austrian-standards.at](http://www.austrian-standards.at), in Deutschland bei [www.din.de](http://www.din.de) und in der Schweiz beim Webshop des VSS: [www.vss.ch/shop\\_bezogen](http://www.vss.ch/shop_bezogen) werden.

- [4] Steiner, W.; Beth, M.; Bock, H.; Clegg, M.; Golser, J.; Möller, B.; Pezzetti G.; Ridley, A.; van der Salm, R.; Spalton, Ch.; de Vos, L.; Welter, Ph.; Wörsching, H. (2015) *Update on European (EN) and International (ISO) geotechnical monitoring standards* in Proceedings FMGM (2015), Australian Centre for Geomechanics, Perth.
- [5] Steiner, W.; Bock, H.; Clegg, M.; Golser, J.; Louws, M.; Pezzetti, G.; Raventos, J.; Ridley, A.; de Vos, L.; Wörsching, H.; Ylönen, S.(2018) *Development of international standards for geotechnical monitoring under ISO* in Proc. International Symposium on field measurements in Geomechanics, FMGM. Available from the ISSMGE TC-220 online library: <https://www.issmge.org/publications/online-library>
- [6] EN\_ISO 18674-1 (2015) *Allgemeine Regeln*
- [7] EN\_ISO 18674-2 (2016) *Messung der Verschiebung entlang einer Linie: Extensometer*
- [8] EN\_ISO 18674-3 (2017) *Messung der Verschiebung quer zu einer Linie: Inklinometer*
- [9] EN\_ISO 18674-4 (2020) *Wasserdruckmessungen mit Piezometer*
- [10] EN\_ISO 18674-5 (2019) *Messung von Spannungsänderungen mit Druckmessdosen*
- [11] ISO/IEC Guide 99 (2007) *International vocabulary of metrology – Basic and General concepts and terms*

#### Authors



Dipl.-Ing. Johann Golser  
 Johann.golser@geodata.com  
 Delegierter für Österreich für ISO TC182/WG2  
 Geotechnical Monitoring  
 Geodata Ziviltechniker GmbH  
 Hans Kudlichstr. 28  
 8700 Leoben  
 Austria



Dr. Walter Steiner (corresponding author)  
 w.steiner@bs-ing.ch  
 Convenor ISO TC182/WG2  
 B+S AG  
 Weltpoststraße 5  
 3000 Bern 16  
 Switzerland

#### How to Cite this Paper

Golser, J.; Steiner, W. (2021) *International and European Standards for Geotechnical Monitoring and Instrumentation*. Geomechanics and Tunnelling 14, No. 1, pp. 63–77. <https://doi.org/10.1002/geot.202000047>

This paper has been peer reviewed. Submitted: 14. November 2020; accepted: 27. December 2020.

#### Zitieren Sie diesen Beitrag

Golser, J.; Steiner, W. (2021) *Internationale und europäische Normen für geotechnische Überwachung und Instrumentierung*. Geomechanik und Tunnelbau 14, H. 1, S. 63–77. <https://doi.org/10.1002/geot.202000047>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 14. November 2020; angenommen: 27. Dezember 2020.