

Empfehlungen des Arbeitskreises „Geomesstechnik“



DGGT und DVW

Empfehlungen des Arbeitskreises Geomesstechnik

*Arbeitskreis 2.10 „Geomesstechnik“ der DGGT
und des DVW*

Empfehlungen des Arbeitskreises Geomesstechnik

Herausgeber

*Arbeitskreis 2.10 „Geomesstechnik“ der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. DGGT
und
des DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation
und Landmanagement e. V.*

Schriftleitung

Akad. Direktor Dr.-Ing. Jörg Gattermann
Institut für Geomechanik und Geotechnik
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstraße 51b
30106 Braunschweig
kontakt@ea-geomesstechnik.de

Cover

Arbeitskreis „Geomesstechnik“
(©) Bildquelle Coverabbildungen:
links oben: Ankerkraftmessungen |
Benedikt Bruns
rechts oben: Spannungsmessgeber im Pfahl |
Jan Fischer
links unten: Automatisiertes Tachymeter |
Werner Lienhart
rechts unten: Gleitmikrometermessungen |
Jörg Gattermann

Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2022 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN 978-3-433-03343-2

ePDF ISBN 978-3-433-61081-7

ePub ISBN 978-3-433-61080-0

Umschlaggestaltung Design pur GmbH, Berlin

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Widmung

Im Oktober 2020 verstarb der englische beratende Ingenieur für geotechnische Instrumentierungen John Dunnycliff im Alter von 86 Jahren. John Dunnycliff gilt für uns alle als Wegbereiter bei der systematischen und praxistauglichen Anwendung der Geomesstechnik mit seinem im Wiley-Verlag 1988 veröffentlichten Buch *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance* (auch bekannt als das *Rote Buch*). Zur Würdigung seiner Arbeit und immerwährenden Unterstützung im internationalen Expertenkreis widmen wir ihm diese Empfehlungen.



John Dunnycliff (links) mit Ralph Peck, dem Begründer der Beobachtungsmethode, im Jahre 2001 (Foto: H. Bock).

Inhaltsverzeichnis

Widmung *V*

Vorwort der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. *XIII*

Vorwort des DVW Arbeitskreises 4 „Ingenieurgeodäsie“ *XV*

Vorwort der Obfrau/des Obmanns des Arbeitskreises *XVII*

Einführung *XXI*

Abkürzungsverzeichnis *XXV*

Verwendete Größen und ihre Formelzeichen *XXIX*

Abbildungsverzeichnis *XXXI*

Tabellenverzeichnis *XXXVII*

- 1 Geomesstechnik *1***
 - 1.1 Ziele der Geomesstechnik *1*
 - 1.2 Sensibilität, Transparenz, Akzeptanz *2*
 - 1.3 Normative Regelung *3*
 - 1.4 Ganzheitliche Entwicklung und Umsetzung von Messprojekten *5*
 - 1.5 Risikomanagement *7*
 - 1.5.1 Projektübergreifendes Risikomanagement *7*
 - 1.5.2 Georisikomanagement *10*
 - 1.5.3 Aufgaben der Geomesstechnik im Rahmen des Georisikomanagements *12*
 - Literatur *13*

- 2 Zielsetzung geotechnischer Messungen *15***
 - 2.1 Grundsätzliches *15*
 - 2.2 Erkundungsphase *15*

2.3	Beobachtungsmethode	18
2.4	Beweissicherung	19
2.5	Qualitätssicherung für Baumaßnahmen	20
2.5.1	Qualitätssicherung im Erdbau	20
2.5.2	Qualitätssicherung im Spezialtiefbau	21
2.6	Steuerung von Bauprozessen	22
2.7	Beobachtung des Betriebszustandes von Bauwerken	25
2.8	Beobachtung des Stilllegungs- und Nachbetriebszustandes	25
2.8.1	Beobachtung des Stilllegungszustandes	26
2.8.2	Beobachtung des Nachbetriebszustandes	26
2.9	Beobachtung naturbedingter Gefährdungen und Frühwarnung	27
	Literatur	28

3 Messgrößen 31

3.1	Allgemeines	31
3.2	Bezugssysteme (Raumbezug)	31
3.2.1	Definition von Bezugssystemen	31
3.2.2	Amtliche Bezugssysteme	34
3.2.3	Lokale Bezugssysteme	36
3.2.4	Bezugssysteme in der Geotechnik	38
3.3	Geometrie	40
3.3.1	Verschiebungen im Raum	41
3.3.2	Konvergenzen	41
3.3.3	Neigungen	42
3.3.4	Deformationen und Verzerrungen	42
3.3.5	Schwingungen	43
3.4	Mechanik	43
3.4.1	Kräfte	44
3.4.2	Spannungen (inkl. Porenwasserdruck)	44
3.5	Geophysikalische Messgrößen	47
3.6	Umwelt	47
3.6.1	Temperatur	47
3.6.2	Luftdruck	48
3.6.3	Weitere Einflussgrößen	48
3.7	Volumenströme	49
	Literatur	49

4 Messsysteme und -verfahren 51

4.1	Begriffe und Methoden	51
4.2	Messprinzipien	53
4.2.1	Geometrie	54
4.2.2	Kinematik	65
4.2.3	Mechanik	66
4.2.4	Temperatur	72
4.3	Messsysteme	74

- 4.3.1 Geometrie 74
- 4.3.2 Mechanik 107
- 4.3.3 Grundwasserstand und Porenwasserdruck 123
- 4.3.4 Meteorologie 131
- 4.3.5 Temperaturen und Temperaturverteilung 131
- 4.3.6 Volumenströme 134
- 4.3.7 Geophysik 137
- 4.4 Kalibrierung von Messsystemen 143
 - 4.4.1 Definition der Kalibrierung 143
 - 4.4.2 Werkskalibrierung 144
 - 4.4.3 Kalibrierkonzepte 145
 - 4.4.4 Vorgehensweise bei der Kalibrierung 146
 - 4.4.5 Bewertung der Kalibrierergebnisse 147
- 4.5 Langzeitstabilität von Messsystemen 148
 - 4.5.1 Vorbemerkungen 148
 - 4.5.2 Empfehlungen zur Gewährleistung einer langjährigen Betriebsdauer und Stabilität von Messsystemen 149
 - 4.5.3 Überprüfung der Messsysteme 150
 - 4.5.4 Wartung 152
- 4.6 Qualitätsbewertungen der Messungen 153
 - 4.6.1 Motivation und Herangehensweise 153
 - 4.6.2 Grundzüge der statistischen Qualitätsbewertung 154
 - 4.6.3 Messunsicherheitsbewertung nach GUM 168
 - 4.6.4 Weitere Methoden zur Bestimmung der Messunsicherheit 177
 - 4.6.5 Toleranz und Messgenauigkeit 178
- Literatur 183
- 5 Grundsätze bei der Erstellung von Messprogrammen 195**
 - 5.1 Bestandteile des Messprogramms 195
 - 5.2 Definition der allgemeinen Projektbedingungen und Messziele 196
 - 5.3 Herausarbeiten der geotechnisch relevanten Fragestellungen 197
 - 5.4 Messgrößen 198
 - 5.4.1 Definition der zu erfassenden Messgrößen 198
 - 5.4.2 Anforderungen an Messbereich und Messunsicherheit 198
 - 5.4.3 Anforderungen an die räumliche Auflösung der Information 199
 - 5.5 Messkonzept 199
 - 5.5.1 Messtechnische Instrumentierung 199
 - 5.5.2 Räumliche Verteilung der Messpunkte 200
 - 5.5.3 Zeitplan der Messungen 201
 - 5.6 Auswertekonzept 202
 - 5.6.1 Auswertung der Messdaten, Reaktionszeit 202
 - 5.6.2 Archivierung 202
 - 5.7 Erwartungsgemäßes Verhalten und Reaktionsstufen 203
 - 5.7.1 Erwartungsgemäßes Verhalten 203
 - 5.7.2 Schwellen-, Eingreif- und Alarmwerte 204

5.7.3	Ermittlung von Schwellen-, Eingreif- und Alarmwerten	206
	Literatur	207
6	Entwurf von Messprogrammen	209
6.1	Auffüllungen und Schüttungen	209
6.1.1	Ziel des Messprogramms	209
6.1.2	Aufgabenstellung	209
6.1.3	Messungen	210
6.1.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	213
6.1.5	Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten	214
6.1.6	Fallbeispiel	214
6.2	Baugruben	217
6.2.1	Ziel des Messprogramms	218
6.2.2	Aufgabenstellung	218
6.2.3	Messungen	219
6.2.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	221
6.2.5	Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten	221
6.2.6	Fallbeispiel	221
6.3	Gründungen und Baugrundverbesserungen	224
6.3.1	Ziel des Messprogramms	224
6.3.2	Aufgabenstellung	226
6.3.3	Messungen	226
6.3.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	230
6.3.5	Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten	230
6.3.6	Fallbeispiel 1	230
6.3.7	Fallbeispiel 2	232
6.4	Hänge und Böschungen	237
6.4.1	Ziel des Messprogramms	237
6.4.2	Aufgabenstellung	238
6.4.3	Messungen	239
6.4.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	244
6.4.5	Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten	245
6.4.6	Fallbeispiel: Einschnittböschung	245
6.4.7	Fallbeispiel: Rutschhang (Hangrutschung)	248
6.5	Talsperren, Dämme und Deiche	251
6.5.1	Ziel des Messprogramms	251
6.5.2	Aufgaben- bzw. Problemstellung	252
6.5.3	Messungen	254
6.5.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	260
6.5.5	Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten	260
6.5.6	Fallbeispiel	261
6.6	Tunnel	263
6.6.1	Ziel des Messprogramms	263
6.6.2	Untertägige Messungen	264
6.6.3	Zu erfassende obertägige Messdaten	269

- 6.6.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse 271
- 6.6.5 Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten 272
- 6.7 Untertägiger Hohlraumbau 272
 - 6.7.1 Ziel 272
 - 6.7.2 Aufgaben- bzw. Problemstellung 273
 - 6.7.3 Messungen 274
 - 6.7.4 Fallbeispiel 281
- 6.8 Kaimauern und Kajen 284
 - 6.8.1 Ziel des Messprogramms 284
 - 6.8.2 Aufgaben- bzw. Problemstellung 284
 - 6.8.3 Messungen 286
 - 6.8.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse 289
 - 6.8.5 Fallbeispiel 289
- 6.9 Offshorebauwerke 291
 - 6.9.1 Ziel des Messprogramms 291
 - 6.9.2 Aufgabenstellung 292
 - 6.9.3 Messungen 293
 - 6.9.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse 296
 - 6.9.5 Hinweise zur Verarbeitung der Messdaten 296
 - 6.9.6 Fallbeispiel 296
 - Literatur 299
- 7 Datenmanagement 305**
 - 7.1 Gliederung in verschiedene Funktionsebenen 305
 - 7.1.1 Sensorebene 305
 - 7.1.2 Datenerfassungsebene 306
 - 7.1.3 Auswerteebene 307
 - 7.2 Datenerfassung 308
 - 7.2.1 Messprotokoll, Handmessgeräte 308
 - 7.2.2 Mobile Messgeräte mit Speicherfunktion 308
 - 7.2.3 Stationäre Logger und Messanlagen, Mess-PCs 308
 - 7.2.4 Messtechnischer Bericht und Darstellung der Messdaten 310
 - 7.3 Datenübertragung 310
 - 7.3.1 Messwertübertragung von der Sensorebene zur Datenerfassungsebene 310
 - 7.3.2 Datenübertragung zwischen Datenerfassungs- und Auswerteebene 313
 - 7.4 Datensicherung und -archivierung 315
 - 7.4.1 Datensicherung 315
 - 7.4.2 Datenarchivierung 316
 - Literatur 316
- 8 Datenauswertung: Datenaufbereitung, Datenanalyse und Visualisierung 317**
 - 8.1 Datenaufbereitung 318
 - 8.1.1 Datensichtung (Plausibilitätsprüfung) 318

8.1.2	Bereinigung	319
8.2	Auswertung von kontinuierlichen Messungen	320
8.2.1	Einführung und Aufgabenstellung	320
8.2.2	Charakterisierung einer Zeitreihe	321
8.2.3	Parameter einer Zeitreihe	324
8.2.4	Voranalyse von Zeitreihen	325
8.2.5	Betrachtung mehrerer Zeitreihen	328
8.2.6	Suche nach Periodizitäten	331
8.3	Visualisierung	334
8.3.1	Grundsätze	334
8.3.2	Darstellung von Zeitreihen	335
8.3.3	Isolinien- und Tensor Darstellungen	336
	Literatur	338
9	Qualitätssicherung und vertragliche Rahmenbedingungen	341
9.1	Planung messtechnischer Leistungen	341
9.2	Ausschreibung und Vergabe von Ausrüstungs-, Mess- und Auswerteleistungen	342
	Literatur	345
	Anhang A Kurzbiografien der derzeitigen Mitglieder des Arbeitskreises	347
	Literatur	353
	Stichwortverzeichnis	371

Vorwort der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.

Unsere Gesellschaft erwartet im zunehmenden Maße Bauprojekte mit Transparenz und Sensibilität zu planen und durchzuführen. Objektive messtechnische Analysen sind dabei eine wesentliche Voraussetzung für die gesellschaftliche Mitwirkung und auch die Akzeptanz. Messtechnische Überwachungen von Bauprojekten haben aufgrund dieser Ansprüche in den letzten Jahren hinsichtlich Methoden und Techniken eine intensive Weiterentwicklung durchlaufen.

Die Geomesstechnik, als interdisziplinäres Zusammenwirken von Geotechnik und Ingenieurgeodäsie, trägt in zunehmendem Maß zur Lösung geotechnischer Fragestellungen mithilfe messtechnischer Methoden bei, in der Baupraxis sind daher technische und geodätische Überwachungsmessverfahren in vielfacher Weise zusammengewachsen und auch die normativen Regelungen, z. B. zur Beobachtungsmethodik und dem Qualitätsmanagement, haben die wachsende Bedeutung der Geomesstechnik verstärkt. Die Geomesstechnik beinhaltet bei all ihren Aufgabenstellungen die messtechnische Zustandserfassung und Überwachung geologischer Körper als auch von Bauwerken im Erd-, Grund-, Fels-, Berg-, Ingenieur- und Deponiebau. Ihr kommt im Rahmen eines erhöhten Umweltbewusstseins, einer verstärkten Risikoversorge vor Naturgefahren sowie erhöhter Ansprüche an die Kontrolle und Qualitätssicherung von Bauwerken und Bauverfahren eine stetig zunehmende Bedeutung zu.

Schon 2003 wurde der Arbeitskreis „Geomesstechnik“ (AK 2.10) gemeinsam von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) und von der Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. (DVW) eingerichtet, um die Geomesstechnik als fachübergreifende Teildisziplin sowohl der Geotechnik als auch der Ingenieurgeodäsie hervorzuheben und die Sensibilisierung der am Bau Beteiligten zu fördern. Die Verfahren der Geomesstechnik sind bislang trotz der intensiven Entwicklungen noch nicht in einem umfassenden Dokument zusammengefasst und abgehandelt worden. Die Haupttätigkeit des Arbeitskreises richtete sich in den letzten Jahren auf die Erarbeitung eines Fachbuches Geomesstechnik als Empfehlungen für den Anwender. Das Hauptaugenmerk des Arbeitskreises 2.10 konzentrierte sich bei der Erarbeitung der nun vorliegenden Empfehlungen darauf, das gesamte Spektrum der Geomesstechnik für Anwender in der Praxis zu erfassen und

zu beschreiben. Die konkreten Aufgaben und die inhaltlichen Arbeiten des Arbeitskreises Geomesstechnik orientieren sich an den Zielsetzungen:

- Inhaltliche und konzeptionelle Aufarbeitung der in den europäischen Normen enthaltenen messtechnischen Anforderungen.
- Entwicklung von Empfehlungen für die sachgerechte Auswahl und den Einbau von Sensoren und Messsystemen für die qualitätsgesicherte, fachgerechte Durchführung der Messungen und für die Messwertauswertung und -analyse.
- Entwicklung von Grundlagen für eine qualifizierte Ausschreibung, in der die Messtechnik, Messwertanalyse und -interpretation zu einer vergüteten ingenieurtechnischen Leistung werden.
- Diese Empfehlungen sollen auch geeignet sein, um Fortbildungen im Bereich der Messtechnik zu unterstützen.

Den Obleuten sowie allen Mitgliedern und Unterstützern des Arbeitskreises „Geomesstechnik“ möchte ich im Namen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) e. V. für das nie nachlassende Engagement über all die Jahre herzlich danken und zu dem beeindruckenden Werk gratulieren. Dem Arbeitskreis ist es gelungen, eine umfassende und für die Praxis relevante Zusammenfassung des derzeitigen Standes der Technik vorzulegen, welches in der Praxis hohe Anerkennung finden wird. Allen Lesern wünsche ich bei der Nutzung der Empfehlungen viele für ihre Arbeit weiterführende Erkenntnisse und erfolgreiche Anwendungen bei ihren Bauprojekten.

Dr.-Ing. Wolfgang Sondermann

Vorstandsvorsitzender der
Deutschen Gesellschaft
für Geotechnik e. V.

Vorwort des DVW Arbeitskreises 4 „Ingenieurgeodäsie“

Die Geomesstechnik ist eine messende, analysierende und auch bewertende bzw. beratende Fachdisziplin, welche sich mit der Erfassung des geometrischen und physikalischen Zustands von einer Vielzahl von natürlichen (z. B. Rutschhänge) und anthropogenen Objekten (z. B. Bauwerke des Hoch- und Tiefbaus) befasst. Ihre fundamentale Bedeutung für die erfolgreiche Realisierung von Bauprojekten wird schon allein dadurch deutlich, dass hier durch die Verknüpfung von Modellrechnungen und in situ erfassten empirischen Messdaten die reale (Ist-)Situation zu jedem Zeitpunkt des Bauprozesses mit bestmöglichen ingenieurmäßigen Methoden approximiert wird, welche dann eine seriöse Datengrundlage für Entscheidungen hinsichtlich durchzuführender bautechnischer Maßnahmen bzw. für Risikobewertungen bildet. Gerade bei der zunehmenden Verdichtung der bebauten Umwelt – Stichwort „Bauen im Bestand“ – kann eine durchdacht ausgeführte messtechnische Begleitung eine sehr verlässliche Entscheidungsgrundlage bilden. Diese Aussage lässt sich natürlich auch auf die Betriebsphase von Bauwerken erweitern.

Vom Standpunkt des Ingenieurgeodäten aus gesehen, bietet die Geomesstechnik ein hervorragendes und sehr spannendes Umfeld für die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen aus dem Bauwesen, da hier neben den für uns „klassischen“ geodätischen Sensoren, wie Tachymeter, Nivellier und Laserscanner, eine Vielzahl von (geotechnischen) Speziälsensoren zum Einsatz kommen, welche auch in unserer Ausbildung – zumindest z. T. – bereits Eingang gefunden haben. Die Beherrschung von unterschiedlichsten Bezugssystemen und die Fähigkeit, messtechnische Prozesse zu automatisieren und die z. T. anfallenden großen Datenmengen zu verarbeiten (Stichwort „Big Data“): Alles Kompetenzen, die das vielfältige Metier der Geomesstechnik erfordert, um seinem Multiskalenanspruch sowohl in räumlicher als auch zeitlicher Hinsicht gerecht zu werden. Variierende Messräume vom kleinen Riss im Millimeter- bis zu einer ganzen geologischen Struktur im Kilometerbereich; erforderliche Messraten im Bereich weniger tausendstel Sekunden für Vibrationen bis hin zu Monaten und Jahrzehnten bei langfristigen Setzungen. Das erfordert neben messtechnischer Kompetenz auch die Fähigkeit zur Etablierung von integrierten Analyseverfahren. Die beste Grundlage hierfür ist ein guter und möglichst alle Aspekte umfassender Leitfaden, der von den beteiligten Fachdisziplinen gemeinsam erarbeitet wurde.

Die vorliegenden „Empfehlungen des Arbeitskreises Geomesstechnik“ stellen die Ergebnisse einer langjährigen und sehr konstruktiven Zusammenarbeit von Experten der DGGT (Deutschen Gesellschaft für Geotechnik) und des DVW (Gesellschaft für Geodäsie, Geodäsie und Landmanagement) vor. Man kann hier vorbildhaft erkennen, was geschieht, wenn Vertreter von benachbarten Fachdisziplinen, die in der Praxis in denselben Gewerken des Bauwesens aktiv sind, im echten interdisziplinären Dialog miteinander stehen: Es entsteht eine ganzheitliche Betrachtungsweise von Mess- und Auswerteprozessen, die allen beteiligten Akteuren bei der praktischen Planung und Umsetzung von Messprojekten zum Vorteil gereicht. Die „Empfehlungen“ stehen dabei in guter Tradition zu gemeinsamen Fortbildungsseminaren wie beispielsweise den „Interdisziplinären Messaufgaben im Bauwesen“, welche über viele Jahre sehr erfolgreich an der Bauhaus-Universität Weimar gehalten wurden.

Dem vorliegenden Leitfaden gelingt es auf vorbildliche Weise, den Bogen zwischen den Fachdisziplinen zu spannen. Er tritt nicht „abstrakt theoretisch“ auf, sondern wurde aus der praktischen Erfahrung heraus entwickelt. Trotzdem ist er nicht mit „hemdsärmeligen“ Ratschlägen gespickt, sondern stets wissenschaftlich sehr fundiert. Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern viele spannende Momente und Erkenntnisse bei der Lektüre.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Eichhorn

Leiter DVW Arbeitskreis 4

Vorwort der Obfrau/des Obmanns des Arbeitskreises

Der Arbeitskreis 2.10 „Geomesstechnik“ der DGGT – Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. und des DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. wurde nach einem Vortrag von Professor Helmut Bock mit dem Titel „Eine Organisation für die Geomesstechnik in Deutschland?“ bei der Fachtagung Messen in der Geotechnik 2002 in Braunschweig gegründet.

Die Zielvorstellung dieses Arbeitskreises war die Ausarbeitung von Empfehlungen für die Installation und den Einsatz von Messgeräten sowie die Auswertung der gewonnenen Ergebnisse bei geotechnischen Bauvorhaben. Es besteht eine Interdisziplinarität bei diesen Aufgabenstellungen, bei denen fächerübergreifend auf das Fachwissen der Disziplinen Geomechanik, Geodäsie und Geotechnik zurückgegriffen werden muss.

Die vorliegenden Empfehlungen stellen den neuesten Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Geomesstechnik dar. Sie beruhen auf gesicherten Erkenntnissen, die einen empirischen Nachweis einschließen, d. h., es liegen für diese Empfehlungen auch praktische Anwendungen vor. Sie sind daher Bestandteil der „allgemein anerkannten Regeln der Technik“.

Für die Zusammenschrift dieser Empfehlungen und die redaktionelle Durchsicht und Korrektur danken wir dem Redaktionsteam bestehend aus den Mitgliedern Bruns, Fahland, Fritschen, Gattermann, Haberland, Hesser, Heusermann, Rosenkranz, Schulze, Schwarz und Stolz, die in intensiver Arbeit seit Herbst 2018 hierfür sehr viel Zeit investiert haben.

Der Arbeitskreis ist an kritischen und anregenden Stellungnahmen aus dem Kollegenkreis an den Obmann unter (kontakt@ea-geomesstechnik.de) sehr interessiert, um die vorliegenden Empfehlungen fortschreiben zu können.

*Dr.-Ing. Sandra Fahland
Obfrau des Arbeitskreises
von 2013 bis 2020*

*Dr.-Ing. Jörg Gattermann
Obmann des Arbeitskreises
von 2002 bis 2013 und seit 2020*

Mitglieder des Arbeitskreises

Zum Zeitpunkt der Herausgabe der vorliegenden Veröffentlichung setzte sich der Arbeitskreis „Geomesstechnik“ wie folgt zusammen (in alphabetischer Reihenfolge):

Dr. Rolf Balthes, Leipzig
 Prof. Dr.-Ing. Helmut Bock, Bad Bentheim
 Prof. Dr.-Ing. Conrad Boley, München
 Dipl.-Ing. Benedikt Bruns, Hildesheim¹⁾
 Dipl.-Ing. Ulrich Estermann, Essen
 Dr.-Ing. Sandra Fahland, Hannover¹⁾
 Dipl.-Ing. Wolfgang Fischle, Esslingen
 Dr.-Ing. Ralf Fritschen, Essen¹⁾
 Dr.-Ing. Jörg Gattermann, Braunschweig¹⁾
 Dr.-Ing. Ulrich Güttler, Oer-Erkenschwick
 Dipl.-Ing. Joachim Haberland, Rheinstetten¹⁾
 Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann, Siegen
 Dr.-Ing. Jürgen Hesser, Hannover¹⁾
 Prof. Dr. Werner Lienhart, Graz
 Dipl.-Ing. Frank Manthee, Peine
 Prof. Dr.-Ing. Christian Moormann, Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Niemeier, Mardorf
 Dipl.-Ing. Holger Rosenkranz, Weimar¹⁾
 Dipl.-Ing. Roland Schulze, Karlsruhe¹⁾
 Prof. Dr.-Ing. Willfried Schwarz, Weimar¹⁾
 Dipl.-Ing. Markus Stolz, Mönchaltorf¹⁾

Weitere Mitglieder bzw. Mitwirkende waren (in alphabetischer Reihenfolge):

Dr.-Ing. Paul Althaus, Essen
 Prof. Dr. techn. F. K. Brunner, Graz
 Dr. rer. nat. Boris Dombrowski, Essen
 Prof. Dr.-Ing. E. Fecker, Ettlingen
 Dipl.-Ing. Carlos Fischer, Celle
 Dr.-Ing. Maik Fritsch, Hamburg
 Dipl.-Ing. Rainer Glötzl, Rheinstetten
 Dipl.-Geol. Patrick Hartkorn, Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. O. Heunecke, Neubiberg
 Prof. Dr.-Ing. Stefan Heusermann, Hannover¹⁾
 Dr. Manfred Jakobs, Aachen
 Prof. Dr.-Ing. R. Katzenbach, Darmstadt
 Jürgen Kienle, Reutlingen
 Dr.-Ing. Oswald Klingmüller, Mannheim

1) Redaktionsteam

Dipl.-Ing. Henry Knitsch, Offenbach
Prof. Dr.-techn. Roman Marte, Graz
Prof. Dr.-Ing. Norbert Meyer, Clausthal-Zellerfeld
Dipl.-Ing. HTL Daniel Naterop, Männedorf
Prof. Axel Paul, Dessau
Prof. Harald Schlemmer, Darmstadt
Prof. Dr. techn. Stefan Semprich, Graz
Prof. Günther Stegner, Dessau
Prof. Dr. Ralf Thiele, Leipzig
Dr.-Ing. Jens Turek, Leinfelden-Echterdingen
Dipl.-Ing. E. Willand, Stuttgart
Dipl.-Ing. Hans Wollenhaupt, Wildeck

Benutzerhinweise

1. Die Empfehlungen des Arbeitskreises „Geomesstechnik“ sind Regeln der Technik. Sie sind als Ergebnis ehrenamtlicher technisch-wissenschaftlicher Gemeinschaftsarbeit aufgrund ihres Zustandekommens nach hierfür geltenden Grundsätzen fachgerecht und sollen sich als „anerkannte Regeln der Technik“ einführen.
2. Die Empfehlungen des Arbeitskreises „Geomesstechnik“ stehen jedermann zur Anwendung frei. Sie bilden einen Maßstab für einwandfreies technisches Verhalten; dieser Maßstab ist auch im Rahmen der Rechtsordnung von Bedeutung. Eine Anwendungspflicht kann sich aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Verträgen oder aus sonstigen Rechtsgrundlagen ergeben.
3. Die Empfehlungen des Arbeitskreises „Geomesstechnik“ sind in aller Regel eine wichtige Erkenntnisquelle für fachgerechtes Verhalten im Normalfall. Sie können nicht alle möglichen Sonderfälle erfassen, in denen weitergehende oder einschränkende Maßnahmen geboten sein können. Es ist auch zu berücksichtigen, dass sie nur den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden Stand der Technik berücksichtigen können.
4. Abweichungen von den vorgeschlagenen Berechnungsansätzen können im Einzelfall zweckmäßig sein, sofern sie durch entsprechende Nachweise, Messungen oder Erfahrungen begründet werden.
5. Durch das Anwenden der Empfehlungen des Arbeitskreises „Geomesstechnik“ entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln.

Einführung

Unter dem Begriff „*Geomesstechnik*“ werden geotechnische und geodätische Messsysteme, ihre wissenschaftlich-technische Methodik und ihre Anwendung inklusive der dazu erforderlichen ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen zusammengefasst, die in dem vielschichtigen Prozess von der Konzeption eines geotechnischen Messprogramms, dessen Umsetzung im Entwurfs-, Bemessungs- und Ausführungsprozess bis zur Analyse und Bewertung der Messergebnisse mit Rückkopplung auf die erforderlichen Entscheidungsprozesse und gegebenenfalls deren Umsetzung in dem weiteren Entwurfs- und Bemessungsprozess erforderlich sind.

Im Rahmen der Ausführungsphase bildet die messtechnische Überwachung ausgewählter Größen den wesentlichen Bestandteil der als *Beobachtungsmethode* („*observational method*“) gemäß Eurocode 7 eingeführten und anerkannten Methodik, die auf einer Verknüpfung von rechnerischer Prognose, messtechnischer Überwachung und hierauf aufbauenden Handlungsszenarien beruht. Die Beobachtungsmethode ist heute ein unverzichtbares Instrument für eine sichere und den Regeln der Technik, insbesondere den Randbedingungen der Geotechnik, entsprechenden Entwurfs- und Bemessungspraxis und kann bei allen Formen von geotechnischen Strukturen, wie tiefen Baugruben, Tunneln, Gründungen, Geländeeinschnitten etc. zur Anwendung kommen.

Mit Anwendung der Beobachtungsmethode wird dem Umstand Rechnung getragen, dass das Bauen in und mit Boden und Fels durch besondere Randbedingungen und Anforderungen geprägt ist, die insbesondere darauf zurückzuführen sind, dass Boden und Fels ein natürlicher und, anders als Stahl oder Beton, kein genormter Baustoff ist. Der anstehende Baugrund muss im Rahmen einer Baugrunderkundung zunächst hinsichtlich seiner Zusammensetzung und seiner Eigenschaften erkundet werden und kann dabei immer nur stichpunktartig aufgeschlossen werden. Hierdurch bedingt verbleiben zwischen den Aufschlüssen Unsicherheiten bezüglich des Verlaufs von Baugrundsichten sowie der Baugrundeigenschaften. Zudem unterliegen auch innerhalb von Homogenbereichen die Baugrundeigenschaften einer ausgeprägten natürlichen Streuung. Diese räumliche Variabilität in Verbindung mit einer oft komplexen Baugrund-Bauwerk-Interaktion, die selbst bei Einsatz von numerischen Simulationsmodellen stets nur abstrahierend und vereinfachend abgebildet werden kann, führt dazu, dass rechnerische Prognosen mit der Anwendung der Beobachtungsmethode, d. h. durch eine fortlaufende messtechnische Be-

gleitung, also ein Monitoring der Ausführung und manchmal auch des Langzeitverhaltens geotechnischer Verbundkonstruktionen, zu kombinieren sind.

Das Monitoring, die messtechnische Überwachung physikalischer, insbesondere mechanischer Größen, ist ein wichtiges ingenieurtechnisches Werkzeug zur Qualitätssicherung von Herstellprozessen beim Bauen im und mit Boden und Fels, zur Überwachung von Bauwerken und ober- sowie unterirdischen Strukturen während ihres Baus und in ihrer Betriebsphase sowie bei der Beurteilung von Gefährdungen durch natürliche geotechnische Risiken wie Hangrutschungen und Massenströme (u. a. Muren, Lawinen).

Das geotechnische Monitoring ist eine übergreifende Teildisziplin der Geotechnik; sie ist von wachsender Bedeutung für alle Bereiche dieser Ingenieurwissenschaft. Der Einsatz geotechnischer und geodätischer Messverfahren ist eine wesentliche Voraussetzung für das Verständnis des Trag- und Verformungsverhaltens geotechnischer Konstruktionen und ist damit auch ein wichtiges Instrumentarium für die geotechnische Forschung – u. a. auch für regenerative Energiekonzepte, bei der Entsorgung von Reststoffen etc.

Geotechnisches Monitoring erlaubt die Früherkennung von Risiken oder Gefährdungen und damit das rechtzeitige Einleiten von Schutz- und Gegenmaßnahmen und unterstützt so die handelnden Personen maßgeblich dabei, Siedlungs- und Naturräume vor Naturgefahren zu schützen.

Das Monitoring von Herstellungsprozessen ist ein wichtiges Element des Risiko- und Qualitätsmanagements im Erd-, Grund- und Spezialtiefbau und trägt zur Optimierung von Bauprozessen und damit zur Effizienzsteigerung und Nachhaltigkeit bei.

Das fortlaufende Monitoring geotechnischer Verbundkonstruktionen während der Lebensdauer eines Bauwerks und natürlicher Gefährdungen dient der Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit, des Natur- und Katastrophenschutzes sowie als Beurteilungsgrundlage für Lebenszyklusanalysen.

Geotechnisches Monitoring ist geprägt durch den Einsatz hochspezialisierter Messverfahren und -methoden, die unter schwierigen Randbedingungen (Umwelteinflüsse, Baustellenbedingungen) eine dauerhaft zuverlässige Erfassung kleiner und kleinster Veränderungen ermöglichen müssen.

Die Entwicklung und Optimierung geotechnischer Messkonzepte ist eine komplexe und umfassende ingenieurtechnische Aufgabenstellung, die mit dem Erkennen der Notwendigkeit und der Definition der Ziele einer messtechnischen Überwachung beginnt und mit der Umsetzung und Einarbeitung der analysierten Messergebnisse in einen Bemessungs- und Überwachungsprozess endet. Dabei kann jeder einzelne Aspekt dieser vielschichtigen Aufgabenstellung maßgebend für den Erfolg der Messaufgabe sein. Die Geomesstechnik ist zugleich geprägt von einer besonderen Form der Interdisziplinarität, die aus der Verknüpfung der Geotechnik mit der Mess- und Prüftechnik (Feinmechanik, Elektrotechnik), der Geodäsie, der Geophysik und konstruktiven Belangen resultiert.

Mit den vorliegenden Empfehlungen des Arbeitskreises 2.10 „Geomesstechnik“ der DGGT (Deutschen Gesellschaft für Geotechnik) und der DVW (Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement) werden alle vorgenann-

ten Aspekte abgedeckt. Ausgehend von Grundüberlegungen zur Geomesstechnik (Kap. 1) und zur Zielsetzung geotechnischer Messungen (Kap. 2) folgt der Aufbau dieser Empfehlungen dem strukturiert sinnvollen Vorgehen des Planungsprozesses bei einer projektspezifischen Messaufgabe: Ausgehend von Überlegungen zu den zu erfassenden Messgrößen (Kap. 3) und den zur Erfassung dieser Messgrößen einzusetzenden Messsystemen und -verfahren (Kap. 4) werden das Datenmanagement, also Aspekte der Datenerfassung, -übertragung und -sicherung (Kap. 7), sowie die Datenauswertung, also der Prozess der Datenaufbereitung, -analyse und Visualisierung (Kap. 8) behandelt. Grundsätzliche bzw. anwendungsspezifische Empfehlungen zur Erstellung von Messprogrammen finden sich in den Kap. 5 und 6. Fallbeispiele zu den anwendungsspezifische Empfehlungen verdeutlichen „Best-Practice“-Anwendungen. Auch Aspekte der Qualitätssicherung sowie vertragliche Rahmenbedingungen werden angesprochen (Kap. 9).

In der Summe bekommt der Anwender damit einen Leitfaden an die Hand, der alle wesentlichen Aspekte der Geomesstechnik nach dem Stand der Technik im Detail behandelt.

Qualitätsbewertung 153
 Qualitätssicherung 341
 Anwendungsgebiete 20
 bei Baumaßnahmen 20
 bei Pfählen 22
 Deutsche Bahn AG 21
 im Spezialtiefbau 21
 Planung 341
 Prüfverfahren 20
 Qualitätsüberwachung 21
 Erdbau 20
 Quarzthermometer 73
 Quarzuhr 64
 Quasigeoid 36

R

Radar 82
 Radardaten 82
 Radarinterferometrie
 Anwendungen 85
 Auswertung 84
 Bodenauflösung 83
 Flugrichtung in der Umlaufbahn 82
 GBInSAR 82
 hochauflösend 82
 InSAR 81
 SAR-Satelliten 84
 Sentinel-1 84
 störende Einflüsse 85
 TerraSAR-X 84
 Raman-Streulicht 68
 Raman-Streuung 105
 Raumbezug 31
 Rayleigh-Streuung 105
 Reaktionszeit 202
 Rechteckverteilung 167
 Reduktionen
 der Messgrößen 37
 Referenzstation 64
 Referenzstationsnetz 78
 Refraktion 76
 Relativdrucksensor 128
 response time 125
 Richtigkeit 157
 Risikomanagement 7
 Bewertung 11
 Identifikation 8

Risikoanalyse 11
 Risikobehandlung 8
 Rückstreuer 85
 Rutschung 237

S

SAA (shape acceleration array) 241
 Säbelwuchs 238
 Satellit 81
 Saugspannung 45
 Säulen-Geogitter-Polster-Bauweise 121
 SBAS 84
 Schallgeschwindigkeit 59
 Scherfuge 242, 243
 Scherparameter 244
 Schiefstellung 41
 Schlauchwaage 60
 Bauarten 92
 Druckschlauchwaage 60
 Schüttungen 209
 Schwadbreite 83
 Schwellenwert 204
 Schwere 141
 Schwimmlot 98
 mit selbstzentrierender Sonde 100
 Schwingsaite (vibrating wire) 130
 Schwingsaitenaufnehmer 57
 Schwingung
 Definition 43
 deterministisch 43
 Fourier-Transformation 43
 Grundbegriffe 43
 harmonisch 43
 nicht periodisch 43
 periodisch 43
 stochastisch 43
 Schwingungsmesser 106
 Seismik 138
 Messverfahren 138
 Seitensicht radar 82
 Sensitivitätskoeffizient 171
 Sensor
 analog 305
 verteilt 68
 Sensoren/Messeinheiten
 digital 306
 Servo-Akzelerometer 103

Setzinklinometer 103
 Setzung 41
 Setzungsmessung
 Genauigkeit 90
 hydrostatisch 90
 Messpegel 90
 Metallplattensetzungsmessgerät 90
 Sichelwuchs 238
 Sickerlinie 243
 Sickerwasser 49
 Sinterglas 126
 SOFO-Messsystem 105
 Sondenextensometer 96
 Gleitmikrometer 96
 Kennwerte und Merkmale 97
 TRIVEC 97
 Spannung 69
 Definition 44, 69
 mechanisch 44
 Spannungsmessdosen
 Verteilung der Druckspannungen
 XXXIII, 117
 Spannungsmessgeber
 Einpressgeber 121
 für Erddruck 120
 Spannungsmessung 107, 114
 Dehnungsmesssysteme 114
 Einflüsse 116
 Gebirgseigenschaften 116
 hydraulische Spannungsgeber 114
 Tangential-, Kontakt- und
 Radialspannung 118
 Spannungsmessungen im Tunnelbau
 tangential, radial XXXIII, 118
 Spannungsmonitorstation 115
 Spannungszustand
 hydrostatisch 44
 Spektrometer 67
 Stabilität 238
 Standard Penetration Test 17
 Standardabweichung 155
 einer Differenz 163
 einer Summe 162
 empirische 159
 theoretische 165
 Standardunsicherheit 169

Standrohr 126
 Standsicherheit 25, 40, 237
 Stauchung 42
 Staudamm 257
 Stauhaltungsdamdamm 253
 Staumauer XXXVII, 258
 Steuerleitsystem 24
 Stilllegung 26
 Stokes-Linie 74
 Streckenverzerrung 35
 Streulicht
 Brillouin- 68
 Raman- 68
 Student-Verteilung 166
 Stützpunkt 41

T

Tachymeter 75
 Aufbau 75
 Effizienz 77
 Einflussgrößen 76
 Messgenauigkeit 76
 Neigungssensor 76
 Präzisionsmessungen 76
 räumlicher Vorwärtsschnitt 76
 Überprüfung und Kalibrierung 77
 Video- 77
 Zielerfassungssysteme 77
 zukünftige Entwicklungen 77
 Temperatur 47, 72, 105
 Arten der Messung 72
 Einwirkung auf Messgeräte 48
 Temperaturgradient 76
 Temperaturkompensation 105
 Temperaturmessung 131
 Aufheizmethode 133
 Faseroptik 74
 faseroptisch 132
 Leckageortung 133
 punktweise 131
 Temperaturprofile
 linienhaft 132
 Tensiometer 124
 terrestrisches Laserscanning 80
 Thermodynamik 72
 Thermoelement 72

- Thermometer
 - Infrarot- 73
 - Kalorimeterthermometer 72
 - Quarz- 73
 - Ultraschall- 73
 - Widerstands- 72
- Thomson-Brückenschaltung 72
- time lag 125
- Toleranz 178, 181
 - Vermessungs- 179
- Toleranzkette 179
- Toleranzrechnung
 - arithmetisch 179
 - statistisch 179
- Toleranzüberschreitung
 - Prüfung 182
- Totalspannung 115
- Tragfähigkeit 16
- Tragfähigkeitsprüfung
 - dynamisch 22
 - statnamisch 22
- Trend
 - linear 327
 - nichtlinear 328
- Trennschärfe 153, 181
- Triangulationssensor 58
- trigonometrische Höhenbestimmung 60
- Tunnel 263
- Tunnelbohrmaschine 24

- U**
- Überlaufschlauchwaage
 - Prinzip 93
 - stationär 93
- Überprüfung 150
- Überwachung 254, 257
- Überwachungssystem
 - Damm 254
 - Deich 254
 - Talsperre 254
- Uhrenablage 64
- Ultraschall
 - Abstandsmessungen 59
- Ultraschallthermometer 73
- Umlaufbahn XXXII, 83
- Umschlagsmessung 103

- Umwelt 47
 - Einflussgrößen 47
- Universalverteilung 167
- Unsicherheit 154
 - maximale 173
- UTM-Koordinaten 33

- V**
- Varianz
 - empirische 159
- Varianzfortpflanzungsgesetz 162
- Venturigerinne 134
- Verfahren
 - geophysikalische 137
- Verformungskörper
 - Bauarten 68
- Vergabe 342
 - Grundsätze 344
 - Leistungsbeschreibung 345
- Vergleichsstandardabweichung 160
- Vermessungstoleranz 179, 181
- Verpressen
 - vollständiges (fully grouted method) 127
- Verschiebung 41, 242
- Verteilung 164
 - Dreiecks- 172
 - eindimensionale 166
 - Gauß- 165
 - mehrdimensionale 166
 - Normal- 165
 - Rechteck- 167
 - Student- 166
 - Universal- 167
- Vertikalneigungsmesssonde 101
- Vertikalverformung 227
- Vertikalverschiebung 41
- vertragliche Rahmenbedingungen 341
- Vertrauensintervall 173
- Verzerrung 42, 104
- Videotachymetrie 77
- Visualisierung
 - von Zeitreihen 336
- Volumenstrom 49, 71, 134
 - Arten der Messung 71
 - Geschwindigkeitsmessung 135
- Volumenstrommessung 49

W

- Wahrscheinlichkeit 164
- Wartung 152
- Wasserdruckversuch 123
- Wegaufnehmer 54
 - induktiv (Bauarten) 55
 - inkrementell 56
 - kapazitiv (Bauarten) 56
 - resistive 54
- Wegsensor 54
- Weißlichtinterferometrie 59, 105
- Wellenlänge 82
- Wellenlängenmultiplexverfahren 68
- Werkskalibrierung 144
- Wert
 - quasiwahrer 156
 - wahrer 155

- Wetterstation 131
- WGS 84 34, 63, 78
- wheatstonesche Brückenschaltung 72
- Widerstandsthermometer 72
- Wiederholstandardabweichung 160
- Wiederholungsmessung 156, 166

Z

- Zeitmultiplexverfahren 68
- Zeitreihe 43, 321
- Zeitreihenanalyse 320
- Zeitverzögerung
 - hydrodynamisch 125
- Zentrifugalkraft 32
- Zielerfassungssysteme 77
- Zufallsvariable 161