



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten

Band 6

Dieses Methodenhandbuch „Deponieuntergrund“ ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Technologie (BMBF) geförderten Forschungsverbundvorhabens „Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“ (Projektträger „Abfallwirtschaft und Altlastensanierung“ im Umweltbundesamt; Förderkennzeichen 1460605, 1460605 A, 1460605 B) entstanden.

Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den jeweiligen Autoren.

Hans-Jürgen Voigt Thomas Wippermann

Geochemie

Mit Beiträgen von

Detlef Appel, Detlef Asmus, Christian Böhme, Horst Christofzik,
Stephan Demmert, Wolf Eckelmann, Jürgen W. Einax,
Frank Engelmann, Johannes Flachowski, Stephan Hannappel,
Fred Hesser, Roland Hindel, Stephan Kaden, Helmut Kerndorff,
Michael Kersten, Antonius Kettrup, Josef Knecht,
Dieter Lauterbach, Jutta Lintemann, Hartmut Lucht,
Ulrike Maiwald, Rainer Müller, Reinhard Nießer, Asaf Pekdeger,
Hildegard Post, Heinrich Ruholl, Ruprecht Schleyer,
Manfred Schmitt, Andrea Schwark, Ulrike Soldt,
Christian Sommer von Jarmersted, Leonardo van Straaten,
Jens Utermann, Hans-Jürgen Voigt, Erwin Weßling,
Andreas Winkler und Thomas Wippermann

Mit 81 Abbildungen und 62 Tabellen



Springer

DR. HANS-JÜRGEN VOIGT

FUGRO CONSULT GmbH, Umwelt - Geotechnik - Analytik
Wolfener Strasse 36, Aufgang K, D-12681 Berlin

DR. THOMAS WIPPERMANN

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2, D-30655 Hannover

Titelbild: Probenvorbereitung mit Wickbold-Apparatur

ISBN 978-3-642-63762-9

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten / BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hong Kong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio: Springer
Bd. 6. Voigt, Hans-Jürgen: Geochemie. - 1998

Voigt, Hans-Jürgen: Geochemie/Hans-Jürgen Voigt; Thomas Wippermann. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hong Kong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio: Springer, 1998

(Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten; Bd. 6)

ISBN 978-3-642-63762-9 ISBN 978-3-642-58854-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-58854-9

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965, in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1998

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1998

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Herstellung: B. Schmidt-Löffler

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage vom Autor

Einbandgestaltung: E. Kirchner, Heidelberg

SPIN: 10495867 30/3136 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Dank

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) hat im Rahmen des Programms „Umweltforschung und Umwelttechnologie“ das Forschungsverbundvorhaben „Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“ (Kurztitel „Deponieuntergrund“) gefördert. Als ein Ergebnis des Verbundvorhabens wird der Band Geochemie des „Handbuchs zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“ vorgelegt. Der Herausgeber dankt dem BMBF für die Anregung und Förderung des Handbuchs.

Zu danken ist auch dem Projektträger des BMBF „Abfallwirtschaft und Altlastensanierung“ im Umweltbundesamt (UBA) für die fachliche und administrative Betreuung des Verbundvorhabens und des Methodenhandbuchs. Die Ermutigungen, kritischen Fragen und zahlreichen Hinweise durch die Mitarbeiter des Projektträgers und der Fachreferate im Umweltbundesamt haben die Bearbeitung des Handbuchs wesentlich vorangebracht.

Der vorliegende Band ist ein Gemeinschaftswerk von Wissenschaftlern verschiedener Fachrichtungen in Firmen, Hochschulen, Forschungsinstituten und Behörden. Zu danken ist neben den Autoren allen Fachkollegen und Firmen, die durch Beiträge und Fallbeispiele den Band Geochemie mitgestaltet haben.

Ein besonderer Dank gilt den Revisoren für die gründliche Durchsicht der Manuskripte und zahlreiche konstruktive Hinweise zu deren Verbesserung.

Frau Käbel von FURGRO CONSULT hat mit Fleiß, Kreativität und Umsicht Text und Abbildungen in die vorliegende Form gebracht. Für ihre mühevollen Arbeit gebührt ihnen der herzliche Dank der Autoren und des Herausgebers.

Inhaltsverzeichnis

1	Inhalt und Zielsetzung geochemischer Verfahren zur Gefährdungsabschätzung von Deponien	1
1.1	Geochemische Charakterisierung des Belastungspfad des Deponie-Sickerwasser-Grundwasser	1
1.1.1	Einleitung	1
1.1.2	Emissionen von Deponien	2
1.1.3	Charakterisierung des Hauptbelastungspfad des Sickerwasser-Grundwasser	3
1.1.3.1	Anorganische Veränderungen der Grundwasserqualität durch Deponiesickerwässer	6
1.1.3.2	Organische Veränderungen der Grundwasserqualität durch Deponiesickerwässer	8
1.2	Übersicht über umweltrelevante Meßparameter, Anwendungsgebiete, Aussagen, Grenzen	17
1.2.1	Einleitung	17
1.2.2	Meßparameter	18
1.2.2.1	Physikochemische Parameter	18
1.2.2.2	Anorganische Parameter	18
1.2.2.3	Organische Parameter	22
1.2.2.4	Spezialparameter	27
1.3	Untersuchungsstrategie	30
1.3.1	Erfassung der äußeren Kontaminationsfaktoren	31
1.3.2	Innere Faktoren des Kontaminationsumfeldes	35
1.3.3	Untersuchungsumfang	38
	Literatur	40
2	Methoden zur Erfassung und Bewertung der Schadstoffemissionen	42
2.1	Bestimmung der geogenen Grundlast	42
2.1.1	Bestimmung der geogenen Grundlast in Böden	46
2.1.1.1	Einleitung	46
2.1.1.2	Bestimmung von geogenen Grundgehalten ausgewählter Schwermetalle und Metalloide in Locker- und Festgesteinsböden	46
2.1.1.3	Geogene Grundgehalten von Schwermetallen und Metalloiden in Lockergesteinsböden	48
2.1.1.4	Geogene Grundgehalten von Schwermetallen und Metalloiden in Festgesteinsböden	49

2.1.1.5	Abschätzung der überregionalen und regionalen geogenen Grundbelastung von Böden mit Schwermetallen und Metalloiden	57
2.1.2	Bestimmung der geogenen Grundlast im Grundwasser	59
2.2	Ermittlung des Stoffaustrages aus Altlasten als direkter Undichtigkeitsnachweis	71
2.2.1	Grundwasser	71
2.2.1.1	Beurteilungsgrundlagen	72
2.2.1.2	Methodisches Vorgehen	73
2.2.2	Gasemissionen von Deponien und Altlasten	83
2.2.2.1	Einleitung	83
2.2.2.2	Gefährdung durch Deponiegas	83
2.2.2.3	Bewertungsgrundlage	84
2.2.2.4	Vorgehensweise	86
2.2.2.5	Untersuchungsumfang für einen Undichtigkeitsnachweis	88
2.2.2.6	Bewertung	89
2.3	Grundwasserüberwachung	91
	Literatur	103
3	Methoden der Gewinnung geochemischer Parameter	107
3.1	Probennahme - Konservierung - Transport	107
3.1.1	Einfluß des Bohrverfahrens und des Meßstellenausbaues auf die Probengewinnung	107
3.1.1.1	Bohrverfahren	107
3.1.1.2	Meßstellenausbau	120
3.1.1.3	Sediment- und Grundwasserprobennahme mittels Drucksondiertechnik	128
3.1.2	Grundwasserprobennahme	136
3.1.2.1	Einleitung	136
3.1.2.2	Probennahmetechnik	136
3.1.2.3	Technische Regeln und begleitende Meßtechnik bei Pumpproben	139
3.1.2.4	Pumpvorgang	141
3.1.2.5	Abfüllen der Probe	142
3.1.2.6	Besonderheiten	143
3.1.2.7	Normen, Richtlinien und Literatur	144
3.1.2.8	Probenbehandlung und -transport	144
3.1.2.9	Fehlermöglichkeiten	144

3.1.2.10	Qualitätssicherung und Dokumentation	153
3.1.3	Boden und Gesteine	158
3.1.3.1	Einleitung	158
3.1.3.2	Probennahmestrategie bei Schadstoffuntersuchungen	159
3.1.3.3	Probenahme	161
3.1.3.4	Probenvorbehandlung	166
3.1.3.5	Analytisch-chemische Verfahren zur Untersuchung von Boden	166
3.1.3.6	Bodenluftuntersuchungen	168
3.1.4	Anforderungen an die Probenbehandlung und den -transport, soweit diese nicht in Normen und Richt- linien geregelt sind	171
	Literatur	173
3.2	Methodensammlung analytischer Bestimmungs- verfahren	182
	Literatur	222
3.3	Alternative Vor-Ort-Nachweisverfahren für Schad- stoffe bei der Erkundung und Beobachtung von Untergrundbelastungen im Bereich von Deponien und Altstandorten	235
3.3.1	Einleitung	235
3.3.2	Elektrische Signalerzeugung als Sensorprinzip	237
3.3.2.1	Chemische Sensoren, auf Widerstandsänderung beruhend	237
3.3.2.2	Sensoren mit Strom- bzw. Potentialbildung	240
3.3.2.3	Chemische Sensoren als frequenzbestimmendes Bauteil in einer Oszillatorschaltung	245
3.3.2.4	Detektion von Gasionenclustern als Sensorprinzip	247
3.3.3	Erkennungsverfahren, die auf optischen Wechsel- wirkungen mit dem Analyten beruhen	248
3.3.3.1	Photonenabsorption als Detektionsprinzip	248
3.3.3.2	Photonenemission als Detektionsprinzip	249
3.3.4	Biochemische Schnellmeßtechnik zur Vor-Ort- Erkundung	250
3.3.5	Möglichkeiten der Immunoassay-Anwendung	252
3.3.6	Zusammenfassung und Ausblick	257
	Literatur	258
3.4	Spezifische Verfahren zur Ermittlung migrations- bestimmender Kennwerte	261

3.4.1	Elutions- und Aufschlußverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Bindungsformbestimmung	261
3.4.1.1	Einleitung	261
3.4.1.2	Aufschlußverfahren	263
3.4.1.3	Elementspeziesanalytik	266
3.4.1.4	Eluatuntersuchungen	267
3.4.2	Speziationsmodelle für Schwermetalle in Deponie-sickerwässern	287
3.4.2.1	Siedlungsabfalldeponien	287
3.4.2.2	MV-Schlackendeponien	293
3.4.3	Verfahren und Methoden zur Ermittlung von Migrationsparametern	303
3.4.3.1	Einleitung	303
3.4.3.2	Batchversuche	305
3.4.3.3	Reaktorversuche (dynamische Batchversuche)	308
3.4.3.4	Säulenversuche	312
3.4.4	Geochemische Modellierung von wässrigen Lösungen	317
3.4.4.1	Einleitung	317
3.4.4.2	Geochemische Modelle - ein Überblick	319
3.4.4.3	Theoretische Grundlagen	322
3.4.4.4	Anwendungsbeispiele	326
3.4.4.5	Beschaffung der Programme und Schulung	337
3.4.5	Untersuchungen zur Veränderung natürlicher Barrieren unter dem Einfluß von Deponiesickerwasser	341
3.4.5.1	Problematik und Hintergrund der Fragestellung	341
3.4.5.2	Einfluß des Sickerwassers auf die Durchlässigkeit Literatur	342 345
4	Der Einsatz von Bodengasmessungen bei Deponiestandortuntersuchungen	359
4.1	Vorkommen und Herkunft von Bodengasen	359
4.1.1	Einführung	359
4.1.1.1	Atmosphärische Gase	359
4.1.1.2	Thermische und radiogene Gase aus dem tieferen Untergrund (geogene Gase)	361
4.1.1.3	Im Boden bakteriell gebildete Gase	362
4.1.1.4	Anthropogener Eintrag von flüchtigen Schadstoffen	362
4.1.2	Physiko-chemische Phasenverteilung der Bodengase	363
4.1.3	Anwendung der Bodengase	364
4.1.3.1	Kohlenwasserstoffe	365

4.1.3.2	Helium und Radon	366
4.1.3.3	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe	375
4.2	Lokalisierung von Gaswegsamkeiten durch Bestimmung thermischer Kohlenwasserstoffe in adsorbierten Gasen	377
4.2.1	Probennahmestrategie	377
4.2.2	Analytische Vorgehensweise	378
4.2.3	Statistische Kenngrößen	382
4.2.4	Auswertung, Interpretation	383
4.3	Untersuchung von Gaswegsamkeiten mit der Helium-Radon-Methodik	387
4.3.1	Probennahmestrategie	387
4.3.2	Probennahme	389
4.3.3	Analytik	397
4.3.4	Auswertung, Interpretation	403
4.3.4.1	Datenaufbereitung, Korrektur der Meßdaten	403
4.3.4.2	Visualisierung der Meßdaten	404
4.3.4.3	Interpretation der Meßergebnisse	405
4.3.4.4	Qualitätsabschätzung und Kontrolle, Absicherung der Ergebnisse	406
4.3.4.5	Aussagekraft der Ergebnisse: Höhe der Werte, Wiederfindungsrate, Bewertungsmaßstäbe	406
4.4	Bodengasuntersuchungen	409
4.4.1	Probennahmestrategie	409
4.4.2	Probennahme	410
4.4.2.1	Konservierung und Transport	413
4.4.2.2	Fehlerquellen, Fehlerminimierung	413
4.4.2.3	Zeitlicher und finanzieller Aufwand	414
4.4.3	Analytik	415
4.4.3.1	Probenvorbereitung	415
4.4.3.2	Meßtechnik	416
4.4.4	Auswertung, Interpretation, Darstellung und Bewertung	418
	Literatur	420
5	Interpretationsverfahren	423
5.1	Chemometrische Auswertung und Interpretation	423
5.1.1	Problemstellung	423
5.1.2	Übersicht über wichtige Methoden der Daten- analyse	426

5.1.3	Ermittlung repräsentativer Probennahmeabstände zur Einschätzung belasteter Böden	430
5.1.3.1	Mathematische Grundlagen der Autokorrelations- analyse	430
5.1.3.2	Anwendungsbeispiel	432
5.1.4	Multivariat-statistische Methoden zur Interpretation von Schadstoffbelastungen kontaminierter Böden	434
5.1.4.1	Allgemeine Grundlagen von Verfahren der multi- variaten Datenanalyse	434
5.1.4.2	Anwendungsbeispiel	439
5.1.5	Geostatistische Methoden zur Belastungscharakteri- sierung kontaminierter Gebiete	443
5.1.5.1	Theorie der geostatistischen Methoden	443
5.1.5.2	Anwendungsbeispiel	448
5.1.6	Homogenitätsprüfung als Alternative zur Modellierung der Schadstoffverteilung	451
5.1.6.1	Statistische Verfahren zur Homogenitätsprüfung	451
5.1.6.2	Anwendungsbeispiel	452
5.1.7	Vergleichende Wertung und Schlußfolgerungen	453
5.2	Ausbreitungsprognosen von Schadstoffen mittels Simulationsmodellen	456
5.2.1	Problemstellung	456
5.2.2	Modellbildung	458
5.2.3	Übersicht über wichtige Simulationsverfahren	465
5.2.4	Ausbreitungsprognosen im Lockergestein	469
5.2.5	Ausbreitungsprognosen im Festgestein	475
5.2.6	Ausbreitungsprognosen in der ungesättigten Bodenzone	481
5.2.7	Anwendungsgrenzen und Entwicklungstendenzen Literatur	481 483
	Sachverzeichnis	487

Autorenverzeichnis

Dr. Detlef Appel
PanGeo -
Geowissenschaftliches Büro
Ibykusweg 23
D-30629 Hannover

Dr.-Ing. Stephan Demmert
Dr.-Ing. Steffen
Ingenieurgesellschaft mbH
Im Teelbruch 128
D-45219 Essen

Dipl.-Ing. Detlef Asmus
Dr.-Ing. Steffen
Ingenieurgesellschaft mbH
Im Teelbruch 128
D-45219 Essen

Dr. Wolf Eckelmann
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
D-30655 Hannover

Dipl.-Min. Christian Böhme
FUGRO CONSULT GMBH
Umwelt - Geotechnik - Analytik
Wolfener Straße 36
Aufgang K
D-12681 Berlin

Prof. Dr. Jürgen W. Einax
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Anorganische und
Analytische Chemie
Lehrbereich Umweltanalytik
Lessingstraße 8
D-07743 Jena

Dipl.-Ing. Horst Christofzik
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft
für Geologie, Hydrogeologie und
Umweltanalytik GmbH
Carl-Zeiss-Straße 15
D-30827 Garbsen

Dipl.-Geol. Frank Engelmann
FUGRO CONSULT GMBH
Umwelt - Geotechnik - Analytik
Wolfener Straße 36
Aufgang K
D-12681 Berlin

Dr. Johannes Flachowsky
UFZ - Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Analytik
Perrmoserstraße 15
D-04318 Leipzig

Dr. Helmut Kerndorff
Umweltbundesamt
Postfach 330022
D-14191 Berlin

Dr. Stephan Hannappel
FUGRO CONSULT GMBH
Umwelt - Geotechnik - Analytik
Wolfener Straße 36
Aufgang K
D-12681 Berlin

Prof. Dr. Michael Kersten
Gutenberg-Universität
Institut für Geowissenschaften
Becherweg 21
D-55099 Mainz

Dr. Fred Hesser
Geo-Infometric - Gesellschaft für
Umwelt- und Geo-Service mbH
Büro Niedersachsen
Richthofenstraße 29
D-31137 Hildesheim

Prof. Dr. Antonius Kettrup
GSF - Forschungsinstitut für
Umwelt und Gesundheit GmbH
Institut für Ökologische Chemie
Ingolstädter Landstraße 1
D-85764 Neuherberg

Dr. Roland Hindel
Niedersächsisches Landesamt für
Bodenforschung
Geowissenschaftliche
Gemeinschaftsaufgaben
Stilleweg 2
D-30655 Hannover

Dr. Josef Knecht
Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Chemie
Hans-Meerwein-Straße
D-35032 Marburg

Dr. sc. Stefan Kaden
WASY Gesellschaft für wasser-
wirtschaftliche Planung und
Systemforschung mbH
Waltersdorferstraße 105
D-12526 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dieter Lauterbach
Neue Krugallee 66
D-12437 Berlin

Dr. Jutta Lintelmann
GSF - Forschungsinstitut für
Umwelt und Gesundheit GmbH
Institut für Ökologische Chemie
Ingolstädter Landstraße 1
D-85764 Neuherberg

Prof. Dr. Asaf Pekdeger
Freie Universität Berlin
Institut für Geologie, Geophysik
und Geoinformatik - Fachrichtung
Rohstoff- und Umweltgeologie
Malteserstraße 74 - 100, Haus B
D-12249 Berlin

Dr. Hartmut Lucht
LLH Umwelttechnische Analytik
und Anlagen GmbH
Rudower Chaussee 6, Geb. 19.1
D-12484 Berlin

Dr. Hildegard Post
Chemisches Laboratorium Dr. E.
Weßling GmbH
Feodor-Lynen-Straße 23
D-30625 Hannover

Dr. Ulrike Maiwald
Freie Universität Berlin
Institut für Geologie, Geophysik
und Geoinformatik - Fachrichtung
Rohstoff- und Umweltgeologie
Malteserstraße 74 - 100, Haus B
D-12249 Berlin

Dr. Heinrich Ruholl
Chemisches Laboratorium Dr. E.
Weßling GmbH
Feodor-Lynen-Straße 23
D-30625 Hannover

Dr. Rainer Müller
Institut für Geologie und
Paläontologie
Technische Universität Clausthal
Leibnitzstraße 10
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Dr. Ruprecht Schleyer
Umweltbundesamt
Institut für Wasser-, Boden- und
Lufthygiene
Außenstelle Langen
Postfach 1468
D-63204 Langen

Prof. Dr. Reinhard Nießner
Technische Universität München
Lehrstuhl für Hydrogeologie,
Hydrochemie und Umweltanalytik
Marchionistraße 17
D-81377 München

Dipl.-Ing. Manfred Schmitt
GCA - Geochemische Analysen
Glückauf-Straße 50
D-31319 Sehnde - Ilten

Dr. Andrea Schwark
Dr.-Ing. Steffen
Ingenieurgesellschaft mbH
Im Teelbruch 128
D-45219 Essen

Dr. Hans-Jürgen Voigt
FUGRO CONSULT GMBH
Umwelt - Geotechnik - Analytik
Wolfener Straße 36
Aufgang K
D-12681 Berlin

Dr. Ulrike Soldt
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Anorganische und
Analytische Chemie
Lehrbereich Umweltanalytik
Lessingstraße 8
D-07743 Jena

Dr. Erwin Weßling
Chemisches Laboratorium Dr. E.
Weßling GmbH
Feodor-Lynen-Straße 23
D-30625 Hannover

Dr. Christian Sommer von
Jarmersted
Freie Universität Berlin
Institut für Geologie, Geophysik
und Geoinformatik - Fachrichtung
Rohstoff- und Umweltgeologie
Malteserstraße 74 - 100, Haus B
D-12249 Berlin

Dr. Andreas Winkler
Freie Universität Berlin
Institut für Geologie, Geophysik
und Geoinformatik - Fachrichtung
Rohstoff- und Umweltgeologie
Malteserstraße 74 - 100, Haus B
D-12249 Berlin

Dr. Leonardo van Straaten
Geo-Infometric - Gesellschaft für
Umwelt- und Geo-Service mbH
Büro Niedersachsen
Richthofenstraße 29
D-31137 Hildesheim

Dr. Thomas Wippermann
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
D-30655 Hannover

Dr. Jens Utermann
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
D-30655 Hannover