

**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

BILDUNGS- UND  
TAGUNGSZENTREN  
DER BAUWIRTSCHAFT



BUNDESFACHGRUPPE  
BRUNNENBAU, SPEZIALTIEFBAU  
UND GEOTECHNIK  
Im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes



ZENTRALVERBAND  
DEUTSCHES  
BAUWERBE  
**ZDB**

# 65. Deutsche Brunnenbauertage BAW-Baugrundkolloquium

## Tagungsband

Bohrungen und Baugrund

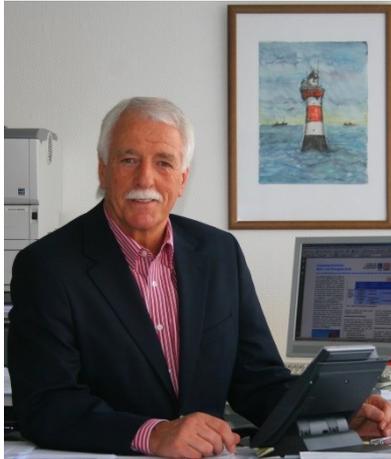
Herausforderungen bei der Ausführung

Horizontale und vertikale Bohrtechnik

7. bis 9. Mai 2014 in Rostrup / Bad Zwischenahn







## **65. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium** 7. – 9. Mai 2014 im Bau-ABC Rostrup Bad Zwischenahn

Nach 3 Jahren sind die Deutschen Brunnenbauertage erneut vom 7. bis 9. Mai 2014 in Bad Zwischenahn beim Bau-ABC Rostrup zu Gast. Alle drei Jahre finden die Deutschen Brunnenbauertage als Gemeinschaftsveranstaltung der Bundesfachgruppe Brunnenbau, Spezialtiefbau und Geotechnik im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB), der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und des Bau-ABC Rostrup statt.

Begleitet werden diese von einer umfangreichen Fachausstellung mit vielen praktischen Vorführungen. In zunehmendem Maße gestaltet sich die Veranstaltung als Plattform zur Schaffung eines Technik- und Ausbildungsüberblicks mit umfangreichen Möglichkeiten des fachlichen Erfahrungsaustausches zwischen Planern, Behörden, Herstellern und Anwendern.

Die erfolgreiche Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) findet somit erneut eine Fortsetzung und steht mit dem diesjährigen Thema des Kolloquiums über "Bohrungen und Baugrund, Herausforderungen bei der Ausführung in der horizontalen und vertikalen Bohrtechnik" für neue und interessante praxisnahe Ausführungen. Dieses Konzept soll die Veranstaltungsteilnehmer motivieren keine stringente Trennung von horizontaler und vertikaler Bohrtechnik vorzunehmen und die Sichtweise auf grundlegende Gemeinsamkeiten zu richten. Auch sollen Teilnehmer die Möglichkeiten haben, sich sowohl in den drei Vortragssträngen neuem Grundlagenwissen als auch speziellen Themen wahlweise zuzuwenden. Hauptaugenmerk ist aber immer die direkte Verbindung zwischen Theorie, Vortrag und dazugehöriger praktischer Vorführung im Austausch mit allen Beteiligten. Hierfür stehen umfangreiche Praxisflächen sowie ein geotechnisches Labor zur Interpretation von Boden- und Felsproben durch geotechnische Sachverständige und Fachleute zur Verfügung.

Die Deutschen Brunnenbauertage bieten den Teilnehmern somit ein umfangreiches Tagungsprogramm sowie eine umfassende kostenfreie Fachausstellung mit über 100 Fachausstellern und einer Vielzahl von Live-Vorführungen. Der ausgeprägte Praxisbezug steht im Mittelpunkt der Gesamtveranstaltung.

Die seit 1950 stattfindenden Deutschen Brunnenbauertage werden von der Bundesfachgruppe Brunnenbau, Spezialtiefbau und Geotechnik im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes an jährlich wechselnden Orten veranstaltet. Im dreijährigen Turnus finden die Deutschen Brunnenbauertage zusammen mit einer umfangreichen Fachausstellung in Bad Zwischenahn auf dem Gelände des Bau-ABC Rostrup statt, dem bundesweiten KompetenzCentrum der deutschen Bauwirtschaft für Brunnenbau, Spezialtiefbau, Bohrtechnik, Horizontal-Spülbohrtechnik und Geotechnik.

In Ergänzung zum Vortragsprogramm finden im Rahmen der Fachausstellung die Foyer-Vorträge statt. Fachleuten und Unternehmen wird hier die Gelegenheit gegeben, neueste Entwicklungen kurz und prägnant vorzustellen und mit dem Fachpublikum in Diskussion zu treten. Das Foyer befindet sich innerhalb der Fachausstellung in zentraler Lage.

Das Gesamtprogramm wird begleitet von der Mitgliederversammlung der Bundesfachgruppe Brunnenbau, Spezialtiefbau und Geotechnik im ZDB und dem traditionellen Ehemaligentreffen aller seit 1983 im Bau-ABC Rostrup ausgebildeten Brunnenbauer. Das Rahmenprogramm bietet allen Teilnehmern vielfältige Gelegenheiten zum Erfahrungsaustausch.

Über das Informationsportal [www.brunnenbauertage.de](http://www.brunnenbauertage.de) erhalten Interessierte alle Informationen zum Programmablauf und zur Anmeldung der Gemeinschaftsveranstaltung.

Dipl.-Ing. Emke Emken  
Bau-ABC Rostrup





## Inhalt

	Seite
<b>Vortragsreihe „Bohrungen und Baugrund“ vom 7. bis 9. Mai 2014</b>	
<b>Über die Notwendigkeit fachgerechter Baugrunderkundung</b> M. Heibaum (Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe)	3
<b>Vergabe und Abwicklung von Bohr- und Ausbauarbeiten</b> K. Englert (TOPJUS, Schrobenhausen)	9
<b>Planung von Baugrunderkundungen</b> A. Heeling (Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg)	17
<b>Baugrunderkundungsbohrungen in Böden</b> G. Siebenborn (Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg)	25
<b>Vom Aufschluss im Fels zum Baugrundmodell</b> J. Hinrichs (GHJ - Ing. Büro f. Geo- und Umwelttechnik mbH, Karlsruhe)	49
<b>Sondierungen und deren Bewertung</b> F. Liebethuth (Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg)	53
<b>Geophysik im Wasser- und Tiefbau</b> L. Halleux (G-TEC, Belgien)	61
<b>Kontrolle von Grundwassermessstellen</b> K. Baumann (BLM – Bohrlochmessung-Storkow, Storkow)	67
<b>GeODin Datenmanagement</b> T. Fyfe (Fugro Consult GmbH, Berlin)	79
<b>Laborversuche an Bodenproben - Ermittlung von Bodenkenngrößen</b> D. Augner (Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg)	83
<b>Vom Aufschluss im Boden zum Baugrundmodell</b> A. Heeling (Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg)	99
<b>Vortragsreihe „Herausforderungen bei der Ausführung“ vom 8. bis 9. Mai 2014</b>	
<b>Mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser</b> <b>Hygienische Aspekte bei Bau, Regenerierung und Sanierung von Brunnen</b> C. Treskatis (Bieske und Partner, Lohmar)	105
<b>Aufgaben von Ringraumschüttungen in Brunnen</b> <b>Vergleichende Betrachtungen von Kies und Glaskugeln</b> R. Klaus (SiLi GmbH, Warmensteinbach)	115
<b>Was bei der Durchführung von Kampfmittelbohrungen zu beachten ist.</b> Sebald (BG BAU, Dresden)	119



<b>Störung des Baugrundes durch Kampfmittelerkundungen</b>	121
M. Kneppenberg (Fichtner Water and Wind, Hamburg)	
<b>Kampfmittelräumung</b>	129
S. Schiessl (Terrasond Kampfmittelräumung GmbH, Günzburg)	
<b>Betriebliches Managementsystem</b>	133
T. E. E. Becker (Zertifizierung Bau GmbH, Berlin)	
<b>Vortragsreihe „Horizontale und vertikale Bohrtechnik“ vom 8. bis 9. Mai 2014</b>	
<b>Praktische Anwendung einer multikriterielle Bewertung unterirdischer Infrastruktur</b>	137
S. Kamarianakis (Ruhr-UNI, Bochum)	
<b>Notwendige Weiterentwicklungen der HDD-Technik</b>	147
M. Treinen/ M.Salomon (IKT, Gelsenkirchen)	
<b>Kriterien der Bodengefrieretechnik</b>	151
B. Müller (M. Bögl GmbH & Co. KG, München)	
<b>Learning Layers</b>	157
M. Campbell (Bau-ABC Rostrup, Bad Zwischenahn)	
<b>Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse</b>	161
I. Weidlich (AGFW, Frankfurt)	
<b>Vertikale Teufen im Festgestein mit der Schmelzbohrtechnik</b>	165
R. Bielecki (WSTDI, Hamburg)	
<b>Wechselwirkungen im Rohr-Boden-System</b>	171
B. Bosseler (IKT, Gelsenkirchen)	
<b>Impulsvorträge vom 8. bis 9. Mai 2014</b>	
<b>Aus- und Weiterbildung in der Deutschen Bauwirtschaft am Beispiel des Brunnenbauers</b>	175
E. Emken (Bau-ABC Rostrup, Bad Zwischenahn)	
<b>Freigelände vom 8. bis 9. Mai 2014</b>	
<b>Fachgerechte Grundwasser-Probenahme zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit</b>	181
M. Schulz (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz)	
<b>Nutzung von Aufschlussbohrungen für umweltgeologische und hydrogeologische Untersuchungen</b>	183
H. Theis (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz)	

## Über die Notwendigkeit fachgerechter Baugrunderkundung

Dr.-Ing. Michael Heibaum  
Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
Telefon: +49 721 97 26 38 20, e-Mail: michael.heibaum@baw.de

### Zusammenfassung

Bei Baugrunderkundungen ist wegen der besonderen Bedeutung des Baugrunds für die Planung, Bemessung und Bauausführung zwischen dem Auftraggeber (in der WSV den Ämtern), dem Entwurfsverfasser und dem Fachplaner für Geotechnik (BAW und/oder Ing.-Büros) eine sehr enge fachliche und organisatorische Zusammenarbeit erforderlich. DIN 4020 (Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke) gibt Hinweise, wie zwischen dem Entwurfsverfasser und dem Sachverständigen für Geotechnik zu verfahren ist. Die Ausführung der Baugrundaufschlüsse muss qualitativ hochwertig und für die geplante Baumaßnahme umfassend sein, um im Ergebnis eine zutreffende Beschreibung und Beurteilung der Baugrundverhältnisse zu erhalten und das Baugrundrisiko für die Bauausführung zu minimieren. Darüber hinaus muss bei allen Beteiligten das Bewusstsein vorhanden sein, welche Auswirkungen die Probennahme und die weitere Verarbeitung haben, um die aus dieser Untersuchungskette gewonnenen Erkenntnisse richtig zu bewerten. Dafür ist die Kenntnis der verwendeten Modelle und der Möglichkeiten und Grenzen der Versuchstechnik unentbehrlich.

### 1 Einleitung

Fast alle Baustoffe werden hergestellt und können in ihrer Qualität beeinflusst werden. Den Boden muss man nehmen, wie er ist. Man kann ihn zwar verbessern, aber auch dafür muss man ihn erst kennen. Und nachdem alle Konstruktionen aus welchem Material auch immer in irgendeiner Form auf oder in dem Boden gegründet sein müssen – es sei denn, man wählt schwimmende Bauwerke – gilt es, den Baugrund ausreichend gut zu erkunden.

Trotz dieser trivialen Erkenntnis wurde aber bei den Bauvorhaben aller Zeiten und wird auch heute hauptsächlich an der Baugrunderkundung gespart, obwohl diese Kosten häufig nur einen Bruchteil der Bausumme ausmachen. Zeugnis davon legen schon der schiefe Turm von Pisa, die Kirchen von Bad Frankenhausen oder Suurhusen oder die Stadttürme von Bologna ab (Bild 1). Die Versäumnisse bei der Baugrunderkundung müssen später durch aufwändige Maßnahmen korrigiert werden, die aber in den globalen Baukosten verschwinden und nicht mehr als das wahrgenommen werden was sie sind: unnötige Baukosten, die durch einen Bruchteil davon für einen gewissen Mehraufwand bei der Baugrunderkundung hätten vermieden werden können. Das Wissen um den Stellenwert der Baugrundaufschlüsse muss bei allen Baubeteiligten präsent sein, und nur durch gegenseitige Information können der Aufschluss selbst und die daraus abgeleiteten Modelle und Bemessungsansätze richtig bewertet werden.

Es gibt eine Reihe von Baumaßnahmen, deren Vergabe allein aufgrund des richtigen Gründungskonzeptes entschieden wurde, was für bestimmte Beispiele leicht nachvollziehbar ist: Eine monolithische Schleuse aus Stahlbeton oder eine Kanalüberführung aus Stahl lassen sich sehr genau kalkulieren, nicht jedoch der Aufwand für die Gründung. Je besser die Kenntnis des Unter-



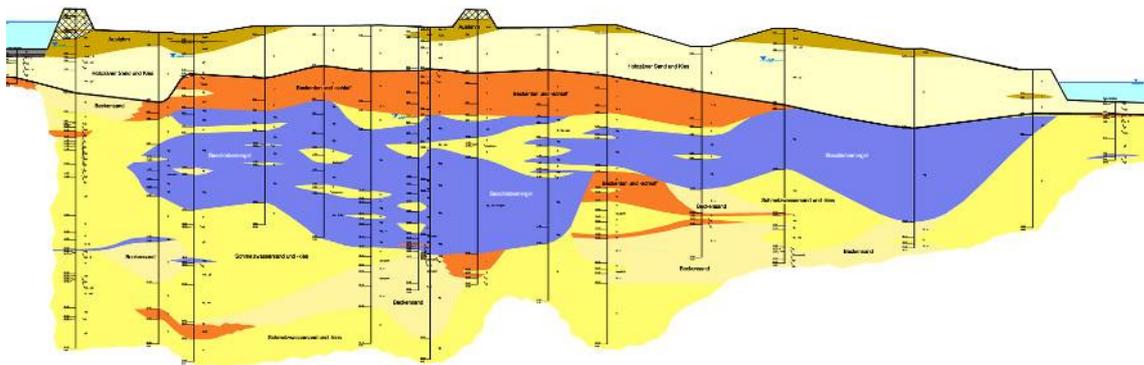
Bild 1: Stadttürme Bologna (Italien)



grundes und je größer das Wissen um die "Beherrschbarkeit" des Baugrundes, desto genauer ist eine Kalkulation für den notwendigen Gründungsaufwand möglich. Wird er unterschätzt, steigen die Kosten und es beginnt die Diskussion um Nachträge. Solche Diskussionen sind jedoch Gift für jede erfolgreiche Baudurchführung, führen sie doch zu Zeitverzögerungen, Mehraufwand und Frust. Letzteres klingt etwas banal oder gar deplatziert, ist aber ein Hauptfaktor: gute Arbeit wird nur geleistet, wenn die Arbeitsbedingungen von den "oberen Etagen" bis zu den Ausführenden stimmen. Es zeigt sich also: eine gute Baugrunderkundung ist in jeder Hinsicht der Schlüssel für ein erfolgreiches Bauen!

Wie muss also eine gute Baugrunderkundung aussehen? Wie fast für alles, gibt es in Deutschland und inzwischen auch in Europa entsprechende Normen. Die DIN 4020(2003-09) lieferte dabei eine umfassende Anleitung. Inzwischen ist DIN EN 1997-2:2010-10 in der Anwendung, die in Deutschland zusammen mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-2/NA:2010-12 der neuen DIN 4020:2010-12 zu dem "Handbuch Eurocode 7 - Band 2" zusammengefasst wurde. Wie häufig im Leben weist aber auch der gesunde Menschenverstand den Weg für ein vernünftiges Herangehen (was dann aus Kosten- und vermeintlichen Zeitgründen oft genug torpediert wird):

- Zunächst bedarf es einer guten Planung, wie man sich dem unbekanntem Baugrund nähern will.
- Die Ausschreibung von Baugrundaufschlüssen muss anschließend so formuliert sein, dass sichergestellt ist, dass die gewünschten Erkenntnisse auch erhalten werden.
- Die Durchführung von Baugrundaufschlüssen (Schürfe, Bohrungen, Sondierungen, Messungen) muss so erfolgen, dass die Ergebnisse verlässlich sind.
- Eine Überwachung der Aufschlussarbeiten ist unerlässlich. Der Transport der Proben ist ein heikles Thema und ein Vertrauensvorschuss an den Transporteur.
- Die Lagerung der Proben muss vorgeplant sein, denn von der Entnahme bis zum Eintreffen im bodenmechanischen Labor können Umwelteinflüsse – vor allen anderen Feuchte, Hitze und Frost – später ermittelte Laborergebnisse verfälschen oder zunichte machen.
- Die letzte Station vor den Zahlenwerten für die Bemessung einer Gründung sind die Laborversuche, die in diesem Kolloquium vorgestellt, aber nicht vertieft behandelt werden.



**Bild 2:** Baugrundprofil (© Heeling)

Bild 2 zeigt exemplarisch, wie wichtig eine ausreichende Zahl von Aufschlüssen ist: Baugrundprofiländerungen in kurzer Distanz beeinflussen maßgeblich das Verhalten des Baugrundes und damit die Beanspruchungen und Verformungen von bestehender Bebauung und Neubau. Insbesondere beim Bauen im Bestand, das heute der Normalfall ist, ist zur Bestimmung der Wechselwirkungen von Baugrund, Grundwasser und Bauwerk die detaillierte Kenntnis des Untergrundes unerlässlich. Gerade die Grundwassersituation kann ein wesentlicher Bemessungsfaktor sein, weshalb sie in ihrem Schwankungsbereich erfasst werden muss und entsprechend lange Messperioden erfordert. Dies bedeutet, dass ein ausreichender Vorlauf für die Aufschlüsse

gewährleistet sei muss, die zu Grundwassermessstellen ausgebaut werden sollen.

Erschwerend für die korrekte Bemessung ist, dass viele PC-Programme nicht ohne weiteres in der Lage sind, einen komplexen Baugrund, selbst bei vermeintlich einfachen erdstatischen Problemen wie in Bild 3 dargestellt, abzubilden. Daher können allein aus diesem Grund die Berechnungsergebnisse erheblich streuen. Deshalb muss zumindest die Bodenbeschreibung korrekt sein, um Bemessungsfehler nicht von vornherein den Aufschlüssen anzulasten.

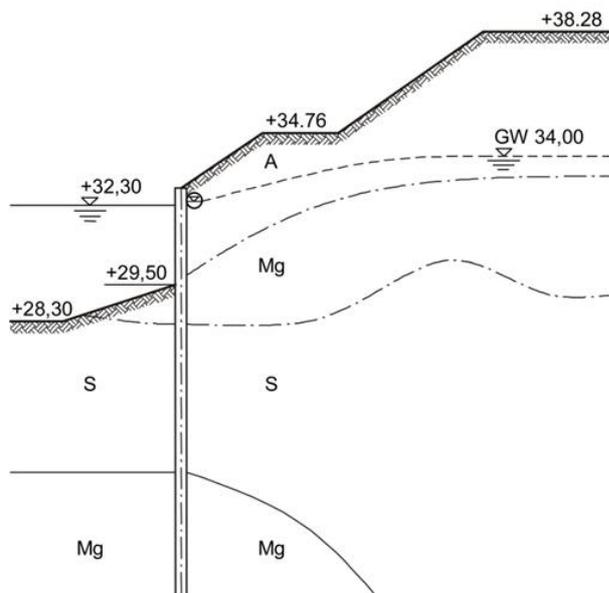


Bild 3: Baugrundquerschnitt am Teltow-Kanal, Berlin

## 2 Abstimmung von Auftraggeber, Geotechnischem Sachverständigem und Auftragnehmer

### 2.1 Zusammenarbeit bei der Planung

Insbesondere bei Bauaufgaben der öffentlichen Hand ergibt sich aufgrund der Aufgabenverteilung, dass die Auftraggeber für die Baugrundaufschlüsse nicht auch die unmittelbaren Empfänger der Leistungen sind. Die Bohr- und Sondierergebnisse werden an das beratende Ingenieurbüro geliefert und erst deren Auswertung der Baugrundaufschlüsse, das Baugrundgutachten, wird dem Auftraggeber übergeben. Wegen dieser Konstellation ist eine enge Zusammenarbeit und gute gegenseitige Information unerlässlich.

Zu Beginn müssen die Planungen für das zu errichtende oder zu ertüchtigende Bauwerk so detailliert bekannt sein, dass vom Baugrundsachverständigen die erforderlichen Baugrunduntersuchungen in ausreichendem Maße festgelegt werden können. Eine gemeinsame Ortsbesichtigung ist unerlässlich, zum einen, um die Geländegeometrie und die Zugangsmöglichkeiten kennen zu lernen und einen ersten Eindruck der Geologie der Oberfläche zu gewinnen, zum anderen, um die möglichen Interaktionen von Bauwerk und Untergrund abzuschätzen.

Im Handbuch Eurocode 7 – Band 2 ist die Einschaltung des Sachverständigen für Geotechnik in Abhängigkeit der Geotechnischen Kategorien GK 1 bis 3 beschrieben. Während bei der geotechnischen Kategorie GK 1 (einfache bauliche Anlage) kein Geotechnischer Sachverständiger notwendig ist, so muss er bei großen außergewöhnlichen Konstruktionen, hohen Sicherheitsanforderungen, hohen Verformungsempfindlichkeiten und

besonders schwierigen Baugrundverhältnissen immer eingeschaltet werden.

### 2.2 Zusammenarbeit bei der Durchführung der Baugrundaufschlüsse

Die Bohrungen und Sondierungen, ggf. auch Schürfe, sind für den Baugrundgutachter die wesentliche Informationsquelle. Da ihre Qualität maßgeblich die Inhalte und Aussagen der Baugrundbeurteilung im späteren Baugrundgutachten bestimmt, ist auf eine optimale Ausführung höchster Wert zu legen. Um dies wiederum zu gewährleisten, darf schon die Ausschreibung möglichst keine Spielräume enthalten, die zu Missverständnissen und/oder Unzulänglichkeiten der Erkundung führen können. Bei der Auswertung der Angebote darf nicht nur der Vergleich der Angebotssummen maßgebend sein, sondern muss die Frage im Vordergrund stehen, ob das Angebot alle technischen Vorgaben und Voraussetzungen im Hinblick auf Geräte und Personal erfüllt. Alle Auftraggeber von Bauleistungen wissen aus eigener leidvoller Erfahrung, dass vor allem der Baugrund oftmals Anlass für Nachforderungen bei der späteren Ausführung der geplanten Bauleistung ist. Solche Nachforderungen lassen sich minimieren, wenn die Baugrundaufschlüsse mit der notwendigen Sorgfalt und fachtechnischen Kompetenz durchgeführt werden und damit das Baugrundrisiko so klein wie möglich gehalten wird.

Die erfolgreiche Durchführung von Baugrunderkundungen beginnt mit verlässlichen Terminabsprachen von Auftraggeber, Baugrundgutachter und beauftragter Firma. Eine Bohrüberwachung bei der Aufnahme der Aufschlussarbeiten hat sich bewährt, da dadurch gleich zu Beginn etwaige offene Fragen geklärt werden können. Späteres Eingreifen bedeutet immer auch größerer Widerstand gegenüber Änderungswünschen ("... weil es ja bisher so toleriert wurde ..."). Diese Aufsicht möge im Sinne des 4-Augen-Prinzips verstanden werden und nicht im Sinne von "Aufpassern". Oft genug ergeben sich anschließend Diskussionen, wie bestimmte Phänomene zu werten sind. Dabei ist es oft sinnvoll, sowohl die Meinung des Bohrmeisters als auch die der Bohraufsicht zu hören.

Eine gute Zusammenarbeit erleichtert auch das Vorgehen, falls die Bohraufsicht Mängel feststellt. Eine erste Aufforderung an die Bohrfirma zum Abstellen der Mängel sollte zunächst mündlich erfolgen, ggf. ein interner schriftlicher Vermerk verfasst werden. Der nächste Schritt ist ein schriftlicher Mängelbericht mit einem entsprechend abgestimmten Vorgehen des Auftraggebers. In solchen Konfliktsituationen glauben häufig beide Parteien, im Recht zu sein. Dabei zeigt sich, wie gut die Ausschreibung formuliert war. Der Baugrundgutachter hat dabei die fachtechnischen Anforderungen der Ausschreibung zu vertreten, der Auftraggeber die vertragsrechtliche Seite. Wenn Auftraggeber und



Gutachter ihren Standpunkt gut abstimmen und konsequent vertreten, wird der Auftragnehmer die Mängel auch sehr schnell abstellen.

Wichtig kann auch die ggf. mehrfache Anwesenheit des Gutachters bei den Aufschlüssen sein, um die Ergebnisse auch im Sinne der jeweiligen Randbedingungen bewerten zu können. Manchmal ist die Anwesenheit sogar unerlässlich: Eine Kleinbohrung mit Nut-Entnahmerohr oder eine Entnahme mit Schnecken kann nur dann einigermaßen vernünftig bewertet werden, wenn sie unmittelbar nach der Entnahme noch im Entnahmegesetz begutachtet wird und die Probennahme gezielt beeinflusst wird. Ist die Probe erst einmal in der Kernkiste, sind 50 % der Informationen verloren. Dasselbe gilt für Schürfe.

Die Bohrfirma hat die Bodenproben, Schichtenverzeichnisse und Sondiererergebnisse ohne lange Lagerzeiten der Proben auf der Baustelle an den Gutachter zu senden. Dieser prüft die Bohrerergebnisse fachtechnisch auf ihre ausschreibungsgemäße Ausführung. Die Abrechnung sollte stets erst nach einer solchen Prüfung erfolgen, da es erfahrungsgemäß kaum möglich ist, einen Bohrunternehmer wegen nicht auftragsgemäßer Durchführung der Bohrung zu einer Nachbohrung auf seine Kosten zu veranlassen.

Ist zu befürchten, dass die Bodenproben durch jeden noch so sorgfältig durchgeführten Transport negativ beeinflusst werden können, kann sich die Einrichtung eines Feldlabors lohnen, so dass sensitive Versuche wie die Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes, der einaxialen Druckfestigkeit, der Punktlastfestigkeit u. a. vor Ort durchgeführt werden können. In-situ-Scherversuche fallen ebenfalls in diese Kategorie. Allerdings müssen hier Aufwand und Nutzen im richtigen Verhältnis stehen.

### 3 Materialkennwerte und Modelle

Für eine geotechnische Aussage werden zum einen Materialkennwerte benötigt, zum anderen muss der Planer sich Modelle überlegen für Lasten, Materialverhalten, Geometrie etc. Die Auswahl zutreffender Materialkennwerte erweist sich stets als ein kritischer, aber wesentlicher Schritt im Zuge der gesamten Baumaßnahme. Der Aufwand an Baugrunduntersuchungen steht häufig genug in keinem Verhältnis zum gesamten Bauvolumen, das heißt, er ist drastisch unterrepräsentiert. Aus diesem Grund bestand auch keine Chance, in der Geotechnik ein Sicherheitskonzept auf probabilistischer Grundlage einzuführen, wie es 1981 in den GruSiBau definiert worden war. Häufig genug werden Baugrundkenngrößen - meist weit auf der sicheren Seite liegend - aus dem Schrifttum entnommen, mehr oder minder allgemeingültig. Lieber wird weit auf der sicheren Seite liegend gerechnet, als ein zutreffendes und zielgerichtetes Laborprogramm abzuarbeiten oder Probelastungen

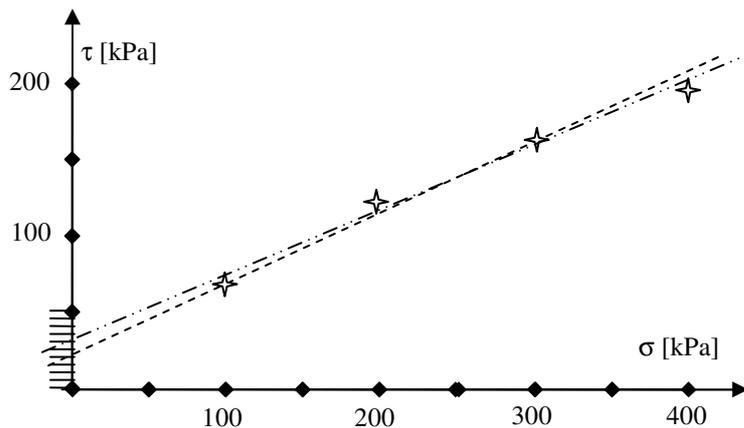
durchzuführen. Aber wann sind z. B. Durchlässigkeiten oder Konsistenzen auf der sicheren Seite, wann auf der unsicheren? Dies kann nur für den einzelnen Bemessungsfall entschieden werden und ist mit Tabellenwerten nur sehr eingeschränkt möglich. Der Rückgriff auf Tabellenwerte lässt nur allzu leicht die große Streuung in den Bodenkennwerten vergessen und lässt den bemessenden Ingenieur das Gefühl verlieren, an welchen Stellen Sicherheitszuschläge sinnvoll sind und wo sie nur vertueuernd, aber nicht verbessernd wirken.

Alle Details eines Baugrundes zu erfassen, ist unmöglich. Allerdings muss die Baugrundinformation so gut sein, dass man Überlegungen anstellen kann, was durch etwaige Inhomogenitäten bewirkt werden kann. Dabei sind hinsichtlich Tragfähigkeit, Verformungsanfälligkeit und hydraulischer Sicherheit durchaus sehr unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen.

Die wesentliche Aufgabe besteht nun darin, aus den gewonnenen Informationen ein Baugrundmodell zu erstellen, das einerseits zu wirtschaftlicher Bauausführung, andererseits zur sicheren Dimensionierung führt. Die Modellbildung für das Material des Bodens und seine Geometrie ist also ein wesentlicher Schritt, bevor die erste Berechnung überhaupt durchgeführt wird (Heeling, 2011). Sie erfordert der Erfahrung des Gutachters und die Verlässlichkeit der Aufschlussinformation, weshalb ein entsprechender Aufwand gerechtfertigt ist.

Eine weitere Modellbildung besteht darin, bei den Annahmen für die Rechnung die Randbedingungen der Baupraxis zu berücksichtigen. Witterungseinflüsse verändern je nach Einwirkungsdauer die Bodenkennwerte zum Teil erheblich. In einer aufgeweichten Baugrubensohle ist der Erdwiderstand geringer als in der Rechnung angesetzt, also muss solch eine etwaige Empfindlichkeit des Bodens erkannt werden – das erfordert sehr gute Bodenproben. Im aktiven Bereich führt in Spalten und Risse eindringendes Wasser schnell zu einer erheblichen Mehrbelastung, die keine Funktion der Wassermenge ist, sondern nur des Wasserdruckes, d. h. der vertikalen Ausdehnung von Spalten und Rissen, also gilt es, das Schrumpfungsverhalten des anstehenden Bodens zu beurteilen.

Örtliche Inhomogenitäten setzen lokal alle Rechenannahmen außer Kraft und können selbst bei einem überdimensionierten Aufschlussprogramm nie ausgeschlossen werden. Ihnen kann nur durch ein erfahrenes Team auf der Baustelle konstruktiv begegnet werden. Ein Beispiel sind Sandlinsen mit einem ggf. verstärkten Wasserandrang. Solch ein Fall wird i. Allg. nur konstruktiv berücksichtigt und bei der Bemessung vernachlässigt. Ein anderes Beispiel sind „Schmierflächen“ im Baugrund, z. B. Glimmerlagen, die einerseits wasserführend sind, zum anderen sehr niedrige Reibungswinkel aufweisen – sie können (wenn überhaupt) nur durch sehr sorgfältige Bohrungen erkannt werden.



**Bild 4:** Vergleich zweier Ausgleichsgeraden durch 4 Teilversuche eines direkten Scherversuchs

#### 4 Laborversuche und deren Auswertung

Wenn es gelungen ist, ein Aufschlussprogramm mit guten Ergebnissen abzuschließen, bleibt die Auswertung im Labor. (Auf den Einfluss des Transports wurde schon hingewiesen.) Dabei ist die Erkenntnis zu berücksichtigen, dass bei einem so problematischen Material wie dem natürlich anstehenden Boden die Behandlung im Labor durch unterschiedlich agierende Menschen unvermeidlich zu Streuungen der ermittelten Kennwerte führt. Das heißt nun nicht, dass die Laborergebnisse reine Zufallsprodukte sind, sondern es bedeutet, dass die Kette von der Probennahme bis zur Festlegung von charakteristischen Werten für die Bemessung geschlossen sein muss, d. h. es muss eine intensive Kommunikation zwischen allen Beteiligten dieser Kette vorhanden sein. Es kann nie zu viel Information in dieser Kette geben - jede Randnotiz, Fotografie oder Gesprächsmitschrift liefert wesentliche Aspekte für die letztendliche Bewertung der Bodenprobe bzw. der daraus gewonnenen Laborwerte.

Die Problematik der Auswertung von Versuchen soll beispielhaft an dem Scherdiagramm eines direkten Scherversuchs gezeigt werden (Bild 4). Zwei Teilversuche ergeben eine eindeutige Schergerade und damit ein eindeutiges Wertepaar von Reibungswinkel  $\varphi$  und Kohäsion  $c$ . Allerdings wird der Geotechnische Sachverständige immer mehr als 2 Teilversuche anordnen, obwohl er sich damit selbst Probleme schafft: In den seltensten Fällen werden die drei und mehr Punkte der Einzelversuche auf einer Geraden liegen. Analog wird im Triaxialversuch die (Ausgleichs-)Schergerade nicht alle Mohr'schen Bruchkreise nur tangieren, sondern auch schneiden oder nicht berühren. Die in situ immer vorhandenen Inhomogenitäten des Materials Boden sind größer als bei jedem anderen Baumaterial. Sie führen unvermeidlich zu Streuungen der Versuchsergebnisse, auch bei tadelloser Behandlung der Bodenproben. Gerade deshalb gilt wiederum, dass die Probennahme mit

höchster Sorgfalt durchgeführt werden muss, um noch größere Unsicherheiten zu verhindern.

Das Diagramm zeigt, dass sich insbesondere die Werte für die Kohäsion bei nur geringer Änderung der Geradenneigung stark verändern (im Beispiel auf Bild 4 von 20 auf 30 kPa). Diesem Effekt wurde in der früheren Normung mit einem höheren Sicherheitsbeiwert als für den Reibungswinkel Rechnung getragen. In der neuen Normung entfällt dieser Unterschied, so dass hier eine höhere Verantwortung bei der Festlegung des charakteristischen Wertes beim Geotechnischen Sachverständigen liegt.

Die Empfindlichkeit der Ergebnisse geotechnischer Berechnungen auf die letztendlich festgelegten Kennwerte soll an einem Beispiel gezeigt werden (Bild 5). Die Ergebnisse im Bereich zwischen  $\varphi = 30^\circ$  und  $\varphi = 35^\circ$  sind in folgender Tabelle zusammengestellt

Reibungswinkel	Grundbruchwiderstand	Abweichung zu $\varphi = 32,5^\circ$
$\varphi = 30^\circ$	5880 kN	- 28 %
$\varphi = 32,5^\circ$	8109 kN	
$\varphi = 33,5^\circ$	9254 kN	+ 14 %
$\varphi = 35^\circ$	11329 kN	+ 40 %

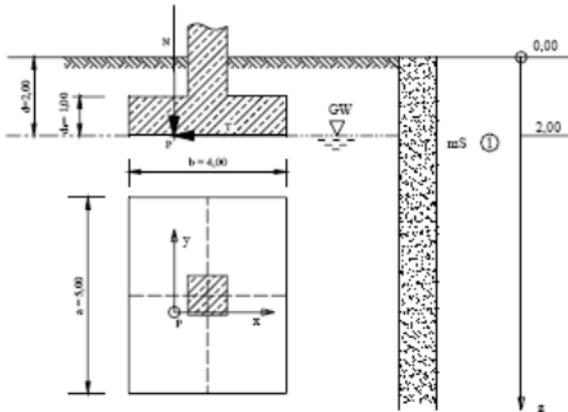
Die übliche Abstufung des Reibungswinkels in Schritten von  $2,5^\circ$  liefert erhebliche und damit kostenträchtige Unterschiede in der ermittelten Grundbruchlast. Selbst nur  $1^\circ$  Differenz im Reibungswinkel hat deutlich über 10 % Zu- oder Abnahme des Rechenergebnisses zur Folge. Einen ähnlichen Einfluss hat die oben behandelte Variation der Werte für die Kohäsion.

Bei der Beurteilung dieses Beispiels muss außerdem berücksichtigt werden, dass das hier gezeigte exzentrisch belastete Einzelfundament ideale Randbedingungen hat:



- Die Lasten und ihre Angriffspunkte sind genau definiert,
- der Grundwasserspiegel ist fixiert und
- der Boden ist homogen.

In situ finden sich hierbei zum Teil große Streuungen.



**Bild 5:** Beispiel eines außermittig und schräg belasteten Einzelfundaments

Wie schon erwähnt, muss dem Entwurfsverfasser vor Beginn des Berechnungsganges klar sein, dass man immer nur mit Modellen arbeiten kann, denn die Vielfalt der Wirklichkeit lässt sich niemals exakt abbilden. Für diese Modelle muss er dann auch die Verantwortung übernehmen:

- Das Modell für die Bodengeometrie.
- Das Modell für die Bodenkennwerte.
- Das Grundwassermodell. Die Festlegung eines Grundwasserspiegels und etwaiger Grundwasserströmungen setzt die ausreichende Kenntnis über die Extremzustände und die Schwankungsbreite voraus, also sind möglichst langzeitige Beobachtungsreihen erforderlich.
- Das Modell für die Lasten. Diese Modellvorstellung findet sich inzwischen auch in der entsprechenden Normung: DIN 1055 – 100 "Einwirkungen auf Tragwerke – Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln" nennt:
  - Modelle für ständige Einwirkungen
  - Modelle für veränderliche Einwirkungen
  - Modelle für dynamische Einwirkungen
  - Modelle bei Brandeinwirkungen
  - Modelle für Umwelteinflüsse
  - Das Berechnungsmodell.

Die ersten drei Modelle sind wesentlich geprägt von der Qualität der Baugrundaufschlüsse, belegen also den hohen Anspruch, der an diese gestellt werden muss.

Als Konsequenz ergibt sich die Forderung, dass der Aufsteller von erdstatischen Berechnungen alle diese Einflussfaktoren kennen sollte und die Wichtigkeit guter

Aufschlüsse und ihrer Weiterbehandlung nicht genug betont werden kann. Diese Erkenntnis hat sich erstmalig (und endlich!) auch in der Normung durchgesetzt, so dass in der Euronorm (EN 1997-1 2.4.1(2)) betont wird - und dies kann nicht genug herausgestellt werden:

**"Es sollte berücksichtigt werden, dass die Kenntnis der Baugrundverhältnisse vom Umfang und von der Güte der Baugrunduntersuchungen abhängt. Deren Kenntnis und die Überwachung der Bauarbeiten sind im Allgemeinen wichtiger für die Einhaltung der grundsätzlichen Anforderungen als die Genauigkeit der Rechenmodelle und Teilsicherheitsbeiwerte."**

### Literatur

DIN 1055–100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke – Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln

DIN 4020:2003-09: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke

HANDBUCH EUROCODE 7 GEOTECHNISCHE BEMESSUNG - Band 2: Erkundung und Untersuchung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 1. Auflage 2011

HEELING, A.: Vom Aufschluss zum Baugrundmodell. bbr, Heft 10-2011 S. 32-37



## Vergabe und Abwicklung von Bohr- und Ausbauarbeiten

**Prof. Dr. jur. Klaus Englert**

Vorstand des Instituts für Deutsches und Internationales Baurecht der Juristischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin; Honorarprofessor für Baurecht an der THD Technischen Hochschule Deggendorf; Mitglied im Ausschuss DVA ATV DIN 18301 (Bohrarbeiten) und ATV DIN 18302 (Ausbau von Bohrungen), wissenschaftl. Beirat STUVA und CBTR; Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht  
Tel.: 08252/894620 e-mail: englert@topjus.de

### Zusammenfassung

Die Vergabe von Bohr- und Ausbauarbeiten zur Herstellung von Brunnen aller Art zählt zu den komplexen Aufgaben im Baubereich. Denn der Brunnenbau zur Wassergewinnung, aber auch Pegelmessung oder Wiedereinbringung von Wasser in den Grundwasserhaushalt bedarf zur Herbeiführung des jeweils beabsichtigten Erfolges das „Funktionieren“ nicht nur der Brunnenbautechnik und der notwendigen Materialien – mithin überprüfbarer Parameter - , sondern auch das Zusammenwirken mit dem Baugrund, in dem ein Brunnen eingebracht werden soll und letztlich maßgeblich auch die notwendige Wasserzuführungsmöglichkeit bzw. bei z.B. Schluckbrunnen, Ableitungsfähigkeit. Der Werkerfolg hängt damit von Komponenten ab, die nur teilweise bekannt bzw. aufschliessbar sind. Denn die große Unbekannte in der Gleichung „Werkerfolg Brunnen“ stellen die jeweils anstehenden Boden- und Wasserverhältnisse dar, die trotz bestmöglicher Untersuchung u.a. gem. DIN EN 1997-2 iVm DIN 4020 niemals mit Sicherheit festgestellt und entsprechend angegeben werden können. Die Überraschung und damit der Misserfolg der Bauleistung „Brunnenbau“, von der Bohrung bis zum Ausbau, sind deshalb latente Begleiter jeder Brunnenbaumaßnahme.

### 1 Brunnenbau: Rechtsvorgaben zur Vergabe

Brunnenbauarbeiten werden im Regelfall von öffentlichen Auftraggebern nach den dazu bestehenden Regeln für die Vergabe von Bauleistungen gem. §§ 97 ff. GWB iVm §§ 1 bzw. 1 EG VOB/A vergeben. Soweit private Auftraggeber derartige Bauleistungen in Auftrag geben, gilt grundsätzlich die völlig Vertragsfreiheit – jedoch begrenzt durch die Regelungen zu Allgemeinen Geschäftsbedingungen, §§ 305 ff. BGB sowie letztlich § 242 BGB, nämlich Treu und Glauben: Kein Vertragspartner darf mit Risiken überzogen werden, die seine Existenz auf's Spiel setzen können, ohne dass er eine Gegeneinwirkungsmöglichkeit vorhersehen und entsprechend kalkulieren kann. Dies sind jedoch die Ausnahmefälle! Normalerweise geben insb. Kommunalunternehmen (wie Wasser- und Kanalwerke) Brunnenneubau-, ausbau- und –sanierungsarbeiten nach entsprechender Ausschreibung in Auftrag. Für die Ausschreibung gilt zunächst die Grundregelung zur Leistungsbeschreibung wie folgt:

#### § 7 VOB/A (entspr. § 7 EG VOB/A)

##### Leistungsbeschreibung

##### Allgemeines

- (1) 1. Die Leistung ist eindeutig und so erschöpfend zu beschreiben, dass alle Bewerber die Beschreibung im gleichen Sinne verstehen müssen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können.
2. Um eine einwandfreie Preisermittlung zu ermöglichen, sind alle sie beeinflussenden Umstände festzustellen und in den Vergabeunterlagen anzugeben.
3. Dem Auftragnehmer darf kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet werden für Umstände und Ereignisse, auf

die er keinen Einfluss hat und deren Einwirkung auf die Preise und Fristen er nicht im Voraus schätzen kann.

4. Bedarfspositionen sind grundsätzlich nicht in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen. Angehängte Stundenlohnarbeiten dürfen nur in dem unbedingt erforderlichen Umfang in die Leistungsbeschreibung aufgenommen werden.
5. Erforderlichenfalls sind auch der Zweck und die vorgesehene Beanspruchung der fertigen Leistung anzugeben.
6. Die für die Ausführung der Leistung wesentlichen Verhältnisse der Baustelle, z. B. Boden- und Wasserverhältnisse, sind so zu beschreiben, dass der Bewerber ihre Auswirkungen auf die bauliche Anlage und die Bauausführung hinreichend beurteilen kann.
7. Die „Hinweise für das Aufstellen der Leistungsbeschreibung“ in Abschnitt 0 der Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen, DIN 18299 ff., sind zu beachten.

Dazu hat der Bundesgerichtshof in einer maßgebenden Entscheidung vom 21.03.2013 (IBR 2013, 328) Az: VII ZR 122/11 ausgeführt:

*Ein Bieter darf die Leistungsbeschreibung einer öffentlichen Ausschreibung nach der VOB/A im Zweifelsfall so verstehen, dass der Auftraggeber den Anforderungen der VOB/A an die Ausschreibung entsprechen will (vgl. BGH, Urteil vom 22. Dezember 2011 - VII ZR 67/11, BGHZ 192, 172 Rn. 15; Urteil vom 11. März 1999 - VII ZR 179/98, BauR 1999, 897, 898 = ZfBR 1999, 256; Urteil vom 9. Januar 1997 - VII ZR 259/95, BGHZ 134, 245, 248; Urteil vom 11. November 1993 - VII ZR 47/93, BGHZ 124, 64, 68). Danach sind die für die*



*Ausführung der Leistung wesentlichen Verhältnisse der Baustelle, wie z.B. Bodenverhältnisse, so zu beschreiben, dass der Bewerber ihre Auswirkungen auf die bauliche Anlage und die Bauausführung hinreichend beurteilen kann. Die "Hinweise für das Aufstellen der Leistungsbeschreibung" in Abschnitt 0 der Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen, DIN 18299 ff., sind zu beachten, § 9 Nr. 1 bis 3 VOB/A a.F. (BGH, Urteil vom 22. Dezember 2011 - VII ZR 67/11, BGHZ 192, 172 Rn. 15).*

Im Klartext bedeutet dies: Der BGH bekräftigte damit seine langjährige Rechtsprechung, wonach sich der Öffentliche Auftraggeber durch die maßgeblichen Festlegungen in der VOB/A, die letztlich eine verwaltungsinterne Anweisung an die Vergabestellen der öffentlichen Auftraggeber darstellt, selbst bindet und dementsprechend Verträge stets so auszulegen sind – selbst gegen vermeintlich klaren Wortlaut –, dass im Vertragsverständnis das Selbstverständnis der öffentlichen Auftraggeber, niedergeschrieben in der VOB/A und zwingend aufgrund der §§ 97 GWB zu beachten, zum Vertragsinhalt wird: Keine Risikoüberbürdung, soweit damit die Gefahr einer Nichtberücksichtigung in der Kalkulation, insb. auch hinsichtlich der Baufristen, verbunden ist! Mehr noch: Der BGH gibt mit diesem neuen Urteil auch vor, dass die Hinweise für das Aufstellen der Leistungsbeschreibung nach den Abschnitten 0 der VOB/C zwingend zu beachten sind – auch wenn es letztlich nur „Hinweise“, also ohne Vertragseinbezug, sind.

Unterstrichen wird diese Pflicht des öffentlichen Auftraggebers noch durch die gesetzliche Regelung des § 313 BGB. Danach gilt:

### **§ 313 BGB Störung der Geschäftsgrundlage**

*(1) Haben sich Umstände, die zur Grundlage des Vertrags geworden sind, nach Vertragsschluss schwerwiegend verändert und hätten die Parteien den Vertrag nicht oder mit anderem Inhalt geschlossen, wenn sie diese Veränderung vorausgesehen hätten, so kann Anpassung des Vertrags verlangt werden, soweit einem Teil unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls, insbesondere der vertraglichen oder gesetzlichen Risikoverteilung, das Festhalten am unveränderten Vertrag nicht zugemutet werden kann.*

*(2) Einer Veränderung der Umstände steht es gleich, wenn wesentliche Vorstellungen, die zur Grundlage des Vertrags geworden sind, sich als falsch herausstellen.*

*(3) Ist eine Anpassung des Vertrags nicht möglich oder einem Teil nicht zumutbar, so kann der benachteiligte Teil vom Vertrag zurücktreten. An die Stelle des Rücktrittsrechts tritt für Dauerschuldverhältnisse das Recht zur Kündigung.*

Dieses Gesetz wird in der Praxis, gerade im Zusammenhang mit Brunnenbauarbeiten, häufig einfach übersehen und damit unnötiger Streit beim Nichterreichen

des Brunnenzwecks herbeigeführt. Dies beginnt bei der Achteufung der Bohrung, die etwa an den Boden- und Felsverhältnissen scheitern kann, und endet bei der Ergiebigkeit des Brunnens, die sich anders, als berechnet (und erhofft) darstellt.

Entsprechende Ausschreibungsvorgaben, die zwingend zu beachten und entsprechend in die Ausschreibungstexte mit aufgenommen werden müssen, sind nach den maßgeblichen Abschnitten 0 der ATV DIN 18299 (Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art) sowie der ATV DIN 18301 (Bohrarbeiten) und ATV DIN 18302 (Ausbau von Bohrungen) insbesondere:

*ATV DIN 18299, Abschnitt 0.1.9 Bodenverhältnisse, Baugrund und seine Tragfähigkeit. Ergebnisse von Bodenuntersuchungen.*

*ATV DIN 18299, Abschnitt 0.1.10 Hydrologische Werte von Grundwasser und Gewässern. Art, Lage, Abfluss, Abflussvermögen und Hochwasserverhältnisse von Vorflutern. Ergebnisse von Wasseranalysen.*

*ATV DIN 18301, Abschnitt 0.2.15 Maßnahmen beim Bohren im Einflussbereich von Trink- und Mineralwassergewinnungsgebieten sowie in gasführendem Baugrund*

Von besonderer Bedeutung ist die einschlägige Norm ATV DIN 18302 (Ausbau von Bohrungen) der VOB Teil C, deren Regelungen von Abschnitt 1 – 5 ebenso sämtlich vertraglich vereinbart sind wie die ergänzenden Regelungen der ATV DIN 18299 und der für die notwendigen Bohrarbeiten in ATV DIN 18301 enthaltenen Vereinbarungen!

Der Geltungsbereich der ATV DIN 18302 VOB/C wird dabei wie folgt beschrieben:

### **1 Geltungsbereich**

*1.1 Die ATV DIN 18302 „Arbeiten zum Ausbau von Bohrungen“ gilt für den Ausbau von Bohrungen*

*zu Brunnen für die*

— *Wassergewinnung und Wassereinleitung,*

— *Grundwasserabsenkung,*

— *Entwässerung und*

— *Entgasung,*

*zu Grundwassermessstellen,*

*für geotechnische Messungen,*

*zur Nutzung geothermischer Energie sowie*

*zum Einbau von Anoden.*

*Sie umfasst auch die Erhaltung, Instandsetzung und den Rückbau von ausgebauten Bohrungen.*

Dabei zählen die nachstehenden Angaben im LV, soweit im Einzelfall erforderlich, zu den wesentlichen Verpflichtungen des Ausschreibenden:



## ATV DIN 18302, Abschnitt 0.2 Angaben zur Ausführung

- 0.2.1** Zweck der ausgebauten Bohrung.
- 0.2.2** Bauweise und Art des Ausbaus für Brunnen, Grundwassermessstellen und Deponieentgasungsbrunnen, z. B. durch Sumpf-, Filter- und Vollwandrohre, Sperrrohre, Filtergewebe, Filterkies, sonstige Zwecke, z. B. durch Anoden, Erdwärmesonden, geotechnische Messeinrichtungen.
- 0.2.3** Besondere Maßnahmen zum Schutz von benachbarten Bauwerken.
- 0.2.4** Anforderungen an Abschlussbauwerke und Brunnenköpfe.
- 0.2.5** Vorgesehene Brunnenleistung und vorgesehene Förderleistung nach Art, Förderleistung und Einbaustelle.
- 0.2.6** Desinfizieren von Filterkies vor dem Einbau.
- 0.2.7** Vorgaben für das Einbringen des Filterkieses, z. B. mit oder ohne Schüttrohr.
- 0.2.8** Länge, Stoffe und Einbringverfahren der Ringraumverfüllung außerhalb der Filterstrecken einschließlich der Dichtungsstrecken.
- 0.2.9** Eigenschaften der Dichtstoffe:  
bei Schüttgütern insbesondere Sink-, Quell- und physikalische Eigenschaften, Form und Größe, bei Suspensionen insbesondere Anforderungen an Quell- und physikalische Eigenschaften, Mindestdichte, w/z-Wert, Zementart und Zementgüte sowie Abbindewärme.
- 0.2.10** Abdichten von Bohrlochabschnitten gegen wasserführende Schichten.
- 0.2.11** Vorgesehene Messvorrichtungen.
- 0.2.12** Dauer und Staffelung der Förderleistung und der Förderhöhe beim Leistungspumpen.
- 0.2.13** Art und Umfang der Entwicklung und Entsandung bei Brunnen und Grundwassermessstellen.
- 0.2.14** Zulässiger Restsandgehalt.
- 0.2.15** Anzahl und Art der geforderten Proben, z. B. Wasserproben, Rückstellproben.
- 0.2.16** Anzahl und Art der geforderten geophysikalischen und sonstigen Untersuchungen.

Nur wenn diese Angaben im Ausschreibungstext, soweit im Einzelfall erforderlich, erfolgen – und dazu noch die grundsätzlich erforderliche Kampfmittelfreiheitsbestätigung nach den Bestimmungen des jeweiligen Bundeslandes gem. ATV DIN 18299, Abschnitt 0.1.17, da mit jeder Brunnenbohrung sich die Gefahr eines Kampfmittelfundes ergeben kann – liegt eine rechtlich richtige und keiner weiteren Auslegung bedürftige Ausschreibung von Bohr- und Ausbauarbeiten im Zusammenhang mit Brunnenbauarbeiten vor!

## 2 Abwicklung von Bohr- und Ausbauarbeiten

Das Fehlschlagen von Bohr- und Ausbauarbeiten zählt zum Baualltag – und entsprechend häufig werden Gerichtsverfahren zu Fragen nach der Verantwortung und eine Mängelhaftung gestellt. Es ist deshalb notwendig, aus dieser Praxiserfahrung heraus die rechtliche Beurteilung nachzuvollziehen. Dies geschieht anhand eines Falles aus der Praxis

### 2.1 Fall aus der Praxis

Ein AN wurde vom AG mit der Herstellung eines Brunnens für ein Bauvorhaben beauftragt. Nachdem der Brunnen hergestellt war, ergab die Beprobung, dass statt einer Ergiebigkeit von rund 1000 m<sup>3</sup> / h nur rund 36 m<sup>3</sup> / h gefördert werden konnten.

Der AG verweigerte deshalb die Abnahme. In der Folgezeit – nach Versuchen zur Ertüchtigung des Brunnens und umfangreichem Schriftverkehr – kündigte der AG und lies neben dem nicht ergiebigen Brunnen durch ein anderes Unternehmen einen funktionstauglichen Brunnen herstellen.

Dann machte der AG gegenüber dem AN eine Forderung in Höhe von rund 780 TEURO für die Herstellung des Ersatz-Brunnens geltend und stellte gleichzeitig Schadensersatzforderungen in Höhe von mehr als 6 Mio € in den Raum.

Schließlich reichte die AG Klage gegen den AN auf Zahlung ein.

### 2.2 Rechtliche Lösung

Jede richtige rechtliche Würdigung eines baurechtlichen Sachverhalts setzt zunächst das technische Verständnis der streitgegenständlichen Bauleistungen, die Kenntnis der für diese Bauleistungen einschlägigen Regelungen nach Vertrag (einschl. VOB) und Gesetz und den Nachvollzug des tatsächlichen Geschehensablaufes voraus. Dies gilt insbesondere für Bauleistungen, die im Zusammenhang mit dem Baugrund stehen und nur durch eine Interaktion zwischen den Bauleistungen und den vor Ort anstehenden Boden- und Wasserverhältnissen zum Erfolg, der mit den Bauleistungen bewirkt werden soll, führen kann. Ein typisches Beispiel dafür sind – wie hier – Brunnen, die zu ihrem Funktionieren als *conditio sine qua non* spezielle Boden- und Wasserverhältnisse bedürfen. Es muss deshalb die Brunnenbau-Technik verstanden und müssen rechtliche Spezialregelungen ganz allgemein näher dargestellt werden, soweit sie für das rechtliche Verständnis maßgebend sein können.

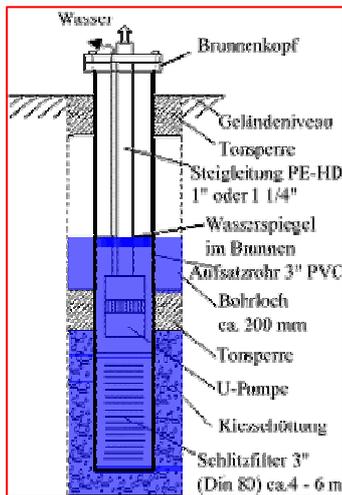
#### 2.2.1 Brunnenbau und rechtliche Vorgaben

Der Bau von Brunnen zählt seit Menschengedenken zum notwendigen Können der Menschen, denn ohne Brunnen gibt es in vielen Gebieten der Erde kein Was-



ser und damit kein Leben. Dieser Allgemeinsatz muss vorangestellt werden, um zu verdeutlichen, dass Brunnenbau keine „Sonderwissenschaft“, sondern eine alltägliche Bauweise darstellt.

Beispiel eines Brunnens:



Aus dieser schematischen Darstellung ergibt sich, dass für die Herstellung eines Brunnens und das Fördern von Grundwasser zwingende Voraussetzungen sind:

- Ausgebildete Brunnenbauer (= Menschen)
- die mit Hilfe von Brunnenbohrgeräten (= Maschinen)
- ein Loch bis zu einer bestimmten Tiefe herstellen (= Methode),
- in dem dann mit Hilfe von speziellen Filter-Rohren, Filterkies und Pumpen (=Material) das in das Filterrohr einströmende Grundwasser gesammelt und nach oben in den Vorschacht gepumpt werden kann –
- sofern in dem vorgegebenen Baugrund (= Medium) die Voraussetzungen für den entsprechend notwendigen Wasserzustrom vorhanden sind.

Weiter steht aus der Erfahrung in der Praxis fest, dass sämtliche Komponenten zur Herstellung eines Brunnens überprüfbar sind, insb. aber, dass die Bohrung, Einführung und zentrische Einstellung der Rohre, Auffüllung mit Filterkies sowie die weiteren Arbeiten zur Fertigstellung keine besonderen bautechnischen Schwierigkeiten mit sich bringen können – ausgenommen Probleme beim Abteufen der Brunnenbohrung und beim Ziehen der Bohrröhre. Insoweit enthält jedoch die ATV DIN 18301 VOB/C entsprechende Regelungen, so dass insoweit kein Streit entstehen dürfte.

Das einzige, bei jedem Brunnenbau vorhandene tatsächliche – nicht: technische (!) - Problem ist deshalb, ob sich im Brunneneinzugsbereich genügend und dauerhaft Grundwasser befindet, um die erwartete Ergiebigkeit

der Brunnenschüttung zu erreichen und ob der Baugrund im Brunneneinzugsbereich durchlässig ist, also das Wasser tatsächlich strömen lässt und nicht der Filterbereich z.B. durch Feinsande so verlegt wird, dass ein Zustrom (nahezu) unterbunden wird bzw. lokale Barrieren durch z. B. wasserundurchlässige Bodenschichten bestehen.

Dementsprechend gaben die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV) der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB Teil C) zu dieser Problematik im Rahmen der Spezial-DIN-Norm für früher noch mit „Brunnenbauarbeiten“ überschriebenen ATV DIN 18302 folgende Regelung<sup>1</sup> an erster Stelle zur „Ausführung“ vor:

DIN 18302 (Brunnenbauarbeiten), Abschnitt 3.1.1: „Der Auftragnehmer hat nicht einzustehen für eine bestimmte Ergiebigkeit der Brunnen, .....; unberührt bleiben seine Verpflichtungen nach § 4 Nr.3 VOB/B und seine Gewähr für die vertragsgemäße Ausführung der Brunnen.“

Diese Regelung wurde, da eine Selbstverständlichkeit und als solche im Gesetz, § 645 BGB, sowie der VOB Teil B, § 13 Abs.3, geregelt, ab der Ausgabe 2006 aus der ATV DIN 18302 entfernt.

Denn: Der Baugrund und die darin befindlichen Wasserverhältnisse werden einem, vom Auftraggeber bereitgestellten, „Baustoff“ gleichgesetzt. Erweist sich dieser als für die Herstellung, Sanierung oder Erweiterung eines Brunnens als nicht geeignet, insb. aber hinsichtlich der Ergiebigkeit – auch mit der Zeit erst sich einstellend – als nicht den Erwartungen entsprechend, dann geht dieses Risiko als „Baustoff-Mangel“, den der Auftraggeber als „Vorgebender des Brunnenbestandteils Baugrund und Grundwasser“ zu verantworten (auch ohne Verschulden!) hat, zu Lasten des Auftraggebers. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Ausführung der Bohrung und der Ausbau des Brunnens für sich betrachtet den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht und auch keine Bedenkenanmeldung notwendig war. Eine solche muss nur bei nachvollziehbaren Anhaltspunkten, nicht aber „ins Blaue hinein“ gem. § 4 Abs.3 VOB/B erfolgen. Dazu hat das LG Osnabrück als Berufungsinstanz klargestellt, dass gerade beim Brunnenbau der Auftraggeber den „Baustoff Baugrund samt Grundwasser“ vorgibt, so dass die Verantwortung für das Funktionieren dieser Baukomponenten beim Auftraggeber liegt<sup>2</sup>.

Generell nachzuvollziehen haben die Vertragsparteien auch – und in der Baupraxis besteht hier häufig ein Wissensdefizit (!) - , dass beim VOB-Vertrag nach einem wichtigen Urteil des BGH vom 26. Juli 2006 gilt<sup>3</sup>:

<sup>1</sup> Seit der VOB-Ausgabe 2006 lautet die Bezeichnung der DIN 18302 „Ausbau von Bohrungen“;

<sup>2</sup> Urteil vom 13.10.2006, Az: 12 S 779/04 = IBR 2007,244;

<sup>3</sup> U.v.27.7.2006,Az:VII 202/04=BauR 2006, 2040; NZBau 2006, 777;



*Für die Abgrenzung, welche Leistungen von der vertraglich vereinbarten Vergütung erfasst sind und welche Leistungen zusätzlich zu vergüten sind, kommt es auf den Inhalt der Leistungsbeschreibung an. Diese ist im Zusammenhang des gesamten Vertragswerks auszulegen. Haben die Parteien die Geltung der VOB/B vereinbart, gehören hierzu auch die Allgemeinen Technischen Bestimmungen für Bauleistungen, VOB/C.*

Damit sind auch alle technischen Regelungen gemäß Abschnitt 2 der ATV DIN 18302 vom Vertrag umfasst. Wird demnach die erwartete Ergiebigkeit nicht erreicht, so ist zu prüfen:

Der AN wird von seiner Erfolgsverpflichtung, also der Mängelhaftung nach §§ 4 Abs.7 sowie 13 Abs.1 VOB/B, frei – d.h., er hat dafür nicht „einzustehen“, wenn er

- „seine Verpflichtungen nach § 4 Abs.3 VOB/B“ erfüllt hat
- und
- die Ausführung des Brunnens „vertragsgemäß“ war.

Dies bedeutet:

Der AN musste auf Bedenken hinweisen, wenn er aufgrund der Vorgaben zum Baugrund im Bauvertrag und/oder aufgrund allgemein bekannter geologisch-hydrologischer Besonderheiten in dem fraglichen Brunnenbaugebiet und/oder aufgrund eigener Erkenntnisse Bedenken „gegen die vorgesehene Bauausführung“ und/oder den vom AG „gelieferten Stoff“ (= Baugrund einschl. des darin eingeschlossenen bzw. zirkulierenden Grundwassers) gehabt hatte oder solche Bedenken hätte haben müssen. Denn § 4 Abs.3 VOB/B lautet:

*Hat der Auftragnehmer Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung (auch wegen der Sicherung gegen Unfallgefahren), gegen die Güte der vom Auftraggeber gelieferten Stoffe oder Bauteile oder gegen die Leistungen anderer Unternehmer, so hat er sie dem Auftraggeber unverzüglich - möglichst schon vor Beginn der Arbeiten - schriftlich mitzuteilen; der Auftraggeber bleibt jedoch für seine Angaben, Anordnungen oder Lieferungen verantwortlich.*

Dazu ist festzustellen:

Brunnenbohrungen einschließlich des Ausbaues von solchen Bohrungen sind seit Jahrhunderten bekannt und erprobt. Bedenken insoweit sind deshalb nur in Sonderfällen angezeigt.

Auch Bedenken gegen den vom AG „gelieferten“ Stoff, nämlich den Baugrund, dessen Konsistenz und Bodensowie Wasserverhältnisse maßgeblich für das Funktionieren jeden Brunnens auch im Hinblick auf die Ergiebigkeit ist, können von Bedeutung sein. Denn gem. § 13 Abs.3 VOB/B wird der AN von der Mängelhaftung frei – und dies gilt auch schon analog im Rahmen einer

Mangelhaftigkeit vor Abnahme gem. § 4 Abs.7 VOB/B wenn er notwendige Bedenken rechtzeitig angemeldet hat. Danach gilt: *Ist ein Mangel zurückzuführen auf die Leistungsbeschreibung oder auf Anordnungen des Auftraggebers, auf die von diesem gelieferten oder vorgeschriebenen Stoffe oder Bauteile oder die Beschaffenheit der Vorleistung eines anderen Unternehmers, haftet der Auftragnehmer, es sei denn, er hat die ihm nach § 4 Nr. 3 obliegende Mitteilung gemacht.*

Die Prüfung, ob sich Bedenken ergeben – und bejahendenfalls die schriftliche und unverzügliche Anmeldung unmittelbar beim AG – zählt deshalb zu den wichtigsten Obliegenheiten des AN, auch im eigenen Interesse!

### 2.2.2 Fall-Lösung

Ob die Ausführung des Brunnens „vertragsgemäß“ war, mithin den vereinbarten Erfolg hätte erwarten lassen, wenn auch die Boden- und Wasserverhältnisse geeignet gewesen wären, eine Förderleistung von über 1000 m<sup>3</sup> / h zu ermöglichen, ist eine Frage, die letztlich ein Sachverständiger zu klären hat. Dabei wird im Rahmen der sog. „5 – M – Methode“<sup>4</sup> zu untersuchen sein, ob

- fachkundige Brunnenbauer (= M enschen)
- mit entsprechenden M aschinen und Geräten
- sowie geeigneten M aterialien und
- der richtigen M ethode

den Brunnen erstellt hatten.

Dies lässt sich anhand der Protokolle zur Herstellung des Brunnens sowie sonstiger Unterlagen ohne Weiteres überprüfen – wobei die Erfahrung aus einer Vielzahl derartiger Fälle zeigt, dass gerade beim Brunnenbau mit den standardisierten Bauabläufen und den genormten Materialien nur sehr selten „Ausführungsfehler“ vorkommen. Vereinfacht ausgedrückt: Ein Loch zu bohren – bis auf eine bestimmte Tiefe – und in dieses Filterrohre, Pumpen etc. einzubauen sowie Filterkies einzufüllen verlangt zwar handwerkliches Können, beinhaltet jedoch praktisch keine Baurisiken (von Bohrhindernissen oder Problemen beim Ziehen der Bohrrohre abgesehen). Was alleine als Risiko immer vorhanden ist – und stets auf Dauer bleibt (!) – ist die „Ergiebigkeit“ des Brunnens, weil hier letztlich ein „Naturbeitrag“ zum Gesamtwerk erforderlich ist: Ausreichendes Grundwasser, richtige Strömungsrichtung und – geschwindigkeit, mit dem, den Brunnenbereich umgebenden Baugrund korrespondierende Wasserqualität und schließlich auch kompatible Baugrundverhältnisse, so dass sich die Fließwege des Wassers nicht zusetzen oder verstopfen lassen.

Geschieht das dennoch, so greift die ausdrückliche Mängelfreistellung des § 13 Abs.3 VOB/B und die gesetzliche Vergütungspflicht gem. § 645 BGB.

<sup>4</sup> Näher dazu u.a. *Schotke/Wirth/Fischer*, DIN 18312 in: Beck'scher VOB-Kommentar, Teil C;



Denn der Baugrund, in und mit dem der Brunnen zu erstellen ist, der aber auch aus dem darin befindlichen Wasser besteht (vgl. DIN 4020, Definition Baugrund „Boden bzw. Fels einschließlich aller Inhaltsstoffe (z. B. Grundwasser und Kontaminationen), in und auf dem Bauwerke gegründet bzw. eingebet werden sollen bzw. sind, oder der durch Baumaßnahmen beeinflusst wird.“ ist „Stoff“, der vom AG „geliefert“ (nämlich: beige-stellt) oder durch die Vorgabe des Brunnenstandortes „vorgeschrieben“ wird<sup>5</sup>. Denn ohne diesen Baugrund samt Grundwasserinhalt kann niemals ein funktionsfähiger Brunnen errichtet werden, mithin ist die Mitwirkung des AG – in Form der Bereitstellung von „Baugrund mit Grundwasser und Durchlässigkeit“ denknotwendig erforderlich! Diese – u.a. vom OLG München nachvollzogene - weite Auslegung des Begriffes „Baugrund“ als „Baustoff“ wird auch durch eine technische Vorgabe bestätigt: Im *Eurocode 7* (ENV 1997 –1, Abschnitt 1.5.2) ist Baugrund wie folgt definiert: „*Baugrund: Erde, Steine und Füllung, die vor Beginn der Baumaßnahme vor Ort vorhanden sind.*“

Die „Füllung“ ist dabei der Überbegriff. Er umfasst alles, was „im Grundstück unter der Oberfläche verborgen“ ist: Böden aller Art, Fels aber auch Findlinge, Torflinsen, Grundwasser, Auffüllungen, Holzkohlereibsel, Kampfmittel- und sonstige Kontaminationen, alte Brunnen, Stahlträger etc.

Und mit dieser „Füllung“ oder „dem vom Auftraggeber bereitgestellten Baugrund(stück)“ müssen die Baubeteiligten letztlich auch „arbeiten“: Der Architekt muss wie der Tragwerksplaner seine Überlegungen – im Sinne einer wirtschaftlichen, aber auch sicheren Planung – auf die Baugrund-Problematik ebenso richten wie der Bauunternehmer ( ev. auf Kosten des Bauherrn bei *Besonderen Leistungen*) mit den „Überraschungen“ oder Inhomogenitäten aus dem Baugrund heraus fertig werden muss, sofern er darauf Einfluss nehmen kann. Deshalb besteht die oberste Verpflichtung eines jeden Auftraggebers – im wohl verstandenen eigenen Interesse – darin, „seinen“ Baustoff so umfassend und richtig untersuchen und beschreiben zu lassen, wie nur irgend möglich. Dazu dient die Einhaltung der DIN EN 1997-2 mit Ergänzung DIN 4020 durch den Sachverständigen für Geotechnik (Baugrundgutachter). Denn nur so können – letztlich niemals auszuschließende – Überraschungen im Zusammenhang mit dem Baustoff Baugrund auf das sog. Restrisiko beschränkt werden. Oder anders ausgedrückt: Ein ausführliches, die Regeln mit sämtlichen Komplementärnormen beachtendes Baugrundgutachten ist der wesentliche Garant dafür, dass eine richtige Planung und eine wirtschaftliche Ausführung vorgenommen werden kann, auch wenn bei noch so perfekter

Baugrunduntersuchung niemals sämtliche Inhomogenitäten und Besonderheiten des zur Brunnenerrichtung einbezogenen Baugrunds aufgedeckt werden können.

### Zwischen-Ergebnis:

Der Baugrund, ob gelöst oder in situ, ist „Baustoff“ = „Werkstoff“ = „Stoff“ im Sinne des Rechts. Dazu zählen auch die Grundwasserverhältnisse.

Der Baugrund wird grundsätzlich vom Grundstückseigentümer bzw. Bauherrn bzw. Auftraggeber „geliefert“, „vorgegeben“ oder „beigestellt“ bzw. „vorgeschrieben“. Es besteht auch immer ein Baugrund-Risiko. Dieses ergibt sich beim Brunnenbau schon deshalb, weil auch der beste Gutachter nicht in der Lage ist, exakt die Ergebigkeit eines Brunnens an einer bestimmten Stelle – noch dazu auf Dauer - vorherzusagen.

Daraus folgt hinsichtlich der möglichen Erkenntnisse von Bieter und späteren Auftragnehmern zur Frage der Baugrundeignung zum Brunnenbau:

Auch der noch so fachkundige Bieter kann nicht mehr oder anderes erkennen, als der Baugrundgutachter, dessen alleinige Aufgabe gerade die Untersuchung der Baugrundverhältnisse – in den von der Erdgeschichte sowie den naturwissenschaftlichen Grenzen bestimmten Wahrscheinlichkeitsangaben – ist.

Dementsprechend gibt es eine Vielzahl von obergerichtlichen Urteilen, die entsprechend dieser technischen Erkenntnis der letztlich nicht möglichen genauen Kenntnis des Aufbaus und der Eigenschaften des Baugrunds dem Auftragnehmer das Recht auf Vertrauen in die Baugrundangaben zusprechen. So hat das OLG Stuttgart der sog. „Angstklausel“ in Baugrundgutachten (z.B. „ Es ist nicht völlig auszuschließen, dass bei der Durchführung der Baumaßnahmen gewisse Abweichungen vom dargestellten Schichtenaufbau auftreten können.“) eine Abfuhr erteilt: Ein Baugrundgutachter darf unzureichende Untersuchungen nicht mit Hinweis auf die ohnehin in Fachkreisen bekannte Möglichkeit abweichend von den Untersuchungsergebnissen anzutreffender Baugrundverhältnisse „gesundbeten“. Und das OLG Hamm entschied klar<sup>6</sup>, dass ein Bauunternehmer Erschwernisse nicht einzukalkulieren hatte, wenn in der Ausschreibung eindeutige Bodenklassen vorgegeben werden. Wiederum das OLG Stuttgart<sup>7</sup> befand im Hinblick auf das Antreffen von Kontaminationen, dass die insoweit zusätzlich aufzuwendenden Kosten vom Auftraggeber zu tragen sind, wenn im LV oder Baugrundgutachten entgegen den Vorgaben der VOB Teil C, DIN 18299, Abschnitt 3.3, keine Beschreibung dieser Schadstoffe erfolgt ist.

Dass jeder Bieter und auch jeder spätere Auftragnehmer sowohl aus einer vorvertraglichen Fürsorgepflicht nach §§ 241 Abs. 2; 311 Abs.2, Nr.1 BGB bzw. gem. §§ 3 Abs.3; 4 Abs.3 VOB/B bei der Unterlassung gebotener

<sup>5</sup> Englert, Klaus: Der Baugrund als Baustoff: Rechtsfolgen für die Baupraxis, in Vorträge der Baugrundtagung 2006 in Bremen, Tagungsband der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2006, Seite 211ff.; im Beiblatt 1 zur DIN 4020 (Ausgabe 2003) findet sich „Zu 3.1“ die Vorgabe „.....dass der Baugrund einschließlich seiner Inhaltsstoffe ein inhomogener, von der Natur vorgegebener Werkstoff ist...“;

<sup>6</sup> OLG Hamm, Urteil vom 17.02.1993, Az.: 26 U 40/92 = NJW – RR 1994, 406 = IBR 1994,95.

<sup>7</sup> Urteil vom 30.01.2003, Az.: 2 U 49/00; (BGH Beschluss vom 28.08.2003 – VII ZR 59/03: Nichtzulassungsbeschwerde zurückgewiesen).



Bedenkenanmeldung nach § 280 Abs.1 BGB zum Schadensersatz verpflichtet werden kann, wenn „ins Auge springende Fehler und Lücken“ im Rahmen der Ausschreibung – etwa beim Fehlen jeglichen Hinweises auf hydrologische Gegebenheiten (vgl. DIN 18299, Abschnitt 0.1.10 der VOB/C) – einen Hinweis oder „gehörige Nachfrage“ aufdrängen, oder der Auftragnehmer sog. „Boden-Alarmsignale“ während der Bauausführung nicht nur beachten, sondern auch über eine Bedenkenanmeldung dem Bauherrn zur Kenntnis bringen muss<sup>8</sup>, unterstreicht nur den Grundsatz:

Der Auftraggeber trägt das Risiko, dass die Bodenverhältnisse korrekt beschrieben werden<sup>9</sup> – der Auftragnehmer hingegen hat die Verpflichtung, die Beschreibung im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren auf Plausibilität zu überprüfen<sup>10</sup> und die Übereinstimmung von „Baugrund – SOLL“ und „Baugrund – IST“ ständig zu überwachen.

Genau das ist auch die Schnittstelle, die vom Gesetz – in § 645 BGB – und von der VOB – in §§ 4 Abs. 3 i.V.m. 4 Abs.7 bzw. 13 Abs.3 VOB/B vorgegeben wird: Verantwortungszuweisung nennt man diese nachlesbaren Prinzipien des Rechts, die jedoch deshalb häufig nicht oder missverstanden werden, weil die wesentliche Grunderkenntnis fehlt: Baugrund ist Baustoff !

Dass § 13 Abs.3 VOB/B auch schon für Mängel, die vor Abnahme erkannt werden und grundsätzlich nach § 4 Abs.7 VOB/B „auf Kosten des Auftragnehmers“ zu beseitigen wären, in entsprechender Anwendung gilt, ist hM in Rechtsprechung und Lehre und bedarf deshalb hier keiner näheren Vertiefung, da unbestritten<sup>11</sup>. Denn es wäre letztlich mit Treu und Glauben nicht zu vereinbaren, den Auftragnehmer bis zur Abnahme mit Risiken aus der Sphäre des Auftraggebers zu belasten, die bei Verwirklichung nach der Abnahme ohnedies der Auftraggeber bei Beachtung des § 4 Abs.3 VOB/B zu tragen hätte, wie § 13 Abs.3 VOB/B ausdrücklich vorgibt.

Es ergibt sich damit eine **Zusammenfassung** wie folgt: Brunnenbau zählt zu den standardisierten Bauleistungen, die seit Jahrhunderten ausgeführt werden und im Regelfall dann zum Erfolg führen, wenn die Baugrund-, insb. die Grundwasser- und Bodenverhältnisse den notwendigen Zustrom und – jedenfalls über einen län-

geren Zeitraum – kein Verstopfen der Brunnenbaumaterialien bewirken.

Wird die erwartete Fördermenge (=Ergiebigkeit) eines Brunnens nicht erreicht, so kann der Ausführende von der Erfolgshaftung gem. §§ 13 Abs.3; 4 Abs.3; 4 Abs.7 analog VOB/B frei werden, wenn er Bedenken gegen den Baugrund angemeldet hatte oder sich ihm keine Bedenken aufdrängen mussten. Zudem darf die Nichterreichung des Bau-Erfolges nicht ursächlich damit zusammen hängen, dass der Ausführende handwerkliche, von ihm zu vertretende Fehler gemacht hat.

### 3 Brunnenbau-Urteile der Gerichte

Brunnenbau-Streitfälle beschäftigen immer wieder die Gerichte. Wesentliche Aussagen zur Problematik haben u. a. nachstehende Gerichte getroffen:

*LG Osnabrück, Urteil vom 13.10.2006 - 12 S 779/04=IBR 2007, 244, Zusammenfassung:*

In den Fällen, in denen der Besteller einen Stoff zur Herstellung eines Werks zu liefern hat, ist dieser mit Gewährleistungsansprüchen ausgeschlossen, wenn der Mangel allein auf Eigenschaften des Stoffs beruht und den Unternehmer, der seine Hinweispflichten beachtet hat, ansonsten kein Verschulden trifft. Dementsprechend ist ein Brunnenbauer nicht schadenersatzpflichtig, wenn der von ihm gebaute Brunnen nach wenigen Jahren austrocknet und das Trockenfallen des Brunnens Folge der Bodenbeschaffenheit ist. Die Möglichkeit einer "Verockerung" muss der Brunnenbauer nicht prüfen, da diese Möglichkeit nur durch umfangreiche Bodenproben im Rahmen einer besonderen Beauftragung ausgeschlossen werden könnte; entsprechend besteht auch keine Hinweispflicht auf eine mögliche Verockerung.

*OLG Saarbrücken, Urteil vom 22.02.2011 - 4 U 155/09 = IBR 2011, 416, Zusammenfassung:*

Ein hydrogeologisches Bodengutachten, das der Besteller in Auftrag gegeben hat, um die Machbarkeit einer Geothermieanlage zu ergründen, leidet unter einem Werkmangel, wenn der Gutachter durch eine zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse Verockerungserscheinungen verharmlost und die unzureichende Aussagekraft der gutachterlichen Untersuchungsbefunde in Bezug auf den vom Besteller verfolgten Verwendungszweck nicht offen legt.

*LG Frankfurt/Oder, Urteil vom 06.07.2010 - 19 S 11/10 = IBR 2011,8, Zusammenfassung:*

Wer den Bau eines Brunnens beauftragt, ist grundsätzlich zum Ersatz der Aufwendungen verpflichtet, die dem Auftragnehmer durch die Erdbohrung und die Abdichtung einer artesischen Quelle entstanden sind.

<sup>8</sup> OLG München, Urteil vom 28.10.1997, Az.: 28 U 158/94 ; (BGH Beschluss vom 26.08.1999 – VII ZR 167/98, Revision nicht angenommen) = IBR 1999, 522; vgl. auch OLG Schleswig, Urteil vom 05.04.1990 , Az.: 16 U 202/88 = IBR 1994, 141.

<sup>9</sup> OLG Koblenz, Urteil vom 27.01.1999, Az.: 1 U 420/96; (BGH, Beschluss vom 26.04.2001 – VII ZR 59/99 Revision nicht angenommen) = NZBau 2001, 633 = BauR 2001, 1442 = NJW – RR 2001, 1671 = IBR 2001, 658.

<sup>10</sup> Zur Prüfungs- und Hinweispflicht des Bieters bzw. Auftragnehmers ausführlich: *Englert/Grauvogl/Maurer*, Handbuch des Baugrund- und Tiefbaurechts, 4. Aufl., 2011, 3. Kapitel.

<sup>11</sup> vgl. nur *Ingenstau/Korbion*, § 4 Abs.7, Rdn. 13; *Englert/Grauvogl/Maurer*, Handbuch Tiefbaurecht, Rdn.942; von *Craushaar*, Risikotragung bei mangelhafter Mitwirkung des Bauherrn, BauR 1987, 14 (17);



#### 4 Fazit

Die Vergabe und die Abwicklung von Bohr- und Ausbaurbeiten für die Herstellung, Erweiterung, Änderung oder Sanierung von Brunnen aller Art gem. ATV DIN 18302, Abschnitt 1, der VOB/C setzt die strikte Beachtung der Vergaberegeln der VOB Teil A voraus. Insbesondere dürfen die Vorgaben der VOB/B oder C von der ausschreibenden Stelle nicht geändert, sondern allenfalls ergänzt werden, wie § 8 VOB/A bzw. § 8 EG VOB/A (für europaweite Ausschreibungen) ausdrücklich vorschreiben! Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die Einholung eines umfassenden Baugrundgutachtens unter Einbezug aller hydrologischen und hydrogeologischen Feststellungen zu legen. Denn nach der März-13-Entscheidung des BGH vom 21.3.2013 muss der öffentliche Auftraggeber alle notwendigen Angaben in die Ausschreibung aufnehmen. Und dazu zählen insbesondere an vorderster Stelle die Angaben zum Baugrund und zur Hydrologie, aber auch zur Kampfmittelbelastung gem. ATV DIN 18299, Abschnitt 0.1.9, 0.1.10 und 0.1.17. Im Zuge der Ausführung der in der Praxis immer noch als Brunnenbauarbeiten bezeichneten Bauleistungen schließlich hat der Auftragnehmer – wie auch schon bei der Prüfung der Angebotsunterlagen – stets die Frage der Notwendigkeit einer Bedenkenanmeldung zu berücksichtigen. Und im Ernstfall unverzüglich, schriftlich und unmittelbar gegenüber dem Auftraggeber diese dann zu veranlassen. Dann hat der Auftragnehmer nicht nur einen Vergütungsanspruch für die erbrachten Leistungen – trotz Nichterreichen der notwendigen Ergiebigkeit – gem. § 645 BGB, sondern er wird auch von der Mängelhaftung befreit. Denn das vereinbarte Bau-SOLL lautet beim Brunnen(aus)bau klar und eindeutig: Herstellen eines Brunnens mit einer Ergiebigkeit von ...! Wird diese Ergiebigkeit nicht erreicht bzw. verringert sich diese während der Mängelhaftungszeit, dann greift die prinzipielle Erfolgshaftung nicht, wenn der Mangel auf den Baugrund mitsamt den Grundwasser- verhältnissen zusammenhängt. Diese Feststellung wird durch die 5 – M – Methode für jeden Sachverständigen einfach gemacht. Denn es stellen sich nur die Fragen:

Hat der Brunnenbauer nach den Regeln der Technik die Bohrung abgeteuft, den Brunnen hergestellt und die entsprechenden weiteren Leistungen, die zur Funktionsfähigkeit eines Brunnens notwendig sind, ordentlich erbracht?

#### Literatur

ENGLERT / GRAUVOGL / MAURER: HANDBUCH DES BAUGRUND- UND TIEFBAURECHTS. WERNER-VERLAG, 4. AUFLAGE 2011.

ENGLERT / KATZENBACH / MOTZKE (HRSG.) : GROBKOMMENTAR ZUR VOB (BECK'SCHER VERGABE- UND VOB-KOMMENTAR), BAND 3: VOB TEIL C, VERLAG C.H. BECK / BEUTHVERLAG, 3. AUFLAGE MÜNCHEN-BERLIN, 2014

ENGLERT / MOTZKE / WIRTH (HRSG.): BGB-BAUKOMMENTAR, WERNER VERLAG, 2. AUFL. 2011.

BOLEY/ENGLERT/FUCHS/SCHALK(HRSG.):BAURECHTS-TASCHEN-BUCH, VERLAG ERNST & SOHN, BERLIN, 1. AUFL. 2012

Schlusswort: Beim Ausbau von Bohrungen gilt insb. die Feststellung des Dichters und Denkers, aber auch Naturwissenschaftlers *Johann Wolfgang von Goethe*:

*In` s Inn`re der Natur,  
blickt kein erschaff`ner Geist!  
Glückselig, wem sie nur  
die äuß`re Schale weist!*

## Planung von Baugrunderkundungen

Dipl. Geol. Anne Heeling  
Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstr. 157, 22559 Hamburg  
Telefon: (040) 81908-367, E-Mail: anne.heeling@baw.de

### Zusammenfassung

Anhand eines fiktiven Beispiels – der Ausbau eines Kanals, bestehend aus einer Vertiefung, einer Verbreiterung sowie der Verlängerung einer existierenden Liegestelle – wird die Planung einer Baugrunderkundung auf Grundlage des EC7-2 und der DIN 4020 bzw. der EAU erläutert: Zunächst wird die Aufgabenstellung spezifiziert und daraus die generellen Anforderungen an die Baugrunderkundung abgeleitet. Eine Sichtung vorhandener Altunterlagen führt zu einem ersten Baugrundmodell. Auf der Grundlage dieser Vorarbeiten kann dann das eigentliche Erkundungsprogramm bzgl. Anzahl und Lage der Aufschlüsse, Methodik und Aufschlusstiefe festgelegt werden.

Grundlage für die Planung von Baugrunduntersuchungen ist die DIN EN 1997-2 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ (EC7-2) von Oktober 2010 in Kombination mit der DIN EN 1997-1 „Teil 1: Allgemeine Regeln“, (September 2009), dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-2/NA und der DIN 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2“ (Dezember 2010). Im Beuth-Verlag ist ein DIN-autorisiertes Handbuch erschienen, das die o.g. Normen zusammenfasst.

### 1 Das Projekt: Ausbau eines Kanals

Die Planung einer Baugrunduntersuchung wird am Beispiel eines Kanalausbaus erläutert. Der Kanal sei ungedichtet, ein Teil des Kanalufers ist mit einer unverankerten Spundwand als Liegestelle ausgebaut.

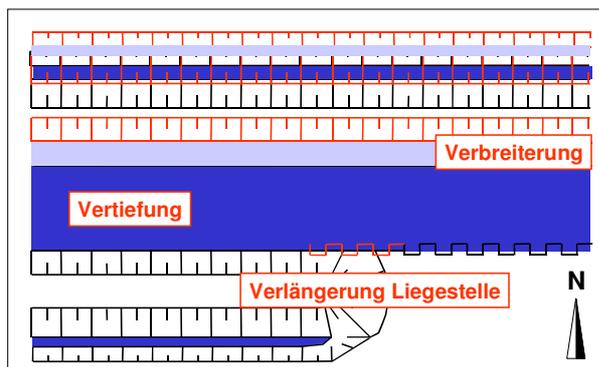


Bild 1: Projekt Kanalausbau. Draufsicht

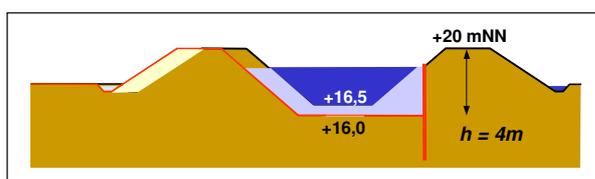


Bild 2: Projekt Kanalausbau. Querschnitt

Folgende Maßnahmen sind geplant (Bilder 1 und 2):

- Der Kanal wird vertieft.
- Durch Rückverlegung des nördlichen Seitendammes wird der Kanal verbreitert.
- Die vorhandene Liegestelle wird verlängert.

### 2 Vorarbeiten

#### 2.1 Notwendigkeit von Baugrunderkundungen

Nach Abs. 2.1.2 des EC7-2 müssen die Baugrunduntersuchungen (d.h. Baugrunderkundung und Laborversuche) eine Beschreibung der Untergrundverhältnisse liefern, die für die vorgesehene Baumaßnahme maßgebend sind, und eine Grundlage für die Festlegung der geotechnischen Kennwerte eröffnen, die für alle Bauzustände maßgebend sind.

Der explizite Bezug auf „die vorgesehene Baumaßnahme“ bedeutet, dass ein Altgutachten, das am gleichen Ort, aber für eine andere Fragestellung oder für einen früheren Planungsstand aufgestellt wurde, für die aktuelle Bauaufgabe möglicherweise nicht ausreicht.

Art und Umfang der Baugrunderkundung sowie die Notwendigkeit der Einschaltung eines Sachverständigen für Geotechnik hängen vor allem von der Komplexität von Bauwerk und Baugrund, d.h. von der geotechnischen Kategorie, ab.

#### 2.2 Geotechnische Kategorien

Der EC7-1, Abs. 2.1.2.1, erlaubt die Einstufung eines Bauwerkes in eine „Geotechnische Kategorie“ (GK) 1 bis 3, und sowohl die DIN 1054 als auch die DIN 4020 fordern für Deutschland eine Einstufung vor Beginn der geotechnischen Untersuchung sowie eine Anpassung mit fortschreitendem Kenntnisstand.



Eine Definition der Geotechnischen Kategorien ist der DIN 1054:2010-12, Abs. A2.1.2, zu entnehmen:

- **GK1:** Baumaßnahmen mit geringem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf Bauwerk und Untergrund; Einschaltung eines Geotechnischen Sachverständigen nicht zwingend erforderlich
- **GK2:** Baumaßnahmen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf das Zusammenwirken von Bauwerk und Baugrund; Einschaltung eines Geotechnischen Sachverständigen erforderlich
- **GK3:** Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf das Zusammenwirken von Bauwerk und Baugrund; Einschaltung eines Geotechnischen Sachverständigen erforderlich; Untersuchungen nach „anspruchsvolleren Vorgaben und Regeln“ als den in den o.g. Normen genannten

In den informativen Anhängen AA der DIN 1054 und der DIN 4020 finden sich in Tabelle AA.1 Merkmale und Beispiele zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien, unterteilt verschiedenen nach den Kriterien (z.B. Baugrund, Grundwasser, Bauwerk).

Das Beispielprojekt wäre in die GK2 einzuordnen.

### 2.3 Abfolge der Baugrunduntersuchungen

Für Baumaßnahmen der GK2- und GK3-Bauwerke sollten die Baugrunduntersuchungen in Etappen durchgeführt werden (EC7-2, s. Abs. 2.2ff):

- *Voruntersuchungen für Lage und Vorentwurf für das Bauwerk (siehe 2.3);*
- *Hauptuntersuchungen (siehe 2.4);*
- *Kontrolluntersuchungen und baubegleitende Messungen (siehe 2.5).*

[Abs. 2.3 (2)] *Eine Voruntersuchung des Baugrunds sollte eine Einschätzung des Baugrunds zu folgenden Punkten liefern, sofern sie von Bedeutung sind:*

- *Boden- und Felsart und ihrer Schichtung;*
- *Grundwasserspiegel oder dem Profil des Porenwasserdruckes;*
- *vorläufige Angaben zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Boden und Fels;*
- ....

Falls die Informationen aus der Voruntersuchung nicht ausreichen, sind im Rahmen der Hauptuntersuchung ergänzende Untersuchungen durchzuführen.

Für Baumaßnahmen der GK1 wird nicht in Vor- und Hauptuntersuchung unterschieden. Hier reichen entspr. DIN 4020, Abs. A2.2.3, folgende Maßnahmen

- *Einholen von Informationen über die allgemeinen Baugrundverhältnisse und die örtlichen Bauerfahrungen der Nachbarschaft;*
- *Erkunden der Bodenarten bzw. Gesteinsarten und ihrer Schichtung;*
- *Abschätzen der Grundwasserverhältnisse vor, während und nach der Bauausführung;*
- *Besichtigen der ausgehobenen Baugrube.*

### 2.4 Spezifizierung der Aufgabenstellung

Der nächste Schritt bei der Planung einer Baugrunderkundung besteht in der Spezifizierung der Aufgabenstellung. Für das Beispielprojekt sieht die Spezifizierung wie folgt aus:

Aus der geplanten **Vertiefung** ergibt sich die Notwendigkeit

- einer Beschreibung des zukünftigen Aushubmaterials an der Kanalsohle zur Planung der Baggerarbeiten, zur Klärung der Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials sowie für Massenermittlungen der verschiedenen Bodenarten.
- Die vorhandene Spundwand und die Dämme müssen nachgerechnet werden.

Aufgrund der **Verbreiterung** der Dammstrecke ist es erforderlich

- das Aushubmaterials an der zukünftigen wasserseitigen Dammböschung zu beschreiben und
- die Grundlagen für eine Standsicherheitsbeurteilung nach dem BAW-Merkblatt *Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen* (MSD) zu liefern. Zu einer Standsicherheitsbeurteilung nach MSD gehören z.B. die Berechnung der lokalen und globalen Standsicherheit, die Beurteilung der Sicherheit gegenüber Materialtransport und gegenüber hydraulischem Grundbruch.

Die **Verlängerung der Liegestelle** erfordert

- eine Bemessung der neuen Spundwand und deren Verankerung.
  - Es sind Angaben über die Rammbarkeit des Baugrundes sowie
  - zur Stahl- und Betonaggressivität des Grundwassers
- zu machen.



## 2.5 Anforderungen an Geotechnischen Bericht und Baugrunderkundung

Nach EC7-2, Abs. 2.1.1, sind Geotechnische Untersuchungen *so zu planen, dass die wesentlichen geotechnischen Informationen und Kennwerte mit Sicherheit in den verschiedenen Projektphasen zur Verfügung stehen.* Für das Beispielprojekt bedeutet dies:

Auf der Grundlage eines in sich stimmigen **Baugrundmodells** muss der Schichtenverlauf in verschiedenen Schnitten ersichtlich sein.

- Grundlage der Standsicherheitsbeurteilung der neuen und der vorhandenen Dämme sind Querschnitte sowie jeweils ein Längsschnitt unter der Dammkrone.
- Ein Längsschnitt in der Kanalachse ermöglicht die Planung der Baggerarbeiten und liefert die Grundlage für Massenabschätzungen.
- Die Nachrechnung der vorhandenen Spundwand setzt einen Längsschnitt im Hinterfüllungsbereich voraus.
- Der Bemessung der geplanten Spundwand ist ein Längsschnitt in der zukünftigen Achse zugrunde zu legen.

Den angetroffenen **Böden** sind für Standsicherheitsberechnungen charakteristische Bodenkennwerte aus Laborversuchen oder Erfahrungen mit vergleichbaren Böden zuzuordnen. Aus der in situ Festigkeit der Böden können z.B. Aussagen über die Rammbarkeit des Baugrundes getroffen werden. Diese Daten gehen zusammen mit den Ergebnissen von Klassifizierungsversuchen in die Benennung bzw. Klassifizierung der Böden nach DIN EN ISO 14688-1 und 14688-2, DIN 18196, DIN 18300 und DIN 18311 ein. Solche Angaben wiederum sind z.B. für die Planung der Aushubarbeiten oder zur Beurteilung der Wiederverwendbarkeit der Böden erforderlich.

Und schließlich sind für die Standsicherheitsbeurteilung der neuen und alten Dämme und Spundwände Aussagen über die Tiefenlage des **Grundwassers** notwendig. Dazu gehören auch Angaben über die räumliche Lage von grundwasserstauenden und -leitenden Schichten bzw. Schichtpaketen. Die Beurteilung der Stahlaggressivität des Grundwassers erfordert die Analyse einer Grundwasserprobe nach DIN 50929. Die Betonaggressivität ist nach DIN 4030 zu untersuchen.

Folgende Informationen müssen deshalb aus den Baugrundaufschlüssen ableitbar sein bzw. folgende Proben gewonnen werden können:

- der Schichtenaufbau
- in situ Festigkeit
- Bodenproben für Laborversuche
- Tiefenlage des Grundwassers
- Grundwasserproben

## 3 Sichtung und Bewertung vorhandener Unterlagen

Vor der Festlegung des Erkundungsprogramms besteht die Aufgabe des Geotechnischen Sachverständigen zunächst darin, vorhandene Unterlage zu sichten.

### 3.1 Allgemeine Unterlagen

Der Sachverständige benötigt folgende Unterlagen möglichst in digitaler Form:

- Lageplan mit Angabe der Lage des Bauwerks (einschließlich aller Varianten)
- Grundrisse und Schnitte mit NHN-Höhen
- voraussichtliche Lasten, dynamische und sonstige Einwirkungen

Für das beschriebene Projekt ist es zudem sinnvoll, dem Sachverständigen folgende Unterlagen – soweit vorhanden – zu übergeben:

- Altgutachten (auch solche von Querungsbauwerken und Anschlussstrecken)
- Informationen über vorhandene Grundwassermessstellen (GK-Koordinaten, NN-Höhen, Schichtenaufbau, GW-Analysen, Ganglinien)
- Kornverteilungen aus Unterhaltungsbaggerungen
- Schadensberichte, Protokolle von Bauwerksinspektionen
- Rammprotokolle der Spundwand, Ergebnisse von Spundwanddickenmessungen
- Luftbilder, Bauwerksfotos
- Karte der im Besitz des Bauherren befindlichen Flächen

... mit anderen Worten: alle das Bauvorhaben betreffenden Unterlagen.

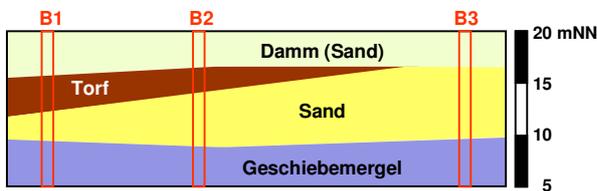
### 3.2 Unterlagen zum Baugrund

Lt. EC7-2, Abs. 2.1.1 sollten vor der Planung des Untersuchungsprogramms *die verfügbaren Informationen und Unterlagen in einer Vorstudie* [ein vorläufiges Baugrundmodell] *bewertet werden.* Solche Informationen können beim Bauherren und/oder in Archiven der öffentlichen Hand (Ämter, Universitäten, Bundesanstalten) vorliegen. Im Internet sind z.B. unter [www.infogeo.de](http://www.infogeo.de) die Produkte der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands abrufbar. Allein im Archiv des BAW-Referates Geotechnik Nord der Dienststelle Hamburg befinden sich über 3000 Gutachten zu norddeutschen Wasserstraßen.



Nach Sichtung der Altaufschlüsse kann ein erstes, vorläufiges Baugrundmodell erstellt werden, das es erlaubt, nicht nur die Anzahl der neuen Aufschlüsse drastisch zu reduzieren, sondern wichtiger: die neuen Aufschlüsse können sinnvoller platziert werden. Die für die Sichtung und Bewertung vorhandener Unterlagen benötigte Zeit sollte deshalb vom Bauherrn bei der Planung einer Baugrunderkundung unbedingt berücksichtigt werden.

Für die Beispiel-Baumaßnahme könnte die Sichtung vorhandener Gutachten ergeben haben, dass im Untersuchungsgebiet bereits drei Bohrungen abgeteuft wurden: Danach sei im untersuchten Streckenabschnitt unterhalb einer sandigen Dammaufschüttung grundsätzlich mit Torf über Sand und Geschiebemergel zu rechnen (Bild 3).



**Bild 3:** Beispiel Kanalausbau: Erstes Baugrundmodell

#### 4 Planung der Baugrunderkundung

Die Planung der Baugrunderkundung erfolgt in Kenntnis

- der spezifizierten Aufgabenstellung,
- der daraus abgeleiteten Anforderungen an das Gutachten und die Baugrunderkundung und
- des vorläufigen Baugrundmodells

Darauf aufbauend sind folgende Festlegungen zu treffen:

- Mit welchen Methoden ist der Baugrund zu erkunden?
- Die Lage und Tiefe der Baugrundaufschlüsse ist festzulegen.

##### 4.1 Lage der Baugrundaufschlüsse

Nach EC7-2, Abs. 2.4.1.3, müssen die Untersuchungspunkte so angeordnet werden, dass z.B.

- der Schichtenaufbau im Planungsbereich beurteilt werden kann,
- bei Gebäuden oder Bauwerken solche Stellen berücksichtigt werden, die im Hinblick auf die Grundrissform, das Bauwerksverhalten und die erwartete Lastverteilung kritisch sind,
- bei Linienbauwerken ein angemessener Abstand von der Achse untersucht wird,
- an Hängen und Geländesprüngen die Stabilität des Hanges beurteilt werden kann,

- keine Gefahr für das Bauwerk, die Baudurchführung oder die Nachbargrundstücke besteht.

Zum **Abstand** der Baugrundaufschlüsse gibt der informative Anhang B.3 des EC7-2 folgende Richtwerte an (für Deutschland ist B.3 entsprechend dem Nationalen Anhang normativ und die angegebenen Untersuchungstiefen sind Mindesttiefen):

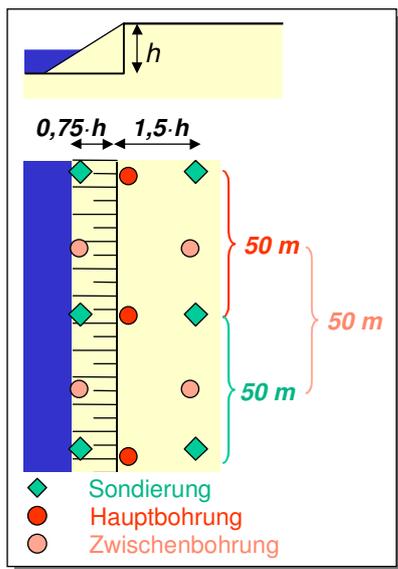
- bei Hoch- und Industriebauten ein Rasterabstand von 15 m bis 40m;
- bei großflächigen Bauwerken ein Rasterabstand von nicht mehr als 60 m;
- bei Linienbauwerken (...) ein Abstand zwischen 20 m und 200 m;
- bei Sonderbauwerken (z.B. Brücken ...) zwei bis sechs Aufschlüsse je Fundament;
- bei Staudämmen und Wehren Abstände zwischen 25 m und 75 m in maßgebenden Schnitten.

Bei vergleichsweise einheitlichen Baugrundverhältnissen, oder, wenn bekannt ist, dass der Baugrund eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit besitzt, darf ein größerer Abstand oder eine geringere Anzahl von Aufschlusspunkten angeordnet werden.

Für das Beispielprojekt können auch die Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen (EAU) bei der Festlegung der Untersuchungspunkte herangezogen werden: Die EAU empfiehlt bei generell bekannten Baugrundverhältnissen folgendes Erkundungsprogramm (E1, Abs. 1.2, s. Bild 4):

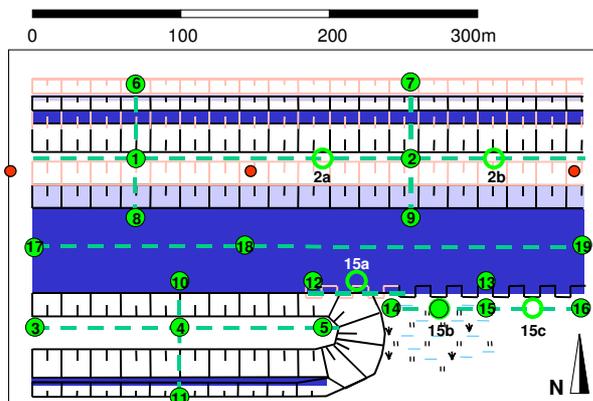
1. Zunächst erfolgt eine sog. „orientierende Erkundung“ durch Druck- oder Rammsondierungen, um so eine erste grobe Beurteilung der auftretenden Bodenarten zu ermöglichen.
2. Anschließend empfiehlt die EAU Hauptbohrungen längs der Uferkante in einem Abstand von 50 m.
3. In Abhängigkeit vom Ergebnis der Hauptbohrungen werden dann ebenfalls im 50 m Abstand, versetzt zu den Hauptbohrungen, Zwischenbohrungen durchgeführt.
4. Schließlich können bei Bedarf weitere Sondierungen durchgeführt werden.

Solch ein umfangreiches Erkundungsprogramm, bei dem insgesamt ein Raster in einem 25m-Abstand fast vollständig erfüllt wird, wird man i.d.R. nur bei sehr komplexen Baumaßnahmen oder Baugrundverhältnissen durchgehend verwirklichen.



**Bild 4:** EAU: Lage von Aufschlussansatzpunkten

Die Ausführungen des EC7-2, der DIN 4020 und der EAU können nur einen Anhaltspunkt für die Wahl der Ansatzpunkte bieten. Bei einem realen Projekt wird man i.d.R. kein gleichmäßiges Raster über das Untersuchungsgebiet legen, sondern die Lage der zu erstellen- den bauwerksrelevanten Längs- und Querprofile berücksichtigen. Für das Beispielprojekt könnte man wie folgt vorgehen (Bild 5):



**Bild 5:** Beispiel Kanalausbau:  
Lage der Aufschlussansatzpunkte

1. Im Gutachten sollen Längs- und Querschnitte erstellt werden (grün gestrichelte Linien in Bild 5). Dazu müssen Baugrundaufschlüsse auf bzw. nahe dieser Achsen abgeteuft werden. Bisher liegen drei Altbohrungen auf der Dammkronen der Kanalord- seite im Abstand von ca. 150 m bzw. 200 m vor (rote Punkte in Bild 5). In Anbetracht der einfachen Baugrundverhältnisse reicht es zunächst aus, **längs der Dammkronen** den Abstand durch jeweils einen Zwischenaufschluss auf ca. 75 m – 100 m zu ver- ringern (Aufschlüsse 1 bis 5 in Bild 5).

2. Für spätere Standsicherheitsberechnungen ist die seitliche **Ausdehnung der Torfschicht** von Inter- esse. Deshalb würde man in Abhängigkeit davon, ob im Aufschluss 2 Torf angetroffen wird oder nicht, einen weiteren Aufschluss westlich oder öst- lich einfügen (Aufschlüsse 2a und 2b).
3. Desweiteren werden Aufschlüsse an den Enden der **Querprofile** erforderlich (Aufschlüsse 6 – 11).
4. Für die Bemessung bzw. die Nachrechnung der **Spundwände** sollte selbst bei einfachem Baugrund ein Aufschlussabstand längs der Achsen von 50 m nicht überschritten werden. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Aufschlüsse 12 bis 16 kann ei- ne weitere Verdichtung notwendig werden (wenn z.B. eine stark in ihrer Höhenlage schwankende Geschiebemergeloberfläche angetroffen wurde: Aufschlüsse 15a bis 15c).
5. Und schließlich sind noch Aufschlüsse in der **Ka- nalachse** erforderlich (Aufschlüsse 17 bis 19). Hier darf ein größerer Erkundungsabstand gewählt wer- den, da an den wasserseitigen Endpunkten der Querprofile weitere Aufschlüsse vorliegen, deren Ergebnisse später auf die Profillinie projiziert wer- den können.
6. Diese erste Planung ist nun kritisch zu hinterfragen:
  - Sofern dadurch die Aussagekraft der Bau- grundaufschlüsse nicht infrage gestellt wird, können einzelne Ansatzpunkte so verschoben werden, dass möglichst wenige Fremdgrund- stücke betreten werden müssen und so die Er- kundung überwiegend auf **Bauherren-eigenen Flächen** erfolgt.
  - Ein erster Eindruck bzgl. der **Zugänglichkeit** des Geländes liefern Luftbilder; eine Ortsbe- sichtigung bleibt aber unbedingt erforderlich (s.a. EC7-2, Abs. 2.1.1).
  - Aus der **Topografischen Karte** kann z.B. die Lage von Vernässungszonen ermittelt werden. Evtl. muss hier der Aufschlussabstand weiter verringert werden, da im Untergrund dort mit Weichschichten zu rechnen ist (s. Aufschluss 15b).

#### 4.2 Methodik

Aufschlüsse sind nach DIN 4020, Abs. A.1.5.3.20, *Mittel und Maßnahmen zur Feststellung von Art, Aufbau und Verbreitung des anstehenden Bodens und Fels, der Grundwasserverhältnisse*. Die Tabelle 2.1 des EC7-2 listet in Europa gebräuchliche Verfahren für Feldun- tersuchungen und deren Anwendbarkeit im Boden und Fels auf.



Allgemein wird in „direkte“ und „indirekte“ Aufschlüsse unterschieden:

- Unter **direkten Aufschlüssen** versteht man nach DIN 4020, Abs. A1.5.3.21, *natürliche und künstliche Aufschlüsse, die eine Besichtigung von Boden und Fels, die Entnahme von Boden- und Felsproben, sowie die Durchführung von Feldversuchen ermöglichen*. Zu den direkten Aufschlüssen gehören
  - vorhandene Aufschlüsse im Gelände (z.B. Straßeneinschnitte, Kiesgruben),
  - Schürfe und
  - Bohrungen.
 Baumaßnahmen der GK2 und GK3 erfordern direkte Aufschlüsse.
- Bei den **indirekten Aufschlüssen** handelt es sich nach Abs. A1.5.3.22 der DIN 4020 um *Aufschlüsse, die durch Korrelation zwischen physikalischen Messgrößen und boden- bzw. felsmechanischen Kenngrößen Rückschlüsse auf den Baugrund ermöglichen, wie z.B. Sondierungen und geophysikalische Verfahren*. Alle indirekten Verfahren erfordern nach DIN 4020, Abs. A1.5.3.23, zusätzlich *Bohrungen zur Auswertung und Interpretation indirekter Aufschlüsse*: die sog. „Schlüsselbohrungen“.

Die Baugrundaufschlüsse für das Projekt Kanalausbau sollen Informationen zum Schichtenaufbau, zur Tiefenlage des Grundwassers sowie zur in situ Festigkeit liefern. Zudem sollen Boden- und Grundwasserproben genommen werden können.

- Der **Schichtenaufbau** wird in erster Linie aus Bohrungen ermittelt, lässt sich aber auch aus Drucksondierungen ableiten.
- Aussagen über die **in situ Festigkeit** erfordern Sondierungen.
- Eine Entnahme von **Bodenproben** ist nur bei direkten Aufschlüssen, i.d.R. aus Bohrungen, möglich. Für die Gewinnung von **Grundwasserproben** sollte zumindest eine Bohrung als (temporäre) Grundwassermessstelle ausgebaut werden.

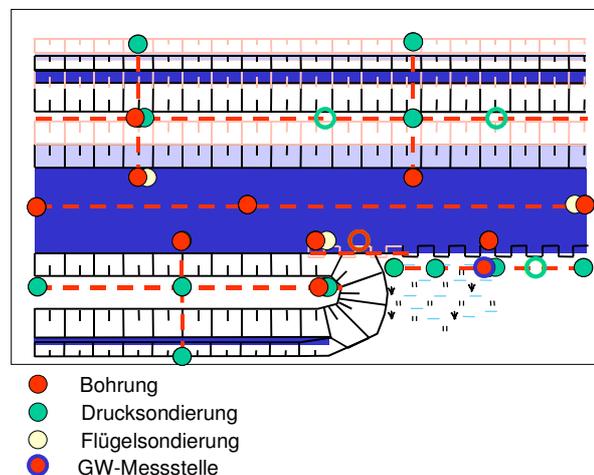
Für das Beispielprojekt werden also sowohl Bohrungen als auch Sondierungen benötigt:

- Längs der geplanten Profillinien sind für die spätere Gutachtererstellung Informationen zum Schichtenaufbau erforderlich, d.h. hier sind Bohrungen nach DIN 22475-1 oder Drucksondierungen nach DIN 4094-1 möglich. Drucksondierungen sind wirtschaftlicher und sollten überall dort durchgeführt werden, wo keine Bodenproben benötigt werden und sich - wie hier - die zu erwartenden Schichten gut im Sondierdiagramm unterscheiden lassen.

Deshalb ist in jedem Schnitt ein Bohrung/Drucksondier-Paar erforderlich, wobei die Bohrung als Schlüsselbohrung dient. Die übrigen Landaufschlüsse können dann als Drucksondierungen ausgeführt werden.

- Die Aufschlüsse im Wasser sollten als Bohrungen ausgeführt werden, um in jedem Dammquerschnitt über mindestens einen direkten Aufschluss als Schlüsselbohrung zu verfügen und um Bodenproben zur Klassifizierung des Aushubmaterials zu erhalten.
- Zur Ermittlung der Anfangsscherfestigkeit der breiigen bis weichen Böden an der Gewässer- sohle dienen in situ Flügelsondierungen („Flügel-scherversuche“ nach DIN 4094-4).
- Um die Höhe des Grundwasserspiegels sicher bestimmen zu können und zur Entnahme von Wasserproben ist eine Bohrung nahe der Spundwand als temporäre Grundwassermess- stelle auszubauen. Die Wasserproben werden an ein chemisches Institut zur Bestimmung der Stahlaggressivität nach DIN 50929 weiterge- geben.

Bild 6 fasst diese Empfehlungen zusammen.



**Bild 6:** Beispiel Kanalausbau:  
Methodik der Baugrundaufschlüsse

### 4.3 Aufschlusstiefe

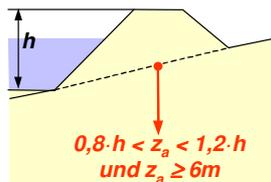
Allgemein schreibt die DIN 1997-2 in Abs. 2.4.1.3:

*Die Untersuchungstiefe ist auf alle Schichten auszudehnen, die das Bauvorhaben beeinflussen oder durch das Bauwerk beeinflusst werden. Bei Dämmen, Wehren, Baugruben unter dem Grundwasserspiegel und wenn eine Wasserhaltung erforderlich ist, ist die Untersuchungstiefe auch in Bezug zu den hydrologischen Ver-*

*hältnissen zu wählen. Hänge und Geländesprünge sind bis unterhalb von möglichen Gleitflächen zu erkunden.*

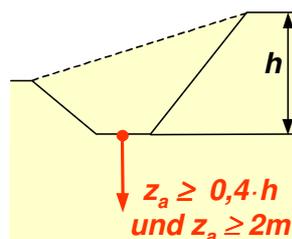
Der nur europaweit informelle Anhang B3 des EC7-2 gibt für Deutschland normativ minimale Untersuchungstiefen an. Beispiele:

Bei einem **Damm** sollte die Tiefe unterhalb der Dammsohle etwa der Höhe des Geländesprungs entsprechen, mindestens aber 6 m betragen (Bild 7):



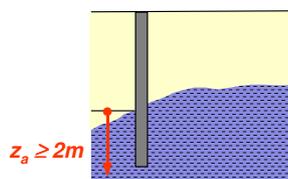
**Bild 7:** EC7-2, Anh. B3, Aufschlusstiefe Damm

Für einen **Einschnitt** entspricht die Untersuchungstiefe dem 0,4-fachen des Geländesprungs, mindestens aber 2 m (Bild 8):



**Bild 8:** EC7-2, Anh. B3, Aufschlusstiefe Einschnitt

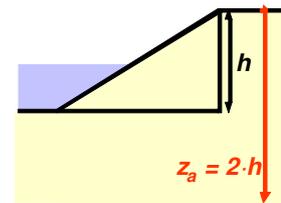
Für die Baugrunderkundung zur Bemessung bzw. Nachrechnung einer **Dichtwand** soll der Aufschluss bis mindestens 2 m unter die Oberfläche des Grundwassernichtleiters abgeteuft werden (Bild 9):



**Bild 9:** EC7-2, Anh. B3, Aufschlusstiefe Dichtwand

Darüber hinaus werden im Anhang B3 des EC7-2 weitere Beispiele für unterschiedliche Bauwerke aufgeführt.

Während der EC7-2 als Bezugsebene die Bauwerks- bzw. Bauteil-Unterkante wählt, empfiehlt die EAU, ausgehend von der Bauwerksoberkante, als Aufschlusstiefe  $z_a$  die doppelte Höhe des Geländesprungs (Bild 10):



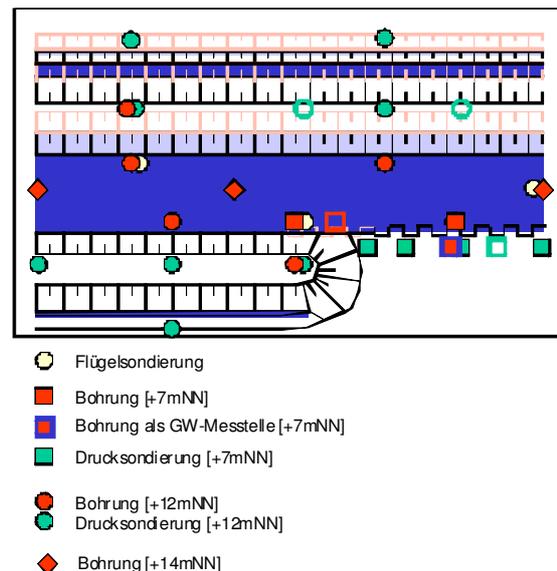
**Bild 10:** EAU, Aufschlusstiefe Ufereinfassung

Für das Beispielprojekt folgt daraus (s. Bild 11):

Im Bereich der vorhandenen und der geplanten **Spundwände** eine Endteufe von +7 mNHN, da in den Altbohrungen die Oberkante des als Einbindehorizont geeigneten Geschiebemergels oberhalb von +9,5 mNHN angetroffen wurde (s. Bild 3) und die Aufschlüsse mindestens 2 m in diese Schicht abzuteufen sind.

Die Festlegung der Endteufe für die Aufschlüsse im Bereich der **Kanalseitendämme** erfolgt anhand der Bauwerksgeometrie: Nach einer Kanalvertiefung um 0,5 m wird der Geländesprung 4 m betragen (s. Bild 2). Nach der EAU soll die Aufschlusstiefe damit  $2 \cdot 4 \text{ m} = 8 \text{ m}$  betragen, d.h. die Endteufe bei +20 mNHN – 8 m = +12 mNHN liegen.

Für die Wasserbohrungen in der **Kanalachse** reicht zur Gewinnung von Probenmaterial eine Aufschlusstiefe von 2 m unter zukünftiger Kanalsole (s. Bild 2) aus, d.h. +14 mNHN.



**Bild 11:** Beispiel Kanalausbau:  
Lage der Bohr- und Sondieransatzpunkte

Die **Flügelsondierungen** werden durchgeführt, solange ab Gewässersohle bindige oder organische Böden breiiger bis weicher Konsistenz angetroffen werden; die Angabe einer Aufschlusstiefe erübrigt sich damit.



## 5 Zusammenarbeit Bauherr / Geotechnischer Sachverständiger

Bild 11 zeigt die zeichnerische Darstellung des Erkundungsprogrammes für den Kanalausbau, die der Bauherr zusammen mit Hinweisen für die Ausschreibung der Baugrunderkundung vom Geotechnischen Sachverständigen erhält. An dieser Stelle sollte das Erkundungsprogramm noch einmal kritisch hinterfragt werden:

- Kann das Erkundungsprogramm die aktuelle Fragestellung beantworten? **Der Geotechnische Sachverständige ist über jede Planungsänderung seitens des Bauherren umgehend zu informieren!**
- Sind die Bohr- und Sondieransatzpunkte zugänglich? Dies sollte spätestens jetzt im Rahmen einer gemeinsamen **Ortsbegehung** geklärt werden.

### Literatur, Normen und Merkblätter

ARBEITSAUSSCHUSS „UFEREINFASSUNGEN“ DER HTG UND DER DGGT (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“. Häfen und Wasserstraßen. EAU 2004. 10. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin

BAW (2011): BAW-Merkblatt: Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD).

DIN 1054 (12 / 2010): Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997–1.

DIN EN 1997–1 (09 / 2009): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009

DIN EN 1997–2 (10 / 2010): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010

DIN EN 1997–2/NA (12 / 2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

DIN 4020 (12 / 2010): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997–2.

DIN EN ISO 14 688–1 (01 / 2003): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden. Teil 1: Benennung und Beschreibung.

DIN EN ISO 14 688–2 (11 / 2004): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden. Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen.

DIN 4030–2 (06 / 2008): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Beurteilung von wasser- und Bodenproben.

DIN 4094–1 (06 / 2002): Baugrund. Felduntersuchungen. Drucksondierungen.

DIN 4094–4 (01 / 2002): Baugrund. Felduntersuchungen. Flügelscherversuche.

DIN 18 196 (06 / 2006): Erd- und Grundbau. Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

DIN 18 300 (04 / 2010): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV). Erdarbeiten.

DIN 18 311 (04 / 2010): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Teil C. Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV). Nassbaggerarbeiten.

DIN EN ISO 22475–1: (01 / 2007): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Aufschluss- und Probennehmerverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung.

DIN 50 929–1 (09 / 1985): Korrosion der Metalle. Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung. Teil 1: Allgemeines.

Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung (04 / 2011). Band 1: Allgemeine Regeln. Band 2: Erkundung und Untersuchung vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung



## Baugrunderkundungsbohrungen in Böden

Gerd Siebenborn, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg  
 Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg  
 Telefon: 040 / 81908-327, E-Mail: [gerd.siebenborn@baw.de](mailto:gerd.siebenborn@baw.de)

### Zusammenfassung

Die Aussagekraft eines Baugrundgutachtens ist letztlich abhängig von qualitativ hochwertigen Bodenproben und deren Laboruntersuchungen. Eine Baugrunderkundung ist abhängig sowohl von der Qualifikation der Bohrgeräteführer als auch von der eingesetzten Bohrgerätetechnik und der verwendeten Bohrtechnik. Gängige Bohrverfahren werden einander gegenübergestellt, bzgl. ihrer Anwendbarkeit beschrieben und ihr sinnvoller Einsatz erläutert.

### Einleitung

In der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Dienststelle Hamburg, werden durch das Referat Geotechnik Nord u.a. Baugrund- und Gründungsgutachten zu Wasser-

bauwerken an Bundeswasserstraßen, wie Schleusen, Wehre und Dämmen, erstellt. Voraussetzung ist die Erkundung der Baugrundverhältnisse durch Bohrungen und Sondierungen.

Qualitätssicherung (QS) von Bohraufschlüssen	
WSA / WNA	Gutachter – BAW – Bohraufsicht
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung Bohrprogramm</li> <li>- Angaben Probenentnahme</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausschreibungsentwurf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung der Ausschreibung bzgl. geotechnischer Belange</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausschreibung</li> <li>- Vergabegespräch</li> <li>- Auftragserteilung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ggf. Beratung bei Vergabe</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ankündigung Bohrarbeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwachung Bohrarbeiten</li> <li>- Mängelfeststellung</li> </ul>
<b>Abstellen der Mängel</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrechnung Bohrarbeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung der Probengüte</li> <li>- Prüfung der Probenzahl</li> </ul>

**Bild 1:** Zusammenarbeit zwischen WSA / WNA und BAW

Die Wasser- und Schifffahrtsämter führen die Auftragsvergabe für diese Erkundungsarbeiten durch; sie werden dabei durch die BAW fachtechnisch beraten. Eine intensive Zusammenarbeit zwischen WSA und BAW bereits während der Ausschreibungsphase stellt eine einwandfreie **Ausführung der Baugrunderkundung** sicher, die die Grundlage eines aussagekräftigen Baugrundgutachtens ist (Bild 1); dies soll auch in der Ausschreibung der Bohr- und Sondierarbeiten klar zum Ausdruck kommen.

Baugrundaufschlussbohrungen und Probenentnahmen können in vielen Varianten durchgeführt werden. Deshalb beschränkt sich diese Seminarunterlage nur auf gängige und heute im norddeutschen Raum praktizierte Verfahren.

Um eine ständige Aktualisierung dieser Unterlagen zu gewährleisten, möchte ich jeden Seminarteilnehmer bitten, mir Fragen und Anregungen aus der Bohrpraxis zukommen zu lassen.



Aktuelle Normen (Stand Januar 2011)

**ROT: Zurückgezogene Normen**

Norm	Ausgabe	Beschreibung
DIN 1054	2005-01	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_1054%282005%29.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_1054%282005%29.pdf</a> Baugrund; Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 1054 Berichtigung	2005-04	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_1054_ber1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_1054_ber1.pdf</a> Baugr und - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau; Berichtigungen zu DIN 1054:2005-01
DIN 4020	2010-12	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4020.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4020.pdf</a> Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
DIN 4020 Beiblatt 1	2003-10	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4020-Bbl1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4020-Bbl1.pdf</a> Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke; Anwendungshilfen, Erklärungen
<b>DIN 4021</b>	<b>1990-10</b>	<b>Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben</b>
DIN EN ISO 22475-1	2007-01	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_22475-1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_22475-1.pdf</a> Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006
<b>DIN 4022-1 DIN 4022-2 DIN 4022-3</b>		<b>Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels</b>
DIN 4023	2006-02	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4023_2006.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4023_2006.pdf</a> Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen
DIN 4943	2005-12	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4943.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4943.pdf</a> Zeichnerische Darstellung und Dokumentation von Brunnen und Grundwassermessstellen
DIN EN ISO 14688-1	2003-01	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14688-1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14688-1.pdf</a> Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung
DIN EN ISO 14688-2	2004-11	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14688-2.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14688-2.pdf</a> Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
DIN EN ISO 14689-1	2004-04	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14689-1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/dineniso_14689-1.pdf</a> Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung

DIN 4094-1	2002-06	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4094-1.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_4094-1.pdf</a> Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen
DIN 4094-2	2003-05	Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 2: Bohrlochrammsondierung
DIN EN 22476-2	2005-04	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen
DIN EN 22476-3	2005-04	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 3: Standard Penetration Test (ISO 22476-3:2005)
DIN 4094-4	2002-01	Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 4: Flügelscherversuche
DIN 4094-5	2001-06	Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 5: Bohrlochaufweitungsversuche
DIN EN ISO 5667-19	2004-09	Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 19: Anleitung zur Probenahme mariner Sedimente (ISO 5667-19:2004); Deutsche Fassung EN ISO 5667-19:2004
DIN 4030-1	2008-06	Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte
DIN 4030-2	2008-06	Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben
DIN ISO/TS 22475-2 (Vornorm)	2007-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 2: Qualifikationskriterien für Unternehmen und Personal (ISO/TS 22475-2:2006); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 22475-2:2006
DIN ISO/TS 22475-3 (Vornorm-Entwurf)	2005-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Aufschluss- und Probennahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 3: Konformitätsbewertung von Unternehmen und Personal durch eine Zertifizierungsstelle (ISO/TS 22475-3:2004)
ATV DIN 18301	2010-04	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_18301.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_18301.pdf</a> VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Bohrarbeiten
ATV DIN 18302	2010-04	<a href="http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_18302.pdf">http://bibserv1.baw.de/bibdin/downloads/din_18302.pdf</a> VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Arbeiten zum Ausbau von Bohrungen



## Auswirkung der neuen Normen

Die Qualifikation des Personals am Bohrgerät wurde bis 2007 mit dem sog. Qualifikationsnachweis für Bohrgeräteführer in der Baugrunderkundung nach DIN 4021, Abs. 6.1.3, erworben. Ab 2007 galten Übergangsfristen für den „Qualifikationsnachweis für Bohrgeräteführer nach DIN 4021“ bis Ende 2010. Die neue Qualifikation nennt sich: „Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahme und Grundwassermessungen“. Der Bohrgeräteführer vor Ort muss den Qualifikationsnachweis „Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahme und Grundwassermessungen“ besitzen. **Das Prüfungszeugnis wird befristet für 7 Jahre ausgestellt. Danach ist eine Wiederholungsprüfung abzulegen.**

Ab 2007 gelten neue Kriterien zur Qualifikation: Die DIN ISO/TS 22475-2:2007-01 legt die Qualifikationskriterien für Unternehmen fest, die Proben aus Boden, Fels und Grundwasser entnehmen sowie Grundwassermessungen durchführen, um auf diese Weise darzulegen, dass ein Unternehmen und dessen Personal qualifiziert ist und über die geeignete Ausstattung verfügt, um die Aufgaben fachgerecht nach DIN EN ISO 22475-1:2006 (D) auszuführen.

### Neu ist in der DIN EN ISO 22475-1 die Festlegung der Entnahmekategorien (Tab.1):

*Es gibt drei Kategorien A, B und C von Verfahren zur Probenentnahme. Bei gegebenen Baugrundverhältnissen sind diese Kategorien bezogen auf die höchste erreichbare Güteklasse von Bodenproben für Laborversuche (definiert in EN 1997-2):*

**Verfahren der Probenentnahme nach Kategorie A:**  
*Es können Proben der Güteklasse 1 bis 5 gewonnen werden;*

**Verfahren der Probenentnahme nach Kategorie B:**  
*Es können Proben der Güteklasse 3 bis 5 gewonnen werden;*

**Verfahren der Probenentnahme nach Kategorie C:**  
*Es können nur Proben der Güteklasse 5 gewonnen werden.*

**Proben der Güteklasse 1 und 2 können nur beim Einsatz von Probenentnahmeverfahren nach der Kategorie A gewonnen werden.** *Es wird hierbei beabsichtigt, Proben zu erhalten, in denen während des Entnahmeprozesses und der Behandlung der Proben keine oder nur eine leichte Störung der Bodenstruktur auftritt. Wassergehalt und Porenvolumen des Bodens entsprechen dem Zustand insitu. Eine Änderung der Bestandteile oder der chemischen Zusammensetzung findet nicht statt. Gewisse unvorhersehbare Umstände, wie z. B. Abweichungen in der geologischen Schichtenfolge,*

*können dazu führen, dass Proben einer niedrigeren Güteklasse gewonnen werden.*

**Beim Einsatz von Probenentnahmeverfahren nach der Kategorie B ist es nicht möglich, Proben einer höheren Güteklasse als 3 zu gewinnen.** *Es wird hierbei beabsichtigt, Proben zu erhalten, die alle Bestandteile des Bodens insitu mit ihren ursprünglichen Anteilen beinhalten und dass der Boden seinen natürlichen Wassergehalt behält. Die allgemeine Anordnung der verschiedenen Schichten oder Bestandteile des Bodens kann bestimmt werden. Die Struktur des Bodens wurde gestört. Gewisse unvorhersehbare Umstände, wie z. B. Abweichungen in der geologischen Schichtenfolge, können dazu führen, dass Proben einer niedrigeren Güteklasse gewonnen werden.*

**Beim Einsatz von Probenentnahmeverfahren nach der Kategorie C ist es nicht möglich, Proben einer höheren Güteklasse als 5 zu gewinnen.** *Die Struktur des Bodens wird völlig verändert. Die allgemeine Anordnung der Schichten oder Bestandteile des Bodens wird verändert, sodass die Schichten insitu nicht genau festgestellt werden können. Der Wassergehalt der Probe ist nicht repräsentativ für den natürlichen Wassergehalt der Bodenschicht, aus der die Probe entnommen wurde.*

Güteklassen	1	2	3	4	5
Entnahmekategorien	A				
			B		
					C

Tabelle 1: Entnahmekategorien

## Ausführung der Baugrunderkundung

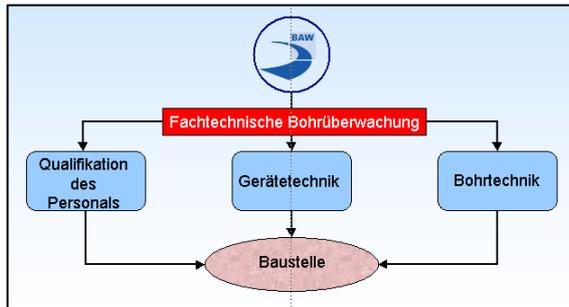
Bohrarbeiten für Boden- und Felsuntersuchungen sind Vertrauenssache: Für die Qualität der Ergebnisse ist eine fachgerechte Ausführung durch zuverlässige Fachbetriebe ausschlaggebend. Die Durchführung einer beschränkten Ausschreibung ist dann sinnvoll, wenn bei schwierigen Projekten auf bewährte Bohrfirmen zurückgegriffen werden soll.

Der Auftraggeber erhält Vorgaben durch den Baugrundgutachter über Art und Umfang der Untersuchungen und wird bei der Planung und Überwachung der Bohrarbeiten unterstützt. Bei umfangreichen Bauvorhaben hat es sich bewährt, dass der Gutachter auch an den Vergabegesprächen beratend teilnimmt. Nur diese intensive Zusammenarbeit bereits während der Ausschreibungsphase gewährleistet eine einwandfreie Ausführung der Bohrarbeiten und Probenentnahmen.

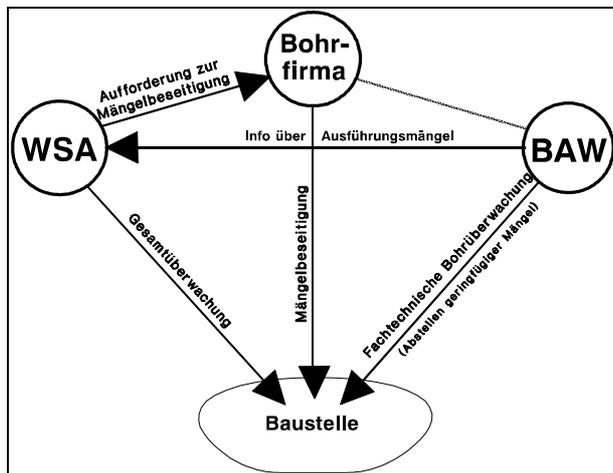
Die Qualität und damit die Aussagekraft einer Baugrunderkundung ist abhängig sowohl von der Qualifikation des **Bohrgeräteführers** als auch von der eingesetzten **Bohrgerätetechnik** und der verwendeten **Bohrtechnik**. Es sollen möglichst solche Unternehmen eingesetzt werden, die sich bei früheren Untersuchungen bewährt



haben oder/und über Referenzen verfügen. Ein Bohrunternehmer kann nur dann seine Arbeit richtig ausführen, wenn er über alle Einzelheiten, die der Bodengutachter für beachtenswert hält, laufend unterrichtet und ständig angewiesen wird. Diese Mehrarbeit, die mit häufiger **Bohraufsicht** (Bilder 2 und 3) der Aufschlussarbeiten verbunden ist, erhöht den Aussagewert der Bohrergebnisse.



**Bild 2:** Fachtechnische Bohrüberwachung



**Bild 3:** Zuständigkeit bei der Bohrüberwachung

### Bohreräteführer

Während der Aufschlussarbeiten muss an jedem Gerät ständig ein qualifizierter Bohrgeräteführer anwesend sein, der über die Auswahl des Gerätes und des bohrtechnischen Verfahrens entscheidet. Kaum ein Geräteführer verfügt jedoch über eine fachspezifische Berufsausbildung, z.B. als Brunnenbauer, und somit über eine Ausbildung in Bohr- und Probenentnahmetechniken. Manchmal sind auch „alte Hasen“ auf der Baustelle anzutreffen, die ihr Handwerk in jahrelanger Berufserfahrung erlernt haben.

In den meisten Fällen besteht die einzige Qualifikation in dem Fortbildungs- und Qualifikationsnachweis „Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahme und Grundwassermessungen“. Dieses Zertifikat sollte durch die Bohraufsicht vor Ort geprüft werden.

Nach dem Merkblatt „**Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1 "Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahme und Grundwassermessungen"**“ (DGEG Juli 2007) umfasst die Qualifikationsmaßnahme folgende Hauptthemen:

Teil 1: Grundlagen der geotechnischen Erkundung und Untersuchung

- Einführung
- Grundlagen der Geologie
- Grundlagen der Hydrogeologie
- Grundlagen geotechnischer Untersuchungen und Gerätschaften

Teil 2: Probenentnahme und Grundwassermessungen

- Einführung
- Geräte und Ausrüstung für die Probenentnahme und die Einrichtung von Grundwassermessstellen
- Allgemeine Bedingungen vor Probenentnahme und Grundwassermessungen
- Verfahren und Geräte zur Probenentnahme aus Boden
- Verfahren und Geräte zur Probenentnahme aus Fels
- Verfahren und Geräte zur Entnahme von Grundwasserproben für geotechnische Zwecke
- Grundwassermessstellen und -einrichtungen
- Grundwassermessungen
- Behandlung, Transport und Aufbewahrung der Proben
- Benennung und Beschreibung von Boden nach DIN EN ISO 14688-1
- Benennung und Beschreibung von Fels nach DIN EN ISO 14689-1
- Berichterstattung

Als Nachweis erhält der Bohrgeräteführer eine Urkunde bzw. Zeugnis. Der Lehrgang dauert drei Wochen und hat folgende Zulassungsbedingungen:

- Mindestalter zum Zeitpunkt der Prüfung: 21 Jahre;
- ausreichende Kenntnisse der deutschen Sprache in Wort und Schrift;
- Besitz der bürgerlichen Ehrenrechte;
- abgeschlossene Berufsausbildung in folgenden Berufen: Brunnenbauer, Spezialtiefbauer, Facharbeiter für Geologie, Baustoffprüfer, Facharbeiter für geologische Bohrungen mit anschließend zweijähriger praktischer Tätigkeit nach DIN EN ISO 22475-1 oder fünfjährige praktische Tätigkeit nach DIN EN ISO 22475-1;

Die handwerkliche Berufsausbildung zum Brunnenbaugesellen dauert drei Jahre und kann nur von einem Brunnenbau-Meisterbetrieb durchgeführt werden. Die umfangreiche Ausbildung beinhaltet nicht nur die Ausführung von Bohrarbeiten für Baugrunduntersuchungen, sondern in erster Linie die Herstellung von Trinkwas-



serbrunnen, Horizontalbohrungen, Grundwasserabsenkungen und Wasserhaltungsanlagen.

Nach 3-jähriger praktischer Tätigkeit als Brunnenbauer-geselle kann eine Prüfung zum Brunnenbauermeister abgelegt werden.

Der Bohreräteführer, oft fälschlich „Bohrmeister“ genannt, kann diese Tätigkeit mit unterschiedlichen Berufsausbildungen ausüben, muss aber seine Qualifikation in dem o.g. Lehrgang nachweisen.

Von jedem Bohreräteführer sind fundierte Sachkenntnisse zu fordern, die durch die Bohraufsicht vor Ort ggf. auch überprüft werden sollte. Nur eine verstärkte Anwesenheit des Auftraggebers auf der Baustelle und die regelmäßige Kontrolle der Bohrarbeiten kann eine auftragsgerechte Durchführung der Arbeiten gewährleisten. Bei mehr als drei Bohrkolonnen auf einer Baustelle empfiehlt es sich, durch die Bohrfirma einen Bauleiter benennen zu lassen, der dem Auftraggeber ständig als Ansprechpartner zur Verfügung steht.

## Bohrerätetechnik

Die gerätetechnische Ausstattung eines Bohrgerätes ist unter Berücksichtigung der angestrebten Bohrtiefen und Probenentnahmen zu beschreiben. Folgende Kriterien sind zu beachten (s.a. Bilder 5 – 12):

- Das Bohrgerät muss mit einem hydraulisch betriebenen Verrohrungsdrehtisch (Bild 7) zum Einbringen der Bohrrohre und einem Kraftdrehkopf (Bild 12) für Arbeiten mit Bohrwerkzeugen am Gestänge ausgerüstet sein.
- Die Seilzugkraft (Bild 9) muss so groß sein, dass das Lösen und Ziehen der Rammkerne und Sonderproben ohne zusätzliche Maßnahmen möglich ist.
- Zum Einrammen des Sonderprobenentnahmerätes und des Rammkernrohres sowie zum Einsatz des Ventilbohrers ist eine Freifall-Seilschlagvorrichtung (Bild 10) erforderlich.
- Weiterhin hat die Auswahl des Bohrwerkzeuges (Bild 8) einen erheblichen Einfluss auf die erzielbare Güteklasse der Proben. *Die Güte der Bodenproben wird dadurch gekennzeichnet, dass bestimmte bodenmechanische Kenngrößen und Eigenschaften an ihnen ermittelt werden können.* Bild 8 zeigt die Güteklassen verschiedener Bohrwerkzeuge und Entnahmeräte und deren Einfluss auf die Bodenparameter.

Die Bohreräteauswahl bleibt normalerweise dem Bohrunternehmer überlassen, nachdem er durch die Ausschreibung ausführlich über die Anforderungen des Baugrundaufschlusses informiert wurde. Jedoch ist immer wieder festzustellen, dass Bohrgeräte für Arbeiten herangezogen werden, die den Anforderungen nicht

gerecht werden (Bild 6). **Deshalb sollte in der Leistungsbeschreibung der Ausschreibung festgelegt werden, mit welchem Grundzubehör ein Bohrgerät ausgestattet sein muss.** Das ist jedoch wiederum abhängig von der Art des Baugrundaufschlusses.



**Bild 5:** Gerätetechnische Mindestanforderungen



**Bild 6:** Bohrgerät für den Baugrundaufschluss



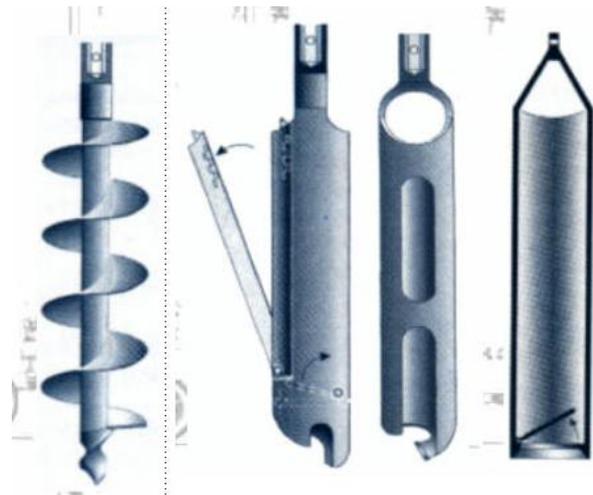
**Bild 7:** Verrohrungsdrehtisch

Bohrwerkzeug bzw. Entnahmeggerät	Bodenart	Entnahme <u>über</u> oder <u>unter</u> dem Grundwasserspiegel (GW)	i.d.R. erreichbare Güteklasse [1 - 5]	Unveränderte Bodenparameter bei erreichter Güteklasse
Seil mit Ventilbohrer	Kies und Sand	unter GW	5	unvollständige Bodenprobe, da auch Schichtenfolge verändert
Gestänge mit Schappe oder Schnecke	alle Böden bindige Böden	über GW unter GW	4	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung
Rammkernrohr mit Schnittkante innen	nichtbindige Böden	über GW unter GW	3	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung Wassergehalt
Rammkernrohr mit Schnittkante innen	bindige Böden	über GW	2	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung Wassergehalt
dünnwandiges Entnahmeggerät für Sonderproben	bindige und organische Böden mit halbfester Konsistenz	über GW unter GW		Dichte des feuchten Bodens Wasserdurchlässigkeit
dünnwandiges Entnahmeggerät für Sonderproben	bindige und organische Böden mit weicher oder steifer Konsistenz	über GW unter GW	1	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung Wassergehalt Dichte des feuchten Bodens Wasserdurchlässigkeit Steifemodul Scherfestigkeit

**Bild 8:** Bohrwerkzeuge / Entnahmeggeräte und erzielbare Güteklassen



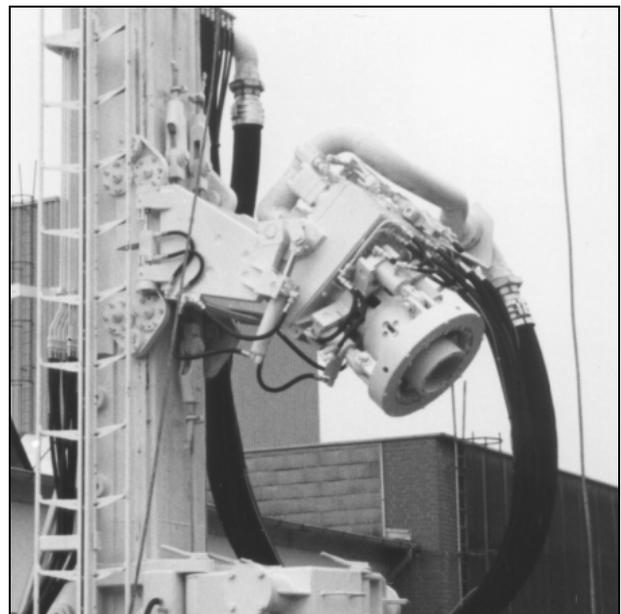
**Bild 9:** Seilwinde und Hilfswinde



**Bild 11:** Spiralbohrer – Schappe - Ventilbohrer



**Bild 10:** Freifall-Seilschlagvorrichtung



**Bild 12:** Hydraulischer Kraftdrehkopf



### Feststellen und Abstellen von Mängeln

Vor Beginn jeder Bohrarbeiten sollte durch die Bohraufsicht, vorher natürlich auch durch den Geräteführer, geprüft werden, ob alle personellen und gerätetechnischen Anforderungen der Ausschreibung und der DIN erfüllt sind. Mit Hilfe einer **Checkliste** (Bild 13) kann sehr schnell und übersichtlich der "Ist-Zustand" protokolliert werden.

Baustellen - Checkliste für Baugrunderkundungsarbeiten					
Projekt:		Auftrags-Nr.:		BAW Bearbeiter:	
Bohrung-Nr.:		Ort:		AG:	
Bohrfirma:		Geräteführer:		Wetter:	
Kontrolle von:		Qualifikationsnachweis im Original liegt vor?			
Bohraufsicht vor Ort (vom ... bis – Datum/Uhrzeit):					
Bohrgerät: Fabrikat / Typ:					
Verrohrungsdrehtisch:		JA	NEIN		
Kraftdrehkopf:		JA	NEIN		
Freifall-Seilschlagvorrichtung:		JA	NEIN	Hub:	mm
Hubhöhe des Entnahmegerätes geprüft:		JA	NEIN	Hubhöhe:	mm
Seilwinde:		JA	NEIN	Windenkraft:	kN
Spüldrehkopf und Pumpe:		JA	NEIN		
Kontrollanzeigen für Spüldruck und Andruck:		JA	NEIN		
Bohrverrohrung					
Bohrverrohrung	von	m	bis	m	Durchmesser: mm
Bohrverrohrung	von	m	bis	m	Durchmesser: mm
Bohrverrohrung	von	m	bis	m	Durchmesser: mm
Festgestellte Mängel:					
Mitteilung a.d. AG am:					
Mängel abgestellt am:					
Unterschrift:					

Bild 13: Dokumentation der Bohrarbeiten

## Bohrtechnik

Für eine Baugrunderkundung besonders geeignet ist das sogenannte **Trockenbohrverfahren** (Bild 14): Oberhalb des Grundwasserspiegels wird kein Wasser hinzugegeben. Unterhalb des Grundwassers wird hingegen mit Wasserüberdruck im Bohrrohr gearbeitet - und damit ein Eintreiben des Bodens an der Bohrlochsohle in das Bohrloch verhindert. Der Bohrgutaustrag erfolgt dabei diskontinuierlich mit den Bohrwerkzeugen.

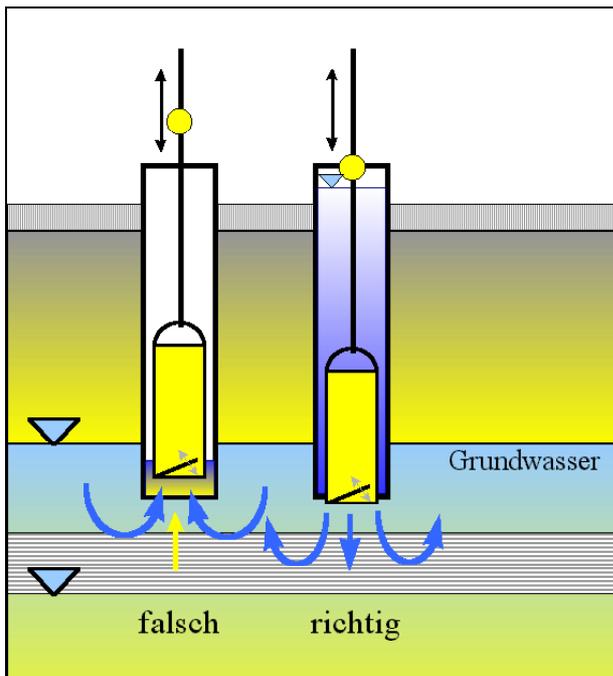
Bei allen Bohrverfahren in bindigen Böden sollte die Zugabe von Wasser als Bohrhilfe vermieden werden. In der bis September 1990 gültigen DIN 4021 Teil 1 wurde darauf noch ausführlich hingewiesen: Jeder sonstige Zusatz von Wasser zum Erleichtern des Bohrens ist oberhalb des Grundwassers immer, unterhalb des Grundwassers bei bindigen Böden unzulässig, da die gewonnenen Proben dadurch für die Beurteilung der Bodenbeschaffenheit mehr oder weniger unbrauchbar werden. Wenn auftriebender Boden erwartet wird, muss mit Wasserüberdruck gearbeitet werden, um Störungen

Bohrverfahren	Bodenproben	Grundwasserhorizonte und Schichtwasser erkennbar	Grundwasser-messstellenausbau
Rammkernentnahme als Trockenbohrung in Kombination mit einer Schlag- und Drehbohrung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rammkerne</li> <li>• Sonderproben</li> <li>• gestörte Proben mit Ventilbohrer oder Schappe / Schnecke</li> </ul>	immer	üblicher Bohrdurchmesser von $\varnothing$ 324 mm ausreichend für Messstellenausbau mit DN 100
Rammkernentnahme in Kombination mit einer direkten Spülbohrung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rammkerne</li> <li>• Sonderproben</li> <li>• gestörte Proben nur aus dem Spülstromrücklauf</li> </ul>	nur bedingt	Bohrdurchmesser $\varnothing$ 148 mm für Messstellenausbau zu gering mit DN 100 mm, Bohrung muss vorher aufgebohrt werden

**Bild 14:** Eignung der Bohrverfahren

Um nicht ständig Wasser herbeischaffen zu müssen, wird jedoch häufig in nichtbindigen Böden ohne Wasserüberdruck - also mit Eintrieb von Sand - gebohrt: Dabei wird das Probenmaterial im Bohrloch mit dem höher anstehenden Bohrgut vermengt, das als Bohrklein in der Wassersäule schwebt (Bild 15). Zudem kann die Festigkeit des Bodens aus dem Bohrvorgang nicht abgeleitet werden, da durch den Auftrieb der Baugrund aufgelockert wird.

des Untergrunds (hydraulischer Grundbruch) zu verhindern. Diese Forderung sollte weiterhin beachtet werden (Bilder 16 – 18).



**Bild 15:** Wasserüberdruck im Bohrrohr



**Bild 16:** Wasserüberdruck aufbringen



**Bild 17:** Ventilbohrer unter Wasserzugabe ziehen

In wasserführenden Sanden sollte möglichst ohne Bohrdruck auf der Rohrtour gearbeitet werden ("Schwimmstellung"), um durch das Eigengewicht der Rohrtour das Überbohren auch geringmächtiger bindiger Schichten zu verhindern. Andernfalls würde ein Schichtengemisch aus dem Sand mit einem zu hohen Schluff- und Tonanteil gefördert.

Die Bohrwerkzeuge werden entweder am Seil (z.B. Ventilbohrer) oder am Gestänge (z.B. Schappe) geführt. Die Verrohrung wird entsprechend dem Bohrfortschritt nachgeführt: Baugrundaufschlussbohrungen sind fortlaufend mit dem Bohrfortschritt zu verrohren, um ein Nachfallen des anstehenden Bodens zu verhindern. Da zu kleine Bohrdurchmesser die Beseitigung von Bohrhindernissen erschweren bzw. sogar - zu Lasten des Auftraggebers - die Aufgabe der Bohrung nach sich ziehen können, ist es sinnvoll, einen Minstdurchmesser von 219 mm vorzugeben. Diese Vorgabe lässt auch ein außerplanmäßiges Tieferbohren durch Teleskopierung zu.

Der Einsatz eines Spiralbohrers sollte in bindigen Böden unterhalb des Grundwasserspiegels zugunsten der Schappe am Gestänge vermieden werden: Beim Anschneiden von rolligen Schichten kann sich das Bohrgut während des Hochziehens des Spiralbohrers an die Bohrlochwandung anlegen und einen Pfropfen bilden. Dabei entsteht unterhalb des Bohrwerkzeuges ein Unterdruck: Der rollige Boden wird in das Bohrrohr eingesaugt; die über dem Pfropfen stehende Wassersäule wird angehoben und läuft aus dem Bohrrohr aus.

### Entnahme von Bodenproben

Beim Bohren können drei Typen von Proben entnommen werden (Bild 19, s.a. Bild 20):

- aus dem Bohrgut die meist gestörten Bohrproben
- Bohrkerne
- die weitgehend ungestörten Sonderproben

Im Folgenden wird auf die gängigen Entnahmeverfahren näher eingegangen.



**Bild 18:** Ventilbohrer entleeren

Probenart	Bohrwerkzeug bzw. Entnahmegesetz	Bodenart	erreichbare Güteklasse
gestörte Bodenprobe	Seil mit Ventilbohrer Gestänge mit Schappe oder Schnecke	alle Böden	(3), 4 - 5
Bohrkern	Rammkernrohr mit Schnittkante innen	alle Böden	(1), 2 - 3
Sonderprobe	dünnwandiges Entnahmegesetz für Sonderproben	bindige und organische Böden	1 - 2

**Bild 19:** Probenarten und erreichbare Güteklassen

Tabelle 4. Güteklassen für Bodenproben

Güteklasse	Bodenproben unverändert in 2)	Feststellbar sind im wesentlichen
1 <sup>1)</sup>	$Z, w, \rho, k, E_s, \tau_f$	Feinschichtgrenzen Kornzusammensetzung Konsistenzgrenzen, Konsistenzzahl Grenzen der Lagerungsdichte Korndichte organische Bestandteile Wassergehalt Dichte des feuchten Bodens Porenanteil Wasserdurchlässigkeit Steifemodul Scherfestigkeit
2	$Z, w, \rho, k$	Feinschichtgrenzen Kornzusammensetzung Konsistenzgrenzen, Konsistenzzahl Grenzen der Lagerungsdichte Korndichte organische Bestandteile Wassergehalt Dichte des feuchten Bodens Porenanteil Wasserdurchlässigkeit
3	$Z, w$	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung Konsistenzgrenzen, Konsistenzzahl Grenzen der Lagerungsdichte Korndichte organische Bestandteile Wassergehalt
4	$Z$	Schichtgrenzen Kornzusammensetzung Konsistenzgrenzen, Konsistenzzahl Grenzen der Lagerungsdichte Korndichte organische Bestandteile
5	– (auch $Z$ verändert, unvollständige Bodenprobe)	Schichtenfolge

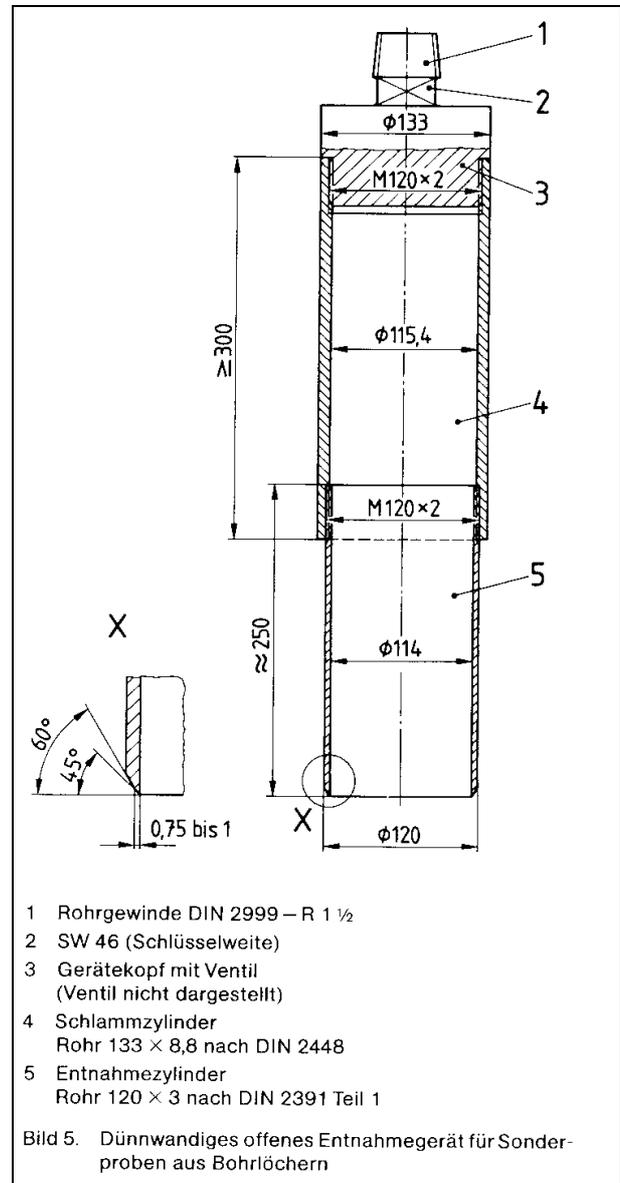
1) Güteklasse 1 zeichnet sich gegenüber Güteklasse 2 dadurch aus, daß auch das Korngefüge unverändert bleibt.  
 2) Hierin bedeuten:  
 $Z$  Kornzusammensetzung  
 $w$  Wassergehalt  
 $\rho$  Dichte des feuchten Bodens  
 $E_s$  Steifemodul  
 $\tau_f$  Scherfestigkeit  
 $k$  Wasserdurchlässigkeitsbeiwert

**Bild 20:** Aus der zurückgezogenen DIN 4021, Tabelle 4. Diese Übersichtstabelle ist in der DIN EN-ISO 22475-1 nicht mehr enthalten. In ähnlicher Form ist die Übersicht in der DIN EN 1997-2 zu finden.

### Sonderproben

Sonderproben, also Proben höherer Güteklasse, werden mit speziellen Entnahmegерäten gewonnen (Bild 23). Dazu muss der Bohrvorgang unterbrochen werden. Die

erreichbare Güteklasse ist vom Entnahmegерät, vom Entnahmевorgang und vom Boden abhängig.



**Bild 21:** Entnahmezylinder für Sonderproben (Dünnwandiges Entnahmegерät nach DIN EN ISO 22475-1, Bild C.32)

Die Art des Entnahmegерätes und die Anzahl der Sonderproben sind in Abhängigkeit von den zu erwartenden Bodenschichten und dem Zweck der Untersuchung möglichst vor Beginn einer Bohrung festzulegen. In der Regel wird aus bindigen Böden alle 2 Meter bzw. bei Schichtwechsel in kürzeren Abständen eine Sonderprobe entnommen. Die Tabelle 3 der DIN EN IS 22475-1 gibt eine Übersicht über verschiedene Entnahmegерäte für Sonderproben und deren Eignung in Abhängigkeit von der Bodenart. Die Wahl des Entnahmegерätes ist außerdem von der Festigkeit (Konsistenz) des Bodens abhängig.



In bindigen und organischen Böden mit weicher bis halbfester Konsistenz wird das dünnwandige offene Entnahmegesetz mit Ventil mit einem Innendurchmesser von 114 mm eingesetzt. Bei Böden mit halbfester bis fester Konsistenz wird das dickwandige Gerät eingesetzt: Es besteht aus einem Entnahmestutzen, dem Schlammstutzen und dem Gerätekopf mit einem Ventil und Gestängeanschluss:

- Der Entnahmezylinder mit einem Außendurchmesser von 120 mm und einer Länge von etwa 250 mm hat am unteren Ende eine von außen angeschnittene Schneide und am oberen Ende zum Anschluss an den Schlammzylinder außen ein Feingewinde.
- Für richtungsorientierte Sonderproben wird der Entnahmevorgang am Gestänge durchgeführt, ansonsten am Seil hängend.



**Bild 23:** Sonderprobenentnahmegesetz

Die Entnahme von Sonderproben bereitet auf der Baustelle immer wieder Probleme: Eine hohe Güteklasse (1 - 2) kann nur erreicht werden, wenn sich die Geräte in einem einwandfreien Zustand befinden. Deshalb sollten Hinweise bezüglich der Funktionstüchtigkeit der Ventiltechnik des Entnahmegerätes explizit in die Leistungsbeschreibung der Ausschreibung aufgenommen werden:

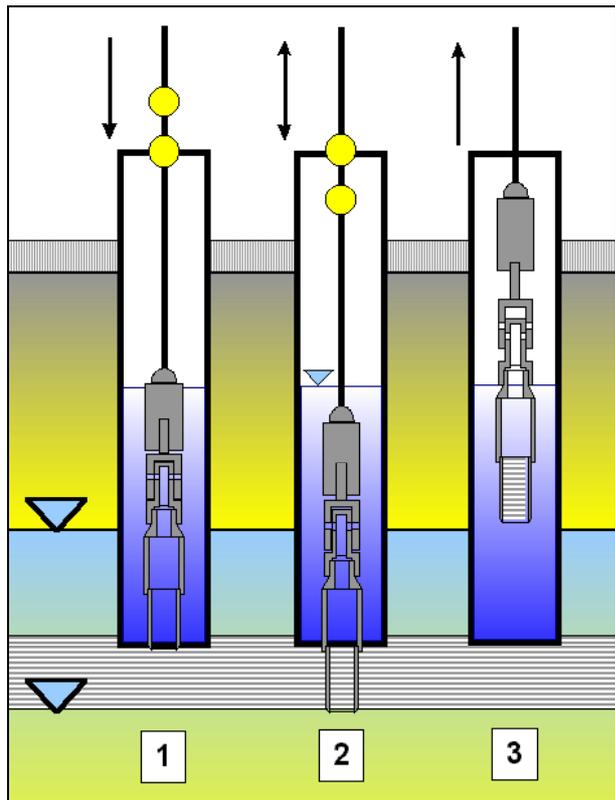
- Aus bindigen oder organischen Bodenschichten sind sofort bei jedem Wechsel der Bodenschicht bzw. bei größeren Schichtstärken alle zwei Meter Sonderproben der Güteklasse 1 bis 2 zu entnehmen. Dazu ist ein offenes Entnahmegesetz gem. Bild C.32 der DIN EN ISO 22475-1 (Bild 21). Dabei dürfen nur saubere,

entrostete Entnahmezylinder mit einwandfreien Schneiden verwendet werden.

- Die entnommenen Sonderproben sind vor Frost und Sonneneinstrahlung zu schützen.
- Eine hohe Güteklasse wird mit an die Bodenfestigkeiten angepassten Fallgewichten (50 - 500 kg) des Rammgerätes erreicht. Die Entnahme erfolgt anschließend mit möglichst wenigen Schlägen, gesteuert über die Seilschlag-Freifalleinrichtung (siehe DIN EN ISO 22475-1, Abs. 6.4.2.5.1).
- Die Sonderprobe ist ausschließlich am Seil zu lösen und zu ziehen.
- Der Schlammzylinder ist zur Aufnahme des aufgeweichten Bodens an der Bohrlochsohle erforderlich.
- Um Reibung zu verringern, müssen die Wandungen glatt sein. Deshalb dürfen nur saubere, entrostete Stutzen mit einwandfreien Schneiden verwendet werden.
- Das Säubern der Bohrlochsohle darf nicht mit einem tiefgängigen Spiralbohrer (Schnecke) erfolgen.
- Das Ventil soll den Durchfluss beim Eintreiben des Gerätes mit möglichst geringem Widerstand ermöglichen. Beim Ziehen muss es sofort dicht schließen.

Nur so kann während des Einrammens des Entnahmezylinders oberhalb des Schlammzylinders das über der Probe anstehende Wasser abfließen und oberhalb der Probe ein Unterdruck beim Anziehen und Abscheren erzeugt werden.

Die Sonderprobe muss aus dem ungestörten Boden unterhalb der Verrohrung entnommen werden. Vor dem Einführen des Entnahmegerätes ist die Bohrlochsohle mit geeigneten Bohrwerkzeugen zu säubern. Der Entnahmestutzen ist dann in seiner vollen Länge - aber nicht weiter - in den vom Bohrvorgang unbeeinflussten, d.h. ungestörten Boden einzurammen.



**Bild 24:** Entnahme einer Sonderprobe

Zur exakten Bestimmung der Tiefenlage der Sonderprobe werden während des Herablassens des Entnahmegewichtes auf die bis zur Unterkante des Bohrrohres gereinigte Bohrlochsohle zwei Seilzeichen eingemessen (Bild 24).

- Das erste Seilzeichen entspricht der eingebauten Rohrtourlänge (Achtung: beim Herablassen ist die Hubstange des Fallgewichtes ausgefahren, beim Absetzen auf der Bohrlochsohle eingefahren).
  - Das zweite Seilzeichen folgt in einem Abstand, der der Länge des Entnahmezylinders entspricht.

Das Entnahmegewicht wird mit der Seilschlagvorrichtung nur soweit eingetrieben, bis sich das zweite Seilzeichen in Höhe der Oberkante des Bohrrohres befindet. Ohne die Verwendung von Seilzeichen ist ein Überschlagen der Sonderprobe und damit eine Stauchung der Sonderprobe wahrscheinlich: sie wird damit für bodenmechanische Untersuchungen unbrauchbar.

Ist der Entnahmestutzen nicht vollständig gefüllt, muss der Hohlraum möglichst mit dem gleichen Boden aufgefüllt werden (Ceresin hat sich als Vergussmasse nicht bewährt, da ein Abreißen vom Probenzylinder zum Austrocknen der Sonderprobe führt). Zwischen das ungestörte Probenmaterial und die Auffüllmasse wird eine Kunststoff- oder Gummischeibe gelegt. Zur Abdichtung eignen sich Kunststoffdeckel mit Dreifach-

dichtung, sofern der Deckel zusätzlich mit Klebeband am Stahlzylinder fixiert wird.

Sonderproben sind unverzüglich dem Baugrundgutachter zu übergeben. Über die Aufbewahrung der Proben (Ort und Dauer) - in möglichst unbeheizten, aber frostfreien Räumen - hat der Auftraggeber oder sein Beauftragter zu befinden.

## Rammkerne

In bindigen Böden und Sanden werden häufig Bohrungen mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben ausgeführt. Sie werden meist rammend oder schlagend niedergebracht. Beim Rammen werden Entnahmegeräte mit einer Schlagvorrichtung in den Untergrund eingetrieben. Beim Schlagen wird das Bohrwerkzeug durch Anheben und Fallenlassen mit der Seilschlag-Freifallvorrichtung eingetrieben (Bilder 26 und 27).

## Rammkernentnahme im Trockenbohrverfahren

Eine Rammkernbohrung wird üblicherweise im Trockenbohrverfahren durchgeführt. Die Kerne (Minstdurchmesser 80 mm) werden beim Rammen in einen PVC-Liner eingezogen. Je nach Bodenart wird das restliche Bohrgut mit Schappen, Spiralbohrern oder Ventilbohrern mit Gestänge oder Seil zutage gefördert.

Von der Geländeoberkante erfolgt zunächst das Eintreiben des Kernrohres in den Boden mit einem Rammgewicht. Die Fallhöhe des Entnahmegerätes muss auf die Hubhöhe der Freifall-Seilschlagvorrichtung des Bohrgerätes eingestellt sein, damit das Entnahmegerät beim Einrammen nicht angezogen werden kann. Das Fallgewicht muss den Bodenfestigkeiten angepasst sein, damit die Entnahme mit wenigen Schlägen durchgeführt werden kann. Bohrausrüstungsfirmen stellen mittlerweile Entnahmegeräte unterschiedlicher Gewichtsklassen her.

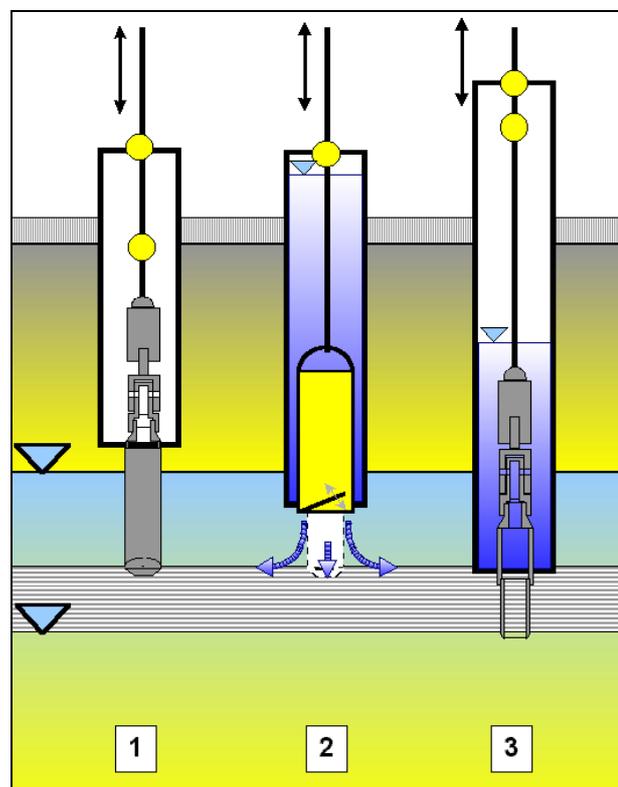
Durch die Form der Schneide und begünstigt durch die glatte Innenwandung des PVC-Liners gleitet der Kern während des Entnahmevorgangs in das Kernrohr ein. Das Einschieben des Kerns in den PVC-Liner wird durch den kleineren Durchmesser des Schneidschuhs am Kernrohr begünstigt. Ist das Kernrohr in seiner vollen Länge in den Boden eingetrieben, wird es am Seil zutage gefördert. Die Kernlänge sollte nicht mehr als 1 m betragen.

Nach dem Säubern der Bohrlochsohle kann das Kernrohr am Seil hängend auf die Bohrlochsohle herabgelassen werden. Zur Bestimmung der Tiefenlage wird von der Unterkante des Kernrohres bis zum Seil ein Seilzeichen eingemessen, das der eingebauten Rohrtourlänge entspricht. Vor dem Herablassen des Kernrohres ist durch eine Lotung zu überprüfen, ob das Seilzeichen tatsächlich genau mit der Oberkante des Bohrrohres abschließt; andernfalls ist die Bohrlochsohle erneut zu reinigen. Bohraufsichten berichten immer wieder, dass die Kerne ohne Lotung und Seilzeichen auf der ungesäuberten Bohrlochsohle eingerammt werden. Das Kernrohr wird bei gesäubertem Bohrlochsohle 1 m unter die Bohrrohrunterkante eingerammt und anschließend am Seil gezogen. Die Bohrung wird bis Unterkante der erfolgten Kernentnahme mit Bohrwerkzeugen aufgebohrt, ggf. ein neues Bohrrohr aufgesetzt und die Rohr-

tour nachgeführt; das Seilzeichen wird erneut eingemessen.

Um ein Auftreiben und Auflockern des Bodens zu verhindern, ist beim Ausfahren des Rammkernrohres mindestens so lange Wasser nachzufüllen, bis das Volumen des Bodenkernes ausgeglichen ist. Wird der Wasserüberdruck nicht gehalten, wird zwar die Kernentnahme als Folge der Auflockerung des Bodens erleichtert, Feinschichtungen gehen jedoch verloren und der Rammkern ist für bodenmechanische und geologische Untersuchungen unbrauchbar.

Beim Rammkernbohrverfahren können jederzeit zusätzlich Sonderproben entnommen werden (Bild 25).



**Bild 25:** Kombinierte Rammkern- und Sonderprobenentnahme im Trockenbohrverfahren



Spalte	1	2	3	4	5	6	
Zeile	Bohrverfahren			Gerät			
	Lösen des Bodens <sup>b</sup>	Spülhilfe	Fördern der Probe mit	Bezeichnung	Werkzeug	Richtwerte Bohraußen-durchmesser <sup>a</sup> mm	
1	drehend	nein	Bohrwerkzeug	Rotations-trockenkern-bohrverfahren <sup>c</sup>	Einfachkernrohr	100 bis 200	
					Hohlbohrschnecke	100 bis 300	
ja		Bohrwerkzeug	Rotationskern-bohrverfahren	Einfachkernrohr	100 bis 200		
				Doppelkernrohr <sup>a</sup>			
			Dreifachkernrohr <sup>a</sup>				
3		ja	Bohrwerkzeug	Rotationskern-bohrverfahren	Doppel- oder Dreifachkernrohr mit Vorschneidkronen oder Vorsatz	100 bis 200	
4		nein	Bohrwerkzeug	Schnecken-bohrverfahren	Gestänge mit Schappe, Schnecke oder Hohlbohrschnecke	100 bis 2 000	
5		ja	Umkehrspülung	Rotationsspül-bohrverfahren	Gestänge mit Hohlmeißel	150 bis 1 300	
6		nein	Bohrwerkzeug	Handdrehbohr-verfahren	Schappe, Schnecke, Spirale	40 bis 80	
7		rammend	nein	Bohrwerkzeug	Rammkern-bohrverfahren	Rammkernrohr mit Schnittkante innen; auch mit Hülse oder Schnecke (oder Hohlbohr-schnecke) <sup>b</sup>	80 bis 200
8			nein	Bohrwerkzeug	Rammbohr-verfahren	Rammkernrohr mit Schnittkante außen <sup>b</sup>	150 bis 300
9			nein	Bohrwerkzeug	Kleinramm-bohrverfahren	Rammgestänge mit Entnahmerohr	30 bis 80
10		drehend, rammend	ja	Bohrwerkzeug	Rammrotations-kernbohrverfahren	Einfach- oder Doppelkernrohr	100 bis 200
11		vibrierend, langsames Drehen freigestellt	nein (nur zur Einbringung der Verrohrung)	Bohrwerkzeug	Vibrationsbohr-verfahren	Dickwandiges Entnahmegesetz oder Einfachkernbohr mit freigestelltem Innenrohr aus Kunststoff	80 bis 200
12		schlagend	nein	Bohrwerkzeug	Schlagbohrung	Seil mit Schlagschappe	150 bis 500
13	nein		Bohrwerkzeug	Schlagbohr-verfahren	Seil mit Ventilbohrer	100 bis 1 000	
14	drückend	nein	Bohrwerkzeug	Kleindruck-bohrverfahren	Druckgestänge mit Entnahmerohr	30 bis 80	
15	greifend	nein	Bohrwerkzeug	Greiferbohrung	Seil mit Bohrlochgreifer	400 bis 1 500	

<sup>a</sup> Übliches Kernrohr oder Seilkernrohr  
<sup>b</sup> Beim „Rammen“ wird das Bohrwerkzeug mit einer besonderen Schlagvorrichtung eingetrieben. Beim „Schlagen“ wird das Bohrwerkzeug selbst durch wiederholtes Anheben und Fallenlassen zum Eintreiben benutzt.  
<sup>c</sup> Das Rotationstrockenkernbohrverfahren wird in der Regel dann eingesetzt, wenn die Beobachtung der Grundwasseroberfläche das wichtigste Ziel der Baugrunderkundung ist.

**Bild 26:** DIN EN ISO 22475-1, Tabelle 2, Spalten 1 – 6 —Durchgehende Gewinnung von Proben in Böden mittels Bohrverfahren

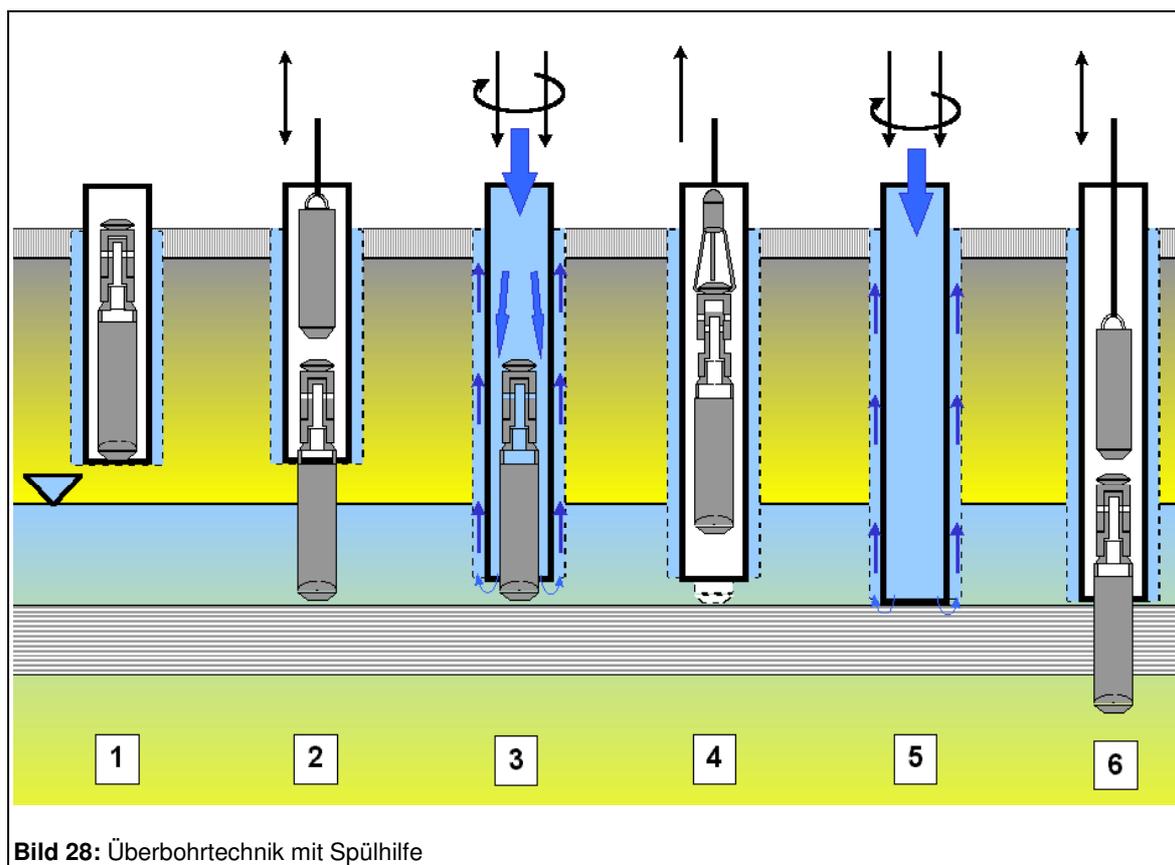


7		8		9	10	11	Spalte
Eignung des Bohrverfahrens <sup>d</sup>							
Ungeeignet für <sup>d</sup>	Bevorzugt einsetzbar für <sup>d</sup>			Erreichbare Entnahmekategorien <sup>e</sup>	Erreichbare Güteklasse <sup>e</sup>	Bemerkungen	Zeile
Grobkies, Steine, Blöcke	Ton, Schluff, Feinsand, Schluff			B (A)	4 (2–3)	gut in Mitte, außen ausgetrocknet	1
	Ton, Schluff, Sand, organische Böden			B (A)	3 (1–2)	–	
nicht bindige Böden	Ton, tonige, auch verkittete gemischtkörnige Böden, Blöcke			B (A)	4 (2–3)	–	2
				B (A)	3 (1–2)		
				A	1		
Kies, Steine, Blöcke	Ton, Schluff			A	2 (1)	–	3
Blöcke größer als $D_e/3$	über GW-Oberfläche alle Böden, unter Grundwasseroberfläche alle bindigen Böden			B	4 (3)	–	4
–	Alle Böden			C (B)	5 (4)	–	5
Grobkies größer als $D_e/3$ , dicht gelagerte Böden und unter Grundwasseroberfläche nicht bindige Böden	über GW-Oberfläche Ton bis Mittelkies; unter Grundwasseroberfläche bindige Böden			C <sup>f</sup>	5	nur für geringe Tiefen	6
Böden mit Komdurchmessern größer als $D_e/3$ , feingeschichtete Böden, z. B. Warven	Ton, Schluff und Böden mit Komdurchmessern bis höchstens $D_e/3$			in bindigen Böden: A	2 (1)	Rammdiagramm durch Messung der Schlagzahl	7
				in nicht bindigen Böden: B (A)	3 (2)		
Böden mit Komdurchmessern größer als $D_e/3$	Kies und Böden mit Komdurchmesser bis höchstens $D_e/3$			B	4	–	8
Böden mit Komdurchmessern größer als $D_e/2$	Böden mit Komdurchmesser bis höchstens $D_e/5$			C <sup>f</sup>	5	nur für geringe Tiefen	9
gemischtkörnige und reine Sande über 2,0 mm Komdurchmesser, Kies, halbfeste und feste Tone	Ton, Schluff, Feinsand			in bindigen Böden: A	2 (1)	–	10
				in nicht bindigen Böden: B	4 (3)		
–	–			in bindigen Böden: B	4	–	11
				in nichtbindigen Böden: C	5		
über Grundwasseroberfläche Kies, unter Grundwasseroberfläche Schluff, Sand und Kies	über GW-Oberfläche Ton und Schluff, unter Grundwasseroberfläche Ton			C (B)	4 (3)	–	12
über Grundwasseroberfläche	Kies und Sand im Wasser			C (B)	5 (4)	auch in bindigen Böden unter Wasserzugabe möglich	13
feste und grobkörnige Böden	Ton, Schluff, Feinsand			C <sup>f</sup>	5	nur für geringe Tiefen	14
feste, bindige Böden, Blöcke größer als $D_e/2$	Kies, Blöcke kleiner als $D_e/2$ , Steine			über GW-Oberfläche: B	4	–	15
				unter GW-Oberfläche: C	5		

<sup>d</sup> Hierin bedeutet  $D_e$  der Innendurchmesser des Bohrwerkzeugs.  
<sup>e</sup> Die in Klammern gesetzten Angaben bedeuten, dass die jeweiligen Entnahmekategorien und Güteklassen nur bei besonderen Bodenbedingungen, die in solchen Fällen erläutert werden müssen, erreicht werden können.  
<sup>f</sup> Entnahmekategorie B ist in manchen leicht bindigen Böden möglich.

ANMERKUNG Reine Spülbohrungen werden nicht erwähnt, da mit ihnen in der Regel nur eine Probengüte unterhalb der Güteklasse 5 erreicht werden kann.

**Bild 27:** DIN EN ISO 22475-1, Tabelle 2, Spalten 7 – 11 —Durchgehende Gewinnung von Proben in Böden mittels Bohrverfahren



### Rammkernentnahme in Überbohrtechnik mit Spülhilfe

Der Einsatz einer Spülhilfe zur Drehung der Bohrverrichtung nach dem Einrammen über das Kernrohr ermöglicht ein leichteres Ziehen des Rammkernes. Dabei darf der Bohrkern jedoch nicht mit der Spülflüssigkeit in Berührung kommen. In den Kommentaren zur DIN 4021 stellt KANY fest, dass dies nur in gering durchlässigen Böden gewährleistet ist, und verlangt ein ständiges Voreilen der Schneide des Rammkernrohres.

Beim Rammkernverfahren mit Überbohrtechnik (Bild 28) wird das Rammkernrohr ebenfalls mit einem Rammgewicht eingeschlagen. Im Gegensatz zur Rammkernentnahme beim Trockenbohrverfahren - das Rammkernrohr wird am Seil auf die gesäuberte Bohrlochsohle herabgelassen - wird bei der Überbohrtechnik das Rammkernrohr an einer Ausklingvorrichtung über das Bohrrohr geführt und ausgehakt. Dafür wird der Spülkopf von der Bohrverrohrung getrennt und zur Seite geklappt. Dann fällt das Rammkernrohr oberhalb des Grundwasserspiegels im freien Fall - unterhalb des

Grundwasserspiegels durch das Wasser gebremst - auf die Bohrlochsohle und dringt allein durch sein Eigengewicht in den Baugrund unterhalb der Verrohrung ein. Durch eine Verengung der Verrohrung wird konstruktiv erreicht, dass das Rammkernrohr nicht "durchrutschen" kann. Dann wird das Rammgewicht am Seil hängend auf das Rammkernrohr aufgesetzt, eingeklinkt und das Kernrohr eingetrieben. Das Kernrohr darf nur 1 m unter die Unterkante des Bohrrohres gerammt werden. Die Praxis jedoch zeigt, dass bis zu 1,25 m möglich sind und der Kern somit zu tief eingetrieben wird. Das hat zur Folge, dass der Liner im Rammkernrohr mit einer Länge von 1 m stets zu 100 % gefüllt wird. Anschließend wird unter Spülhilfe die Bohrverrohrung nachgeführt und das Rammkernrohr bis zu 90 cm überbohrt eingeschlagen, dann am Seil gelöst und gezogen eingeschlagen. Die Bohrung wird bis zur Unterkante der erfolgten Kernentnahme in einem direkten Spülbohrverfahren aufgebohrt. Hierzu wird der Spülkopf auf die Bohrverrohrung geschraubt und unter Drehen und Andrücken der Verrohrung die Spülhilfe direkt im Rohr auf die Bohrlochsohle geströmt. Der Rücklauf der mit Bohrgut versetzten Spülung erfolgt im Ringraum zwischen Rohr und Baugrund.



Die Kontinuität des Spülstromes wird u.a. dadurch kontrolliert, dass die Spülung fortlaufend die Geländeoberfläche erreicht. Bei einem Abreißen des Spülstromes wird die eingebaute Rohrtour mit dem Spülkopf im Bohrmast solange drehend auf und ab gefahren, bis der Spülkreislauf wieder hergestellt ist. Dabei darf sich das Rammkernrohr nur dann in der Verrohrung befinden, wenn es durch die Bewegung der Rohrtour nicht angehoben wird.

Der Nachfall an der Bohrlochsohle wird im Regelfall nicht kontrolliert und ist dann im oberen Bereich des folgenden Rammkernes als gestörter Boden vorzufinden. Gerade in nichtbindigen Böden kann dies später bei der Bodenansprache nicht mehr erkannt werden.

Beim Trockenbohrverfahren übernimmt der Verrohrungsdrehtisch die Aufgabe der Dreh- sowie der Auf- und Abwärtsbewegung der Bohrverrohrung. Dabei ist die Oberkante der Verrohrung offen und damit zugänglich, so dass gleichzeitig mit Bohrwerkzeug am Seil und am Gestänge gearbeitet und dabei z.B. Steinhindernisse beseitigt werden können.

Bei der Überbohrtechnik ohne Verrohrungsdrehtisch kann hingegen nur mit Spülhilfe versucht werden, ein Hindernis zu verdrängen. Wird aber zu lange in einer Tiefenlage gespült, sind Hohlrumbildungen unterhalb und seitlich der Verrohrung nicht auszuschließen.

Beim Rammkernverfahren mit Überbohrtechnik würde die Bohrung - abweichend vom konventionellen Verfahren - auch oberhalb des Grundwasserspiegels mit einer Wasserspülung beaufschlagt, so dass Schichtwasser oder Grundwasserstand nicht erkannt werden; oberhalb des Grundwasserspiegels ist deshalb im Trockenbohrverfahren zu arbeiten. Dies gilt für die gesamte Aufschlussbohrung, falls mehrere Grundwasserhorizonte im Baugrund erwartet werden und erkannt werden sollen.

Folgende Hinweise bezüglich der Rammkernentnahme in Überbohrtechnik sollten in die Leistungsbeschreibung der Ausschreibung aufgenommen werden:

- Das Überbohren mit Wasserspülung (mit oder ohne Spülungszusatz) ist nur unterhalb des Grundwasserspiegels zugelassen.
- Das Bohrgerät muss mit einem vom Kraftspülkopf unabhängigen Verrohrungsdrehtisch ausgerüstet sein.
- Bei der Kernentnahme muss konstruktiv sichergestellt sein, dass das Kernentnahmegesetz nicht tiefer als die vorgesehene Kernlänge (1 m) unter Unterkante Bohrrohr eingetrieben wird.
- Das Überbohren mit Spülhilfe muss 10 cm über der Unterkante des Kernrohres beendet werden.
- Bei einer Unterbrechung des Spülstroms beim Überbohren darf das Kernrohr durch das An-

heben der Verrohrung nicht aus dem Baugrund gerissen werden.

- Der Rammkern ist am Seil aus dem Baugrund zu lösen und zu bergen.
- Bei der Entnahme von Sonderproben sind die Proben ohne Überbohren am Seil zu lösen und zu bergen.
- Die Bohrspülungen sind rückstandlos von der Baustelle zu entsorgen.

## Behandlung der Proben

Nach der Entnahme der Proben ist sofort festzustellen, ob einzelne Teile gestört sind. Diese Teile sind zu entfernen. Die Proben sind dann gegen Vermischen, Austrocknen oder Auflockern zu schützen. Gestörte Proben werden in Behältern aus Glas oder Plastik mit luftdichten Deckeln verschlossen. Sonderproben in Entnahmestutzen oder -hülsen sind durch Kunststoff- oder Gummideckel mit Klebeband zu verschließen (Bild 29). Sie können auch mit Ceresin (Wachs) vergossen oder zwischen Stahlplatten mit Gummidichtung eingespannt werden. Sind Entnahmestutzen nicht vollständig gefüllt, so muss der Hohlraum mit gleichem Boden, Ceresin oder einer anderen Vergussmasse aufgefüllt werden. Ceresin hat sich in der Vergangenheit nicht bewährt, da ein Abreißen der Dichtungsmasse vom Sonderprobenzylinder zum Austrocknen der Probe geführt hat. Zwischen dem ungestörten Material der Sonderprobe und der Auffüllmasse wird eine Kunststoff- oder Gummischeibe gelegt. Eine bewährte Abdichtung der Son-



**Bild 29:** Verpacken einer Sonderprobe

derproben wird mit Kunststoffdeckeln mit Dreifachdichtung erzielt, wenn zusätzlich der Deckel mit Klebeband am Stahlzylinder fixiert wird.

Alle Bodenproben sind sofort nach der Entnahme auf dem Behälter (nicht auf dem Deckel) deutlich und dauerhaft wie folgt zu kennzeichnen:

- Bauwerk oder Ort der Entnahme
- Nummer des Schurfs oder des Bohrlochs
- Nummer der Probe
- Tiefe der Unterkante der Bohr- bzw. der Sonderprobe
- Kennzeichnung der Ober- und Unterkante von Kern- und Sonderproben, sofern dies nicht anderweitig zu ersehen ist, z.B. durch einen nach unten gerichteten Pfeil
- Bodenart (entfällt bei Probenentnahme in Rohren oder Folien)
- Datum der Entnahme

Die Proben sind gegen Sonneneinstrahlung und vor zu großer Hitze (z.B. in überheizten Baubuden) sowie gegen Frost zu schützen.

Für Versand und Transport sind die Proben vor Erschütterungen und die Behälter vor Zerstörung zu schützen und hierzu unter Umständen in Kisten mit unbehandelten Sägespänen, Holzwolle oder ähnlichem zu verpacken.

Die Proben sind in möglichst unbeheizten, aber frostfreien Kellerräumen aufzubewahren. Sonderproben sind nach Möglichkeit unverzüglich dem Gutachter (z.B. der BAW) zuzuleiten. Über die Aufbewahrung der Proben (Ort und Dauer) hat der Auftraggeber oder sein Beauftragter zu befinden.

### Vergleich von Sonderproben und Rammkernen

Im Labor zeigten sich keine Festigkeitsunterschiede zwischen Sonderproben und Rammkernen, die oberhalb des Grundwasserspiegels entnommen worden waren.



**Bild 30:** Rammkern mit Ringraum

Rammkerne aus bindigen Böden unterhalb des Grundwasserspiegels sind hingegen meist deutlich weicher als unmittelbar ober- und unterhalb entnommene Sonderproben: Beim Aufschneiden der PVC-Rohre läuft Wasser aus den Rammkernen aus und füllt den Ringraum (Bild 30) zwischen Bodenprobe und Kernumhüllung. Dadurch kann der Bohrkern zwar leichter in das PVC-Rohr eingetrieben werden, der Kern wird jedoch aufgeweicht und damit in seinen bodenmechanischen Eigenschaften verändert. Vergleichende Untersuchungen zwischen Rammkernen und Sonderproben haben deutliche Unterschiede in der Anfangsscherfestigkeit bzw. der Konsistenz ergeben. Bohrkern können Sonderproben also nicht ersetzen.

### Allgemeines zur Kernentnahme

Sollen Kerne höherer Güteklasse entnommen werden (Bild 31), dann muss der Bohrkern einen Mindestdurchmesser von 80 mm haben und in eine feste Umhüllung gezogen werden. Die Kernlänge sollte nicht größer als 1 m sein.



**Bild 31:** Bearbeitung eines Rammkerns nach der Entnahme

Es sind Schneid Schuhe mit innenliegender Schneide zu verwenden. Nach Möglichkeit sollte in Böden mit breiiger bis weicher Konsistenz kein Kernfänger eingesetzt werden.

Das Innendurchmesserverhältnis sollte  $C_i \leq 3 \%$  und das Flächenverhältnis im Schneidenbereich  $C_a \leq 15 \%$  betragen.

Jedoch zeigen die Erfahrungen der BAW, Dienststelle Hamburg, dass unterhalb des Grundwasserspiegels entnommene Kerne aus bindigen Böden bei der Lagerung aufweichen. Je größer der Ringspalt zwischen fester Umhüllung und Bohrkern ist, desto größer wird - besonders bei schwach plastischen Böden - der Aufweichungsgrad sein.

### Kernveränderungen und Kernverluste

In Abhängigkeit vom Baugrund muss mit folgenden Kernveränderungen bzw. -verlusten gerechnet werden:

- Bei Kernarbeiten in Geschiebemergel, Schluffen und Tonen ist zu beobachten, dass beim Abbohren von einem Meter bis zu 1,5 m Kernlänge entstehen. Dies ist dadurch zu erklären, dass nur das Bohrklein, das durch die Räumkrone des Außenkernrohrs gelöst wird, mit dem Spülstrom weggetragen wird. Das durch die Pilotkrone des Innenkernrohrs gelöste Material wird zumindest teilweise in das Innenkernrohr gedrückt.
- Bei Rotationskernbohrungen in fest gelagerten Sanden kann es vorkommen, dass das Bohrgerät kurzfristig "nicht mehr schiebt". Im Kern finden wir an diesen Stellen im sonst lockeren Sand harte Platten. Durch Bohren mit zu hohem Andruck und zu geringer Spülungsmenge wird der Sand im Bereich der Bohrkrone zu feinem Quarzmehl zermahlen. Durch die Rei-

bungenergie erhitzt sich das Quarzmehl und es kommt zu "Versinterungen".

- Kernentnahmen an Übergängen und bei Wechsellagerungen sind fast immer mit Kernverlusten verbunden: Um einen festgelagerten Ton in das Innenkernrohr zu drücken, ist ein gewisser Gegendruck durch den Boden erforderlich. Dies ist kein Problem, solange innerhalb der Tonschicht gebohrt wird. Sande hingegen sind oft nicht fest genug gelagert, um den Gegendruck zu erzeugen, der erforderlich ist, um den Tonkern am Kernfängerring vorbei in das Innenkernrohr zu schieben. Der Tonkern verklemmt sich daher in der Kernfängerhülle. Der Sand wird vor der Bohrkrone beiseite gedrückt und ausgespült. Im Innenkernrohr wird zwar der Tonkern, aber - wenn überhaupt - nur sehr wenig Sand zu finden sein. Der Bohrgeräteführer kann häufig am Andruck merken, ob sich der Kern in das Innenkernrohr schiebt oder nicht. Muss bei Übergängen von bindigem Material zum Sand der Andruck gesteigert werden, klemmt oft der Kern in der Kernfängerhülle. Das Innenkernrohr muss also gezogen und entleert werden. Bei häufigem Materialwechsel ist es nur selten möglich, die volle Länge des Innenkernrohrs abzubohren.
- Bei Wechsellagerungen mit geringmächtigen Einzelschichten ist es nicht möglich, bei jedem Übergang das Innenkernrohr zu ziehen. Relativ hohe Kernverluste sind, vor allem in den sandigen Lagen, häufig nicht zu vermeiden. Falls möglich, sollten die Teilstücke der jeweils vorgesehenen gesamten Kernstrecke in bindigen Formationen enden. Dies ist abhängig von der Erfahrung und dem Können des Bohrgeräteführers.
- Kernverlust ist beinahe die Regel, wenn in Kiesschichten gekernt wird. Geschiebemergel lässt sich zwar normalerweise gut kernen, in diesen Schichten kommen aber auch grobe Kiese vor, die dann zu Kernverlusten führen. Verstopft ein Stein die Krone nicht vollständig, wird bindiges Material in "Wurstform" in das Innenkernrohr gedrückt.



## Aufschluss der Wasserverhältnisse

### Grundsätzliches

Langfristige und genaue Beobachtungen von Grundwasserständen sind nur möglich, wenn das Bohrloch mit einem Pegelrohr zur Grundwassermessstelle ausgebaut worden ist. Die Entnahme von Wasserproben zur Beurteilung der Wassergüte ist ebenfalls nur aus einer Grundwassermessstelle möglich. Die DIN EN ISO 22475-1 erläutert die Ausbaurbeiten und gibt nützliche Hinweise:

- Wasser im Untergrund kann in verschiedener Weise auftreten. Ziel der Untersuchungen ist es, alle Wasservorkommen zu erfassen und vorhandene Grundwasserstockwerke festzustellen.
- Auch die Vorgänge beim Bohren (Durchörtern von Sperrschichten, laufende Wasser- und Bodenentnahme bzw. Wasserzugabe) können zu Fehlbeurteilungen der wirklichen, das heißt der vom Bohrvorgang unbeeinflussten Wasserverhältnisse führen.
- Bei der Ausführung von Baugrundaufschlussbohrungen kann deshalb die Einmessung der Wasserstände nur unter bestimmten Voraussetzungen ein zutreffendes Ergebnis liefern, z.B. wenn die Grundwasseroberfläche in einer gut durchlässigen Bodenschicht verläuft. In den meisten Fällen werden die Wasserstände bei der Durchführung von Aufschlussbohrungen jedoch durch den Bohrvorgang beeinflusst.
- Die Messung der Wasserstände führt i.d.R. zu unrichtigen Werten, wenn beim Bohren

- mit Spülung oder Dickspülung,
- mit Spülhilfe,
- mit Wasserüberdruck,
- mit Wasserzusatz oder
- mit zu großem Bohrfortschritt gearbeitet wird,

oder wenn

- die notwendige Verrohrung den Wasserausgleich behindert oder
- die Bohrlochsohle durch sedimentierte Feinbestandteile zugesetzt ist.

Für eine zutreffende Angabe der Wasserstände ist es i.d.R. erforderlich, die Baugrundaufschlussbohrung nachträglich mit Messpegeln zu versehen.

- Alle Wasserstände sind mit einer Messgenauigkeit von 1 cm festzustellen und im Schichtenverzeichnis bzw. als Anlage mit Datum und Uhrzeit zu vermerken.

Routinemäßig sind mindestens bei Arbeitsbeginn und -ende die Bohrlochwasserstände einzumessen sowie zusätzlich, wenn während der Bohrarbeiten Veränderungen der Wasserstände auftreten.

Sobald bei einer Baugrundaufschlussbohrung Wasser im Bohrloch angetroffen wird, ist der Bohrvorgang zu unterbrechen und der Wasserstand nach einer Bohrpause einzumessen.

In gut durchlässigen Böden beträgt die Bohrpause ca. 5 Minuten. In weniger durchlässigen Böden ist i.d.R. ein Ausgleich des Wasserspiegels im Bohrloch während einer kurzen Bohrpause nicht zu erreichen.

### Ausbau und Beobachtung von Grundwassermessstellen

Die Herstellung von Grundwassermessstellen im Baugrund wird durch die DIN EN ISO 22475-1 beschrieben. U.a. sind die Hinweise auf Vorschriften und Regeln von DVWK und LAVA zu beachten.

#### Die Grundwasserrichtlinie 1/82 empfiehlt:

- Für Grundwasserbeobachtungsrohre kommen nur dauerhafte und widerstandsfähige Werkstoffe in Frage, z.B. normalwandige, verzinkte nahtlose Stahlrohre oder Kunststoffrohre. Für die Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit muss dem Rohrwerkstoff besondere Beachtung geschenkt werden.

#### Folgende Schlitzweiten werden empfohlen:

Filterkieskörnung [mm]	1 - 2	2 - 3,15	3,15 - 5,6	5,6 - 8
Filterschlitzweite [mm]	0,5	1	2	3

- Die Nennweite der Grundwassermessstelle soll in der Regel 125 mm betragen, damit eine fachgerechte Wasserprobenentnahme erleichtert wird (Einbringung einer kleinen Unterwasserpumpe). Das Filterrohr soll entsprechend der Lage und Mächtigkeit des maßgebenden Grundwasserleiters eingebaut werden. Die Filterlänge soll nicht weniger als 2 m betragen. Anordnung und Länge des Filters können einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse haben. Die Filterkiesschüttung soll mindestens einen Meter über Filterrohroberkante reichen. Die Schlitzweite der Filter muss das Eindringen von Filterkies in das Beobachtungsrohr sicher verhindern.



Der Bohrdurchmesser muss eine Filterkiesschüttung rings um das Beobachtungsrohr ermöglichen. **Nach DIN 4924 soll sie folgende Stärke haben:**

Filterkorndurchmesser [mm]	0,25 - 2	2 - 8
Stärke der Filterschicht [mm]	50	80

Unter der Filterstrecke sollte ein bis zu 1 m langes, nach unten verschlossenes Sumpfrohr angeordnet werden. Die Oberkante der Messstelle soll in der Regel ca. 1 m über Gelände liegen. An der Geländeoberfläche ist der Rohrabschluss mit einer 60 cm bis 100 cm tiefen Betonfüllung zwischen Bohrlochwand und Rohrwand stand- und frostsicher anzulegen. Ist eine Gefährdung der Messstelle nicht auszuschließen, so ist die Rohroberkante 15 cm bis 20 cm unter Gelände zu verlegen. Durch geeignete Vorkehrungen (z.B. Hydrantenkappe nach DIN 4055) ist der Rohrabschluss zu sichern.

gelrohr zu schütten. Auch beim Einbringen des Filters ist in das Pegelrohr ständig Wasser nachzufüllen, um den Wasserstand höher als im Bohrrohr zu halten.

- Der Filterkies ist sorgfältig und kontinuierlich in kleinen Mengen so einzubringen, dass keine Verstopfung entsteht.
- Bei verrohrten Bohrlöchern müssen die Mantelrohre gleichzeitig mit dem Schütten des Filterkieses gezogen werden. Der Rohrschuh soll dabei etwa 0,3 m bis 0,5 m unterhalb der jeweiligen Oberfläche der Filterschüttung stehen, was durch Loten zu verfolgen ist.
- Oberhalb der eingebauten Filterkiesschüttung wird eine 1 m starke Tonabdichtung eingebaut. Der Ringraum oberhalb der Tonabdichtung kann, falls vorhanden, mit geeignetem Bohrgut

**Tabelle 1 – Mindestbohrerdurchmesser in Abhängigkeit vom Ausbaudurchmesser und Abdichtungsmaterial bei Trocken- und Spülbohrungen**

Ausbaudurchmesser in mm		50**	65	80	100	115	125
Mindestbohrerdurchmesser in mm bei Suspensionen*	Spülbohren	187,3 (7 <sup>3/8</sup> "	193,7 (7 <sup>5/8</sup> "	222,3 (8 <sup>3/4</sup> "	244,5 (9 <sup>5/8</sup> "	244,5 (9 <sup>5/8</sup> "	279,4 (11"
	Trockenbohren	219	273	273	324	324	324
Mindestbohrerdurchmesser in mm bei Tonformlingen	Spülbohren	222,3 (8 <sup>3/4</sup> "	244,5 (9 <sup>5/8</sup> "	244,5 (9 <sup>5/8</sup> "	304,8 (12"	304,8 (12"	304,8 (12"

\* Suspensionsabdichtungen werden bei Trockenbohrungen nicht empfohlen

\*\* Einschränkung: Schlecht befahrbar mit technischen Geräten (z. B. Pumpen, Messsonden, Datenlogger)

Tabelle 1 aus dem DVGW Arbeitsblatt W121

In der DIN EN ISO 22475-1 und im DVGW Arbeitsblatt W121 wird der Einbau der Pegelrohre und das Einbringen des Filterkieses sowie das Verfüllen des Bohrlochs beschrieben:

- Die Pegelrohre werden möglichst zentrisch in das Bohrloch abgelassen. Sie sind dazu mindestens unterhalb der Filterrohre mit Abstandshaltern zu versehen.
- Zum besseren zentrischen Einbau der Pegelrohre werden alle 2 m Abstandshalter am Aufsatzrohr befestigt. Jedoch ist zu beachten, dass die Abstandshalter konstruktiv so gefertigt sind, dass ein Abloten und der Einbau der Filterkiesschüttung ohne "Aufhängen" des Filterkieses möglich ist.
- Die Oberkante des Pegelrohres ist sofort nach dem Einbau so einzumessen, dass ein Mitgehen des Pegelrohres beim Ziehen der Verrohrung rechtzeitig erkannt und verhindert werden kann.
- Um eine etwaige Schlammhaut am Filterrohr zu beseitigen, ist unmittelbar vor Einbau des Filterkieses etwa ein Eimer Wasser in das Pe-

gefüllt werden. Unmittelbar oberhalb der Kiesschüttung darf kein Boden eingebaut werden, der diese verunreinigt.

Teilweise werden Bohrungen nicht auf ihrer vollen Länge mit Pegelrohren ausgebaut, so dass der Bereich unterhalb des Pegels zuerst verfüllt werden muss. Falls kein geeignetes Bohrgut vorhanden ist, sollte ein Füllkies verwendet werden, damit die später zu erwartenden Setzungen so klein wie möglich gehalten werden. Ungeeignetes Material, wie z.B. bindige Bodenklumpen, führen zu einem Aufhängen des Bodens. Das kann zur Folge haben, dass sich plötzlich Setzungen einstellen und der Filterkies am Filterrohr wegläuft. Dies hat zur Folge, dass der Pegel unbrauchbar wird.

- Alle Sperrschichten, die Grundwasserstockwerke trennen, sind wieder herzustellen. Dies kann mit Tonkugeln, Bentonit-Zement-Gemischen oder Bentonit-Schwerspat-Gemischen geschehen.
- Die Abdichtung ist beim Einbau ständig mit einer Wassersäule zu belasten, die im Bohrrohr höher reichen muss als die Druckhöhe des da-



runter liegenden Grundwasserstockwerks. Nach Einbringen des Tons wird die Verrohrung bis 30 cm unterhalb der Oberfläche der Tonabdichtung gezogen.

In der Praxis werden die Wartezeiten bis zum weiteren Verfüllen des Bohrloches oft nicht eingehalten. Wird über der Tonabdichtung jedoch eine Füllsandschicht aufgebracht, kann auf Wartezeiten verzichtet werden, da die Belastung mit dem Porenwasser des Füllsandes ermöglicht wird. Soll oberhalb des Grundwasserspiegels eine Tonabdichtung gegen das Eindringen von Oberflächenwasser eingebaut werden, wird empfohlen, Suspensionen einzubauen.

Nach Herstellung einer Grundwassermessstelle ist ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Das Ergebnis ist in einem Arbeitsbericht festzuhalten:

- ausgespiegelter Wasserstand im Messrohr vor der Prüfung.
- Wasserstand nach Abpumpen.
- Messung des Wasserstandes mit Uhrzeit und Datum beim Wiederanstieg bis zum Erreichen eines ausgespiegelten Wasserstandes.

Da nach Fertigstellung der Grundwassermessstelle oft noch Setzungen stattfinden, ist die Pegelrohroberkante erst nach einigen Tagen auf [mNN] einzumessen und die Messung ggf. nach einiger Zeit zu wiederholen.

### Entnahme von Wasserproben

Wasserproben für chemische Untersuchungen der Beton- und Stahlaggressivität aus einer Grundwassermessstelle sollten immer durch qualifiziertes Fachpersonal entnommen werden. Die Bohrung muss hierfür zu einer Grundwassermessstelle ausgebaut werden.

Grundsätzlich sind aus Brunnen oder Grundwassermessstellen zuverlässigere Proben als aus Bohrlöchern zu erwarten, weil die Beschaffenheit des Grundwassers durch den Bohrvorgang verändert wird. Bohrungen, die zu Grundwassermessstellen ausgebaut werden sollen, dürfen nicht mit Spülungszusätzen hergestellt werden, wenn die Pegelrohre einen Innendurchmesser  $d_i < 100$  mm aufweisen. Wenn Wasserproben für chemische Untersuchungen entnommen werden sollen, dürfen keine Spülungszusätze verwendet werden.

Soll nur einmalig eine Wasserprobe entnommen werden, ist das Bohrloch zu einer temporären Grundwassermessstelle auszubauen. In diesem Falle wird ein Filterrohr in den Grundwasserleiter eingebaut, eine Filterkiesschüttung und eine Tonabdichtung eingebaut und die Bohrlochverrohrung bis zur Tonabdichtung angezogen. Nach Entnahme der Wasserprobe wird das Pegelrohr wieder ausgebaut, das Bohrloch gesäubert und ggf. die Bohrarbeiten weitergeführt.

Die Entnahmestellen sollen nach den Erfordernissen der vorliegenden Bauaufgabe unter Berücksichtigung der örtlichen geologischen und hydrologischen Verhältnisse festgelegt werden. Darüber hinaus sind in der näheren Umgebung von Industrieanlagen, von dicht besiedelten Wohngebieten, von Ablagerungen von Abfallprodukten und von Schüttungen von organischen oder auslaugfähigen Böden aus **mindestens zwei verschiedenen Stellen Wasserproben** zu entnehmen. Bei mehreren Grundwasserstockwerken kann die Entnahme aus jedem Stockwerk notwendig sein.

Die Untersuchung der Betonaggressivität des Grundwassers wird in der DIN 4030 geregelt:

Die Wasserprobe muss aus frisch angesammeltem Wasser entnommen werden. Abgestandenes oder verschmutztes Wasser ist vorher abzupumpen. Dies ist in einwandfreier Weise nur bei der Entnahme aus Brunnen und Grundwassermessstellen möglich; bei Bohrlöchern ist der erforderliche Wasserzufluss nur in einem grobsandigen kiesigen Grundwasserleiter **ohne Feinanteile** gegeben.

### Literatur

ARNOLD, WERNER (HRSG., 1993): FLACHBOHRTECHNIK. DT. VERL. FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE, LEIPZIG, STUTTGART  
BBR-LEHRBUCH (1989): BRUNNENBAU. IN: BBR 40, NR. 6, S. 393-400

BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR (HRSG., 1982): ZUSÄTZLICHE TECHNISCHE VORSCHRIFTEN - WASSERBAU (ZTV-W) FÜR BAUGRUNDERSCHLIEßUNG UND BOHRARBEITEN (LEISTUNGSBEREICH 203)

BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR (HRSG., 11/1987): STANDARDLEISTUNGSKATALOG FÜR DEN WASSERBAU: BAUGRUNDERSCHLIEßUNG UND BOHRARBEITEN (LEISTUNGSBEREICH 203)

BRÜGGEMANN, K. & A. TOUSAIN (1989): DIE ERKUNDUNG VON BODEN UND FELS IM VERKEHRSWEGE-, GRUND- UND WASSERBAU. WERNER, DÜSSELDORF

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (HRSG., 1991): ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG DES BAUGRUNDS: NORMEN. 5. AUFL. (DIN TASCHENBUCH 113), BEUTH, BERLIN, KÖLN

LANDEsarbeitsgemeinschaft Wasser (HRSG.), ARBEITSKREIS "GRUNDWASSERVERMESSUNG" (1982): GRUNDWASSER. RICHTLINIEN FÜR BEOBACHTUNG UND AUSWERTUNG. TEIL 1, GRUNDWASSERSTAND.

STADE, H. (1973): DIE VERSCHIEDENEN BOHRVERFAHREN UND IHRE EIGNUNG FÜR DEN BAUGRUNDAUFSCHLUß. (REFERAT, SEMINAR T421, BAUGRUND- UND AUFSCHLUßBOHRUNGEN: BOHRVERFAHREN UND ENTNAHMEGERÄTE, 17. - 19. JAN. 1973). TECHNISCHE AKADEMIE E.V. WUPPERTAL

WOLF, M. (1988): BOHRWERKZEUGE IM BRUNNENBAU. IN: BBR 39, NR. 6, S. 241-245





## Vom Aufschluss im Fels zum Baugrundmodell - Aufnahme von Felsbohrkernen am Beispiel der Schleusen Besigheim und Hessigheim -

Dipl.-Geol. Jan H. Hinrichs

GHJ Ingenieurgesellschaft für Geo- und Umwelttechnik mbH & Co. KG, Am Hubengut 4, 76149 Karlsruhe  
Tel.: +49 (721) 97835-19 ; e-Mail: j.hinrichs@ghj.de

### Zusammenfassung

Ziel einer jeden Baugrunderkundung ist es, den Untergrund im Bereich eines Bauvorhabens hinsichtlich seiner geotechnischen und hydrogeologischen Eigenschaften hinreichend genau zu erfassen. Hierzu werden in aller Regel Aufschlussbohrungen niedergebracht, mit deren Hilfe der Baugrund aber nur 1-dimensional erkundet werden kann. Eine räumliche, d. h. 3-dimensionale Vorstellung des Untergrundaufbaus erhält man in der Regel dadurch, dass die Erkenntnisse aus den einzelnen Aufschlüssen mit Hilfe geologischen Sachverständes in ein 3-dimensionales Baugrundmodell übertragen werden. Dies ist bereits bei der Aufnahme von Baugrundaufschlüssen zu beachten. Gerade bei komplexen geologischen Strukturen, wie sie im Festgestein bzw. im Fels vorkommen können, ist eine detaillierte Bohrkernaufnahme im Hinblick auf die Erstellung eines aussagekräftigen, fachlich belastbaren Baugrundmodells oft unerlässlich. Am Beispiel der Baugrunderkundungen für die Erweiterung der Schleusen Besigheim und Hessigheim wird aufgezeigt, welche Aspekte bei der geologisch-stratigrafischen Aufnahme von Festgesteinsbohrkernen relevant sind und wie die dabei ermittelten Sachverhalte das spätere Baugrundmodell maßgeblich prägen.

### 1 Allgemeines zur Aufnahme von Fels

#### 1.1 Geotechnische Aufnahme

Bei der Aufnahme von Fels sind die Vorgaben der DIN EN ISO 14689-1 „Geotechnische Erkundung Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung“ zu beachten. Nach dieser Norm ist zu unterscheiden zwischen

- **Mineral:** stofflich homogener Grundbestandteil von Gesteinen
- **Fels:** natürliche Ansammlung von miteinander verbundenen Mineralien
- **Gestein:** von Trennflächen begrenzter Fels
- **Gebirge:** Fels einschließlich Trennflächen und Verwitterungsprofile

Grundlage der Aufnahme ist zunächst eine Benennung der Gesteinsart. Diese erfolgt unter Berücksichtigung von

- **Entstehung**  
magmatisch, sedimentär oder metamorph
- **Struktur**  
z. B. massig, geschichtet, geschiefert
- **Mineralinhalt**  
Quarz, Kalk, Dolomit, Gips etc.

Als Hilfestellung kann hierbei die Tabelle A.1 der DIN EN ISO 14689-1 herangezogen werden. Die weitergehende Beschreibung des Felses erfolgt dann im Wesentlichen unter Berücksichtigung der nachfolgend aufgeführten Parameter:

- Farbe
- Korngröße und Kornbindung
- Matrix
- Verwitterungsgrad
- Kalkgehalt
- Veränderlichkeit unter Wasserbedeckung
- einaxiale Druckfestigkeit
- Poren- und Hohlraumanteil

Nach eingehender Beschreibung des Gesteins ist schließlich noch auf den Gesteinsverband bzw. das Gebirge einzugehen. Nach DIN EN ISO 14689-1 sind hierbei folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- **geologische Struktur**  
z. B. massig, geschichtet, geschiefert
- **Trennflächengefüge**  
nach Art der Trennflächen (z. B. Schicht-, Kluft- oder Schieferungsflächen), räumlicher Lage, Trennflächenabständen, Ausdehnung, Rauigkeit, Öffnungsweite, Kluftfüllungen
- **Wasserführung**
- **Gebirgsdurchlässigkeit**

#### 1.2 Geologisch-stratigrafische Aufnahme

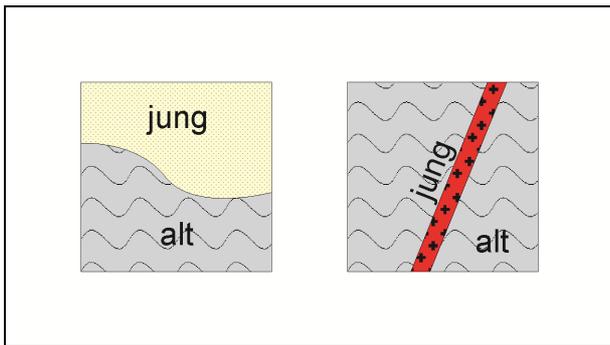
Bei der Erstellung eines Baugrundmodells sind die Ergebnisse einer Baugrunderkundung in einen in sich schlüssigen geologischen Kontext zu bringen. Dabei kommt der stratigraphischen Abfolge der Gesteine eine entscheidende Bedeutung zu.

Unter dem Begriff Stratigraphie (= „Schichtbeschreibung“) versteht man die zeitliche bzw. erdgeschichtliche und räumliche Ordnung der Gesteine unter Berücksichtigung aller physikalischen und chemischen



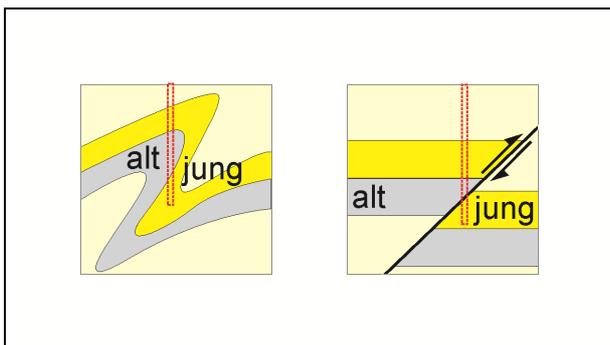
Grundmerkmale der Gesteine. Grundprinzipien der Stratigraphie sind:

- **jung liegt auf alt** (z. B. bei Sedimentgesteinen): Vergleichsweise junge Sedimente werden auf älteren, bereits vorhandenen Gesteinen abgelagert. = Prinzip der Superposition
- **jung durchdringt alt** (z. B. bei magmatischen Gesteinen): Junge Erstarrungsgesteine aus ehemals glutflüssiger Gesteinsschmelze durchdringen ältere, bereits bestehende Gesteine.



**Bild 1:** Beispiele für ungestörte Lagerungsverhältnisse bei Gesteinen unterschiedlichen Alters

Bei intensiver tektonischer Beanspruchung von Gesteinen können jedoch regional auch ältere Gesteine über jüngeren zu liegen kommen oder auch Schichtlücken entstehen. Eine Umkehr der Lagerungsverhältnisse kann z. B. bei Falten tektonik mit liegenden Falten, bei Überschiebungen oder auch bei Salztektionik angetroffen werden.



**Bild 2:** Beispiele für Umkehr d. Lagerungsverhältnisse

Bei komplexen geologischen Verhältnissen lassen sich Gesteinsabfolgen nur dann in ein plausibles Baugrundmodell übertragen, wenn die ungestörte regionale Abfolge der Gesteine hinreichend bekannt ist. Bei der Aufnahme von Felsbohrkernen sind die erbohrten Gesteine in diese Abfolge einzuordnen. Wichtigste Hilfsmittel sind unverwechselbare Schichtgrenzen und Leit-horizonte mit charakteristischem Inhalt an Mineralien oder Fossilien.

Informationen zur regionalen Abfolge der Gesteine erhält man in der Regel über Fachliteratur und geologische Karten oder auch über einschlägig erfahrene Fachleute.

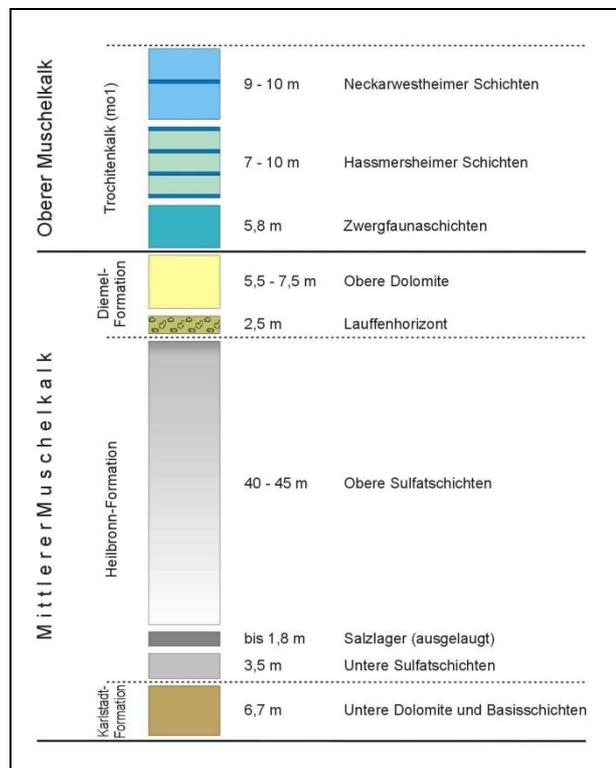
## 2 Schleusen Besigheim und Hessigheim

### 2.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Die Kommunen Besigheim und Hessigheim liegen zwischen Stuttgart und Heilbronn im so genannten Neckarbecken. Dieses weist ein vergleichsweise schwach ausgeprägtes Relief auf, in das die Täler von Neckar, Enz und sonstigen Flüssen um ca. 100 – 150 m eingetieft sind.

Die Hochflächen sind von den Gesteinen des Oberen Muschelkalks geprägt. In den Tälern sind diese Gesteine bis zum Mittleren Muschelkalks hinab ausgeräumt.

Abgesehen von geringmächtigen vergleichsweise jungen Flussablagerungen sind im Bereich der Schleusen Besigheim und Hessigheim die tieferen Teile des Oberen Muschelkalks (mo1, „Trochitenkalkformation“) und der Mittlere Muschelkalk (mm; Karlstadt-, Heilbronn- und Diemel-Formation) zu erwarten. Diese stratigraphischen Einheiten lassen vom Hangenden zum Liegenden, also von „oben nach unten“ sich wie folgt charakterisieren:



**Bild 3:** Normalprofil Bereich Besigheim - Hessigheim

- **Trochitenkalkformation (mo1):** Kalkstein mit Tonmergel- und Tonsteinzwischenlagen;

- charakteristisch: Schillkalkbänke mit zahlreichen Muschelschalen und sonstigen Fossilien
- **Diemelformation (mm):** Dolomitstein; charakteristisch: graubraune bis beigebraune Farbe und löchrig-kavernöser Horizont an der Basis der Formation (Lauffen-Horizont)
  - **Heilbronnformation (mm):** Gips, Dolomitstein und Tonstein, bereichsweise Steinsalz, bzw. deren Verwitterungsprodukte (!); charakteristisch: oft nur noch Auslaugungsrückstände, einzelne Dolomitsteinhorizonte mit Stromatolithen
  - **Karlstadtformation (mm):** Dolomitstein, untergeordnet Tonstein, Kalkstein, Fasergips

## 2.2 Bohrkernaufnahme

Die Aufnahme der Felsbohrkerne erfolgte zum einen nach DIN EN ISO 14689-1, zum anderen nach geologisch-stratigrafischen Kriterien. Bei dieser Aufnahme waren die Abfolgen des Oberen Muschelkalks und die Diemelformation in der Regel gut identifizierbar, auch wenn sie durch geologische Prozesse im tieferen Untergrund oft zerrütet und partiell verwittert waren. Bei den Gesteinen der Heilbronnformation war die Aufnahme jedoch durch intensive Auslaugungsprozesse stark erschwert.



**Bild 4:** Gegenüberstellung von Bohrkernen in weitgehend ungestörtem Fels und in stark gestörten und verwitterten Gesteinen (Fotografische Aufnahmen durch BAW Karlsruhe)

## 2.3 Baugrundmodell

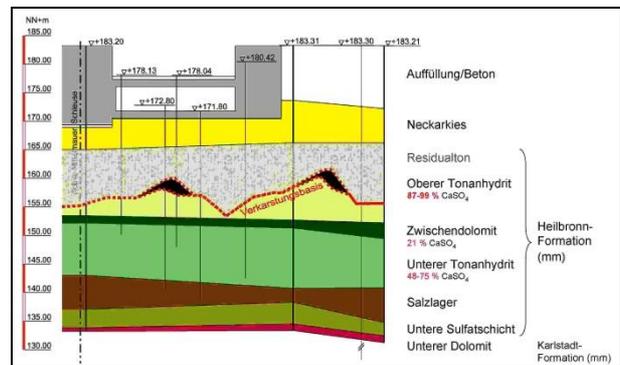
Bei der Erstellung eines Baugrundmodells werden die erbohrten Gesteinseinheiten zu Homogenbereichen zusammengefasst. Die Ausweisung der Homogenbereich im Fels erfolgt nach der Gesteinszusammensetzung, der Schichtung, dem Verwitterungsgrad, dem Trennflächengefüge etc.

Im vorliegenden Fall wäre die Erstellung eines plausiblen Baugrundmodells allein auf Basis einer geotechnischen Aufnahme nicht möglich gewesen, da der Fels zu

großen Teilen stark gestört war und die Gesteine auch kleinräumig stark unterschiedliche Erscheinungsbilder aufwiesen. Für die Interpolation der geologischen Verhältnisse zwischen den einzelnen Baugrundaufschlüssen war die Identifizierung geologischer Leithorizonte von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Ergebnisse der aktuellen Bohrungen wurden auch mit alten Bohrprofilen verglichen. Dabei wurde deutlich, dass der Baugrund durch Auslaugungsprozesse innerhalb weniger Jahrzehnte deutlichen Veränderungen unterlag. Es ist somit in jedem Einzelfall prinzipiell zu hinterfragen, inwieweit alte Baugrundaufschlüsse für die Erstellung eines Baugrundmodells verwendet werden können.

Mit Hilfe der geologisch-stratigrafischen Aufnahme der Felsbohrkerne ließen sich die Baugrundaufschlüsse schließlich in ein plausibles Baugrundmodell übertragen.



**Bild 5:** Geologischer Schnitt (BAW Karlsruhe)

## Literatur

BRUNNER, H. & HINKELBEIN, K. (2000): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 50.000, Erläuterungen Heilbronn und Umgebung. 1. Auflage, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg

GEYER, O. F. & GWINNER, M. P. (2011): Geologie von Baden-Württemberg. 5., völlig neu bearbeitete Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart

NORMENAUSSCHUSS BAUWESEN IM DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2004): DIN ISO 14689-1 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO14689-1:2003. Beuth Verlag GmbH, Berlin

NORMENAUSSCHUSS BAUWESEN IM DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2010): DIN 4020 - Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2. Beuth Verlag GmbH, Berlin





## Sondierungen und deren Bewertung

Dipl.-Ing. Frank Liebetruth, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg  
 Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg  
 Telefon 040 / 81908 – 313, e-Mail: frank.liebetruth@baw.de

### Zusammenfassung

Neben Bohrungen sind Sondierungen eine wesentliche Felduntersuchung zur Baugrunderkundung von Erd- und Ingenieurbauwerken an und auf den Wasserstraßen. Sondierungen sind indirekte Aufschlüsse im Boden, die Aufschlussbohrungen nicht ersetzen sondern ergänzen. Bei Sondierungen werden Gestänge in den Baugrund eingebracht und aus dem Eindringwiderstand indirekt auf Bodenarten, Schichtgrenzen und Festigkeiten des Untergrundes geschlossen. Zum besseren Verständnis werden zunächst die verschiedenen Sondierverfahren und Sondiergeräte erklärt. Dies erfolgt getrennt für Druck-, Ramm-, und Bohrlochrammsonde sowie für Flügelscherversuche. Es werden Anwendung und Einsätze an und auf den Wasserstraßen aufgezeigt, wobei besonders auf die Randbedingungen dafür eingegangen wird. Im nächsten Schritt werden die Erkundungsziele der vorgenannten Sondierungen vorgestellt, wobei auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren hinsichtlich Aussagekraft und Durchführbarkeit eingegangen wird. Abschließend wird die Aus- und Bewertung von Sondierergebnissen in Hinblick auf die Festlegung geotechnischer Kenngrößen, die Erkundung von Schichtgrenzen und Schichtenaufbau sowie Hinweise für die Rammbarkeit von Böden erläutert.

### 1 Normung

Die Durchführung, Geräteabmessungen und Auswertung von Sondierungen ist in DIN- und DIN EN ISO-Normen vorgegeben. Durch die Normung ist eine einheitliche Grundlage vorhanden, so dass die Sondierergebnisse miteinander verglichen und unter gleichen Voraussetzungen bewertet werden können. Zusätzlich kann dadurch die qualitätsgerechte Ausführung von Sondierungen überwacht und kontrolliert werden. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht, in welchen Normen die einzelnen Sondierverfahren geregelt sind.

Sondierverfahren	Normen
Drucksondierung (CPT / CPTU)	DIN EN ISO 22476-1:2013-10 (Ersatz für DIN 4094-1)
Rammsondierung (DPL, DPM, DPH, )	DIN EN ISO 22476-2:2012-03 (Ersatz für DIN 4094-3)
Bohrlochrammsondierung (BDP)	DIN 4094-2:2003
Flügelscherversuch (FVT)	DIN 4094-4:2002 E DIN EN ISO 22476-9:2009-10 (Entwurf)
Standard Penetration Test (SPT)	DIN EN ISO 22476-3:2012-03
Gewichtssondierung	DIN ISO/TS 22476-10:2005
Mechanische Drucksondierung (CPTM)	DIN EN ISO 22476-12:2009

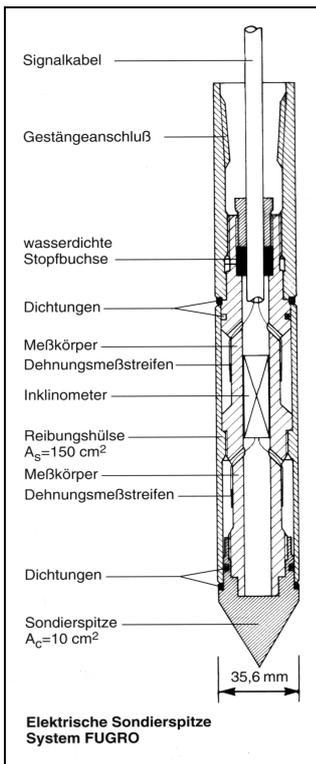
Tab. 1: Normen der Sondierverfahren

Abweichungen von den Normen müssen erläutert und begründet werden.

### 2 Drucksondierungen (CPT / CPTU)

Bei den elektrischen Drucksondierungen wird unterschieden in Drucksondierungen mit der Messung von Spitzenwiderstand und Mantelreibung (CPT) und Drucksondierungen mit zusätzlicher Messung des Porenwasserdruckes (CPTU). Bei beiden Verfahren wird ein Gestänge mit gleichbleibender Geschwindigkeit (2 cm/s) in den Boden eingedrückt. Dabei wird an der kegelförmigen Spitze der Spitzenwiderstand und an einer oberhalb der Spitze gelegenen Reibungshülse die lokale Mantelreibung gemessen. Neben diesen zentralen bodenmechanischen Messwerten wird ergänzend die Abweichung der Spitze von der Lotrechten und die Eindringgeschwindigkeit der Sonde aufgezeichnet. Mit der sogenannten Piezo-Spitze kann zusätzlich der Porenwasserdruck an oder im Bereich der Sondierspitze gemessen werden (CPTU). Mit der Drucksonde lassen sich – je nach Geräteausführung und Bodenverhältnissen – Sondiertiefen bis 40 m erreichen. Durch Überbohren der Sondierungen lassen sich auch größere Erkundungstiefen realisieren. Bild 1 zeigt den Aufbau einer elektrischen Sondierspitze.

Die aus dem Kegel und zylindrischen Schaft bestehende Sondierspitze sollte gemäß DIN EN ISO22476-1 eine Querschnittsfläche von  $A_c = 10$  besitzen, was einem Durchmesser von 35,7 mm entspricht. In Abhängigkeit von den Untergrundverhältnissen lässt die vorgenannte Norm jedoch auch Kegel (Sondierspitzen) mit einem Durchmesser zwischen 25 mm und 50 mm zu. In der Praxis werden häufig Sondierspitzen mit einer Querschnittsfläche von  $A_c = 15$  eingesetzt, da diese beim Durchdringen des Untergrundes robuster als die  $A_c = 10$  sind und damit größere Sondiertiefen erreicht werden. Grundsatzuntersuchungen der BAW führten zu dem Ergebnis, dass Sondierspitzen mit einer Querschnittsfläche von  $A_c = 15$  vergleichbare Ergebnisse wie die Sondierspitzen mit  $A_c = 10$  liefern.



**Bild 1:** Sondierspitze

Drucksondierungen an Land werden vorwiegend mit einem Sondier-LKW oder einer Sondierraupe durchgeführt. Der Einsatz der Geräte richtet sich sehr stark nach der Befahrbarkeit des Geländes und der Erreichbarkeit der Sondierpunkte. Bei der Durchführung von Drucksondierungen ist festzulegen, ob die Sondierpunkte von der ausführenden Sondierfirma oder von den Geodäten des WSA in Höhe und Lage eingemessen werden.



**Bild 2:** Sondiergeräte für Drucksondierungen an Land

Drucksondierungen auf dem Wasser lassen sich nur unabhängig von Wasserstandsänderungen und Wellen fehlerfrei durchführen. Auf dem Wasser sind daher für die Durchführung von Drucksondierungen entweder Hubinseln oder Stelzenpontons einzusetzen. Auf Wattflächen kann alternativ auch das Trockenfallen von flachgängigen Schiffen eine Alternative darstellen.

Bild 3 zeigt auf, von welchem Gerät Drucksondierungen auf dem Wasser durchführbar sind.



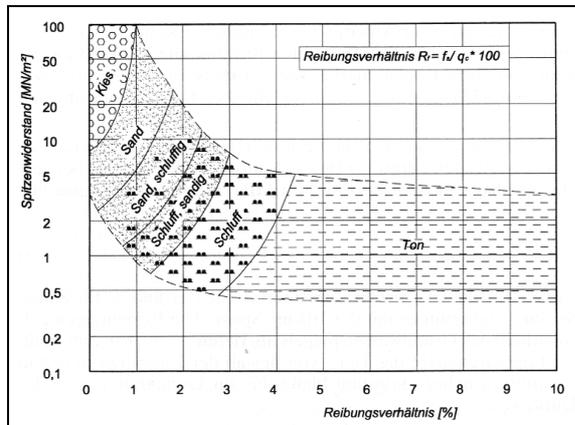
**Bild 3:** Drucksondierungen auf dem Wasser

Mit Drucksondierungen können folgende Erkundungsziele erreicht werden:

- Überprüfung von Schichtenaufbau und Bodenarten aus Altbohrungen
- Festlegung von Schichtgrenzen und Gründungshorizonten
- Klassifizierung von Bodenarten
- Ableitung geotechnischer Kenngrößen, wie z.B. Festigkeiten (Lagerungsdichten), Reibungswinkel  $\phi'$ , Steifemodul  $E_s$  von nichtbindigen Böden oder der undrained Scherfestigkeit  $c_u$  von bindigen und organischen Böden.
- Ableitung horizontaler Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_{fh}$
- Ableitung von Pfahltragfähigkeiten
- Ableitung der Rammbarkeit von Böden

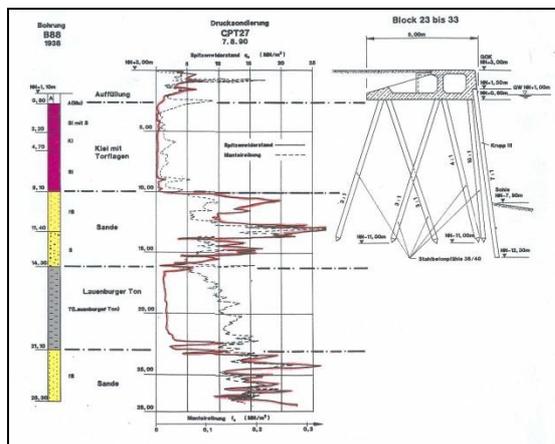
In Verbindung mit repräsentativen Schlüsselbohrungen kann aus dem Spitzenwiderstand und der Mantelreibung einer Drucksondierung und des daraus ermittelten Reibungsverhältnisses (Quotient aus Spitzenwiderstand und Mantelreibung in gleicher Tiefe) die anstehende Boden-

art abgeleitet werden. Ein Beispiel zur Klassifizierung von Böden zeigt Bild 4.



**Bild 4:** Klassifizierung von Bodenarten aus Drucksondierungen /1/

Am Königspolder in Emden wurden z.B. der Schichtenaufbau und die Bodenarten mit Hilfe von Drucksondierungen überprüft. Aus Altbohrungen aus dem Jahre 1938 war der grundsätzliche Bodenaufbau bekannt, so dass dieser durch Drucksondierungen kostengünstig und schnell überprüft werden konnte. Die Drucksondierungen ermöglichten zusätzlich die Festlegung von Schichtgrenzen und damit Aussagen über den Gründungshorizont der vorhandenen Kaje, was aus Planunterlagen vorher nicht erkennbar war (Bild 5).



**Bild 5:** Überprüfung durch Drucksondierungen am Beispiel Königspolder Emden

Eine maßgebende Bedeutung haben Drucksondierungen für die Festigkeitsbestimmung der im Untergrund anstehenden nichtbindigen Böden. Ein Beispiel, wie aus dem Sondierspitzenwiderstand  $q_c$  neben der Festigkeit auch auf die Größe des Steifemoduls  $E_s$  und des Reibungswinkels  $\phi'$  geschlossen werden kann, ist in der Tabelle 2 dargestellt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Festigkeit eines nichtbindigen Bodens sowohl von der Kornverteilung, Korngröße und Kornrauigkeit als auch

von den in situ Spannungen und Grundwasserverhältnissen abhängt. Die Bewertung von Drucksondierungen erfordert entsprechende regionale Erfahrungen. Hilfreich für die Auswertung ist es, die Sondierergebnisse als Diagramme höhengerecht neben den Bohrprofilen aufzutragen.

Spitzenwiderstand $q_c$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Charakterist. Reibungswinkel $\phi'$	Steifemodul $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Benennung der Festigkeit
< 2	< 30°	< 15	sehr gering
2 - 6	30° - 35°	15 - 50	gering
6 - 11	35° - 37,5°	50 - 80	mittel
11 - 20	37,5° - 40°	80 - 100	groß
> 20	$\geq$ 40°	> 100	sehr groß

**Tab. 2:** Beispiel für die Bewertung von Drucksondierungen für nichtbindige Böden

Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von Drucksondierergebnissen ist die überschlägliche Bestimmung der undrnierten Scherfestigkeit und Beschreibung der Konsistenz und Festigkeit bindiger Böden (Tabelle 3). Dabei kann in Anlehnung an das Grundbautaschenbuch /1/ die undrnierte Scherfestigkeit nach folgender Gleichung ermittelt werden.

$$c_u = (q_c - \sigma_{vo}) / N_k \quad (1)$$

$c_u$  = undrnierte Scherfestigkeit

$q_c$  = Spitzenwiderstand CPT

$\sigma_{vo}$  = gesamter Überlagerungsdruck

$N_k$  = Faktoren aus örtlicher Erfahrungen

Benennung der Festigkeit nach DIN EN ISO 14688-2, Tabelle 5	Undrnierte Scherfestigkeit $c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Benennung der Konsistenz
äußerst gering	< 10	breiig
sehr gering	10 - 20	
gering	20 - 40	weich
mittel	40 - 60	
	hoch	60 - 75
sehr hoch	75 - 150	
	äußerst hoch	150 - 200
200 - 300		
> 600		fest

**Tab. 3:** Überschlägliche Benennung der Festigkeit und Konsistenz bindiger Böden aus der undrnierten Scherfestigkeit

Eine überschlägliche Ableitung der Pfahltragfähigkeit für verschiedene Pfahltypen und Rammbarkeit der Bö-



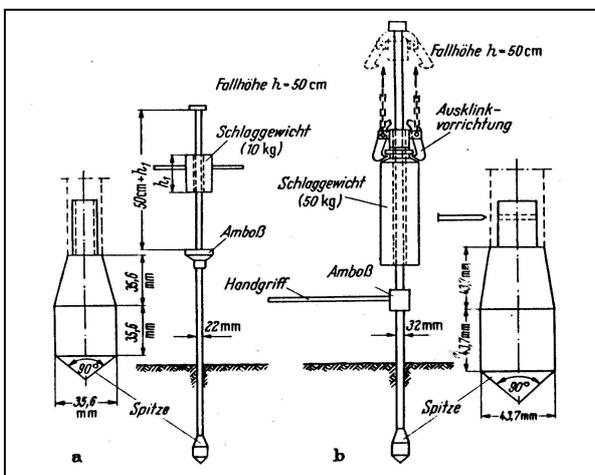
den ist aus Drucksondierungen ebenfalls möglich. Dabei sind Randbedingungen z.B. gemäß der EA Pfähle /2/ und der EAU /3/ zu berücksichtigen.

Elektrische Drucksondierungen sind das meistangewendete Sondierverfahren und liefern nach unseren Erfahrungen für eine Baugrunderkundung sehr gute Ergebnisse. Dies ist u.a. damit zu begründen, dass der Eindringwiderstand unmittelbar an der Spitze unabhängig von der Gestängereibung gemessen wird und darüber hinaus unabhängig von anderen gerätetechnischen Einflüssen ist. Drucksondierungen sollten daher zur Bestimmung geotechnischer Kenngrößen und Bodenschichten gegenüber Rammsondierungen vorgezogen werden.

Die vorgenannten elektrischen Sondierspitzen mit und ohne Porenwasserdruckmessungen gehören auf der Basis von Normen zur Standardausrüstung der Baugrunderkundung. In der Praxis werden heute bereits Sondierspitzen verwendet, die über weitere Zusatzausrüstungen verfügen. Damit sind u.a. auch seismische, akustische, radiometrische u.a. Messungen möglich. Die Ergebnisse sind jedoch gerätespezifisch wegen der unterschiedlichen Bauarten zu bewerten.

### 3 Rammsondierungen

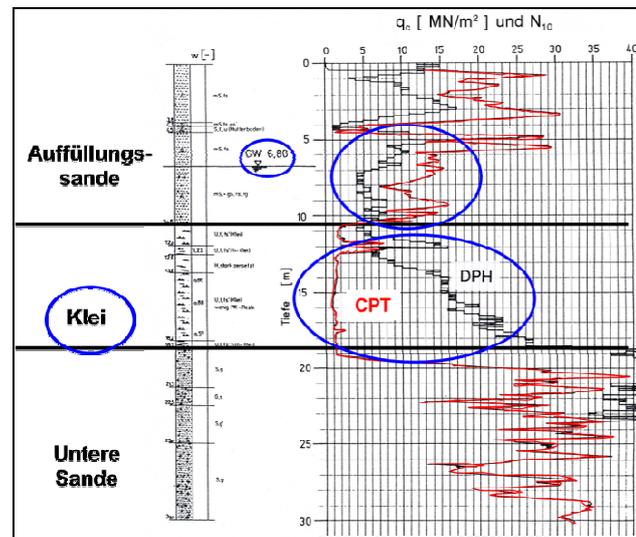
Bei Rammsondierungen wird das mit einer Spitze versehene Sondiergestänge durch einen Rammhämmer bei gleichbleibender Fallhöhe in den Boden eingebracht. Die Schlagzahl pro 10 cm Eindringung wird als Eindringwiderstand  $N_{10}$  festgehalten. In der DIN EN ISO 22476-2 werden Angaben über die Abmessungen der verschiedenen Gerätetypen sowie über die Versuchsdurchführung und Auswertung gemacht. Dabei wird zwischen der leichten (DPL), mittelschweren (DPM), schweren (DPH) und superschweren (DPSH) Rammsonde unterschieden. Im Bild 6 ist schematisch die Funktionsweise der leichten und schweren Rammsonde dargestellt.



**Bild 6:** leichte und schwere Rammsonde

Die Rammsonden haben den Nachteil, dass die Schlagzahl pro 10 cm Eindringung -  $N_{10}$  (bzw.  $N_{20}$  bei DPSH) - den Gesamteindringwiderstand beinhaltet und nicht nach Spitzenwiderstand und Mantelreibung unterschieden werden kann. Deshalb sind die Ergebnisse von Rammsondierungen bei größeren Sondiertiefen oder bei eingelagerten bindigen Schichten mit Vorsicht zu bewerten. Das Sondierergebnis wird (wie auch bei der CPT) u.a. vom Korngefüge, von der Korngrößenverteilung, der Kornform und Kornrauigkeit sowie von den Spannungs- und Grundwasserverhältnissen im Boden beeinflusst.

Ein Beispiel für eine Fehlinterpretation einer schweren Rammsondierung DPH zeigt das Bild 7, wo im Tiefenbereich der bindigen Kleischicht infolge von Gestängereibung große und mit der Tiefe zunehmende Eindringwiderstände  $N_{10}$  festgestellt wurden, was durch die Drucksondierung CPT und Laboruntersuchungen nicht bestätigt wird. Die Festigkeit dieser Kleischicht wird danach deutlich überbewertet. Weiterhin ist der Einfluss von Grundwasser erkennbar. Bei grobkörnigen Böden werden unterhalb des Grundwasserspiegels geringere Festigkeiten ermittelt, als sie in situ vorhanden sind. Dieser Einfluss ist besonders deutlich bei geringen Eindringwiderständen.



**Bild 7:** Fehlinterpretation einer Rammsondierung

Die Erkundungsziele bei Rammsondierungen ähneln denen der Drucksondierungen. In Verbindung mit repräsentativen Schlüsselbohrungen sind folgende Aussagen möglich:

- Festlegung von Schichtgrenzen
- Feststellen von Hohllagen und Gründungshorizonten
- Ableitung der Festigkeiten (Lagerungsdichten) von nichtbindigen Böden
- Ableitung der Rammbarkeit von Böden

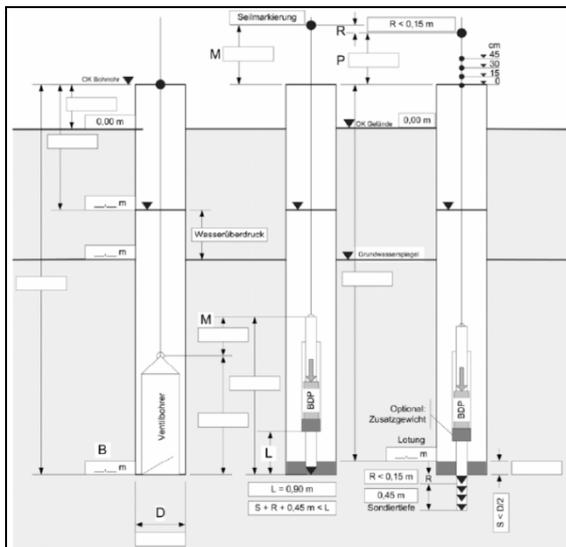
In Lockergesteinen werden Rammsondierungen nur noch für spezielle Fragestellungen und dementsprechend selten durchgeführt. Zur Baugrunderkundung werden die wesentlich aussagekräftigeren Drucksondierungen den Rammsondierungen vorgezogen.

## 4 Rammsondierung im Bohrloch

### 4.1 Bohrlochrammsondierung (BDP)

In Deutschland wird in der Praxis die Bohrlochrammsondierung (BDP) durchgeführt, die in DIN 4094-2:2003 genormt ist (Bild 8). Bis Mai 2003 wurde in Deutschland die Bohrlochrammsondierung auch als „Standard Penetration Test“ bezeichnet, was jedoch **nicht** dem in DIN EN ISO 22476-3:2012 genormten Standard Penetration Test (SPT) gleichzusetzen ist. Wesentliche Unterschiede zum SPT nach DIN EN ISO 22476-3:2012 bestehen u.a. darin, dass die BDP-Sonde zusammen mit der Schlagvorrichtung am Seil in das Bohrloch eingeführt und ohne Gestänge eingerammt wird. Der Rammbar der Schlagvorrichtung befindet sich in einem Hohlzylinder unmittelbar über der Sonde im Bohrloch. Beim SPT nach DIN EN ISO 22476-3 wird dagegen das Probenentnahmegesetz über ein Gestänge und einer über dem Gelände befindlichen Schlagvorrichtung eingerammt. Ein weiterer Unterschied zum SPT besteht darin, dass bei der BDP eine Vollspitze statt eines Entnahmestutzens verwendet wird. Eine gestörte Probenentnahme erfolgt somit nicht.

Die Bohrlochrammsondierung ist nach DIN 4094-2:2003 eine Rammsondierung im Bohrloch die von der Bohrlochsohle aus über eine definierte Eindringtiefe durchgeführt wird. Der Eindringwiderstand wird in Rammschlägen pro 30 cm Eindringung  $N_{30}$  gemessen (nach seiner Eindringung unter Eigengewicht und unterhalb der Anfangsrammung von 15 cm).



**Bild 8:** Durchführung einer Bohrlochrammsondierung (BDP)

Rammsondierungen im Bohrloch sind dann sinnvoll, wenn die geforderten Erkundungstiefen mit Drucksondierungen durch zu hohe Gesamtkräfte und mit Rammsondierungen durch den Einfluss der Gestängereibung nicht erreichbar sind oder der technische Aufwand (z.B. zusätzliches Vorbohren) und damit der Kostenaufwand zu groß werden. Untersuchungstiefen bis zu 60 m sind möglich. Auch bei Wasserbohrungen mit großen Wassertiefen kann der Einsatz vorteilhaft sein, um z.B. auf Arbeitsbühnen und Hubinseln verzichten zu können. Bei großen Wasserstandsschwankungen infolge Tide oder Wellen sind für die fehlerfreie Durchführung jedoch Arbeitsplattformen auf Stelzen erforderlich.

Rammsondierungen im Bohrloch werden in Deutschland relativ selten angewendet und es bedarf bei deren Durchführung daher besonderer Erfahrungen des Bohrergerätführers. Nach Erfahrungen der BAW sollten diese Sondierungen intensiv überwacht werden, da den meisten Geräteführern Erfahrungen und Routine in der Durchführung fehlen.

Ein Beispiel für die Bewertung der Versuchsergebnisse einer Bohrlochrammsondierung kann der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden, die nach Erfahrung der BAW aufgestellt wurde. Mit der Schlagzahl  $N_{30}$  auf 30 cm Eindringung als Eindringwiderstand lässt sich die Festigkeit nichtbindiger Böden (Sande) beurteilen und geotechnische Kenngrößen ableiten.

Eindringwiderstand $N_{30}$ [1]	Reibungswinkel $\phi'$ [°]	Steifemodul $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Benennung der Festigkeit
< 4	< 30	< 15	sehr gering
4 - 12	30 - 35	15 - 50	gering
12 - 22	35 - 37,5	50 - 80	mittel
22 - 38	37,5 - 40	80 - 100	groß
> 38	> 40	> 100	sehr groß

**Tab. 3:** Beispiel für die Bewertung von Sondierergebnissen aus Bohrlochrammsondierungen

Da jedoch die Ergebnisse je nach Versuchsgerät, Durchführung und geotechnischer Bedingungen stark variieren können, sind neben der fachgerechten Ausführung auch regionale Erfahrungen bei der Auswertung erforderlich.

### 4.2 Standard Penetration Test (SPT)

Beim Standard-Penetration-Test nach DIN EN ISO 22476-3:2012 wird ebenfalls der Bodenwiderstand an der Bohrlochsohle über eine definierte Eindringtiefe ermittelt. Das in Längsrichtung zweigeteilte Entnahmegesetz wird - wie bereits erläutert - über ein Gestänge und einer über dem Gelände befindlichen Schlagvorrichtung eingerammt. Der Eindringwiderstand wird wie bei der BDP in Rammschlägen pro 30 cm Eindringung  $N_{30}$



gemessen (nach seiner Eindringung unter Eigengewicht und unterhalb der Anfangsrammung von 15 cm). Zusätzlich ist die Entnahme einer gestörten Bodenprobe möglich. Der Standard Penetration Test wird hauptsächlich zur Bestimmung der Festigkeit und von Verformungseigenschaften nichtbindiger Böden benutzt. Korrelationen zur Ableitung von geotechnischen Kenngrößen sind auch für bindige Böden vorhanden. Weitere Angaben zu den Geräteabmessungen sowie zur Versuchsdurchführung und -auswertung sind in der DIN EN ISO 22476-2:2012 dargelegt.

## 5 Flügelscherversuch (FVT)

Beim Flügelscherversuch wird der Widerstand des Bodens gegenüber Abscheren in situ gemessen. Der Versuch ist für wassergesättigte bindige und organische Böden von weicher bis steifer Konsistenz geeignet und liefert im Ergebnis die undrännierte Scherfestigkeit des Bodens  $c_u$  [kN/m<sup>2</sup>] (auch Anfangsscherfestigkeit genannt).

Die Flügelsonde besteht aus einem Gestänge, an dessen unteren Ende vier Flügel vorgegebener Abmessungen angeordnet sind. Das Gestänge mit dem Flügel wird in den Boden eingedrückt, wobei zur Ausschaltung der Mantelreibung ein Schutzrohr zu empfehlen ist. Nach dem Eindringen des Flügels in den Boden erfolgt das Abscheren (Bild 9). Dazu wird mit gleichbleibender geringer Geschwindigkeit ein Drehmoment aufgebracht, dessen Größe gemessen wird. Aus dem Verhältnis von Drehmoment zu Oberfläche des abgesicherten Bodenkörpers wird die undrännierte Scherfestigkeit  $c_u$  ermittelt. Die undrännierte Scherfestigkeit  $c_u$  ist ein maßgebender Kennwert für die Festigkeit bindiger und organischer Weichböden und kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$c_u = 0,273 M_{\max} / D^3 \quad (2)$$

$c_u = c_{fv}$	maximaler Scherwiderstand des Bodens beim erstmaligen Abscheren
$M_{\max}$	maximales Drehmoment beim erstmaligen Abscheren
D	Flügeldurchmesser

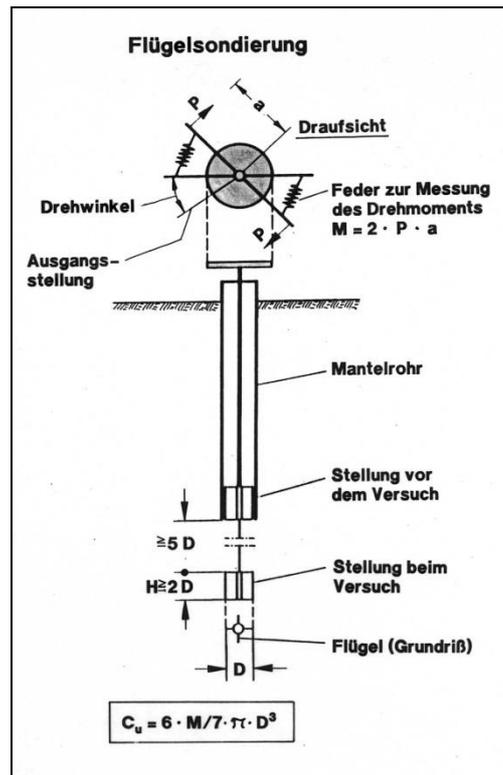


Bild 9: Prinzip des Flügelscherversuchs

Flügelscherversuche bieten sich immer dann an, wenn oberflächennah bindige und organische Weichböden anzutreffen sind. Die Flügelscherversuche sollte tiefenprofilierend in einem Abstand von 50 cm durchgeführt werden, um Aussagen über die undrännierten Scherfestigkeiten der gesamten Bodenschicht zu erhalten. Da auch Flügelscherversuche von den Bohr- und Sondierfirmen relativ selten ausgeführt werden, ist eine intensive Überwachung bei der Ausführung zu empfehlen.

## 6 Hinweise für die Ausschreibung von Sondierungen

Nachfolgend sind Hinweise für die Ausschreibung von Sondierarbeiten zusammengestellt:

- Bei Sondierungen auf dem Wasser ist eine wasserstandsunabhängige Arbeitsplattform wie z. B. ein Stelzenponton oder eine Hubinsel erforderlich. Von schwimmenden Geräten lassen sich Sondierungen ohne Einfluss auf die Messwerte und Auswirkungen auf die Sondiergeräte (Gestängebruch) nicht zweifelsfrei ausführen. Um ausführungstechnisch einwandfreie Randbedingungen zu erreichen, sind von vornherein wasserstandsunabhängige Arbeitsplattformen zu fordern.
- Bei größeren Sondiertiefen ( $t > 20$  m) sollte das Überbohren als Position aufgenommen werden. Dies kann erforderlich werden, wenn die Bodenfestigkeiten für einen weiteren Eindringfortschritt



zu groß werden und die geforderte Untersuchungstiefe nicht erreicht wird. Auch Hindernisse oder verfestigte Schichten können ein Überbohren erforderlich machen.

- Bei Sondierungen auf dem Wasser ist im freien Wasser der Einbau eines Stützgestänges erforderlich. Dies ist auch für Bohrungen notwendig. Es ist daher eine Position für den Einbau eines stabilen Stützgestänges vorzusehen.
- Bei Rammsondierungen im Bohrloch ist vom Hersteller ein Prüfzertifikat zu fordern, dass den einwandfreien technischen Zustand des Gerätes bestätigt. Dieses Prüfzertifikat sollte nicht älter als 6 Monate sein.
- Bei Spitzendrucksondierungen sollten die Sondenspitzen regelmäßig kalibriert sein. Es sind daher Kalibrierprotokolle vor Ort zu fordern, die nicht älter als 2 Wochen sind.
- Die Sondierergebnisse sind auf Datenträgern zu liefern. Das Format ist vorzugeben (z. B. bei Drucksondierungen ASC-II Format).

#### Literatur

- /1/ GRUNDBAU-TASCHENBUCH; TEIL 1: GEOTECHNISCHE GRUNDLAGEN, 7. AUFLAGE, ERNST & SOHN 2008
- /2/ EA-PFÄHLE, EMPFEHLUNGEN DES ARBEITSKREISES „PFÄHLE“, 2. AUFLAGE, ERNST & SOHN 2012
- /3/ EAU 2012, EMPFEHLUNGEN DES ARBEITSAUSSCHUSSES „UFEREINFASSUNGEN“ HÄFEN UND WASSERSTRABEN, 11. AUFLAGE, ERNST & SOHN 2012

## 7 Empfehlungen für die Vergabe

Die Baugrunduntersuchungen sind die wesentliche Grundlage für die Beschreibung und Bewertung der Baugrundverhältnisse. Es wird daher empfohlen, bei schwierigen Verhältnissen eine beschränkte Ausschreibung mit qualifizierten Fachfirmen vorzunehmen. Die Baugrunderkundung als Grundlage für die Gründungsempfehlung ist daher sorgfältig und qualifiziert durchzuführen. Dabei gilt folgender Grundsatz:

- Je besser die Baugrunduntersuchungen, desto genauer und zutreffender die Aussagen im geotechnischen Bericht und je weniger Überraschungen später bei der Bauausführung.
- Im Auftragsgespräch sollte die BAW zur Beurteilung von Fachkompetenz und Geräteausstattung der Sondierfirmen beteiligt werden. Von der BAW sollte auch eine Stellungnahme zur technischen Gleichwertigkeit bei Sondervorschlägen eingeholt werden.
- Zu Beginn der Sondierarbeiten sollte eine konsequente und qualifizierte Überwachung der Arbeiten vorgenommen werden, um Mängel von vornherein abzustellen. Auch dafür steht die BAW beratend zur Verfügung.



## Geophysik im Wasser- und Tiefbau

Prof. Dr. Ir. Lucien Halleux  
G-Tec SA, 8 rue des Alouettes, B 4041 Milmort (Lüttich), Belgien  
Tel.: +32 475 275806, E-Mail: [l.halleux@g-tec.eu](mailto:l.halleux@g-tec.eu), [www.g-tec.eu](http://www.g-tec.eu)

### Zusammenfassung

Geophysikalische Verfahren werden benutzt um auf nicht destruktive Weise ein Bild des Untergrundes zu erzeugen. Es gibt eine große Vielfalt an geophysikalischen Verfahren, die auf Land, in Bohrungen oder unter Wasser eingesetzt werden können. Einige Anwendungen im Wasser- und Tiefbau werden kurz beschrieben: geologischer oder geotechnischer Hintergrund, Prinzip des Verfahrens, Interpretation der Ergebnisse. Die geologischen, geotechnischen, und geophysikalischen Erkundungsmethoden haben alle wichtigen Einschränkungen und ergänzen sich in einem gewissen Maße. Bei der Planung von Bodenerkundungskampagnen müssen die richtigen Verfahren ausgewählt werden um die Fragestellung auf zweckmäßige Weise zu beantworten. Die wachsende Bedeutung der Qualität in der Geophysik wird betont. Insbesondere müssen Möglichkeiten und Einschränkungen für jede Anwendung deutlich definiert werden.

### 1 Einführung

Die geophysikalischen Verfahren dienen dazu ein Bild des Untergrundes zu erzeugen. Die Acquisition und die Bearbeitung der Daten ruht auf physikalischen Grundlagen, die Interpretation muss aber auch die lokale Bodenbeschaffenheit berücksichtigen. Die Säulen der Geophysik sind desso die Physik, die Geologie bzw. Geotechnik, die Elektronik (Gerätebau) und die Datenverarbeitung.

Die geophysikalische Erkundung des Untergrundes ist eine wichtige Branche der Industrie, mit einem globalen Jahresumsatz von ca. 10-15 Milliarden €. Der wichtigste Anwendungsbereich ist die Öl- und Gas Exploration mit mehr als 90% der Marktanteile. Andere Anwendungsbereiche sind Rohstoffe, Grundwasser- und Umwelterkundung, Geothermie, Bauwesen, Archeologie usw..

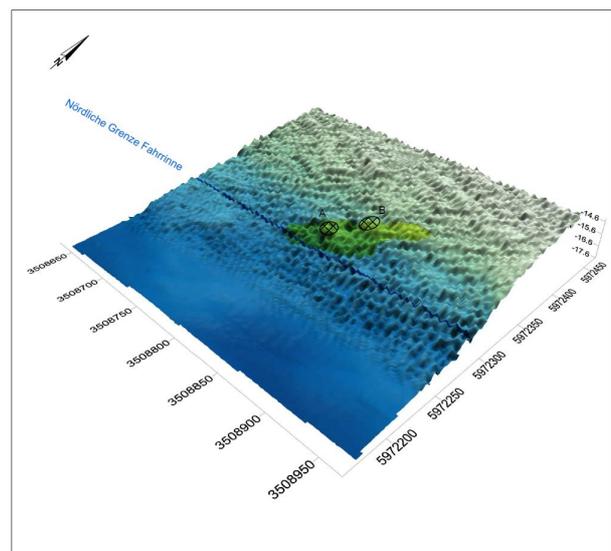
Anstatt die verschiedene Verfahren einzeln zu beschreiben werden im Rahmen dieses Vortrages Anwendungsbeispiele kurz vorgestellt. Anhand dieser Beispiele können die Grundlagen, Ausführungsweisen, Möglichkeiten und Einschränkungen praktisch erläutert werden.

### 2 Erkundung von Unterwasserhindernissen in Unter- und Außenelbe

Im Rahmen der Fahrrinnenanpassung der Elbe sind zwischen Cuxhaven und Hamburg Baggerarbeiten geplant. Um Beschädigungen an der Sauganlage der Laderaumbagger zu vermeiden ist es wichtig Hindernisse wie z.B. Wracks, Ankers oder Ladungsreste vor Beginn der Baggerarbeiten zu bergen. Das Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven hat im Jahre 2011 eine geophysikalische Erkundung von 31 Unterwasserhindernissen beauftragt mit den Zweck die Hindernisse genauer zu beschreiben und zu kontrollieren ob sie auch tatsächlich die Ausbaubaggerungen beeinträchtigen würden. Für jedes Hindernis wurde ein 300 x 300 Meter großes Suchgebiet festgelegt mit, als Zentrum die vermutliche

Position des Objektes. Innerhalb des Polygons wurden Fächerecholot, Side Scan Sonar, seismische und magnetische Messungen entlang eines dichten Messrasters aufgenommen, bearbeitet und interpretiert. Als Vorbild werden die Messungen und Interpretationen auf einem besonders interessanten Wrack beschrieben. Es handelt sich um ein ehemaliges Werkstattschiff das im Jahr 1944 durch Bombentreffer gesunken ist. Wegen späteren Sprengungs- und Teilbergungsarbeiten ist das Wrack stark zertrümmert. Taucherbeobachtungen hatten schon gezeigt, dass das größte Teil des Wracks unterhalb der Gewässersohle liegt, und, dass nur einige Teile wie z.B. Spannten lokal aus dem Grund ragen.

#### 2.1 Fächerecholot und Side Scan Sonar Messungen



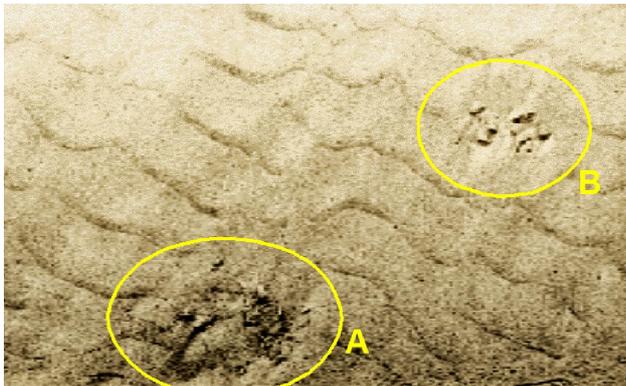
**Bild 1:** 3D Ansicht des Suchgebietes.

Das Fächerecholot ist ein auf die Reflektion von Ultraschall basiertes Sonarverfahren. In diesem Falle wurde eine Frequenz von 400 kHz benutzt. Die Messung ergibt

eine sehr detaillierte bathymetrische Karte. Auf dem Bild 1 ist eine 3D Ansicht des Suchgebietes dargestellt.

Das Suchgebiet befindet sich an der nördlichen Grenze der heutigen Fahrrinne. Innerhalb der Fahrrinne ist die Bodenmorphologie regelmäßig als Folge der Unterhaltungsbaggerung. Ausserhalb der Fahrrinne sind Riffels deutlich sichtbar mit einer Höhe von 0,5 bis 1m. Die Position des Wracks unterhalb der Gewässersohle ist aus den anderen Messungen abgeleitet (siehe weiter) und auf Bild 1 gelb markiert.

Das Side Scan Sonar basiert ebenfalls auf der Reflektion eines Ultraschallsignals, ergibt aber ein Bild der Gewässersohle anstatt eine Karte. Der Unterschied gegenüber dem Fächerecholot ist vergleichbar mit dem Unterschied zwischen einem Luftbild und einer topographischen Vermessung auf Land. Der Vorteil eines solchen Bildes gegenüber dem Fächerecholot ist die höhere Auflösung.

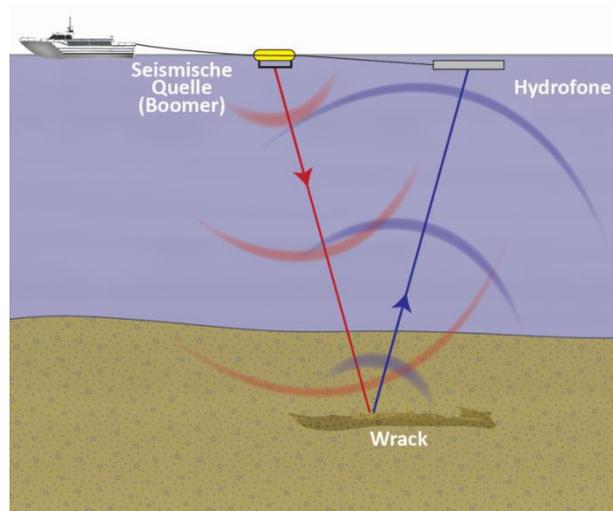


**Bild 2:** Detailansicht der Side Scan Sonar Aufnahme

Auf dem Bild 2 ist eine Detailansicht der Side Scan Aufnahme dargestellt. Die Riffelmorphologie der Gewässersohle ist deutlich erkennbar, sowie 2 Zonen (A und B) wo Trümmer aus dem Grund ragen. Das Bild ist georeferenziert, die Position der Zonen kann also auf der bathymetrischen Karte (Bild 1) genau eingetragen werden.

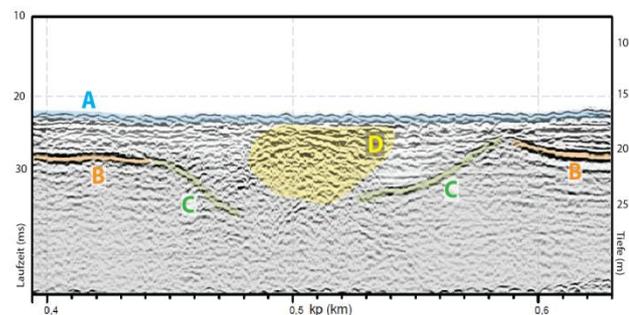
## 2.2 Seismik

Mit den Sonar Verfahren ist wegen der hohen Frequenz kein Eindringen im Untergrund möglich. Für die flache marine Seismik werden wesentlich niedrigere Frequenzen benutzt, im Bereich 1 bis 15 kHz. Je niedriger die Frequenz, umso niedriger die Dämpfung und umso größer die Eindringungstiefe. Niedrigere Frequenzen bedeuten, aber auch eine niedrigere Auflösung. Das Prinzip des Verfahrens ist auf Bild 3 erläutert. Eine seismische Quelle erzeugt ein akustisches Signal. In diesem Fall wurde eine elektrodynamische Quelle des typs „Boomer“ eingesetzt. Das Signal ist breitbandig (2 bis 4 kHz) und gut geeignet für Bodenerkundung auf Tiefen bis 20-40 m.



**Bild 3:** Prinzip der flachen marine Seismik

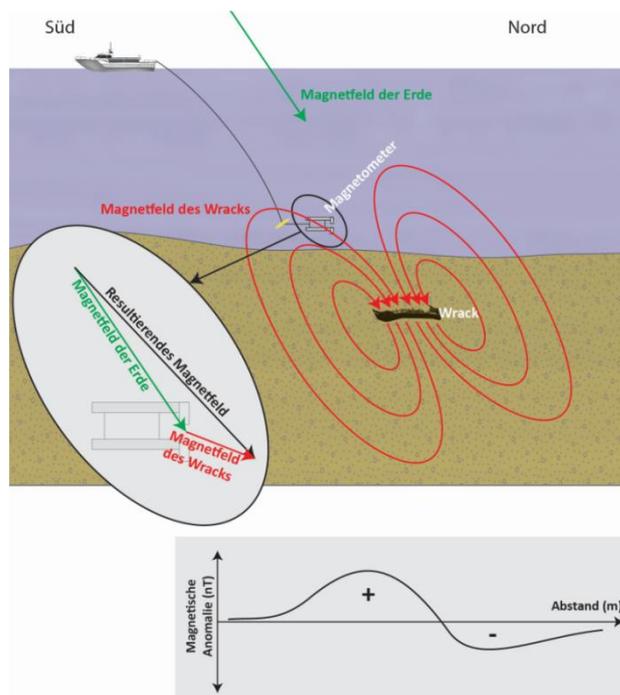
Das Signal wird auf der Gewässersohle, auf Schichten oder, wie auf Bild 3 gezeigt, auf massiven Hindernissen reflektiert. Die Reflektionen werden durch ein Hydrophon aufgenommen. Das Suchgebiet wurde flächendeckend erkundet durch dicht aneinander liegende Profile. Bild 4 zeigt einen interpretierten Ausschnitt eines Profils überhalb des Wracks. Reflektor A entspricht der Gewässersohle, auf einer Tiefe von 16-17 m. Reflektor B ist eine Torfschicht. In der Zone D sind zahlreiche und unregelmäßige Reflektoren sichtbar. Sie entsprechen der Oberkante des Wracks und Wrackstücken. Reflektor C wird interpretiert als eine ehemalige Auskolkung. Die Reflektionen auf dem Wrack zeigen die Tiefenlage der Oberkante des Hindernisses, geben aber keine genaue Information über die vertikale Ausdehnung. Reflektor C deutet an, dass die Unterkante des Wracks sich auf einer Tiefe von ca. 25 m befindet. Die Auflösung beträgt ca. 5 m. Details der Struktur sind deshalb nicht zu erkennen. Die Sedimentüberdeckung kann bestimmt werden und daraus wird berechnet wie viel Sediment vor der Bergung zu entfernen ist.



**Bild 4:** Seismisches Profil überhalb eines Wracks.

## 2.3 Magnetometrie

Im Vergleich zur Seismik ist die Magnetometrie ein passives Verfahren. Es wird kein Signal erzeugt, die Apparatur misst einfach das natürliche magnetische Feld der Erde, wie auf dem Bild 5 in grün dargestellt. Im Bereich Hamburg – Cuxhaven beträgt das Feld ca. 49.520 nT (nanoTesla). Ein ferromagnetisches Objekt (d.h. ein Objekt was Eisen oder Stahl enthält) verursacht ein zusätzliches magnetisches Feld (rot auf der Abbildung).



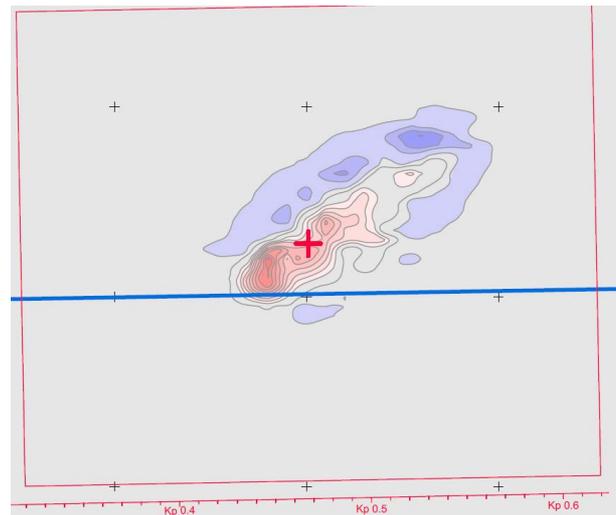
**Bild 5:** Prinzip der Magnetometrie

In der Umgebung eines solchen Objektes misst das Magnetometer die Summe des normalen Feldes der Erde (grün) und des Feldes des Objektes (rot). Es ergibt sich eine Abweichung (Anomalie) verglichen mit dem normalen Feld. Ein magnetisches Objekt hat immer einen Nord- und einen Südpol. Es handelt sich also immer um ein Dipol, deshalb besteht die Anomalie aus einem positiven und einem negativen Teil, wie auf dem skizzierten Messprofil (Bild 5 unterer Teil) dargestellt.

Die Ergebnisse der magnetischen Messung im Suchgebiet dieses Objekts sind auf Bild 6 dargestellt. Es handelt sich um die Karte des magnetischen Gradientes. Eine ausgebreitete magnetische Anomalie ist deutlich sichtbar. Die Polarität der Anomalie ist normal, mit einem stark positiven Teil (rot) auf der südlichen Seite und einer etwas schwächeren negativen Anomalie (blau) auf der nördlichen Seite, rund um den positiven Teil. Die Tatsache, dass innerhalb der roten und blauen Zonen deutliche lokale Variationen bestehen ist ein Hinweis auf ein unregelmäßiges Objekt, wie man es von einem Wrack erwarten kann. Diese Variationen können

auf Teile deuten oder auf ein insgesamt gebrochenes Wrack.

Bei Anomalien mit einer großen Ausdehnung, wie sie hier vorliegt, befindet (befinden) sich das (die) Objekt(e) normalerweise innerhalb des positiven Teils. Die positive Anomalie streckt sich in Richtung SW-NO aus. Sie ist 125 m lang. Die Breite variiert von 20 m bis 40 m.



**Bild 6:** Magnetische Karte

Leider sind die genaue Form und die Amplitude der Anomalie von vielen Parametern abhängig: Abstand zwischen Magnetometer und Objekt, Form des Objektes, magnetische Eigenschaften des Objektes. Diese Parameter sind objektabhängig und also unbekannt. Deshalb bleiben die Aussagen über Form, Tiefenlage und Masse ungenau. Dagegen kann die Position ziemlich genau bestimmt werden, auch im Fall, dass das Objekt unterhalb der Gewässersohle liegt.

## 3 Karst und Hohlraumdetektion

Die geophysikalischen Verfahren spielen eine wichtige Rolle für die Detektion von Hohlräumen und Verkarstungen. Typische Anwendungen sind die Trassenerkundung (Eisenbahnen, Straßen, Leitungen, Kabel), der Tunnelbau und der Tiefbau. Hohlräume können natürlichen Ursprungs sein (Verkarstung im Kalkstein oder Sulfatgestein) oder anthropogen (z.B. ehemaliger Grubenbau). Die Anwesenheit von unerwarteten Hohlräumen hat oft gravierende Folgen während den Bauarbeiten oder im späteren Betrieb einer Infrastruktur.

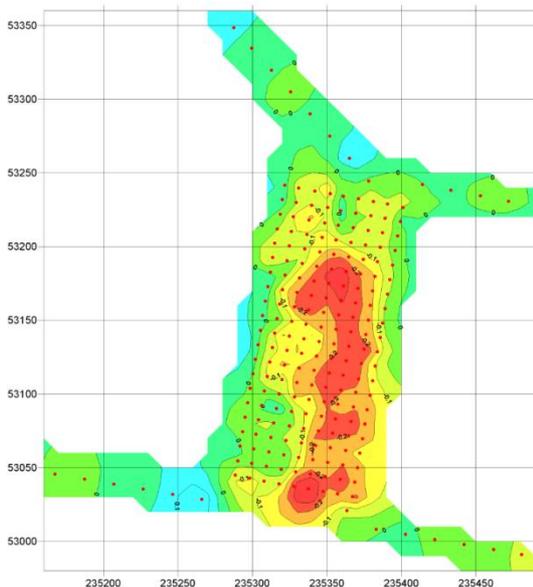
Die konventionellen geotechnischen Erkundungsverfahren geben nur eine sehr lokale Information. Bei Hohlraumerkundung ist dies eine bedeutende Einschränkung. Moderne Hohlraumerkundung basiert deshalb auf einer Kombination von geophysikalischen Verfahren für die flächendeckende Erkundung und Bohrungen mit



Bohrlochmessungen zur Charakterisierung der Hohlräume. Es besteht eine große Vielfalt an geophysikalischen Verfahren die eingesetzt werden können. Die wichtigsten sind die Gravimetrie, das Georadar, die Geoelektrik, die Seismik und viele Bohrlochmessungsverfahren. Jedes Verfahren hat seine eigenen Möglichkeiten und Einschränkungen, die abhängig sind von der lokalen Geologie und von den Messbedingungen. Eine wichtige Rolle spielen z.B. der Grundwasserspiegel oder die Füllung der möglichen Hohlräume. Die Auswahl der richtigen Erkundungsverfahren sowohl aus geophysikalischer als aus geologisch/geotechnischer Hinsicht spielt einer Hauptrolle für den Erfolg einer Kampagne.

### 3.1 Ehemaliger Phosphatabbau

Nördlich der Stadt Lüttich musste eine Industriehalle gebaut werden. Der Untergrund besteht aus ca. 8 m Loess, 1 m Flinsteinkonglomerat und Kreide. Der Grundwasserspiegel liegt tief. In der Verwitterungszone der Kreide befindet sich eine Phosphatschicht die in der Vergangenheit örtlich abgebaut wurde. Die genaue Position der ehemaligen Gruben und Hohlräume ist oft unbekannt. Meistens wurde ein unregelmäßiger Kammer und Pfeilerabbau betrieben. Wegen der starken Flinsteinschicht an der Firste stürzten die Hohlräume meistens nicht ein, zumindest nicht vollkommen.



**Bild 7:** Bouguer Abweichung in  $\mu\text{m/s}^2$

Die Gravimetrie basiert auf der Messung der Schwerkraft. Hohlräume verursachen eine negative Abweichung (Verminderung) der Schwerkraft wegen dem lokalen Massendefizit. Diese Abweichung ist sehr gering und benötigt besondere Messungs- und Korrekturprozeduren um überhaupt nachweisbar zu sein. Die Ergebnisse haben eine relative Genauigkeit in der Größenordnung  $10^{-9}$  (Microgravimetrie). Auf dem Bild 7 ist eine Karte der Schwerkraftanomalie (Bouguer Anomalie) dargestellt. Die Messungen wur-

den entlang einem 10 m Raster ausgeführt (rote Punkte). Eine negative Abweichung (gelb, orange, rot) ist deutlich sichtbar mit einer Ausdehnung von ca. 250 m in N-S Richtung und ca. 100 m in O-W Richtung. Die maximale Abweichung beträgt  $0.2 \mu\text{m/s}^2$ . Durch Modellierung ist es möglich die Mächtigkeit der Abgebauten Schicht zu schätzen. Auf Grund der Karte können Bohrungen zieltreffend geplant werden. In diesen Bohrungen können Kamerainspektionen, Lasermessungen (überhalb des Grundwasserspiegels) oder Sonarmessungen (unterhalb des GWSp) durchgeführt werden um die Geometrie der Hohlräume genauer zu erkunden. Negative Abweichungen der Schwerkraft deuten nicht immer auf Hohlräume. Es kann sich auch um Mächtigkeitsvariationen der Bodenschicht oder andere natürliche Ereignisse handeln. Bei der Interpretation ist es wichtig die lokale Geologie zu berücksichtigen und deutlich auf Möglichkeiten und Einschränkungen des Verfahrens hinzuweisen.

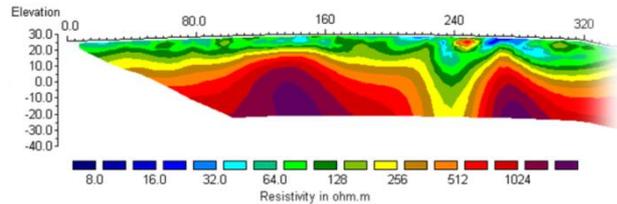
### 3.2 Paleoverkarstung im Kalkstein

Im westeuropäischen Raum sind (waren) sowohl die Kohlenflöze des oberen Karbons als die Kalksteinschichten des unteren Karbons von besonderer ökonomischer Relevanz. Sie können aber auch schwierige geotechnische Probleme verursachen, einerseits wegen dem Kohlenabbau, andererseits wegen Verkarstungen. Die Oberkante des Kalksteins ist in der Hinsicht sehr bekannt, da großräumiger Verkarstungen die sich vor Ablagerungen des oberen Karbons gebildet haben bis heute mehr oder weniger aktiv geblieben sind. Typische hiermit verbundene Probleme sind z.B. Firstenstabilität und Wasserhaltung im Tunnelbau, Tragfähigkeit von Pfählen, Stabilität von Steinbruchwänden.



**Bild 8:** Verkarstung im Kalkstein des unteren Karbons  
Bild 8 zeigt eine solche Verkarstung in einem ehemaligen Steinbruch. Die Verkarstung ist beinahe vertikal, hat einen Durchmesser von ca. 10 m und ist gefüllt mit tertiärem Sand und quartärem Lehm. Solche große, mit

Sediment gefüllten Verkarstungen können meistens von der Oberfläche aus mit Geoelektrik geortet werden. Die Geoelektrik basiert auf der Injektion eines Gleichstroms und dem Messen des resultierenden Potentialfeldes an der Erdoberfläche.



**Bild 9:** Geoelektrischer Schnitt im Kalkstein. Vertikaler und horizontaler Maßstab in m

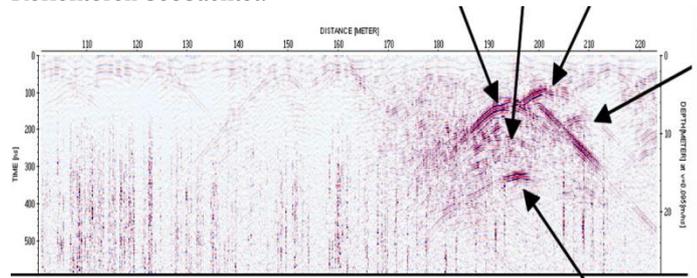
Auf Bild 9 ist ein vertikaler geoelektrischer Schnitt dargestellt. Der Schnitt ist 320 m lang und die Eindringtiefe beträgt ca. 40 m. Der Bodentiefe besteht aus ca. 10 m Lehm mit einer Resistivität von 40 bis 100 ohm.m (blau bis grün). Der unterliegende feste Kalkstein hat eine wesentlich höhere Resistivität (500 ohm.m und mehr, rot). Auf der Position 240 m ist eine Vertiefung des Kalksteins deutlich sichtbar die als eine Verkarstung interpretiert wird. Eine Bohrung auf dieser Position hat die Interpretation befestigt. Die Verkarstung ist mit tertiärem Sand gefüllt.

### 3.3 Karsterkundung im Tunnelbau

Für den Tunnelbau stellen offene Verkarstungen einen erheblichen Risikofaktor dar. Insbesondere in tiefen Tunnels kann der hohe Druck zu massiven Wasserzuflüssen führen. Gerade in diesem Fall sind die Erkundungsmöglichkeiten von der Oberfläche aus sehr eingeschränkt wegen der Mächtigkeit der Überlagerungsschichten. Mit Hilfe von horizontalen Bohrungen von der Ortsbrust aus kann das Vorfeld sehr genau erkundet werden, die Bohrung allein kann aber keine Garantie geben, dass der gesamte Querschnitt hohlraumfrei ist. Geophysikalische Bohrlochmessungen, insbesondere das Bohrlochradar sind die ideale Ergänzung zu solchen Bohrungen. Eine Antenne strahlt elektromagnetische Impulse aus in einem Frequenzbereich von 50 MHz bis 250 MHz. Die Welle breitet sich rund um das Bohrloch aus und wird von Diskontinuitäten im Fels reflektiert. Hohlräume verursachen sehr deutliche Reflektionen wegen dem hohen dielektrischen Kontrast zwischen Fels und Wasser. Die Reflektionen werden aufgenommen, verarbeitet und gespeichert. Die Entfernung zwischen der Bohrung und der Diskontinuität wird aus der Laufzeit berechnet.

Auf Bild 10 sind die Ergebnisse einer Bohrlochradarmessung in einer horizontalen Bohrung dargestellt. Die Bohrung und die Messungen wurden während dem Vortrieb eines Tunnels durch Kalkstein ausgeführt. Die horizontale Achse entspricht dem Abstand zur Ortsbrust, die vertikale Achse entspricht der Laufzeit (links) und den Abstand zur Bohrung (rechts). Bis auf

einem Abstand von 190 m werden keine bedeutenden Reflektoren beobachtet.



**Bild 10:** Bohrlochradarmessung in einem horizontalen Bohrloch (Radargram)

Im Bereich von 190 bis 200 m sind mehrere „Punktrefektoren“ deutlich sichtbar. Die Benennung „Punktrefektor“ bezeichnet ein Reflektor der keine laterale Ausdehnung hat, z.B. ein lokaler Hohlraum, im Gegensatz zu „Planarreflektor“ wie z.B. die Schichtung. Auf einer Radar Aufnahme erscheint ein Punktrefektor als eine Hyperbel. Der Reflektor befindet sich genau am Scheitel der Hyperbel. Die wichtigsten Punktrefektoren befinden sich auf Abständen von 5, 7 und 16 m zum Bohrloch. Sie werden interpretiert als mögliche Hohlräume. Zusätzliche Bohrungen sind erforderlich um diese Reflektoren genau zu charakterisieren und ggfs Injektionen durchzuführen.

## 4 Schlussfolgerung

Bodenerkundung für Wasser- und Tiefbau ist ein komplexes Thema wegen der Vielfalt der geologischen oder geotechnischen Bedingungen einerseits, und der Erkundungsverfahren andererseits. Die Risiken die verbunden sind mit unzureichender oder ungeeigneter Bodeninformation können gravierende Folgen haben in Hinsicht auf Sicherheit, Kosten und Funktionsfähigkeit einer Infrastruktur. Auf internationaler Ebene entwickelt sich die Bodenerkundung mehr und mehr als ein selbständiges Fach in dem die Geologie, die Geotechnik und die Geophysik gemeinsam betrachtet werden. Auf diese Weise können die Erkundungskampagnen optimiert werden indem die richtigen Verfahren für den richtigen Zweck und in der richtigen Abfolge eingestetzt werden. Die Qualität im Bereich der Geophysik beschränkt sich nicht auf die Messungen im engen Sinn. Die Bodenerkundung für ein bestimmtes Projekt ist ein industrieller Prozess bestehend aus Entwurf einer Kampagne, Auswahl der geeigneten Verfahren, Durchführung der Feldarbeiten, Datenverarbeitung, Integration und Interpretation aller Daten. Jeder dieser Schritte muss qualitativ hochwertig und auf professionelle Weise ausgeführt werden. Zusammen mit der Interpretation müssen wichtige Einschränkungen und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse besprochen werden.



## **Dankwort**

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven hat uns freundlicherweise die Nutzung von den geophysikalischen Ergebnissen auf der Elbe gestattet.



## Kontrolle von Grundwassermessstellen

Dipl.-Geologe Karsten Baumann  
Bohrlochmessung – Storkow GmbH; Schützenstr. 33; D-15859 Storkow  
Tel.: 033678-43630; e-Mail-Adresse: baumann@blm-storkow.de; [www.blm-storkow.de](http://www.blm-storkow.de)

### Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an eine umfassende Abnahme von neu errichteten Grundwassermessstellen, nicht zuletzt auch aus Gründen der Gewährleistung, deutlich erhöht. Eine Vielzahl technischer Regelwerke, insbesondere des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), aber auch behördliche Vorschriften, unterstreicht die Bedeutung, die derartigen Kontrollen beigemessen wird. Die Überprüfung der Messstellen mittels bohrlochgeophysikalischer Messverfahren hat dabei, nicht zuletzt wegen der hierfür in jüngster Zeit entwickelten Spezialverfahren und spezialisierten Anwendungen von Einzelverfahren und Verfahrenskomplexen, deutlich an Bedeutung gewonnen. Neben der Aufdeckung von berechtigten Mängeln ergibt sich aber hierdurch für den Brunnenbauer auch die Möglichkeit, die Güte seiner Arbeit durch eine unabhängige Fachfirma gegenüber seinem Auftraggeber nachzuweisen. Ebenso werden Unzulänglichkeiten am Bauwerk sofort erkannt.

### 1 Zielstellung

Bei der Überprüfung von Messstellen muss zwischen einem Mindestprogramm zum Nachweis der Unbedenklichkeit der Messstelle für die Umwelt (in vielen Bundesländern bereits durch behördliche Auflagen geregelt!) und den Anforderungen, die der Bauherr/ Nutzer an ein ordnungsgemäßes Bauwerk (Messstelle oder Brunnen) hinsichtlich der Gewährleistung und der Nutzungseigenschaften stellt, unterschieden werden. Zu den behördlichen Mindestanforderungen gehören danach bohrlochgeophysikalische Messverfahren, die folgende Überprüfungen zulassen:

- Vorhandensein und/ oder Lage von Tonsperren (vertikale Ringraumabdichtung) sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil,
- hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen, insbesondere wenn Hinweise auf Inhomogenitäten der Ringraumabdichtung vorliegen,
- Überprüfung auf Brückenbildung (Brücken im Ringraum sind Havariegefahren!),
- Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen,
- Lage der Filterstrecke.

Insbesondere im Hinblick auf einen langfristigen störungsfreien Betrieb der Messstelle (zusätzliche Anforderungen des Betreibers) sind Untersuchungen und Messverfahren empfehlenswert, die folgende Überprüfungen ermöglichen:

- Vorhandensein und Zustand der Kiesschüttung (Kolmationen, Verdichtungen, Feinkornanteil),
- Zufluss im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke,
- Durchlässigkeit des filternahen Bereiches/ der Ringraumschüttung,
- Vertikalität und Exzentrizität der eingebrachten Verrohrung,
- ggf. Präzisierung des erbohrten geologischen Profils (Auch im zur Messstelle ausgebauten Bohrloch möglich!),
- Rohrbeschädigungen (Haarrisse) und Rohrovalitäten.

Von Fall zu Fall können auch folgende Untersuchungen erforderlich sein:

- Überprüfung des Wasserchemismus in der Messstelle (absolute Salinität, vertikale Schichtung),
- Abschätzung des Wasserchemismus im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen, v.a. im Vollrohrbereich („hinter den Rohren“, zur Verfolgung der Süß-/ Salzwassergrenze).

Generell können diese Untersuchungen auch am „Altbestand“ von Messstellen vorgenommen werden, um so deren Eignung zu überprüfen. Dies empfiehlt sich insbesondere immer dann, wenn Zweifel an der Richtigkeit von Analysen und/ oder Wasserständen bestehen oder wenn die Messstelle zurück gebaut werden soll. Hier ist der Nachweis einer ordnungsgemäßen Ringraumabdichtung und -verfüllung erforderlich (vergl. /5/).

### 2 Häufige Mängel an Grundwassermessstellen

Häufige Mängel sind:

- nicht vorhandene, falsch positionierte, einseitig ausgebildete, unvollständige oder mit Nachfall vermischte Ringraumabdichtungen (Tone oder Ton-Zement-Suspensionen), (häufigster und gravierendster Mangel!),
- undichte Rohrverbindungen mit der Folge des Kurzschlusses mehrerer Grundwasserleiter und dem Ergebnis, dass Messstellen nur Mischproben und falsche Grundwasserstände liefern; außerdem Beeinflussung verschiedener Grundwasserleiter/ Grundwasserqualitäten gegeben (zweithäufigster Mangel!),
- falsche geologische Schichtenverzeichnisse, z.B. bei Trockenbohrungen und ein daraus resultierender falscher Ausbau/ falsche Verfüllung der Messstelle/ des Brunnens (dritthäufigster Mangel!),
- Hohlräume/ unverfüllte Bereiche, die durch Brückenbildungen bzw. Setzungen hervorgerufen wur-



den und im Extremfall, insbesondere beim Zusammenbruch, den Totalverlust der Messstelle verursachen können und zu Setzungen an der Oberfläche führen (Unfallgefahr!),

- Überschüttungen von Filterstrecken mit Ton oder Eindringen von Ton-Zement-Suspensionen in den Filterbereich und damit "Verstopfung" der Filterschlitz und Filterkiese,
- zu starkes Sanden,
- mechanische Beschädigung von Rohren,
- Versalzungen des Porenwassers,
- Verbiegung des Rohrstranges, hervorgerufen durch eine falsche Einbautechnologie und/ oder einen plötzlichen Neigungsaufbau der Bohrung und damit verbundene Schwierigkeiten beim Einbau von Pumpen und Messgeräten,
- Verwendung unterschiedlicher Rohrchargen, was zu Absätzen an den Rohrverbindungen führt und Schwierigkeiten beim Einbringen von Pumpen und Messgeräten hervorrufen kann,
- exzentrischer Einbau der Rohre in die Aufschlussbohrung und damit verbundene ungleichmäßige oder einseitig fehlende Ringraumabdichtung, meist hervorgerufen durch das Fehlen oder eine ungenügende Anzahl von Zentralisatoren,
- auf Grund zu großer Neigung der Aufschlussbohrung nur einseitig geschüttete Filterkiese, mit der häufigen Folge des Sandens oder einer deutlich schnelleren Alterung der Messstelle,
- Undichtigkeiten am Verpressstück, bei einer Abdichtung des Ringraums mit Ton-Zement-Suspension aus dem Ausbau heraus, mit den gleichen Folgen wie bei undichten Rohrverbindungen,
- nicht richtig auf die lithologischen Verhältnisse abgestimmte Filterschlitz und Filtersande, mit der Folge einer geringen Durchlässigkeit von Ringraum und Filterschlitz oder des Sandens der Messstelle,
- falsche Positionierung von Filterstrecken, hervorgerufen durch Messfehler oder Unaufmerksamkeit beim Rohreinbau,
- zu lange Filterstrecken, damit keine repräsentative Probenahme mehr möglich,
- mehrere Filterstellungen mit der Konsequenz wie vorher.

Bei den Mängeln muss unterschieden werden, ob diese die Messstelle für deren geplanten Zweck unbrauchbar machen oder gar eine Beeinflussung des Grundwassers durch die mangelhaft errichtete Messstelle möglich ist oder ob es Mängel sind, die die Gebrauchsfähigkeit nur einschränken. Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Grundwasserleitern über den Ringraum oder defekte Rohrverbindungen sind in jedem Fall unzulässig.

### 3 Handlungsempfehlungen

Von neu errichteten Grundwassermessstellen sollte von vornherein erwartet werden, dass diese dem Stand der Technik entsprechend hergestellt wurden. Sowohl hinsichtlich der Ringraumabdichtung als auch der Dichtheit der Rohrverbindungen sind festgestellte Defizite hier kaum akzeptabel. Eine „Nullmessung“ als Neubauabnahme erleichtert außerdem die Ursachenforschung bei später auftretenden Alterungsproblemen Messstellen erheblich. Die notwendigen Ziele einer Neubauabnahme wurden unter 1. kurz erläutert. Die überwiegend komplexen Fragestellungen bei der Überprüfung von Grundwasserstellen und Brunnen bedingen es dabei, dass für deren Beantwortung in der Mehrzahl der Fälle Kombinationen verschiedener Messverfahren (Messprogramme) eingesetzt werden. So wird die Auswahl der Messverfahren im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Fragestellung/ Aufgabenstellung,
- Anforderungen an die Genauigkeit/ Zuverlässigkeit/ "Gerichtsfestigkeit" der Ergebnisse,
- Dimensionierung des Bauwerks, z.B. Durchmesser,
- ökonomische Aspekte und betriebliche Belange des Nutzers der Messstelle,
- Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Ausbaudokumentation und des geologischen Schichtenverzeichnis (Mitwirkungspflicht des Auftraggebers!),
- Anforderungen/ Auflagen zum Schutz des Grundwassers,
- Typ und Art des Ausbaumaterials (elektrisch leitend/ elektrisch nicht leitend),
- Typ und Art des verwendeten Materials zur Herstellung von Abdichtungen (magnetische Tone, gammaaktive Tone, nicht markierte Tone, Ton-Zement-Suspensionen) und Technologie der Herstellung dieser (Schüttung, flüssige Verfüllung mit Suspensionen),
- eingesetztes Bohrverfahren zum Abteufen der Aufschlussbohrung,
- Einsatzbedingungen und -grenzen der einzelnen Messverfahren.

Da die bohrlochgeophysikalischen Messverfahren und die im Brunnen- und Messstellenbau eingesetzten Materialien und Herstellungsverfahren sehr komplex sind, wird empfohlen, für die Überprüfung von Messstellen möglichst die Erfahrungen einer Fachfirma schon in die Projektierungsphase mit einzubeziehen. Wichtig ist auch die Unabhängigkeit der die Kontrollgeophysik ausführenden Fachfirma. Für die Neubauabnahme kommen dabei prinzipiell die in der Tabelle 1 aufgeführten Messverfahren zum Einsatz.



#### 4 Weitere Einsatzfälle der Bohrlochgeophysik bei der Baugrunderkundung

Neben der Überprüfung von Brunnen und Grundwassermessstellen hat die Bohrlochgeophysik noch weitere Anwendungsfelder in der Baugrunderkundung, die hier aber nur erwähnt werden sollen:

- Messungen zur Ermittlung von Porosität, Dichte, Wassergehalt und Tongehalt im Lockergestein, auch in Drucksondiergestängen,

- optisches und akustisches Bohrlochfernsehen für die Erkundung von Störungszonen im Festgestein,
- Messungen zur Ermittlung von Verdichtungserfolgen,
- Setzungsmessungen mittels magnetischer Setzungsmarken aus Bohrungen/ Grundwassermessstellen heraus,
- Hohlraumuntersuchung mit TV, Laser und Orientierungssystem,
- Bestimmung der Teufenreichweite von Bauwerken, z.B. Spundwänden.

Aufgabe	Verfahren <sup>2)</sup> (Abkürzung)	Verrohrung <sup>1)</sup>		Bemerkungen / Anwendungsbedingungen
		elektrisch leitend	elektrisch nicht leitend	
Prüfung des Allgemeinzustandes der Ausbauverrohrung	Fernsehsondierung (OPT)	(+)	(+)	nur in optisch weitgehend klarem Wasser einsetzbar, bei GWM kein Routineverfahren, meisten Fragestellungen lassen sich mit anderen Verfahren besser klären, Einsatz insbesondere wenn Fremdkörper in der GWM vermutet werden, z.B. Endteufe kann nicht mehr gelotet werden
Teufenlage und räumliche Homogenität von Ringraumabdichtungen	Gamma-Strahlung; konventionell (GR)	+	+	Tonsperrenachweis nur bei Verwendung gammaaktiv markierter Tone (ohne ergänzende Verfahren) möglich, als Korrekturgröße für GG.D und RGG.D immer erforderlich, besser SGL einsetzen,
	Segmentiertes Gamma-Ray-Log (SGL)	++	++	Messung der Gamma-Strahlung in mehreren getrennten Segmenten über den gesamten Umfang des Ringraums, dadurch Nachweis der horizontalen Verteilung von Tönen im Ringraum, ab DN 50 einsetzbar
	Gamma-Gamma-Dichte-Log, konventionell (GG.D)	+	+	deutlicher Dichtekontrast zum übrigen Verfüllmaterial notwendig, besser RGG.D einsetzen
	Neutron-Neutron-Log (NN)	(+)	(+)	einziges (universelles) Nachweisverfahren für nicht speziell markierte Tone, die in älteren Brunnen überwiegend eingesetzt wurden
	Dichte-Ringraumscanner-Log (RGG.D)	++	++	Nachweis einer homogenen Verteilung des Abdichtmaterials über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Ringraumabdichtungen) ab DN 50 bis DN 150 einsetzbar
	Magnetik-Log (MAL)	-	(+)	ausschließlich für den Nachweis ferromagnetisch markierter Tone und Ton-Zement-Suspensionen
Dichtheit der Rohrverbindungen und Lage der Filterstrecke	Fokussiertes Elektro-Log (FEL)	++ +	- +	gutes Screeningverfahren, aber kein eindeutiger Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Rohrverbindungen, hierzu immer Packertest erforderlich; bei Stahlrohren nur mit EMDS oder TV exakte Bestimmung der Filterlage möglich
	Packertest	(+)	++	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von potentiell undichten Rohrverbindungen/ Leckstellen, (im Anschluss an FEL, wenn der Verdacht auf Undichtigkeiten besteht), wichtig für die Dichtheitsprüfung von Stahlrohren
Nachweis der Verfüllung des gesamten Ringraums (Brückenbildung)	Gamma-Gamma-Dichte-Log, konventionell (GG.D)	+	+	Nachweis der Ringraumverfüllung kann nur einseitig gerichtet oder als Durchschnitt über den gesamten Ringraum erbracht werden, daher besser RGG.D
	Dichte-Ringraumscanner-Log (RGG.D)	++	++	Nachweis einer homogenen Verfüllung über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Verfüllungen), Einsatz ab DN 50 bis DN 150



Nachweis von Strömungsvorgängen	Tracer-Fluid-Logging (TFL)	++	++	Feststellung von Wasserbewegungen innerhalb einer längeren Filterstrecke oder zwischen mehreren Filterstellungen mittels Farb- oder NaCl-Tracern
vertikale Zuflussprofilierung	Impellerflowmeter-Log (FLOW)	++	++	Überprüfung des Zuflusses im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke in Ruhe und bei Förderung
Lokalisation von Wasserzuflüssen mit unterschiedlichem Chemismus	Milieu-Log (MIL)	++	++	Messung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Temperatur u. Leitfähigkeit des Wassers zur Ermittlung von Zuflüssen verschiedener Grundwasserqualitäten, Überwachung von Kontaminationen, Ermittlung der Qualität von Wässern
Durchlässigkeitsprüfung	Packer-Flowmeter-Log (FWPACK)	++	++	Durchlässigkeit von Filterrohr und Kiesschüttung im filternahen Bereich, gibt entscheidende Hinweise für Vorbereitung der Regenerierung bzw. Kontrolle des Regeneriererfolges
hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen	Gasdynamischer Test (GDT)	(+)	(+)	Anwendung wenn Mängel hinsichtlich Teufenlage, Mächtigkeit oder Homogenität von Ringraumabdichtungen anhand anderer Verfahren (z.B. MAL, RGG.D, NN, GR, SGL) festgestellt wurden und damit Zweifel an der Dichtigkeit bestehen

- 1) ++ : Messung wird für die jeweilige Aufgabe empfohlen  
 + : das in den Bemerkungen angegebene Messverfahren ist unter den genannten Bedingungen für die jeweilige Aufgabe aussagefähiger

(+) : Messung unter den in den Bemerkungen beschriebenen Bedingungen empfohlen

- : Messung technisch nicht möglich oder nicht sinnvoll

- 2) Weitere Erläuterungen zu den Einzelnen Messverfahren u.a. in /1/ oder unter [www.blm-storkow.de](http://www.blm-storkow.de).

**Tab. 1:** Einige wichtige Anwendungsfälle bohrlochgeophysikalischer Verfahren in Brunnen und Grundwassermessstellen (in Anlehnung an /1/)



Produktbeispiele (Kein vollständiger Handelsname!)	Konsistenz	Bemerkung	nachweisfähige Eigenschaft(en)	Bevorzugtes geophysi- kalisches Nachweisver- fahren
Quellon HD, Wetronit 51/10, Mikolit 300 M	Kugeln/Pellets	sehr häufig eingesetzt, ungeeignet bei Stahlroh- ren	ferromagnetisch, Dichte	MAL
Füllbinder EWM plus Füllbinder H-hs plus	Suspension	auch für Erdwärmesonden geeignet	ferromagnetisch	MAL
Zement	Suspension		Dichte, Schallhärte	GG.D, CBL.WB
Quellon WP Troptogel C	Kugeln/Pellets Suspension		nat. Gammastrah- lung	GR bzw. SGL
Compactonit	Kugeln/Pellets	oft auch schwach magnetisch	Dichte, Wasser- stoffgehalt	RGG.D bzw. GG.D
Wetronit 50/10 Wetronit 70/10 Wetronit 100/10 Mikolit Friedländer Blauton	Kugeln/Pellets		Wasserstoffgehalt	NN
alle anderen nicht mar- kierten Tone	Kugeln/Pellets		Wasserstoffgehalt	NN (GG.D, RGG.D)
Brutoplast, Troptogel, Dämmer	Suspension		Dichte, Wasser- stoffgehalt	NN, GG.D, RGG.D
Brutoplast, Troptogel B oder Dämmer mit Zir- konsand versetzt	Suspension	Wird überwiegend bei nachträglichen Abdich- tungen der Ringräume eingesetzt.	nat. Gammastrah- lung	SGL (GR)

Messverfahren:

CBL.WB-	Zement-Bond-Log mit Wellenbildregistrierung
MAL-	Magnetlog
NN-	Neutron-Neutron-Log
GR-	Gamma-Ray
GG.D-	Dichtelog
SGL-	Segmentiertes Gamma-Log
RGG.D-	Ringraumscanner

**Tab. 2:** Häufig verwendete Materialien zur Ringraumabdichtung und ihre Nachweisfähigkeit  
 (Kein Anspruch auf Vollständigkeit! Keine Vollständigkeit des Handelsnamens!)

Messverfahren	Abkürzg.	Aussage	Wirkprinzip
Salinitäs-Temperatur- Log	<b>SAL / TEMP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Bestimmung des Wasserspiegels</li> <li>zur Bestimmung der Temperatur und Ein- schätzung des Mineralisationsgrades des Wasser im Brunnen/Messstelle</li> <li>zur Bestimmung von Zufluss- und Verlust- bereichen</li> <li>Indikationen von Undichtigkeiten an Muffen und Übergängen</li> <li>Hinterrohrzirkulationen</li> </ul>	Messung von Temperatur und Leitfähigkeit des Wasser im Brun- nen/Messstelle
Fernsehsondierung	<b>OPT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Beurteilung des Zustandes der Verroh- rungen</li> <li>zum Erkennen von Belägen und Ablagerun- gen</li> <li>zum Erkennen von Beschädigungen der Verrohrungen</li> <li>zum Erkennen des Zustandes der Filteröff- nungen</li> <li>zur Feststellung von Korrosionserschei- nungen, sofern Korrosion von innen nach au- ßen</li> <li>zur Identifikation von Fremdkörpern</li> </ul>	Optische Begutachtung der Innenwandungen der Brunnenrohre/Messstelle
Kaliber-Log	<b>CAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Bestimmung des Rohrrinnendurchmes- sers</li> </ul>	mechanisches Abtasten der Rohrrinnenwandung



		<ul style="list-style-type: none"> <li>zum Erkennen von Hindernissen, Deformationen oder ähnlichem zur Vermeidung von Sondenhavarien</li> <li>zum Lokalisieren der Rohrverbindungen und der Filterstrecken</li> <li>zum Erkennen von Rohrdefekten, -erweiterungen, -verengungen, -ovalitäten und -deformationen</li> <li>zum Feststellen von Ablagerungen auf den Innenwandungen der Verrohrung</li> <li>zur Volumenberechnung des Brunnens/Messstelle</li> </ul>	
Induktions-Log	<b>IL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur bei elektrisch nicht leitendem Ausbau (PVC, Steingut, Kiesklebefilter etc.) einsetzbar</li> <li>zum Feststellen von elektrischen Anomalien im Ringraum besonders bei großem Bohrdurchmesser</li> <li>zur Aushaltung der Lithologie des Gebirges bei kleineren Bohrdurchmessern</li> <li>zur Messung des elektrischen Widerstandes des Gebirges, auch oberhalb des Wasserspiegels, insbesondere für die geologische Gliederung des Gebirges</li> <li>zur Bestimmung der Wassersättigung von Gebirge und Ringräumen</li> </ul>	induktive Messung der elektrischen Leitfähigkeit
Gamma-Ray-Log	<b>GR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Kontrolle des geologischen Profils</li> <li>zur Anzeige von Feinkornanteilen im Filterkies</li> <li>zum Feststellen von Kolmationen im Filterbereich</li> <li>zur Bestimmung der Lage von Tonsperren bei Verwendung gammaaktiver Materialien</li> </ul>	Messung der natürlichen $\gamma$ -Strahlung von Ausbau und Gebirge
Segmentiertes Gamma-Ray-Log	<b>SGL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Lokalisierung und Abgrenzung von Ringraumabdichtungen</li> <li>Überprüfung einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Kontrolle der Wirksamkeit z.B. von Abdichtungen der Ringräume</li> <li>zur Gliederung der Lithologie des anstehenden Gebirges</li> <li>zur Einschätzung des Gehalts an bindigen Komponenten in der Kiesschüttung</li> <li>Einsatz von 50 bis 600 mm Innendurchmesser</li> </ul>	Messung der natürlichen Gammastrahlung von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in drei, jeweils um 120° horizontal versetzten Segmenten
Gamma-Gamma-Dichte-Log	<b>GG.D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Einschätzung der Lagerungsdichte im Ringraum (z.B. Brückenbildung)</li> <li>zum Tonsperrennachweis</li> <li>zur dichteabhängigen Gliederung des anstehenden Gebirges</li> <li>zum Erkennen von Rohren abweichender Wandstärke</li> </ul>	Messung der gestreuten $\gamma$ -Strahlung, die umgekehrt proportional zur Dichteverteilung ist
Dichte-Ringraumscanner-Log	<b>RGG.D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nachweis einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkiesschüttungen</li> <li>Überprüfung der Exzentrizität der Rohre</li> <li>Einsatz bei Rohrinneindurchmessern von 100 bis 150 mm (4" bis 6")</li> </ul>	um 360° rotierende Messung der relativen Dichteänderung im Ringraum
Segmentiertes	<b>SGG.D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nachweis einer homogenen Verfüllung des</li> </ul>	Messung der Dichte von

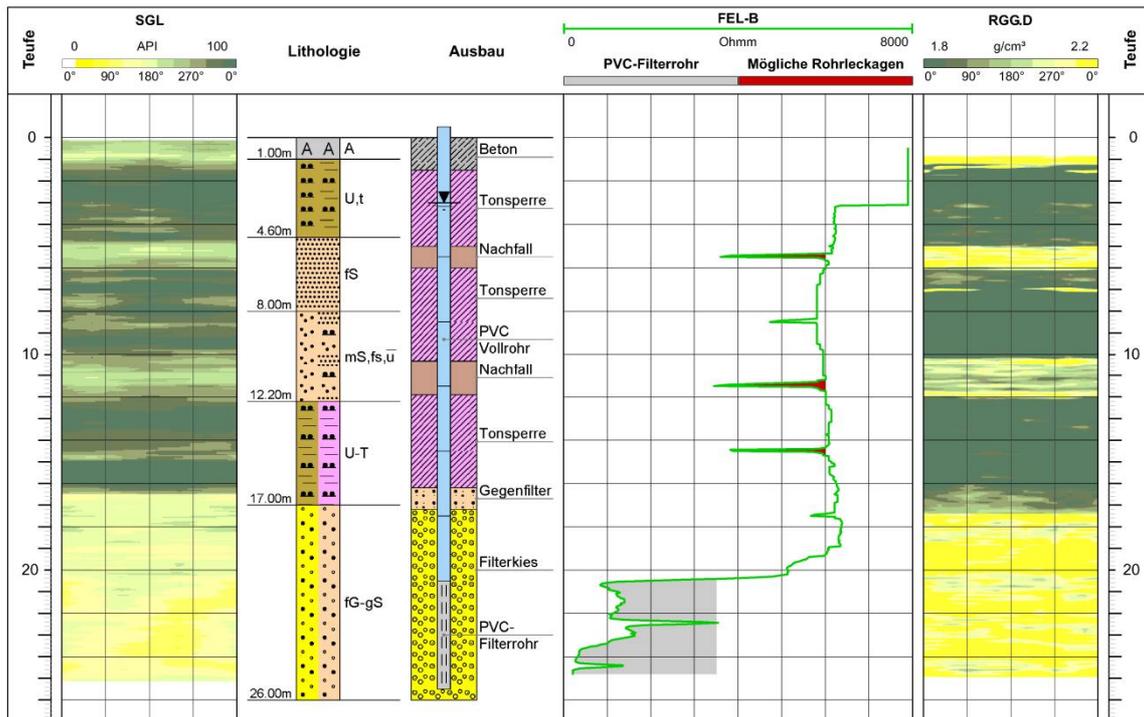


Gamma-Gamma-Dichtelog		<p>Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkiesschüttungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz bei Rohrinneindurchmessern von 50 bis 100 mm</li> </ul>	Ringraumhinterfüllung und Gebirge in zwei, jeweils um 180° horizontal versetzten, Segmenten
Neutron-Neutron-Log	<b>NN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zur Porositätseinschätzung</li> <li>• zum Erkennen von Tonsperren unbekannter Zusammensetzung</li> <li>• zur Bestimmung des Wassergehaltes im Ringraum</li> <li>• zur Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges</li> <li>• zur Einschätzung des Gehalts bindiger Bestandteile in der Kiesschüttung</li> </ul>	Messung der gestreuten Neutronenstrahlung, die ein Maß für den Gesamtwasserstoffgehalt darstellt
Suszeptibilitäts-Log	<b>MAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metallnachweis (verlorene Rohre und Teile, Zentralisatoren, Mantelrohre)</li> <li>• zum Erkennen von Tonsperren beim Einsatz von magnetisch markierten Abdichtmaterialien (bei nicht metallischem Ausbau)</li> <li>• zur Gliederung von Hinterfüllmaterial unterschiedlicher Magnetisierbarkeit</li> </ul>	Messung der Magnetisierbarkeit des Materials
Flowmeter-Log	<b>FLOW 0 FLOW 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zur Gliederung des Zuflussverhaltens im Filterbereich</li> <li>• zum Feststellen der Veränderlichkeit der hydrodynamischen Verhältnisse im Brunnen durch den Regenerierungsprozess</li> <li>• zur Ursachenforschung bei nachlassender Förderung</li> <li>• zum Erkennen von Fremdzufüssen</li> </ul>	Umdrehungszahl eines Messflügels im Pumpenstrom bei unterschiedlichen Anregungszuständen (FLOW 0, FLOW 1, FLOW ...)
Packerflowmeter-Log	<b>FWPACK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einschätzung der Durchlässigkeit der Filterschlitzte und des brunnennahen Ringraumes (Kiesschüttung)</li> </ul>	Messung des Fluiddurchsatzes im Messquerschnitt eines abgepackerten Flowmeters (Umdrehungszahl Messflüg)
Fokussiertes-Elektro-Log	<b>FEL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Lage der Filterstrecken</li> <li>• Kontrolle der Dichtheit der Aufsatzrohre (besonders Muffenverbindungen)</li> <li>• zur Einschätzung des Zustandes der inneren Rohrwandungen (Korrosionserscheinungen, Rohrbeläge, Rohrverkrustungen - hierzu auch in Metallverrohrungen einsetzbar!)</li> </ul>	Messung des elektrischen Widerstandes
Tracer-Fluid-Log	<b>TFL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• besonders geeignet zum Nachweis von Wasserbewegungen von geringem Ausmaß sowohl in Ruhe als auch bei Fremdanregung</li> <li>• zur Einschätzung der dynamischen Verhältnisse im Brunnen</li> <li>• zur Prüfung auf Leckstellen in den Aufsatzrohren, insbesondere bei Stahlausbau</li> <li>• zur Ermittlung der Filtrationsgeschwindigkeit (Grundwasserfließgeschwindigkeit)</li> </ul>	Beobachtung der Wasserbewegung im Brunnen unter verschiedenen Anregungszuständen und bei gezielter Zugabe eines NaCl- oder Farbtacers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)
Elektromagnetisches Wanddicken-Log	<b>EMDS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahren zur Bestimmung des Zustandes von Stahlrohren</li> <li>• liefert Aussagen zu Leckstellen und Durchrostungen bzw. Rostansatz und Restwandstärke</li> <li>• liefert Angaben über mehrere teleskopierte Rohrtouren</li> <li>• quantitative Ergebnisse bis zu einem Innendurchmesser von 500 mm</li> </ul>	Messung der Wanddicke von Stahlrohren



Bohrlochverlaufs-Log	<b>BA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfung, ob Brunnen oder Messstelle lotrecht verläuft</li> <li>• keine oder nur geringe Neigung eines Brunnens/Messstelle als Voraussetzung für das ordnungsgemäße Einbringen der Brunnenrohre, der Filterkiesschüttung und der Ringraumverfüllung</li> <li>• große Neigung als häufige Ursache für Sandeintrag im Filter</li> <li>• wichtige Information für den Rückbau (Überbohren)</li> </ul>	kontinuierliche Messung von Azimut und Neigung
Teufenorientierte Probenahme	<b>TP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entnahme teufenorientierter Wasserproben, die hermetisch gegenüber der Umgebung abgeschlossen werden</li> </ul>	Einsatz eines motorischen Probenehmers am Bohrlochmesskabel
Packertest Bohrlochverlaufs-Log	<b>PT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zum endgültigen Nachweis der Dichtheit von Rohrmuffenverbindungen</li> <li>• Einsatz möglichst erst nach FEL-Messung (Screeningverfahren)</li> </ul>	Einsatz eines Einfach- oder Doppelpackers
Fotometrisches Trübungs-Log	<b>FMT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweis von Sandeintrag, auch wenn makroskopisch nicht mehr sichtbar</li> <li>• Messung der Grundwasserfließgeschwindigkeit durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)</li> </ul>	Einsatz eines Fotosensors zur Messung der Transparenz des Wassers
Fotometrisches Fließrichtungs-Log	<b>FMK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• direkte Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermessstellen durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)</li> <li>• einsetzbar in Messstellen ab DN 80 mm</li> <li>• möglichst vorher über FMT-Messung Bereiche mit hoher Fließgeschwindigkeit bestimmen</li> <li>• maximale Einsatzteufe 300 m</li> </ul>	photometrische Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermessstellen (Einbohrlochmethode)
Milieu-Log	<b>MIL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung von Zuflüssen verschiedener Grundwasserqualitäten</li> <li>• Überwachung von Kontaminationen</li> <li>• Ermittlung der Qualität von Wässern</li> <li>• in situ-Monitoring von Grundwassermessstellen und Brunnen</li> </ul>	Messung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Temperatur u. Leitfähigkeit des Wassers
Gasdynamischer Test	<b>GDT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Test zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen</li> </ul>	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen über die bohrlochgeophysikalische Messung von Stickstoffmigrationspfaden

**Tab. 3:** Wirkprinzipen und Aussagen von bohrlochgeophysikalischen Messverfahren



**Bild 1:** Beispiel einer Messstellenkontrolle



## Literatur

- /1/ DVGW-ARBEITSBLATT W 110 (2005): GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN IN BOHRUNGEN, BRUNNEN UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN – ZUSAMMENSTELLUNG VON METHODEN UND ANWENDUNGEN; WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /2/ DVGW-ARBEITSBLATT W 121 (2002): BAU UND AUSBAU VON GRUNDWASSERMESSSTELLEN; WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /3/ DVGW-ARBEITSBLATT W 123 (2001): BAU UND AUSBAU VON VERTIKALFILTERBRUNNEN; WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /4/ DVGW-MERKBLATT W 124 (2001): KONTROLLEN UND ABNAHMEN BEIM BAU VON VERTIKALFILTERBRUNNEN; WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /5/ DVGW-ARBEITSBLATT W 135 (1996): SANIERUNG UND RÜCKBAU VON BOHRUNGEN, GRUNDWASSERMESSSTELLEN UND BRUNNEN; WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /6/ DVGW (2003): UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON QUALITÄTSKRITERIEN FÜR ABDICHTUNGSMATERIALIEN IM BRUNNENBAU; (STUDIE), [HTTP://WWW.DVGW.DE/WASSER/INFORMATIONEN/FRDASFACH/WASSERVERSORGUNG.HTML#DICHTUNG](http://www.dvgw.de/wasser/informationen/frdasfach/wasserversorgung.html#dichtung)
- /7/ BAUMANN, K. (2004): GEOPHYSIKALISCHE MÖGLICHKEITEN EINER QUALITÄTSSICHERUNG NACH W 110; SCHRIFTENREIHE INSTITUT WAR ZUM DARMSTÄDTER SEMINAR WASSERVERSORGUNG (2004), BAND 158, DARMSTADT
- /8/ BAUMANN, K. (2004): ZUSTANDSERMITTLUNG VON BRUNNEN MITTELS NEUER BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHER MESSVERFAHREN; DER MINERALBRUNNEN, NR. 02/2004, GENOSSENSCHAFT DEUTSCHER BRUNNEN eG, BONN
- /9/ BAUMANN, K., BURDE, B., LIEBAU, CH. (2004): MONITORINGMETHODEN FÜR WASSERWERKSSTANDORTE MIT SALZWASSERGEFÄHRDUNG; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 11/2004 UND 01/2005, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /10/ BAUMANN, K., BURDE, B., GOLDBECK, J. (2003): FORTSCHRITTE DER BOHRLOCHGEOPHYSIK BEI DER UNTERSUCHUNG VON GRUNDWASSERMESSSTELLEN; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 07/2003, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /11/ BAUMANN, K., THOLEN, M. (2001): MÄNGEL AN BRUNNEN UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 1/2001, VERLAGSGESELLSCHAFT RUDOLF MÜLLER, KÖLN
- /12/ BAUMANN, K., LEWIN, H. G., NOLTE, L.-P. (2003): NACHTRÄGLICHE HERSTELLUNG VON RINGRAUMDICHTUNGEN ALS SANIERUNGSMABNAHME FÜR BRUNNEN UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 3/2003, VERLAGSGESELLSCHAFT RUDOLF MÜLLER, KÖLN
- /13/ BAUMANN, K., THOLEN, M., TRESKATIS, C. (2003): QUALITÄTSKRITERIEN FÜR ABDICHTUNGSSUSPENSIONEN IM BRUNNENBAU; BBR FACHMAGAZIN FÜR WASSER- UND LEITUNGSTIEFBAU, NR. 4/2003, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /14/ BAUMANN, K., PFENNER, I. (2006): BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHER NACHWEIS VON SEKUNDÄR EINGEBRACHTEN RINGRAUMABDICHTUNGEN; BBR FACHMAGAZIN FÜR WASSER- UND LEITUNGSTIEFBAU, NR. 7/8/2006, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /15/ BAUMANN, K. (2008): ZUSTANDSANALYSE VON BRUNNEN, GRUNDWASSERMESSSTELLEN UND ERDWÄRMESONDEN MITTELS INNOVATIVER BOHRLOCHMESSVERFAHREN; BRANDENBURGISCHE GEOWISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE NR. 15 (2008), 1/2, LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG
- /16/ BAUMANN, K., WILLWACHER, I. (2007): KONTROLLE VON DYNAMISCHER INTENSIVVERDICHTUNG DES UNTERGRUNDES IM BEREICH DER ERWEITERUNG DER A71 MITTELS BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHER DICHTMESSUNGEN; GEOTECHNIK – ZEITSCHRIFT FÜR BODENMECHANIK, ER- UND GRUNDBAU, FELSMCHANIK, INGENIEURGEOLOGIE, GEOKUNSTSTOFFE, UMWELTGEOLOGIE, 30/2007 NR. 3, SEITE 158 – 163, VGE VERLAG GMBH, ESSEN
- /17/ FRICKE, S., SCHÖN, J. (1999): PRAKTISCHE BOHRLOCHGEOPHYSIK; ENKE IM GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART
- /18/ HOMANN, K. D., WICKLEIN, A., KREUZMANN, K., BAUMANN, K., ENGELMANN, I. (2008): INSTANDHALTUNGSLEISTUNGEN UND INLINESANIERUNG AN GRUNDWASSERMESSSTELLEN; BBR FACHMAGAZIN FÜR WASSER- UND LEITUNGSTIEFBAU, NR. 6/2008, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /19/ KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. LANGE, G. (HERAUSGEBER) (1997): GEOPHYSIK, KAP. 11, BOHRLOCHGEOPHYSIK; SPRINGER
- /20/ NIEHUS, B., (2002): ANFORDERUNGEN UND PROBLEMATIKEN VON ABDICHTUNGEN IN BOHRUNGEN, MESSSTELLEN UND BRUNNEN; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 3/2002, VERLAGSGESELLSCHAFT RUDOLF MÜLLER, KÖLN
- /21/ NOLTE, L.-P., TEWES, S., BAUMANN, K., (2004): PFLEGE, SANIERUNG UND RÜCKBAU VON GRUNDWASSERMESSSTELLEN; BBR FACHMAGAZIN FÜR WASSER- UND LEITUNGSTIEFBAU, NR. 1 UND 2/2004, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH, BONN
- /22/ RUBBERT, T., (2002): UNTERSUCHUNG DER WIRKSAMKEIT VON SUSPENSIONEN ZUR RINGRAUMABDICHTUNG IN WASSERGWINNUNGSBRUNNEN; DIPL.-ARBEIT TH AACHEN (UNVERÖFFENTLICHT)
- /23/ TRILLER, F., VOß, T., BAUMANN, K. (2009): VERSTÄRKTE BRUNNENALTERUNG BEI FEHLENDER RINGRAUMABDICHTUNG; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 5/2009, VERLAGSGESELLSCHAFT RUDOLF MÜLLER, KÖLN
- /24/ KÖNIG, J., BAUMANN, K., VOß, TH. (2011): DETAILAUSBAUKONTROLLE EINER GRUNDWASSERMESSSTELLE MIT BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHEN METHODEN; BBR WASSER, KANAL-



& ROHRLEITUNGSBAU, NR. 4/2011, WVGW WIRTSCHAFTS-  
UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH

/25/ TRILLER, F., BAUMANN, K. (2011): DETEKTION LANGSAMER FLIEßBEWEGUNGEN IN BRUNNEN UND BOHRUNGEN; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 12/2011, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH

/26/ TRILLER, F., WILLWACHER, I. (2013): DAS PEILROHR – EIN AUSGANGSPUNKT FÜR BRUNNENALTERUNG?; BBR WASSER, KANAL- & ROHRLEITUNGSBAU, NR. 05/2013, WVGW WIRTSCHAFTS- UND VERLAGSGESELLSCHAFT GAS UND WASSER MBH





## GeODin Datenmanagement

Timothy Douglas Fyfe M.Sc. B.Sc. DIC Dip. Surv.  
Fugro Consult GmbH, Wolfener Straße 36U, 12681 Berlin  
Tel.: 030 93651-0, E-Mail: support@geodin.com

### Zusammenfassung

GeODin® ist ein modulares Softwaresystem für modernes Datenmanagement, das Ihnen die optimale Verwaltung Ihrer Daten aus Geologie, Geotechnik, Monitoring, Umwelt und Labor ermöglicht. Die GeODin 8 Module Logs, Site, Labs und Maps stellen eine Reihe integrierter Komponenten bereit, wie zum Beispiel dynamische Profilschnitte und Lagepläne, Berichte, statistische Analysen und ein integriertes GIS. Das Modul Client/Server ermöglicht es, Ihre Geodaten in professionellen und Open Source-Datenbanken zu speichern. Der GeODin Portal Server stellt diese Geodaten im Internet in einem Webbrowser zur Verfügung. Zusätzlich bieten wir die GeODin GIS Extension für ESRI® ArcGIS® 10, sowie Werkzeuge zu Datenimport und Zeitplanung und das kostenlose Datenerfassungsprogramm GeODin Shuttle.

### 1 Geodatenmanagement



Besondere Aufgaben erfordern individuelle Lösungen - GeODin bildet das Fundament für zahlreiche Informations- und Datenmanagementsysteme weltweit.

Eine GeODin Lizenz ermöglicht es Ihnen, Geodaten aller Art zu erfassen und in Berichtform auszugeben. Für weitere Funktionen können Sie GeODin mit Hilfe von verschiedenen Modulen Ihren Bedürfnissen entsprechend anpassen, um zusätzliche Auswertungsmöglichkeiten und Darstellungen von Geodaten zu erhalten. Aktuell sind sieben Module verfügbar:

- GeODin Logs
- GeODin Site
- GeODin Maps
- GeODin Labs
- GeODin Client/Server
- GeODin GIS Extension
- GeODin Portal Server

Bei unseren Projekten mit GeODin verwenden wir speziell auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnittene Werkzeuge und Installationen. Ob nun die Verwaltung großer und komplex strukturierter Datenmengen im Mittelpunkt steht oder sehr komplexe Monitoringaufgaben zu erfüllen sind, GeODin stellt mit seiner leistungsfähigen und flexiblen Architektur die optimale Basis für Ihre projektbezogenen Anwendungen dar. An verschiedensten Stellen sind GeODin Lösungen im Einsatz und haben über Jahre hinweg zuverlässig ihre Leistungsfähigkeit demonstriert.

### 2 GeODin Module

#### 2.1 GeODin 8

Eine GeODin 8 Lizenz bietet den idealen Einstieg in die GeODin Plattform: Die Sammlung, Organisation und Präsentation von geologischen, geotechnischen und ökologischen Daten. Die GeODin 8 Lizenz kann mit einem oder mehreren GeODin 8 Modulen verbunden sein und ermöglicht Ihnen das Erzeugen von Bohrprofilen, Profilschnitten & Lageplänen, Laborberichten und –analysen sowie die Arbeit mit GIS und Client/Server-Datenbanken.

#### 2.2 GeODin Logs



Für die graphische Darstellung Ihrer Daten steht Ihnen das Modul GeODin Logs mit seinen Graphikelementen zur Verfügung. GeODin bietet Ihnen vorgefertigte Layouts an, die Sie als Grundlage verwenden, aber auch Ihren Bedürfnissen anpassen können. Einmal erstellte Layouts können Sie speichern und ohne zusätzlichen Aufwand für andere Projekte verwenden. Neben den schematischen Elementen können in GeODin auch Fotos eingefügt und tiefenorientiert dargestellt werden.



### 2.3 GeODin Site



Mit dem Modul GeODin Site können Sie Lagepläne und Profilschnitte zeichnen. In den graphischen Szenarien können Sie alle GeODin Graphikelemente definieren und projekt- bzw. datenbankübergreifend in den Profilschnitten verwenden. GeODin bietet Ihnen Werkzeuge für die Zeichnung von Schichten mit frei wählbaren Signaturen.

### 2.4 GeODin Maps

GeODin Maps ist ein in GeODin eingebettetes GIS-Modul, das über leistungsfähige GIS-Funktionen verfügt. Sie können Ihre Daten direkt im räumlichen Kontext darstellen und aus diesem für die weitere Bearbeitung selektieren. In Kombination mit GeODin Layouts kann man ein Informationssystem erstellen, mit dem Sie schnell und intuitiv Daten verwalten, analysieren, präsentieren und navigieren können.

### 2.5 GeODin Labs

GeODin Labs ermöglicht die Verwaltung und Auswertung von Messwerten. Für die Dateneingabe hält GeODin verschiedene effiziente Werkzeuge sowie Import- und Exportfilter bereit. Mit Hilfe von Datenstrukturanalysen, konfigurierbaren Listen-vergleichen und Plausibilitäten können die Messwerte statistisch ausgewertet werden. Für die graphische Darstellung stehen Ihnen neben den Berichten auch verschiedene Diagrammtypen und Zeitreihen in den Layouts zur Verfügung.

### 2.6 GeODin Client/Server

Das Modul GeODin Client/Server ermöglicht die Verbindung mit Client/Server Datenbanken. GeODin bietet Ihnen die Verwaltung und Auswertung einer fast unbegrenzten Datenmenge und die Datenbank spezifischen Verfahren für Datenkonsistenz und Benutzerverwaltung. Sie können projektübergreifend auf alle Objektdaten & Messwerte zugreifen und Abfragen durchführen.

### 2.7 GeODin Portal Server

Das Modul GeODin Portal Server dient der Gestaltung von Webseiten für die Präsentation Ihrer Datenbestände. In gewohnter GeODin-Arbeitsumgebung erstellen Sie mit GeODin-Werkzeugen Ihre GeODin-Layouts. Die Verknüpfungen auf andere Webseiten und MapServer können Sie an variablen Textelementen, in Berichten oder auch Zeitreihen festlegen. Der GeODin Portal Server produziert sämtliche Webdarstellungen in Echtzeit auf Grundlage der aktuell in der Datenbank vorhandenen Daten.

### 2.8 GeODin GIS Extension

Konnektivität ist die Verbindung von verschiedenen Applikationen und Systemen. Die GeODin GIS Extension richtet sich speziell an Kunden, die die ESRI® Software ArcGIS® 10 einsetzen und ihre GeODin Datenbanken dynamisch in diese Umgebung einbetten möchten. Die Extension bietet die Möglichkeit, GeODin aus dem GIS heraus zu steuern und viele GeODin-Funktionen direkt im GIS-Kontext zu nutzen.

### 2.9 GeODin Shuttle

GeODin Shuttle ist ein kostenloses Werkzeug, das für die Erfassung von Stammdaten, Geologie und Messwerten im Feld oder Büro eingesetzt werden kann. Es ist mehrsprachig und kann für Ihre Daten konfiguriert werden. GeODin Shuttle unterstützt sämtliche von den geologischen Landesämtern freigegebenen Erfassungsstandards.



Die **Systemvoraussetzungen** für GeODin sind ein PC mit Windows 2000 (SP4), Windows XP (SP2), Windows® Vista, Windows 7 (32- oder 64-bit) oder Windows 8 (32- oder 64-bit) und 1GB RAM. GeODin speichert Daten in Standardformaten: Das Standardformat ist das Microsoft-Access-Dateiformat, Sie benötigen zum Einsatz von GeODin jedoch keine Microsoft-Access-Lizenz. Für den Einsatz von Client/Server-Datenbanken sind zusätzlich das Modul GeODin Client/Server sowie die entsprechenden Treiber notwendig.



### **Mehr Informationen**

GeODin Website: [www.geodin.com/de](http://www.geodin.com/de)

Fugro Website: [www.fugro.de](http://www.fugro.de)

E-Mail: [support@geodin.com](mailto:support@geodin.com)

Tel.+49 (0)1805-436346 (GeODin Hotline - 0,14  
Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz; Mobilfunknetze  
ggf. abweichend)





## Laborversuche an Bodenproben - Ermittlung von Bodenkenngrößen

Dirk Augner

Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg,  
Telefon: (040) 81908-404, E-mail: dirk.augner@baw.de

### Zusammenfassung

Den erdstatischen Berechnungen liegen Parameter zugrunde, die in Feld- und Laborversuchen ermittelt wurden oder auf Erfahrungswerten beruhen. In der langen Kette von Untersuchungen sind die bodenmechanischen Laborversuche dabei das Bindeglied zwischen dem eigentlichen Material *Boden* und den *Berechnungsparametern*, d.h. den Zahlenwerten, die als Eingangsparameter für analytische und numerische Berechnungen verwendet werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Laborversuche vorgestellt, die zur bodenmechanischen Klassifikation, zur Ermittlung der Festigkeits- und Verformungsparameter sowie zur Beschreibung des geohydraulischen Verhaltens von Böden verwendet werden.

### 1 Einführung

In der Bodenmechanik sind Vereinfachungen und Idealisierungen unerlässlich, um die Vielfalt der Erdstoffe und ihrer Eigenschaften unter verschiedenen Randbedingungen zu erfassen. In der langen Kette von Untersuchungen sind die bodenmechanischen Laborversuche das Bindeglied zwischen dem eigentlichen Material *Boden* und den *Berechnungsparametern*, d.h. den Zahlenwerten, die als Eingangsparameter für analytische und numerische Berechnungen verwendet werden. Die bodenmechanischen Versuche dienen der Klassifizierung des Bodens, der Charakterisierung seines Zustandes und der Bestimmung von Festigkeits- und Verformungseigenschaften sowie von geohydraulischen Eigenschaften. Die Ergebnisse fließen in Berechnungen zur Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und zum geohydraulischen Verhalten eines Bauwerkes oder des Baugrundes ein.

### 2 Klassifikation

#### 2.1 Allgemeines

Böden werden in Deutschland überwiegend nach den Normen DIN EN ISO 14 688-1, DIN EN ISO 14 688-2 und DIN 18 196 klassifiziert. In anderen Ländern gelten andere bodenmechanische Klassifikationssysteme, und international ist das „Unified Classification System“ der ASTM weit verbreitet.

Als Eingangsgrößen werden u.a. die Ergebnisse aus Laborversuchen herangezogen, wie z.B. die Korngrößenverteilung, die Atterberg'schen Zustandsgrenzen, Konsistenz, der Gehalt an organischen Bestandteilen und der Kalkgehalt. Darüber hinaus können als Klassifikationskriterien die Kornform, die Oberflächenbeschaffenheit, die mineralogische oder chemische Zusammensetzung von Bedeutung sein. Nachfolgend werden die wichtigsten Laborversuche, die zur bodenmechanischen Klassifikation benötigt werden, beschrieben.

#### 2.1.1 Bestimmung der Korngrößenverteilung, DIN 18 123

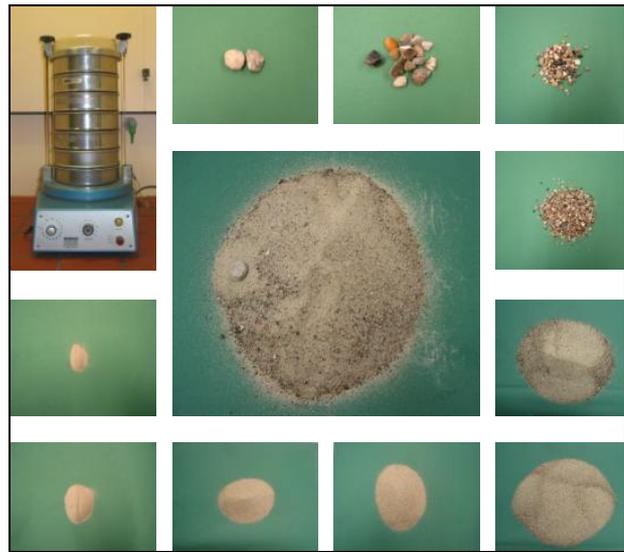
Die Korngrößenverteilung (*DIN 18 123*), gibt für eine Bodenart die Massenanteile der enthaltenen Körnungsgruppen in Gewichtsprozenten an. Tab. 1 zeigt die Korngrößenfraktionen, die in DIN EN ISO 14 688 Teil 1 definiert sind.

Die Ermittlung der Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 erfolgt für nichtbindige Böden mittels Siebanalyse und für bindige Böden durch Sedimentations- oder Schlämmanalyse. Bei gemischtkörnigen Böden werden kombinierte Sieb-Schlämmanalysen durchgeführt (*Schultze/Muhs 1967, K H Head 1992*).

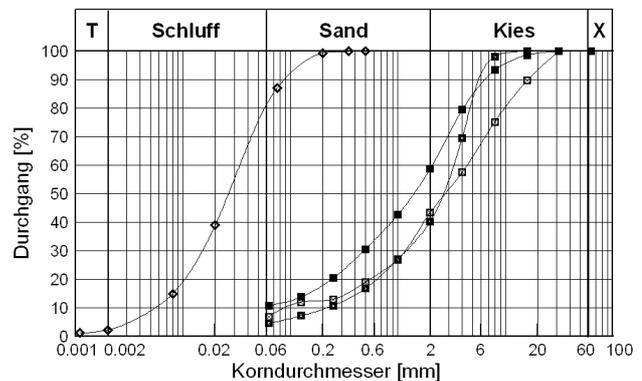
Darüber hinaus stehen insbesondere für feinkörnige Böden nicht genormte Methoden zur Verfügung, die auf Laser-Beugung, auf Abschwächung von Röntgenstrahlung, auf photometrischen Techniken oder auf Zählermethoden basieren. Diese Methoden sind i.d.R. weniger zeitintensiv als die Durchführung von Sedimentationsanalysen nach DIN 18 123. Systematische Untersuchungen an norddeutschen Böden haben aber gezeigt, dass die Vergleichbarkeit von Körnungslinien, die mit unterschiedlichen Verfahren bestimmt wurden, oft nicht gegeben ist. Die Abweichungen z.B. im Tongehalt liegen bei bis zu 60 % zwischen Sedimentationsanalyse nach DIN 18 123 und der Laserbeugungsmethode. Es wird empfohlen, der bodenmechanischen Klassifikation die Untersuchungsmethode nach DIN 18 123 zugrunde zu legen, da auf den Erfahrungen aus dieser Methode auch die Klassifikation beruht.



Bereich	Benennung	Kurzform (Kurzform Din 4022)	Korngrößenbereich [mm]
sehr grobkörniger Boden	großer Block	LBo (Y)	> 630
	Block	Bo (Y)	>200 bis 630
	Steine	Co (X)	>63 bis 200
grobkörniger Boden	<b>Kieskorn</b>	<b>Gr (G)</b>	<b>&gt; 2 bis 63</b>
	Grobkies	CGr (gG)	>20 bis 63
	Mittelkies	MGr (mG)	> 6,3 bis 20
	Feinkies	FGr (fG)	> 2,0 bis 6,3
	<b>Sandkorn</b>	<b>Sa (S)</b>	<b>&gt; 0,063 bis 2</b>
	Grobsand	CSa (gS)	> 0,63 bis 2
	Mittelsand	MSa (mS)	> 0,2 bis 0,63
Feinsand	FSa (fS)	> 0,063 bis 0,2	
feinkörniger Boden	<b>Schluffkorn</b>	<b>Si (U)</b>	<b>&gt; 0,002 bis 0,063</b>
	Grobschluff	CSi (gU)	> 0,02 bis 0,063
	Mittelschluff	MSi (mU)	> 0,0063 bis 0,02
	Feinschluff	FSi (fU)	> 0,0002 bis 0,0063
	<b>Tonkorn</b>	<b>Cl (T)</b>	<b>&lt; 0,002</b>



**Bild 1** Siebung – Siebmaschine und Kornfraktionen



**Bild 2** Körnungsdiagramm mit Körnungslinien

**Tab. 1:** Korngrößenfraktionen nach DIN EN ISO 14 688-1

### Siebung

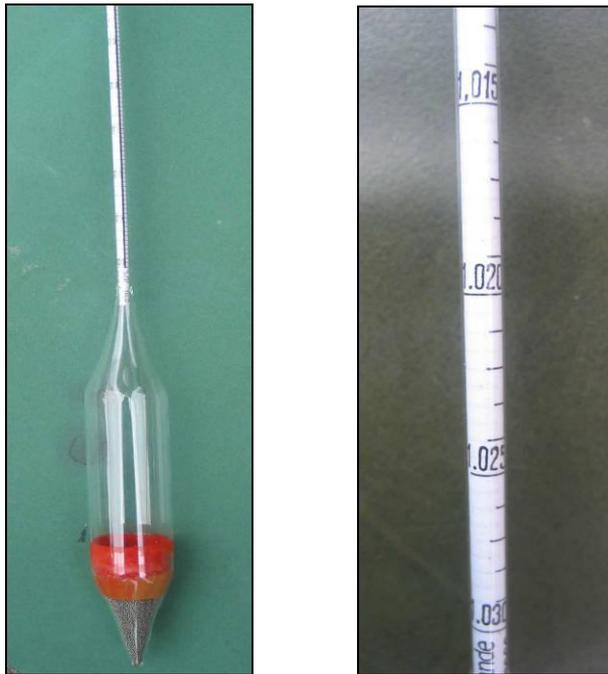
Bei der Siebanalyse wird das Bodenmaterial durch Siebe unterschiedlicher Rundloch- oder Maschenweiten in seine Einzelfraktionen zerlegt, siehe Bild 1. Die Gesamtmasse der Probe und die Rückstände auf jedem Sieb werden ausgewogen. Aus den Siebrückständen werden die Massenprozentage bezogen auf die Ausgangsprobe ermittelt und halblogarithmisch als Summenkurve im Körnungsdiagramm dargestellt. Beispielhaft zeigt Bild 2 ein Körnungsdiagramm mit verschiedenen Körnungslinien. Bei Siebanalysen wird je nach Boden in Nass- und Trockensiebung unterschieden. Die in den Körnungslinien aufgetragenen Massenanteile beziehen sich immer auf die Trockenmasse.

### Sedimentationsanalyse (Schlamm-analyse)

Die Sedimentationsanalyse beruht darauf, dass in einer Flüssigkeit verschieden große Bodenteilchen unterschiedlich schnell absinken. Dabei ändert sich die Dichte der Suspension. Nach dem Gesetz von Stokes (1850) kann aus der Suspensionsdichte auf die Sinkgeschwindigkeiten der Teilchen und damit auf ihren Durchmesser bzw. auf einen äquivalenten Durchmesser rückgeschlossen werden -, vorausgesetzt, die Partikel sind kugelförmig und haben die gleiche Korndichte. Analog zur Siebanalyse wird die Verteilung der Kornfraktionen als Summenkurve im Körnungsdiagramm dargestellt. Dabei handelt es sich um „äquivalente“ Durchmesser, da Bodenteilchen nur selten ideal kugelförmig sind und nicht von gleicher Korndichte der Einzelkörner ausgegangen werden kann. Insbesondere „organische“ Böden sind ein Gemisch aus Teilchen mit unterschiedlichen Korndichten und Kornformen, sodass Sieb- und Schlamm-analysen häufig ungeeignet sind. Oft lässt sich bei diesen Böden eine Schlamm-analyse aufgrund von Ausflockung nicht durchführen.



Die Sedimentation wird für feinkörnige Böden mit Korndurchmesser  $d < 0,125$  mm durchgeführt. Die Bodenprobe wird hierfür in einem Standzylinder zu einer Suspension aufgerührt. Ggf. ist es erforderlich, chemische Zusätze beizufügen, um Koagulation (Zusammenballen einzelner Teilchen) zu verhindern. Zur Bestimmung der Massenanteile der Kornfraktionen wird die Eintauchtiefe eines geeichten Aräometers, siehe Bild 3, in bestimmten Zeitabständen abgelesen und daraus auf die Dichte der Suspension rückgeschlossen.



**Bild 3:** Aräometer mit Detail Ablesekala

Aus der Korngrößenverteilung können die Wasserdurchlässigkeit (nach Hazen oder Beyer), die Frostempfindlichkeit (nach Schaible), die Verdichtbarkeit oder die Filterstabilität des Bodens gegen andere Böden (Kriterien nach Terzaghi, Ziem, Davidenkoff) abgeschätzt werden.

Für die Klassifikation sind die Ungleichförmigkeitszahl  $C_U$  nach (1) und die Krümmungszahl  $C_C$  nach (2) von Bedeutung.

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

mit :  $d_{10}$  Korngröße bei 10 % des Siebdurchgangs,  
 $d_{60}$  Korngröße bei 60 % des Siebdurchgangs.

$$C_C = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (2)$$

mit :  $d_{30}$  Korngröße bei 30 % des Siebdurchgangs.

Die Ungleichförmigkeitszahl ist ein Maß für die Steilheit der Körnungslinie im Bereich  $d_{10}$  bis  $d_{60}$ . Die

Krümmungszahl ist ein Maß für den Verlauf der Körnungslinie im Bereich zwischen  $d_{10}$  und  $d_{60}$ . Entsprechend dieser Kennziffern wird nach DIN 18196 der Boden in eng, intermittierend oder weit gestuft unterschieden.

## 2.2 Bestimmung der Kornform

Nach DIN EN ISO 14 688 Teil 1 wird bei größeren Kornfraktionen die Kornform (geometrische Form) beschrieben, deren Termini in Tabelle 2 zusammengestellt sind und durch den Vergleich mit einer Vorlage abgeschätzt werden.

Kornform	
Rundung	scharfkantig kantig kantengerundet angerundet gerundet gut gerundet
Form	kubisch flach (plattig) länglich (stängelig)
Oberflächenstruktur	rau glatt

**Tab. 2:** Bestimmung der Kornform nach DIN EN ISO 14 688-1

## 2.3 Bestimmung der Korndichte, DIN 18 124

Als „Korndichte“ wird die Masse der festen Bodenbestandteile (ohne Luftporen des Korngefüges) bezogen auf ihr Volumen bezeichnet. Sie wird nach (3) ermittelt mit den Bezeichnungen nach Bild 5.

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_d} \quad [t/m^3 = g/cm^3] \quad (3)$$

Die Korndichte ist ein Hilfswert zur Ermittlung der Kornverteilung bei der Sedimentation sowie bei der Bestimmung weiterer bodenmechanischer Kenngrößen. Die Versuchsdurchführung ist für feinkörnige Böden in DIN 18 124 Teil 1 (Kapillarpyknometer) bzw. für Mischböden in DIN 18 124 Teil 2 (Luftpyknometer) für grobkörnige Böden geregelt. Darüber hinaus stehen andere Verfahren zur Verfügung, die nicht genormt sind.

Die Korndichten von Böden liegen in der Regel zwischen etwa:

- $\rho_s = 2,65$  t/m<sup>3</sup> (Quarzkorn; nichtbindige Böden)
- $\rho_s = 2,70$  t/m<sup>3</sup> (bindige Böden)

Organische Böden haben oftmals wesentlich geringere Korndichten. (Torfe bei  $\rho_s = 1,50$  t/m<sup>3</sup> und geringer)



## 2.4 Bestimmung der organischen Anteile, DIN 18 128

Die organischen Anteile von Böden werden durch den Glühverlust bestimmt, dessen Versuchsdurchführung in DIN 18 128 genormt ist. Sie können auch am Geruch (faulig) bzw. häufig an einer dunklen Färbung erkannt werden.

I. d. R. neigen stark organische Böden zu Setzungen.

Der Glühverlust  $V_{gl}$  ist nach (4) definiert als:

$$V_{gl} = \frac{m_d - m_g}{m_d} \quad [1] \quad (4)$$

mit  $m_g$ : verglühte Masse und  
 $m_d$ : Trockenmasse.

Die Klassifizierung von Böden mit organischen Anteilen erfolgt nach DIN EN ISO 14 688-2, siehe Tabelle 4.

Boden	Organische Anteil % der Trockenmasse ( $\leq 2$ mm)
schwach organisch	2 bis 6
mittel organisch	6 bis 20
stark organisch	> 20

**Tab. 2:** Klassifizierung von Böden mit organischen Anteilen nach DIN EN ISO 14 688-2

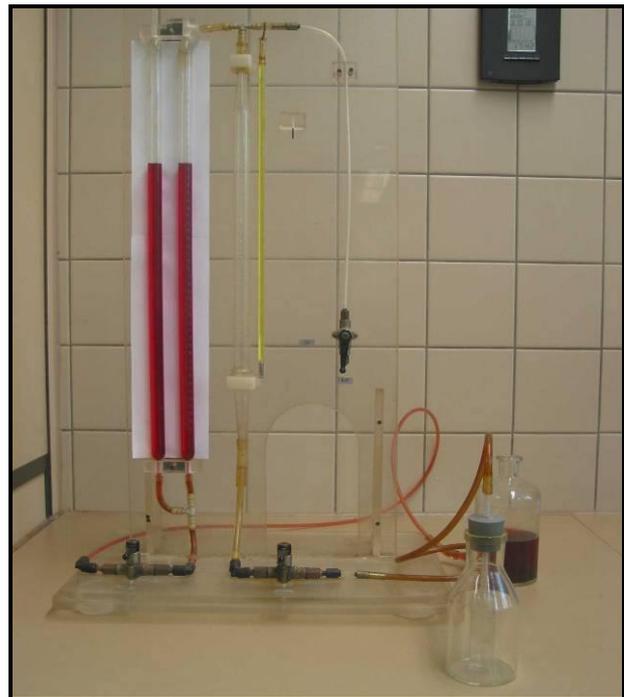
Nach DIN 1054, Abs. 3.1.4 werden nichtbindige Böden mit Glühverlusten > 3 % und bindige mit > 5 % als „Böden mit organischen Beimengungen“ bezeichnet und nach DIN 18196 den Bodengruppen OU, OT und OH zugeordnet.

## 2.5 Bestimmung des Kalkgehaltes, DIN 18 129

Nach DIN 18 129 wird der Kalkgehalt mit dem Versuchsgerät nach Scheibler, siehe Bild 4, bestimmt und ist nach (5) definiert:

$$V_{ca} = \frac{m_{ca}}{m_d} \quad [1] \quad (5)$$

mit  $m_{Ca}$  Masse des vorhandenen Karbonatanteils  
 $V_{Ca}$  Kalkgehalt.



**Bild 4:** Versuchsgerät zur Bestimmung des Kalkgehaltes (Bodenmechanisches Labor, BAW-Hamburg)

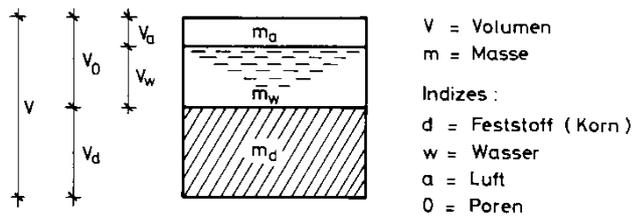
Qualitativ kann der Kalkgehalt nach DIN EN ISO 14688-1, Abs. 5.10) durch Aufträufeln von Salzsäure auf den Boden ermittelt werden, der dann mehr oder weniger stark aufbraust. Nach (Schultze & Muhs 1967) gelten folgende Zusammenhänge:

- kein Aufbrausen < 1 %
- schwaches, nicht anhaltendes Aufbrausen 1 % bis 2 %
- deutliches, nicht anhaltendes Aufbrausen 2 % bis 5 %
- starkes, anhaltendes Aufbrausen > 5 %.

## 2.6 Zustandsbeschreibung des Bodens

### 2.6.1 Dichte

In Abhängigkeit von den Lagerungsverhältnissen stellt der Boden ein Haufwerk von Feststoffen (Mineralen) dar, dessen Poren mit Wasser und/oder Gas (i. a. Luft) gefüllt sind und wird auch als „Dreiphasensystem“ bezeichnet (s.a. Bild 5). Die Dichten ermitteln sich jeweils aus dem Verhältnis von Masse zu Volumen, wobei Einzelbestandteile oder beliebige Kombinationen betrachtet werden.



**Bild 5:** Gedankenmodell eines Bodenvolumens

Bodenmechanisch sind von Interesse:

- a) *Korndichte:* Kornmasse bezogen auf das Volumen der Körner (bereits in Abschn. 0)

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_d} \quad [t/m^3 = g/cm^3] \quad (1)$$

- b) *Dichte:* feuchte Masse des Bodens bezogen auf das Gesamtvolumen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [t/m^3] \quad (7)$$

Wenn alle Poren mit Wasser gefüllt sind, wird diese Dichte als Dichte des wassergesättigten Bodens mit  $\rho_r$  bezeichnet.

- c) *Trockendichte:* trockene Masse des Bodens bezogen auf das Gesamtvolumen

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad [t/m^3] \quad (8)$$

- d) *Dichte des Bodens unter Auftrieb:*

$$\rho' = \rho_r - \rho_w \quad [t/m^3] \quad (9)$$

### 2.6.2 Bestimmung des Wassergehaltes DIN 18121

Der Wassergehalt einer Bodenprobe kann nach DIN 18 121 bestimmt werden und wird als Verhältnis des Masseverlustes beim Trocknen  $m_w$  bezogen auf die verbleibende Trockenmasse  $m_d$  nach (6) und Bild ermittelt.

$$w = \frac{m_w}{m_d} \quad [1] \quad (6)$$

Der Wassergehalt ist keine Bodenkenngröße, sondern dient zur Zustandsbeschreibung und zur vergleichenden Bewertung sowie als Eingangsparameter zur Bestimmung der Konsistenzzahl.

Die natürlichen Wassergehalte schwanken in weiten Grenzen; Größenordnungen sind ungefähr:

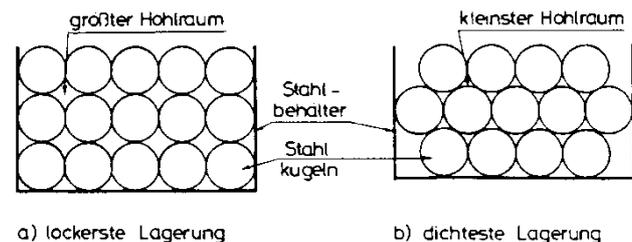
- erdfeuchter Sand  $w = 2 - 10 \%$
- Schluff  $w = 10 - 30 \%$
- Ton  $w = 10 - 60 \%$
- organische Böden  $w = 50 - 1000 \%$

### 2.6.3 Bestimmung der lockersten und dichtesten Lagerung für nichtbindige Böden, DIN 18 126

Die Grenzen der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden sind die lockerste bzw. die dichteste Lagerung, die in Bild 6 schematisch als Kugelmodell dargestellt sind.

Aus den Grenzwerten  $n_{\max}$  (Porenanteil bei lockerster Lagerung) und  $n_{\min}$  (Porenanteil bei dichtester Lagerung) ergibt sich die Lagerungsdichte nach (10) mit:

$$D = \frac{n_{\max} - n}{n_{\max} - n_{\min}} = \frac{\rho_d - \min \rho_d}{\max \rho_d - \min \rho_d} \quad [1] \quad (10)$$



**Bild 6:** Lockerste (a) und dichteste (b) Lagerung am Kugelmodell nach (Rizkallah 1974)

Die bezogene Lagerungsdichte  $I_D$  wird nach (11) ermittelt:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\max \rho_d (\rho_d - \min \rho_d)}{\rho_d \cdot (\max \rho_d - \min \rho_d)} \quad [1] \quad (11)$$

- mit:  $e_{\max}$  maximale Porenziffer (lockerster Lagerung)  
 $e_{\min}$  minimale Porenziffer (dichtester Lagerung).

Die Dichtebestimmung bei lockerster und dichtester Lagerung ist in DIN 18 126 geregelt.

Tabelle 3 zeigt die Benennung der bezogenen Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 14 688-1.



Bezeichnung	bezogene Lagerungsdichte $I_D$ %
sehr locker	0 bis 15
locker	15 bis 35
mitteldicht	35 bis 65
dicht	65 bis 85
sehr dicht	85 bis 100

**Tab. 3:** Bezeichnungen für die bezogenen Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 14 688-2

### 2.6.4 Bestimmung der Zustandsgrenzen für bindige Böden, DIN 18 122

Bei bindigen Böden sind die Zustandsformen vom Wassergehalt abhängig. Zur Kennzeichnung dienen drei Zustände: die Fließgrenze  $w_L$ , die Ausrollgrenze  $w_P$  und die Schrumpfgrenze  $w_S$ , die auch „Zustandsgrenzen nach Atterberg“ genannt werden.

- Die Fließgrenze  $w_L$  ist der Wassergehalt des Bodens am Übergang von der flüssigen in die breiige (plastische) Zustandsform;
- Die Ausrollgrenze  $w_P$  ist der Wassergehalt am Übergang von der steifen (plastischen) zur halbfesten Zustandsform.
- Die Schrumpfgrenze  $w_S$  ist der Wassergehalt, ab dem das Volumen der Probe bei weiterer Austrocknung nicht mehr abnimmt.

Zur Bestimmung der Fließgrenze wird das in Bild 7 dargestellte Gerät nach Casagrande verwendet. Der Boden wird so aufbereitet, dass er die Konsistenz einer weichen Paste hat und wird ca. 10 mm dick in die Halbschale gestrichen. In die Probe wird eine Furche gezogen und danach die Halbschale so lange auf und ab bewegt, bis sich die Furche auf einer Länge von 10 mm geschlossen hat. Die Schläge werden gezählt. Dieser Versuch wird mit unterschiedlichen Wassergehalten wiederholt. Die Fließgrenze ist der Wassergehalt, bei dem genau 25 Schläge zum Schließen der 10 mm benötigt werden.



**Bild 7:** Fließgrenzengerät nach Casagrande

Zur Bestimmung der Ausrollgrenze wird der Boden auf einem Fließpapier so lange gerollt, bis Röllchen mit 3 mm Durchmesser anfangen zu zerbröckeln. In Bild 8 ist ein Gerät zur automatischen Bestimmung der Ausrollgrenze dargestellt. Der Wassergehalt an der Ausrollgrenze ist bei leicht plastischen und organischen Böden oft nur ungenau zu bestimmen. Deshalb sollte in diesen Böden auf eine weitere Auswertung (d.h. die Ableitung von Plastizitäts- und Konsistenzzahl) verzichtet werden.



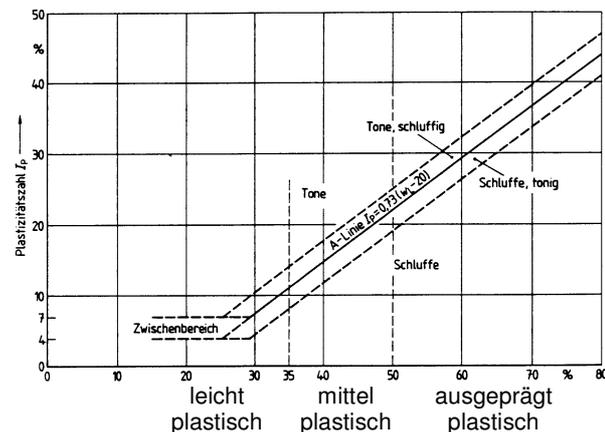
**Bild 8:** Gerät zur Bestimmung der Ausrollgrenze

Die Plastizitätszahl  $I_P$  ist die Differenz von Fließ- und Ausrollgrenze:

$$I_P = w_L - w_P \quad [1] \quad (12)$$

Der Grad der Plastizität wird nach dem Wassergehalt der Fließgrenze  $w_L$  entsprechend DIN 18196 (s. Bild 9) beurteilt:

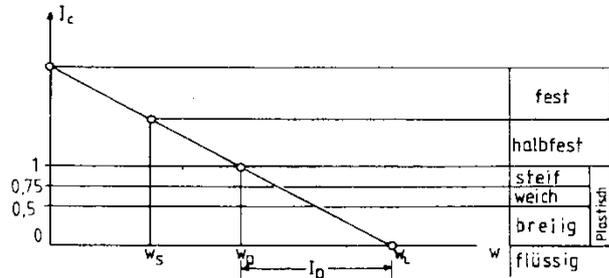
- leicht plastisch  $w_L \leq 35 \%$
- mittel plastisch  $35 < w_L \leq 50 \%$
- ausgeprägt plastisch  $50 < w_L$



**Bild 9:** Plastizitätsdiagramm mit Einteilung der Bodengruppen



Formel (13) zeigt die Bestimmung der Konsistenzzahl  $I_c$  aus den Atterberg'schen Zustandsgrenzen und Bild 10 erläutert den Zusammenhang zwischen der Konsistenz und der Konsistenzzahl.



**Bild 10:** Zusammenhang zwischen Wassergehalt, Konsistenzzahl und Bezeichnung der Konsistenz, nach (Schultze&Muhs, 1967)

$$\text{Konsistenzzahl } I_c = \frac{w_L - w}{I_p} \quad (13)$$

Die manuelle Bestimmung der Konsistenz erfolgt nach DIN EN ISO 14688-1, Abs. 5.14, im Knetversuch (s. Tabelle 9)

Manuelle Prüfmethode	Benennung der Konsistenz
Boden, der zwischen den Fingern hindurchquillt, wenn er in der Hand gedrückt wird	breiig
Boden, bei dem sich die Faust eindrücken lässt	sehr weich
Boden, bei dem sich der Finger eindrücken lässt	weich
Verformung nur durch Daumendruck	steif
Eindruck nur über Daumnagel	halbfest
Boden, der durch den Daumnagel geritzt werden kann	fest

**Tab. 4:** Ermittlung der Konsistenz

## 2.7 undrÄnrierte Scherfestigkeit

Die undrÄnrierte Scherfestigkeit  $c_u$  kann einfach mit dem nichtgenormten Taschenpenetrometer (Bild 10) bestimmt werden. Tabelle 8 stellt entsprechend DIN EN ISO 14688-2 die Benennung der Festigkeit bindiger BÖden in AbhÄngigkeit vom  $c_u$ -Wert

UndrÄnrierte Scherfestigkeit von Tonen	UndrÄnrierte Scherfestigkeit $c_u$ kPa
Äußerst gering	< 10
sehr gering	10 bis 20
gering	20 bis 40
mittel	40 bis 75
hoch	75 bis 150
sehr hoch	150 bis 300
Äußerst hoch <sup>a)</sup>	>300

<sup>a)</sup> Boden mit einer Scherfestigkeit von > 300 kPa kann sich wie weicher Fels verhalten und sollte wie Fels nach ISO 14 689 beschrieben werden

**Tab. 5:** UndrÄnrierte Scherfestigkeit von Tonen nach DIN EN ISO 14 688-2



**Bild 10:** Taschenpenetrometer mit Skalierung

## 3 Versuche zum Festigkeits- und Verformungsverhalten von BÖden

### 3.1 Allgemeines

Aus der Klassifizierung und Charakterisierung des Zustandes von BÖden kÖnnen BerechnungskenngrÖBen als erste Entwurfsgrundlage abgeschÄtzt werden. FÖr fortgeschrittene Planungen und Berechnungen werden dann bodenmechanische Versuche durchgeföhrt, aus denen die Berechnungsparameter ermittelt werden. Nachfolgend sind Laborversuche zur Ermittlung der Festigkeit, siehe Abschn. 3.2, und zum Verformungsverhalten, siehe Abschn. 3.3, erlÄuert.

### 3.2 Festigkeitsverhalten

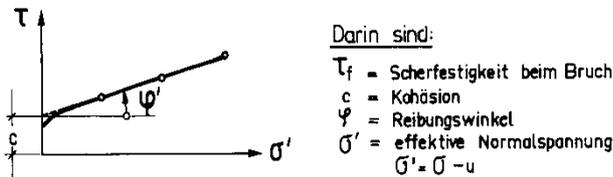
#### 3.2.1 Allgemeine Grundlagen

Im Folgenden wird nur von Scherfestigkeit gesprochen. Die reine Druckfestigkeit im Boden ist von untergeordnetem Interesse, da der Boden in den meisten FÄllen unter Scherbeanspruchung versagt. Die Scherfestigkeit eines Bodens ist eine der wichtigsten KenngrÖBen zur Beurteilung der TragfÄhigkeit des Baugrunds. Die ermittelten Scherparameter  $\phi'$ ,  $c'$  und ggf.  $c_u$  finden Eingang in die erdstatischen Berechnungen im Bruchzustand, wie z. B. Grundbruchuntersuchungen, Erddruckberechnungen, GelÄndebruchuntersuchungen usw. Es liegen zu diesem Themengebiet die Normen DIN 18 137 Teil 1 bis Teil 3 vor.



Klassische Grundlage der bodenmechanischen Festigkeitsbetrachtungen ist die Coulombsche Bruchbedingung gem. (14). Bild 11 stellt den Zusammenhang grafisch dar.

$$\tau_f = \sigma' \cdot \tan \varphi' + c' \quad (14)$$



**Bild 11:** Coulombsche Bruchbedingung

Die Scherfestigkeit ist somit neben der Kohäsion vom Reibungswinkel  $\varphi'$  und der effektiven Normalspannung  $\sigma'$  abhängig. Als effektive Spannung  $\sigma'$  wird die auf das Korngerüst wirkende Normalspannung bezeichnet; das ist die gesamte (totale) Normalspannung  $\sigma$  abzüglich des Porenwasserdrucks  $u$ . Die Kohäsion ist insbesondere von der Bodenbeschaffenheit, vom Wassergehalt, von der Vorbelastung, von der Bodenart und der Struktur abhängig.

Um die einzelnen Anteile der Scherfestigkeit eines Bodens abschätzen zu können, werden i. a. Versuche an mehreren gleichwertigen Probekörpern bei verschiedenen Spannungen  $\sigma'$  durchgeführt. Je nach der Versuchsdurchführung und Auswertung können sich unterschiedliche Werte für  $\varphi'$  und  $c'$  ergeben. Die Versuchsdurchführung und die Auswahl der Versuche sollten sich an den jeweils vorhandenen Bodenarten sowie an der später zu erwartenden Belastung (Beanspruchung) des Baugrunds durch die Baumaßnahme orientieren. Nachfolgend wird auf die Ermittlung der Scherparameter eingegangen.

### 3.2.2 Ermittlung der Scherparameter

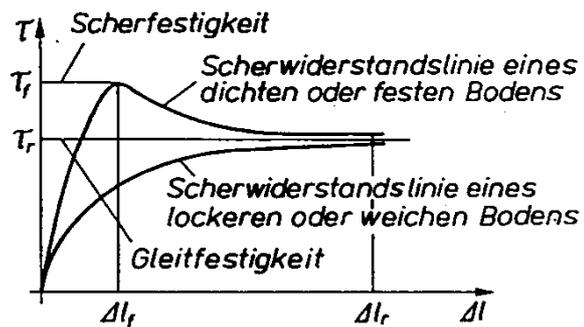
Nachfolgend sind die unterschiedlichen Versuchsarten zur Ermittlung der Scherparameter von Böden kurz erläutert. Zur Anwendung kommen:

- Dränierter Versuch (D-Versuch):** Bei diesem Versuch kann der Probekörper unbehindert Porenwasser aufnehmen oder abgeben. Durch langsame Versuchsdurchführung wird gewährleistet, dass innerhalb der Probe kein Porenwasserüberdruck wirksam ist. Dieser Versuch kann im Triaxial-, Biaxial- und im Rahmenschergerät ausgeführt werden.
- Konsolidierter, undrännierter Versuch (CU-Versuch):** Zunächst werden die Proben gesättigt und danach konsolidiert. Voraussetzung für diese Versuchsart ist die Porenwasserdruckmessung, so dass aus den aufgebrachtten totalen Spannungen mit dem gemessenen Porenwasserdruck die effektiven Span-

nungen errechnet werden können. Der Austritt und die Aufnahme von Porenwasser werden bei diesem Versuch während des Abscherens verhindert. Hierfür sind Triaxial- und Biaxialgeräte mit Porenwasserdruckmessereinrichtung geeignet. Die Versuchszeiten sind relativ kurz.

- Unkonsolidierter, undrännierter Versuch (UU-Versuch):** Der Wassergehalt der Probe bleibt während des gesamten Versuches gleich. Die Probe wird mit verschiedenen Seitendrüken unkonsolidiert belastet und abgescher. Daraus ergeben sich die totalen Spannungen für einen Grenzzustand mit weitgehend konstantem Wassergehalt und schneller Abscherung.

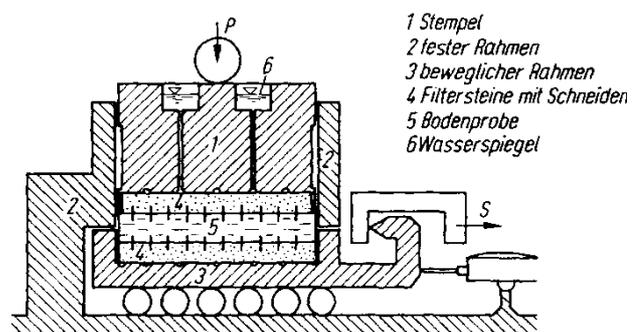
Bild 12 zeigt das Scherverschiebungsverhalten verschiedener Böden und die daraus abzuleitende Scherfestigkeit. Danach kann bei dicht gelagerten nichtbindigen bzw. festen bindigen Böden die Scherfestigkeit nach größeren Scherwegen auf die Restscherfestigkeit abfallen. Zur detaillierten Ermittlung der Scherparameter siehe (Schultze & Muhs 1967), (Das 1997), (v. Soos 1980) und DIN 18 137.



**Bild 12:** Scherverschiebungsdiagramm verschiedener Böden aus (Kempfert et al. 1998)

Im Folgenden sind die wichtigsten Geräte und Versuchstechniken kurz zusammengefasst.

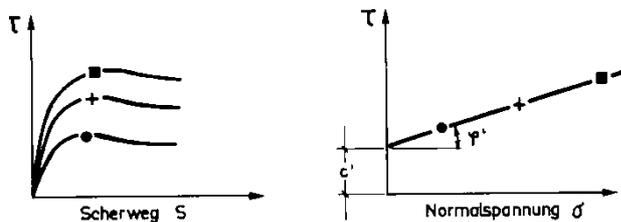
### 3.2.3 Rahmenscherversuch



**Bild 13:** Rahmenschergerät nach (v. Soos 1980)

Der Rahmenscherversuch wird auch als direkter Scherversuch, Kastenscherversuch, einaxialer Scherversuch usw. bezeichnet. Es können runde oder quadratische Proben mit beliebigen Abmessungen geprüft werden. Bild 13 zeigt einen Schnitt durch eine typische Bauart des Rahmenschergeräts.

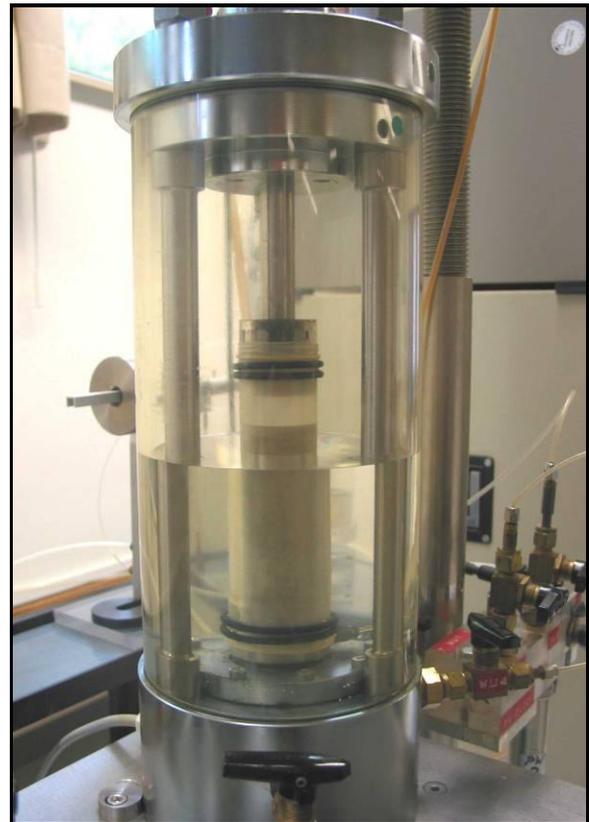
Der Versuch besteht aus mindestens 3 Einzelversuchen mit unterschiedlicher Auflastspannung (Normalspannung), wobei die Abschergeschwindigkeit so langsam gewählt wird, dass keine wesentlichen Porenwasserüberdrücke auftreten können. Bild 14 zeigt ein typisches Versuchsergebnis.



**Bild 14:** Rahmenschergerät nach (v.Soos 1980)

### 3.2.4 Triaxialversuch

Beim Triaxialversuch wird die Bodenprobe nicht durch starre Wandungen gestützt, sondern durch waagerechten äußeren Druck, der eingestellt werden kann. Es werden zylindrische Bodenproben, die mit einer Gummihülle überzogen sind, mit einem allseitigen Flüssigkeitsdruck ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ) belastet und durch Erhöhung der senkrechten Belastung  $\sigma_1$  zum Bruch gebracht. Bild 15 zeigt die Probe im Triaxialgerät nach dem Einbau. Die Zelle wird mit Wasser befüllt und dann unter Druck gesetzt. Danach wird die Probe mit Wasser gesättigt, um evtl. noch vorhandene Lufteinschlüsse zu eliminieren. Sättigungsdrücke liegen i.d.R. zwischen 3 kPa und 9 kPa. Im nächsten Schritt wird die Probe konsolidiert, d.h. der Seiten- und Vertikaldruck in der Zelle wird erhöht. Die Randbedingungen der Konsolidation orientieren sich an den Verhältnissen in situ und an den Randbedingungen des Bauwerkes. Grundsätzlich wird in isotrope (Seiten- und Vertikaldruck sind identisch) und anisotrope (Seiten- und Vertikaldruck sind verschieden) Konsolidation unterschieden. Nach der Konsolidation beginnt der eigentliche Belastungsvorgang. Der am häufigsten durchgeführte Triaxialversuch bei der BAW – DH ist der Kompressionsversuch, bei dem die Vertikalspannung erhöht wird. Weiterhin gibt es den Extensionsversuch, bei dem die Vertikalspannung verringert wird.

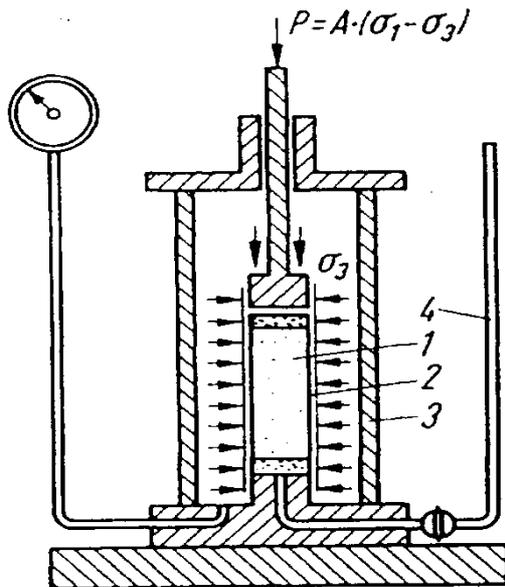


**Bild 15:** Triaxialprobe in der Zelle (Standard-triaxialgerät der BAW-DH)

Daneben können diese Versuche mit Veränderung der Horizontalspannungen durchgeführt werden und als Versuche, bei denen das Volumen konstant gehalten wird. In Bild 16 ist schematisch eine Triaxialzelle dargestellt.

Zur Ermittlung der Scherparameter  $\phi'$  und  $c'$  werden i.a. 3 Einzelversuche mit verschiedenen Seitendrücken  $\sigma'_2 = \sigma'_3$  bis zum Bruch durchgeführt. Mit den Einzelergebnissen werden im Mohrschen Diagramm Spannungskreise gezeichnet. Die Tangente an die Kreise gibt die Schergerade, an der die Kohäsion  $c'$  und Reibungswinkel  $\phi'$  abgelesen werden.

Porenwasserdruckmessungen sind nahezu bei allen Triaxialgeräten möglich, ebenfalls der Einbau von ungestörten und gestörten, bindigen und nichtbindigen Bodenproben.

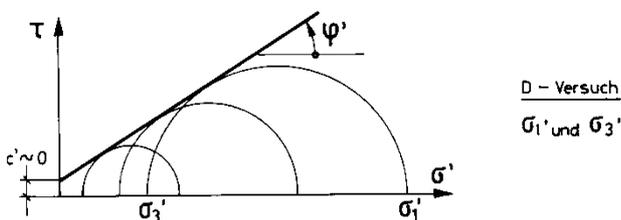


**Bild 16:** Triaxialzelle nach (v. Soos 1980)

Übliche Probendurchmesser sind 3,5 cm, 5 cm und 10 cm je nach Bodenart und Gehalt an Grobkorn. Die Höhe der Proben beträgt  $h \approx 2,0$  bis  $2,5$  des Probendurchmessers. Im bodenmechanischen Labor der BAW – DH werden überwiegend bindige Böden untersucht mit den Abmessungen von  $d0 = 3,6$  mm und  $h0 = 89$  mm.

Folgende Versuchstechniken werden angewendet:

- a) D-Versuch (Dränierter Versuch mit  $\Delta u = 0$ ) bei nichtbindigen Böden siehe Bild 17:  
 Kohäsion  $c'$  ist bei Sand oder Kies nicht vorhanden. Werden geringe  $c'$ -Werte erzielt, so handelt es sich z.B. bei feuchtem Sand um eine "scheinbare Kohäsion" infolge Kapillarspannungen. Bei hoher Lagerungsdichte D kann die Scherlinie leicht gekrümmt sein.

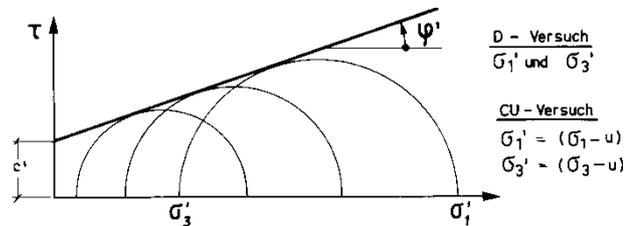


**Bild 17:** Konsolidierter, dränkter Versuch (D-Versuch) bei nichtbindigen Böden aus (Kempfert et al. 1998)

- b) D-Versuch bzw. CU-Versuch (Dränkter bzw. konsolidiert undränkter Versuch) bei bindigen Böden, siehe Bild 18
- b1) D-Versuch ( $\Delta u = 0$ ). Kein Porenwasserüberdruck, lange Abscherzeiten. Anwendung evtl. bei schluffigen

gen Sanden und Schluffen mit geringer Plastizität  $I_p$ .

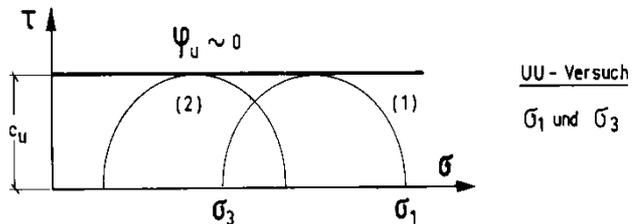
- b2) CU-Versuch ( $\Delta u \neq 0$ ). Porenwasserdruckmessung erforderlich. Abscherzeiten erheblich verkürzt. Anwendung bei allen bindigen Böden (Wassersättigung der Proben erforderlich).



**Bild 18:** Konsolidierter, dränkter (D-Versuch) bzw. konsolidierter, undränkter (CU-Versuch) Versuch aus (Kempfert et al. 1998)

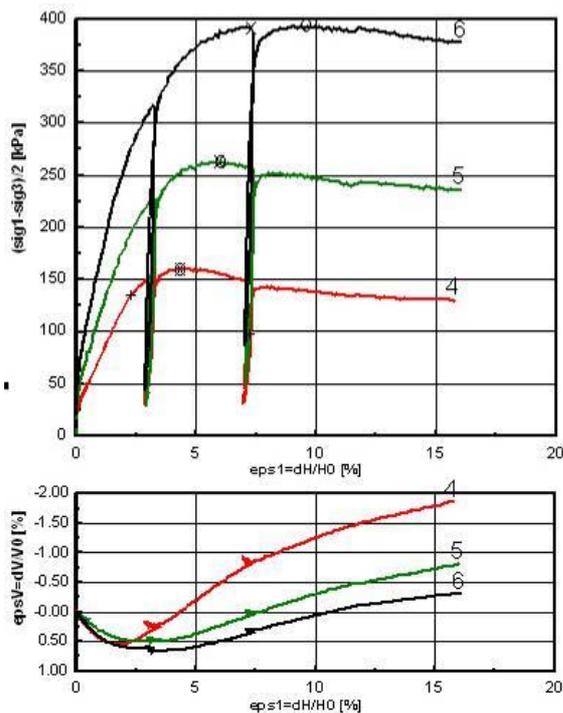
- c) UU-Versuch (Undränkter Unkonsolidierter Versuch mit  $\Delta u \neq 0$ ) bei wassergesättigten bindigen Böden, siehe Bild 19:

Keine Veränderung des Wassergehalts während des Versuchs. Belastungen werden vom Porenwasser aufgenommen. Ableitung  $c_u$  und  $\phi_u$  aus den totalen Spannungen  $\sigma$ . Bei wassergesättigten Tonen  $\phi_u \approx 0$ . Bei nicht wassergesättigten Böden  $\phi_u > 0$ . Sehr kurze Abscherzeiten.



**Bild 19:** Unkonsolidierter, undränkter (UU-Versuch) Versuch aus (Kempfert et al. 1998)

Mit der klassischen Auswertung der Triaxialversuche im Mohr'schen Diagramm wird das Mohr-Coulombsche Bruchkriterium mit den Bruchparametern  $\phi'$  und  $c'$  ermittelt. Damit können ausschließlich Bruch- bzw. Grenzzustände der Tragfähigkeit abgeschätzt werden. Zu Verformungen kann damit alleine keine Aussage getroffen werden. Wie bereits eingangs erwähnt, sind jedoch in den überwiegenden Fällen Verformungen maßgebend. Bestimmte Verformungsparameter können aus der Auswertung der Spannungs-Verformungs- und Volumen-Dehnungslinien abgeleitet werden. In Bild 20 ist die Versuchsauswertung eines D-Versuches dargestellt. Der Versuch wurden 2-fach entlastet und wiederbelastet, um das Verhalten bei Wiederbelastung abschätzen zu können.



**Bild 20:** Versuchsergebnisse aus einem drainierten Triaxialversuch, oben) Spannungs-Verformungs-Verlauf, unten) Volumen-Dehnungs-Verlauf

Aus der Spannungs-Verformungslinie, Bild 20 oben, ergeben sich verschiedene Verformungsmoduln für bspw. Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode (Anfangstangentenmodul  $E_t$ , Sekantenmodul  $E_{50}$  bei 50 % der Bruchspannung etc.). Aus der Volumen-Dehnungslinie, Bild 20 unten, kann abgeschätzt werden, ob sich der Boden dilatant verhält (Volumenvergrößerung unter Scherbeanspruchung, bei Sanden ermittelt) und wie groß sein Dilatanzwinkel  $\psi$  ist.

### 3.2.5 Weitere Versuche zur Bestimmung von $c_u$

Außer dem bereits genannten UU-Versuch im Dreiaxialgerät zur Bestimmung von  $c_u$  und  $\phi_u$  kann der Wert  $c_u$  noch durch folgende Versuche an wassergesättigten, bindigen Böden ermittelt werden:

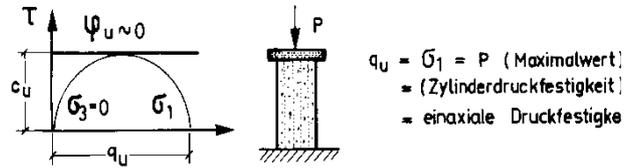
- Flügelscherversuch (Feldversuch) bei sehr weichen Böden nach DIN 4094-4,
- Flügelscherversuch (Labor);
- Einaxialer Druckversuch (Zylinderdruckversuch) nach DIN 18 136
- Fallkegelversuch (Labor und im Feld) in der Vornormung als DIN ISO/TS 17 892-6.

Im Einaxialen Druckversuch gelten die Zusammenhänge nach (15) und (16). Bild 21 zeigt schematisch die Zusammenhänge des Einaxialen Druckversuches.

$$q_u = \sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (\text{Maximalwert}) \quad (15)$$

$q_u$ : einaxiale Druckfestigkeit (Zylinderdruckfestigkeit)

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (16)$$



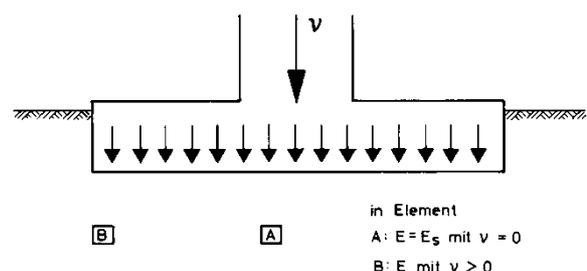
**Bild 21:** Zusammenhänge beim Einaxialversuch

## 3.3 Verformungsverhalten von Böden

### 3.3.1 Kenngrößen

Die Kenngrößen des Verformungsverhaltens werden in erster Linie für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit benötigt, die überwiegend von Verformungen und nicht von der Grenztragfähigkeit abhängt. I. d. R. wird zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Böden die Elastizitätstheorie zugrunde gelegt; dabei ist der Elastizitätsmodul  $E$  als elastische Stoffkenngröße (Verformungsparameter) anzusetzen. In der Bodenmechanik werden aufgrund der Belastungsrandbedingungen siehe Bild 22 bzw. der zur Verfügung stehenden Versuchstechniken folgende elastische Stoffkenngrößen verwendet:

- Anfangselastizitätsmodul  $E_u$  aus dem einaxialen Druckversuch (Zylinderdruckversuch).  $E_u$  ist ein Elastizitätsmodul ohne behinderte Seitendehnung ( $\nu > 0$ ) siehe (Schultze/Muhs 1967) und (Schultze 1980).
- Stifemodul  $E_s$  aus dem Kompressionsversuch nach DIN 18 135 Entwurf.  $E_s$  ist ein Elastizitätsmodul mit verhinderter Seitendehnung ( $\epsilon_y = \epsilon_z = 0$ ).
- Verformungsmodul  $E_v$  aus dem Plattendruckversuch  $E_v$  ist ein Elastizitätsmodul mit teilweise behinderter Seitendehnung ( $\nu > 0$ ).
- Mittlerer Zusammendrückungsmodul  $E_m$  ( $\nu > 0$ ), der dem Verformungsmodul wesensgleich ist, wobei jedoch bei seiner Anwendung der Einfluss der Fundamentabmessungen und die Grundlagen des Verfahrens, nach dem er ermittelt wurde, zu berücksichtigen sind. Häufig wird er auch aus Setzungsmessungen zurückgerechnet.



**Bild 22:** Modellvorstellung zur Belastung von Bodenelementen unter einem Fundament;  $\nu$  = Querdehnungszahl nach Kempfert et al. 1998

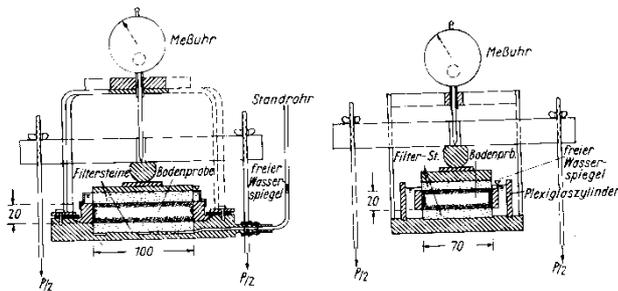
Es gilt im Allgemeinen:

$$E_s > E_v > E_u$$

Für weiterreichende Untersuchungen kann es im Einzelfall sinnvoll sein, die Verformungsparameter aus Triaxialversuchen zu bestimmen.

### 3.3.2 Eindimensionaler Kompressionsversuch (KD-Versuch), DIN 18 135 im Entwurf

Der Kompressionsversuch wird im sogenannten Oedometergerät (KD-Gerät) durchgeführt. Im eindimensionalen Kompressionsversuch wird eine zylindrische Probe vertikal belastet und entlastet. Die infolge von Belastungsänderungen, Konsolidations- und Schwellungsvorgängen auftretenden, axialen Verformungen werden dabei gemessen. Radiale Verformungen werden durch den Einbau der Probe in einem starren Ring verhindert. Der Versuch zur Bestimmung des Konsolidationsverhaltens wird in DIN 18 135 (derzeit im Entwurf) geregelt.



**Bild 23:** KD-Versuchszelle; a) mit festem Ring; b) mit schwebendem Ring nach (v. Soos 1980)

Aus einer aus dem Baugrund entnommenen Sonderprobe wird mittels Ausstechzylinder der Probekörper ausgestochen. Der Probekörper hat 70 bis 100 mm Durchmesser und 14 bis 20 mm Höhe und wird in das KD-Gerät eingebaut. Das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser (ca. 1:5) ist nach vergleichenden Versuchen ein Kompromiss, um die Fehler aus Wandreibung, unebenen Oberflächen und nicht sattem Anliegen der Probe an der Seitenwand zu minimieren, siehe (Muhs&Kany). Die Last wird über eine Kopfplatte in Stufen aufgebracht. Dadurch wird der Probe ein einaxialer Verformungszustand aufgezwungen (Querdehnung wird verhindert). Dieser Zustand ist in der Natur vergleichbar bei ausgedehnten Flächenlasten bzw. im Zentrum unter Fundamenten gegeben, siehe Bild 22. Bei begrenzten Lastflächen und setzungsempfindlichen Böden (z.B. Dämme auf weichem Untergrund) kann es zu volumenkonstanten Schubverformungen kommen, die durch den Kompressionsversuch nicht zutreffend simuliert werden.

Bild 23 zeigt Oedometerzellen als Schemadarstellung nach (v. Soos 1980), Bild 24 eine Zelle des KD-Standes

des bodenmechanischen Labors der BAW-Hamburg, und in Bild 25 ist der Versuchsstand abgebildet.



**Bild 24:** Oedometerzelle des bodenmechanischen Labors der BAW Hamburg

Es können beliebig große Probekörper getestet werden, wobei das Verhältnis von Probenhöhe zu Probendurchmesser 1:5 nicht unterschreiten sollten. Übliche Probendurchmesser für norddeutsche Böden sind 7 cm und 10 cm je nach Bodenart und Gehalt an Grobkorn.

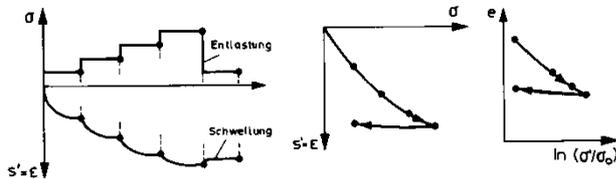
Gemessen wird aus jeder Laststufe das Abklingen der Zeitsetzung, siehe Bild 26, bis zum Erreichen der Endsetzung  $\Delta h$  (Konsolidation). Durch Bezug auf die Ausgangshöhe  $h_a$  erhält man die prozentuale Setzung  $s'$ , die "bezogene Setzung" genannt wird und eine Stauchung  $\epsilon$  darstellt.



**Bild 25:** automatisierter KD-Stand des bodenmechanischen Labors der BAW-Hamburg



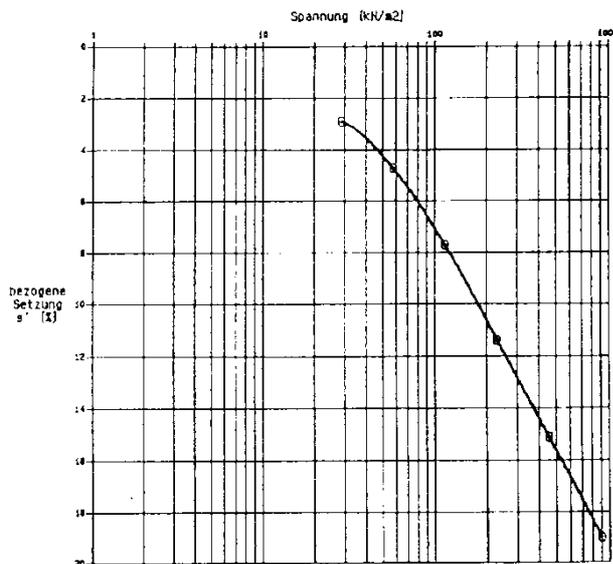
Trägt man für den Endzustand einer jeden Belastungsstufe die bezogene Setzung  $\varepsilon = s' = \Delta h/h_a$  oder die Porenzahl  $e$  in Abhängigkeit von der Belastungsspannung auf, so ergibt sich ein Druck-Setzungs-Diagramm bzw. das Druck-Porenzahl-Diagramm. Dieser Vorgang ist in Bild 26 schematisch dargestellt.



**Bild 26:** a) Last (Druck)-Zeit- und Zeit-Setzungs-Diagramm; b) Druck-Setzungs-Diagramm; c) Druck-Porenzahl-Diagramm ( $\sigma_0 =$  beliebige Bezugsspannung, z.B.  $\sigma_0 = 1 \text{ bar} = 100 \text{ kN/m}^2$ )

Je nach Bodenart können Ent- oder Wiederbelastungsstufen eingeschaltet werden, die die natürlichen Belastungszustände des Baugrunds nachbilden können.

Als Beispiel zeigt Bild 27 das Versuchsergebnis der Erstbelastung an einem weichen bindigen Boden.



**Bild 27:** Beispiel einer Drucksetzungsline im halblogarithmischen Maßstab

Der Steifemodul  $E_s$  [MN/m<sup>2</sup>] ergibt sich als Neigung der Sehne über dem betrachteten Lastbereich siehe (17).

$$E_s = \frac{\Delta \sigma'}{\Delta s'} \quad (17)$$

Häufig werden maßgebliche Steifemoduln aus dem Versuch für zusammengefasste Spannungsbereiche angegeben. Zur Ermittlung von  $E_{si}$  werden bei der BAW-Hamburg die Ergebnisse von KD-Versuchen in Vertikalspannungsbereiche von:

- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 32 - 64 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 64 - 127 \text{ kN/m}^2$ ,
- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 127 - 255 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 255 - 510 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 510 - 1019 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_{\text{Vertikal}} = 1019 - 2038 \text{ kN/m}^2$ ,

eingeteilt. Ggf. empfiehlt es sich, die Ergebnisse in einem Druck-Steifemodul-Diagramm aufzutragen, aus dem der Steifemodul spannungsabhängig unmittelbar für die Setzungsberechnungen entnommen werden kann. Dabei ist der maßgebliche Steifemodul folgendermaßen zu ermitteln:

- a) aus dem Druck-Setzungs-Diagramm im Spannungsbereich (Sekantenmodul)

$$\sigma_{ii} + \Delta \sigma_z \quad (18)$$

- b) aus dem Druck-Steifemodul-Diagramm für eine Spannung

$$\sigma_{ii} + 0,5 \cdot \Delta \sigma \quad (19)$$

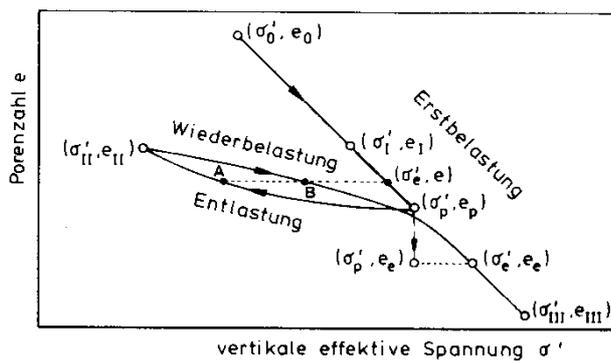
dabei ist  $\sigma_{ii}$  die Überlagerungsspannung  $= \gamma(d+z_i)$ .  $\Delta \sigma$  berechnet sich mit  $\Delta \sigma = \Delta \sigma_z' - \gamma \cdot d$  mit:  
 $d =$  Aushubtiefe,  
 $z_i =$  Laufordinate ab Gründungssohle

Der Steifemodul wächst mit  $\sigma_{\text{Vertikal}}$  an. Die Berücksichtigung dieser Spannungsabhängigkeit kann durch die empirische Beziehung von (Ohde 1939) (20) erfasst werden.

$$E_s = v_e \cdot \sigma_{at} \left( \frac{\sigma_z}{\sigma_{at}} \right)^{w_e} \quad (20)$$

- mit:  $v_e$  Steifebeiwert  
 $w_e$  Steifeexponent  
 $\sigma_{at}$  atmosphärischer Druck

Neben der vorstehend beschriebenen Darstellung kann auch eine Behandlung nach Bild 28 über das Druck-Porenzahl-Diagramm erfolgen, was (Terzaghi 1940) vorgeschlagen hat. Die dabei anzuwendenden Gleichungen sind nachfolgend zusammengestellt. Dafür wird zunächst die Bezugs- bzw. Anfangsporenzahl  $e_0$  der im KD-Gerät untersuchten Probe benötigt.

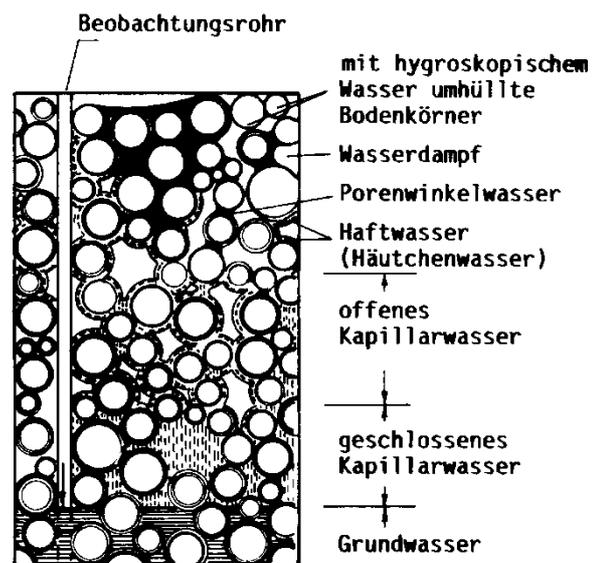


**Bild 28:** Druck-Porenzahl-Diagramm mit Erstbelastungs-, Entlastungs- und Wiederbelastungs-ästen aus (Scherzinger 1991)

#### 4 Geohydraulische Eigenschaften von Böden

Wasser im Untergrund hat verschiedene Erscheinungsformen, die nachfolgend erläutert und in Bild 29 dargestellt sind:

- Sickerwasser, welches von der Geländeoberfläche in den Untergrund versickert. Wenn sich dieses Wasser auf einer undurchlässigen Schicht staut, spricht man von Schichtwasser;
- Haftwasser, das infolge von Oberflächenspannungen auf den Körnern haftet. Besonders ausgeprägt in den Porenwinkeln (Porenwinkelwasser);
- Absorbiertes Wasser an der Mineralkörneroberfläche. Man nennt dieses Wasser auch hygroscopisch gebundenes Wasser;
- Kapillarwasser: Der Kapillarwasserbereich wird auch als Kapillarsaum bezeichnet. In diesem Bereich werden Zugspannungen an den Menisken als Druck auf die Bodenkörner übertragen. Man spricht dort von Kapillardruck  $\sigma_k = \gamma_w \cdot h_k$  als Zusatzspannungen auf den Boden;
- Grundwasser, das die Hohlräume des Untergrunds zusammenhängend ausfüllt. Echtes Grundwasser "trägt sich selber".



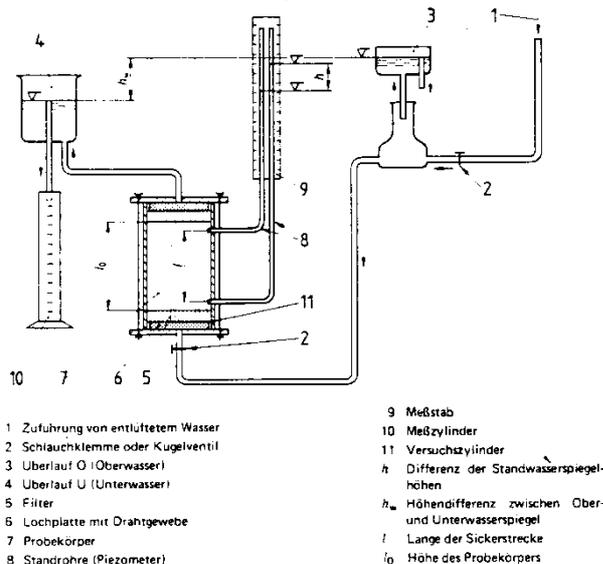
**Bild 29:** Erscheinungsformen des Wassers im Untergrund nach Zunker, F. (1930)

Der Bereich des offenen und geschlossenen Kapillarwassers wird auch als kapillare Steighöhe des Bodens bezeichnet und ist abhängig von der Größe und der Verteilung der Poren. Für praktische Fälle muss unterschieden werden in:

- Passive kapillare Steighöhe  $h_{kp}$ : das ist die Höhe, auf der das Kapillarwasser bei sinkendem Wasserspiegel gehalten wird. Nach *Fecker&Reik (1987)* und *Voth (1978)* sind folgende Größenordnungen zu erwarten:
 

• Mittel- bis Grobkies	$h_{kp} \approx 0,05 \text{ m}$
• Kiessand	$h_{kp} \leq 0,2 \text{ m}$
• Grobsand/schluffiger Kies	$h_{kp} \leq 0,5 \text{ m}$
• Fein- bis Mittelsand	$h_{kp} \leq 1,5 \text{ m}$
• Schluff	$h_{kp} \leq 15 \text{ m}$
• Ton	$h_{kp} \leq 50 \text{ m}$
- Aktive kapillare Steighöhe  $h_{ka}$ : Höhe, zu der das Wasser von unten aufsteigt.  $h_{ka}$  ist im Allgemeinen geringer als  $h_{kp}$  und stark abhängig von dem Wassersättigungsgrad der Poren des Bodens. Bei feuchten Böden ist sie geringer als bei trockenen Böden.

Zur Beschreibung der geohydraulischen Eigenschaften wird der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  (teilweise auch mit  $k_f$  bezeichnet) definiert. Versuchstechnisch kann der  $k$ -Wert im Feld durch Pumpversuche oder im Labor an Bodenproben bestimmt werden. Die Laborversuche sind in DIN 18 130 geregelt. Dabei geht es im Wesentlichen darum, eine Bodenprobe mit einem konstanten oder veränderlichen hydraulischen Gradienten zu durchströmen. Es wird zwischen Versuchen mit konstantem hydraulischem und veränderlichem hydraulischem Gradienten unterschieden. Bild 30 zeigt als Beispiel eine Versuchsanordnung.



**Bild 30:** Durchlässigkeitsversuch für nichtbindige Böden mit konstantem hydraulischen Gefälle aus DIN 18 130

Für nichtbindige Böden kann der  $k$ -Wert auch näherungsweise aus der Kornverteilung abgeleitet werden. *Hazen/Beyer (1964)* geben dafür Formel (21) an, wobei sich der  $k$ -Wert in  $\text{cm/s}$  ergibt:

$$k = 55 + \frac{268}{U + 3,4} \cdot (d_{10})^2 \quad (\text{cm/s}) \quad (21)$$

## Literatur

BEYER, W. (1964): ZUR BESTIMMUNG DER WASSERDURCHLÄSSIGKEIT IN KIESEN UND SANDEN AUS DER KORNVORTEILUNG, WASSERWIRTSCHAFT-WASSERTECHNIK

DAS, B. (1997): ADVANCED SOIL MECHANICS, SECOND EDITION, TAYLOR & FRANCIS, WASHINGTON, USA

HEAD, K.H. (1992): MANUAL OF SOIL LABORATORY TESTING, VOLUME 1, SOIL CLASSIFICATION AND COMPACTION TESTS, PENTECH PRESS, LONDON.

HEAD, K.H. (1994): MANUAL OF SOIL LABORATORY TESTING, VOLUME 2, PERMEABILITY, SHEAR STRENGTH AND COMPRESSIBILITY TESTS, HALSTED PRESS; IMPRINT OF JOHN WILEY&SONS, NEW YORK.

KEMPFERT, H.-G., HU, Y., OTT, E., RAITHEL, M. (1998): BODENMECHANIK II, BAND 2, 1. AUFLAGE, EIGENVERLAG, KASSEL

KÉZDI, A. (1969): HANDBUCH DER BODENMECHANIK, BODENPHYSIK, BAND I, VEB-VERLAG, BERLIN

KÉZDI, A. (1969): HANDBUCH DER BODENMECHANIK, BODENPHYSIK, BAND II, VEB-VERLAG, BERLIN

KÉZDI, A. (1969): HANDBUCH DER BODENMECHANIK, BODENMECHANISCHES VERSUCHSWESEN, BAND III, VEB-VERLAG, BERLIN

KOLYMBAS, D. (1998): GEOTECHNIK – BODENMECHANIK UND GRUNDBAU, SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG

MANECKE, H.-J. (1997): IN GRUNDLAGEN DER PRAKTISCHEN FORMATION U. DOKUMENTATION, 4. AUSG., S. 141, SAUR, MÜNCHEN

MUHS, H., KANY, M.: EINFLUSS DER FEHLERQUELLEN BEI KOMPRESSIVVERSUCHEN, FORTSCHRITT UND FORSCHUNG IM BAUWESEN, REIHE D, HEFT 17, STUTTGART

OHDE, J. (1939): ZUR THEORIE DER DRUCKVERTEILUNG IM BAUGRUND, DER BAUINGENIEUR, HEFT 20, BERLIN

SCHERZINGER, T. (1991): MATERIALVERHALTEN VON SEETONEN – ERGEBNISSE VON LABORUNTERSUCHUNGEN UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DAS BAUWESEN. VERÖFFENTLICHUNGEN DES INSTITUTES FÜR BODENMECHANIK UND FELSMCHANIK DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE, HEFT 2

SCHULTZE, E. (1980): SETZUNGEN, IN: GRUNDBAUTASCHENBUCH 3. AUFLAGE, TEIL E, ERNST&SOHN, BERLIN

SCHULTZE, E. & MUHS, H. (1967): BODENUNTERSUCHUNGEN FÜR INGENIEURBAUTEN, SPRINGER-VERLAG, BERLIN/HEIDELBERG/NEW YORK

TERZAGHI, K.V. (1940): THEORETICAL SOIL MECHANICS, WILEY AND SONS, NEW YORK

RIZKALLAH, V. (1974): EINFÜHRUNG IN DIE PRAKTISCHE BODENMECHANIK, TU HANNOVER, EIGENVERLAG

ZUNKER, F. (1930): DAS VERHALTEN DES BODENS ZUM WASSER, IN HANDBUCH DER BODENLEHRE BAND VI, SPRINGER, BERLIN

## DIN Normen

DIN 4020: GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN FÜR BAUTECHNISCHE ZWECKE - ERGÄNZENDE REGELUNGEN ZU DIN EN 1997-2, DEZEMBER 2010

DIN EN ISO 14 688-1: GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENENNUNG, BESCHREIBUNG UND KLASIFIZIERUNG VON BODEN – TEIL 1: BENENNUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14 688-1:2002); DEZEMBER 2013

DIN EN ISO 14 688-2: GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENENNUNG, BESCHREIBUNG UND KLASIFIZIERUNG VON BODEN – TEIL 2: GRUNDLAGEN FÜR BODENKLASSIFIZIERUNG (ISO 14 688-2:2004); DEZEMBER 2013

DIN EN ISO 14 689-1: GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENENNUNG, BESCHREIBUNG UND KLASIFIZIERUNG VON FELS – TEIL 1: BENENNUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14689-1:2003); JUNI 2006

DIN ISO/TS 17 892-6: VORNORM, GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – LABORVERSUCHE AN BODENPROBEN – TEIL 6 FALLKEGELVERSUCH (ISO/TS 17 892-6:2004); JANUAR 2005

DIN 18 121 – 1: UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - WASSERGEHALT - TEIL 1: BESTIMMUNG DURCH OFENTROCKNUNG, APRIL 1998



DIN 18 122 – 1: UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - ZUSTANDSGRENZEN (KONSISTENZGRENZEN), JULI 1997

DIN 18 123: BAUGRUND, UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DER KORNGRÖßENVERTEILUNG; APRIL 2011

DIN 18 124: BAUGRUND, UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DER KORNDICHTE - KAPILLARPYKNOMETER, WEITHALSPYKNOMETER; APRIL 2011

DIN 18 125: BAUGRUND, UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DER DICHTEN DES BODENS - TEIL 1: LABORVERSUCHE; JULI 2010

DIN 18 126: BESTIMMUNG DER DICHTEN NICHTBINDIGER BÖDEN BEI LOCKERSTER UND DICHTER LAGERUNG; NOVEMBER 1996

DIN 18 128: BAUGRUND - UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DES GLÜHVERLUSTES , DEZEMBER 2002

DIN 18 129: BAUGRUND - UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - KALKGEHALTSBESTIMMUNG; JULI 2011

DIN 18 130: BAUGRUND - UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DER WASSERDURCHLÄSSIGKEIT, APRIL 2012

DIN 18 132: BAUGRUND - UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DES WASSERAUFNAHMEVERMÖGENS; DEZEMBER 1995

DIN 18 135: BAUGRUND - UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - EINDIMENSIONALER KOMPRESSIONSVERSUCH; APRIL 2012

DIN 18 137 – 1: BAUGRUND, UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN - BESTIMMUNG DER SCHERFESTIGKEIT - ; JULI 2010  
BAUGRUND, UNTERSUCHUNG VON BODENPROBE

DIN 18 196 – BODENKLASSIFIKATION FÜR BAUTECHNISCHE ZWECKE, MAI 2011

DIN 18 300: VOB VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN - TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) – ERDARBEITEN, SEPTEMBER 2012

DIN 18 301: VOB VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN - TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) - BOHRARBEITEN, SEPTEMBER 2012

DIN 18 302: VOB VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN - TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) - ARBEITEN ZUM AUSBAU VON BOHRUNGEN, SEPTEMBER 2012

DIN 18 311: NASSBAGGERARBEITEN, IN: VERDINGUNGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN (VOB), TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) , SEPTEMBER 2012



## Vom Aufschluss zum Baugrundmodell

Dipl. Geol. Anne Heeling  
Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstr. 157, 22559 Hamburg  
Telefon: (040) 81908-367, e-Mail: anne.heeling@baw.de

### Zusammenfassung

Baugrundaufschlüsse können nur stichprobenartige Informationen über den Baugrund liefern. Die Aufgabe eines Geotechnischen Sachverständigen besteht deshalb darin, aus einer Vielzahl von Einzelinformationen ein Baugrundmodell zu erstellen, das dann die Grundlage für Planung, Bemessung und Bauausführung darstellt. Am Beispiel der Baugrunderkundung für die Levensauer Hochbrücke am NOK wird der Weg vom Aufschluss zum Baugrundmodell bei komplexen Baugrundverhältnissen erläutert.

### 1 Problemstellung

Die Auswertung und Beurteilung einer Baugrunderkundung erfolgt nach DIN EN 1997-2 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ (EC7-2) von Oktober 2010 in Kombination mit der DIN EN 1997-1 „Teil 1: Allgemeine Regeln“ (September 2009), dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-2/NA und der DIN 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2“ (Dezember 2010). Im Beuth-Verlag ist ein DIN-autorisiertes Handbuch erschienen, das die o.g. Normen zusammenfasst.

Nach DIN 4020, Abs. A7.3.1, sind als Ergebnis der Aufschlüsse und Untersuchungen *vereinfachte Berechnungsmodelle des Baugrunds auszuarbeiten ... Je nach den Baugrundverhältnissen, der geologischen Situation sowie Art und Größe der baulichen Anlage sind ein oder mehrere Baugrundprofile als Berechnungsprofile zu entwickeln ...* Der EC7-2 erläutert darüber hinaus: [Die Kenntnis der Baugrundverhältnisse ist] „... *im Allgemeinen wichtiger ... als die Genauigkeit der Rechenmodelle und Teilsicherheitsbeiwerte.*“

Abweichend von den Forderungen der DIN 4020 beinhalten Geotechnische Berichte in der Praxis jedoch häufig anstelle eines in sich konsistenten Baugrundmodells nur Einzeldarstellungen von Feld- und Laborversuchsergebnissen in Form von Diagrammen und Listen. Nicht selten führt diese Form der separaten Ergebnispräsentation zu widersprüchlichen Aussagen innerhalb eines Geotechnischen Berichtes und verursacht technische Probleme während der Projektrealisierung mit Nachtragsforderungen und Streitigkeiten.

Sofern der Baugrund in solchen Geotechnischen Berichten überhaupt in Profilschnitten dargestellt wurde, sind diese oft unvollständig (kein durchgängiger Verlauf von Schichtgrenzen; keine einheitliche oder gar keine Benennung der Schichten) und erlauben so weder eine eindeutige Unterteilung des gesamten Baugrundes in Homogenbereiche noch eine zweifelsfreie Zuordnung von Bodenkenngrößen zum räumlichen Baugrund. Als Folge

liegen keine hinreichenden Bemessungsgrundlagen für die weiteren Planungen vor.

Ohne eine Berücksichtigung der regionalen geologischen Verhältnisse können zudem projektrelevante Baugrundeigenschaften (z.B. Steine) unerkannt bleiben, sofern sie in den stichprobenartigen Baugrundaufschlüssen zufällig nicht erkundet werden. Zu Recht resümierte bereits Terzaghi: *„Nahezu alle technischen Probleme, Unfälle und Fehlkalkulationen im Umfeld eines Projektes können letztendlich auf geologische Verhältnisse zurückgeführt werden, über die der Ingenieur gar nichts wusste oder über die er erst zu spät etwas gelernt hat.“* (Goodmann, 1999). Auch der EC7-2 fordert eine *„Darstellung aller verfügbaren geotechnischen Informationen einschließlich der geologischen Verhältnisse“*. In der Praxis wird diesem Anspruch im Geotechnischen Bericht häufig durch Sätze wie dem Folgenden Genüge getan: *„Regionalgeologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet auf einer holozänen Niederterrasse des vereinigten Elbe-Havel-Urstromtales, welches ein Tal-sandgebiet des Brandenburger Stadiums der Weichselkaltzeit ist.“* Diese Information mag aus geologischer Sicht richtig oder falsch sein, für die erfolgreiche Durchführung eines Bauvorhabens ist sie in dieser Form ohne jede Relevanz.

Eine aussagekräftige Beschreibung des Untergrundes unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse wäre hingegen ein Baugrundmodell bestehend aus

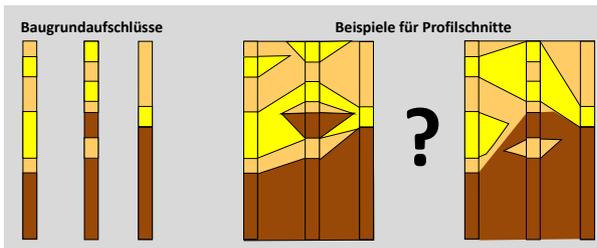
- einer geologisch sinnvollen Darstellung der Homogenbereiche in bauwerksrelevanten, maßstabsgerechten Profilschnitten (s.a. Bild 7),
- daraus abgeleiteten Bemessungsprofilen,
- einer Dokumentation und Interpretation der Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen je Homogenbereich mit Beschreibung des „geotechnischen Potenzials“, d.h. sowohl der erkundeten als auch der aufgrund der geologischen Verhältnisse darüber hinaus zu erwartenden geotechnischen Eigenschaften, sowie
- einer eindeutigen Zuordnung von charakteristischen Bodenkenngrößen zu den einzelnen Homogenbereichen.



## 2 Ein „geologisch sinnvolles“ Baugrundmodell

Grundlage für ein Baugrundmodell sind Baugrundaufschlüsse (meist Bohrungen und Sondierungen), die bis in bauwerksrelevante Tiefen abgeteuft und geotechnisch angesprochen werden. Üblicherweise wird daraus ein Profilschnitt erstellt, indem nach geotechnischen Gesichtspunkten z.B. Kies-, Sand- und Schluff- und Ton-Lagen miteinander zu Homogenbereichen verbunden werden. Dieses Vorgehen ist nur bei einfachen Baugrundverhältnissen zielführend.

In einem Gebiet mit komplexen Lagerungsverhältnissen wird der Geotechnische Sachverständige bei diesem Vorgehen vor eine nahezu unlösbare Aufgabe gestellt. Wenn sich einzelne Lagen nur schwer über benachbarte Baugrundaufschlüsse verfolgen lassen, auskeilen oder stark in Höhenlage und Mächtigkeit schwanken, dann wird aufgrund der Vielzahl möglicher Schichtverläufe die Verbindung der Einzellagen allein aufgrund übereinstimmender geotechnischer Eigenschaften zu einer rein subjektiven Angelegenheit (s. Bild 1); das Ergebnis ist pure „Geophantasie“.



**Bild 1:** Problematische Erstellung von Baugrundprofilen in bei komplexen Lagerungsverhältnissen

Zielführend ist hingegen folgendes Vorgehen: Die Einzellagen werden zunächst anhand geologischer Kriterien (unter bewusster Nicht-Berücksichtigung geotechnischer Eigenschaften) zu Schichten gleichen Alters bzw. gleichen Ablagerungsmilieus zusammengefasst, wobei sich geologisch sinnvolle Lagerungsverhältnisse ergeben müssen. Erst in einem zweiten Schritt werden diese Schichten entsprechend ihrer geotechnischen Eigenschaften entweder weiter unterteilt oder zusammengefasst, so dass im Ergebnis ein geologisch sinnvolles Baugrundmodell mit Homogenbereichen vergleichbarer geotechnischer Eigenschaften vorliegt.

**Was ist ein „geologisch sinnvolles“ Baugrundmodell?** Für ein geologisch sinnvolles Baugrundmodell sind bei komplexen Lagerungsverhältnissen also folgende Problembereiche zu bearbeiten:

- die Zusammenfassung geologisch zusammengehöriger Einzelschichten mit dem Ziel der Vereinfachung der Schichtenfolge
- die Abbildung plausibler Lagerungsverhältnisse

- die Zusammenfassung bzw. Unterteilung der geologischen Schichten in geotechnische Homogenbereiche und die Beschreibung deren „geotechnischen Potenzials“

Zudem müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Längs bauwerksrelevanter Schnittlinien reichen die Profile bis in bauwerksrelevante Tiefen.
- Profilschnitte müssen maßstabs- und höhengerecht sein.
- Der Schichtenverlauf ist durchgängig darzustellen.
- Homogenbereiche sind im Schnitt eindeutig zu beschriften, und diese Benennung ist im gesamten Gutachten zu verwenden.
- Längs- und Querschnitte müssen in ihren Kreuzungspunkten widerspruchsfrei sein.
- Ein Tiefenbereich eines Baugrundaufschlusses muss in allen Profilen sowie in textlichen und tabellarischen Beschreibungen des Geotechnischen Berichtes gleich interpretiert werden (z.B. darf die gleiche Sandschicht nicht in einem Profilschnitt als „Holozäner Sand“ und in einem anderen als „pleistozäner Sand“ bezeichnet werden).

### 2.1 Vereinfachung der Schichtenfolge

Die Vereinfachung der Schichtenfolge durch Zusammenfassen von Einzelschichten zu geologischen Schichtpaketen soll im Folgenden am Beispiel der Baugrunderkundung für den geplanten Neubau der westlichen Levensauer Hochbrücke (s. Bild 2) am Nord-Ostsee-Kanal bei Kiel beschrieben werden.



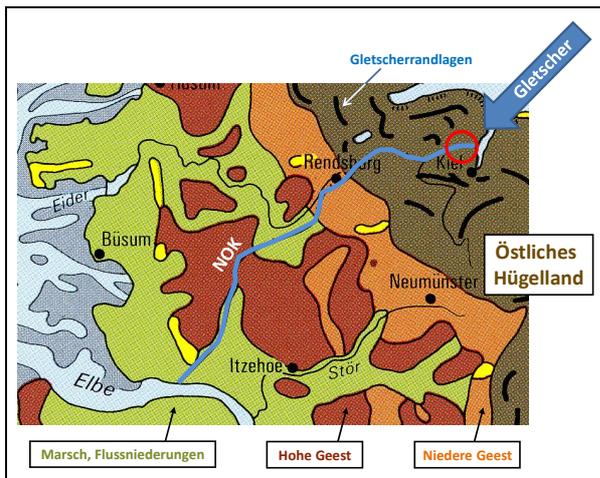
**Bild 2:** Die Levensauer Hochbrücken am NOK (Foto: [www.portalnok.de](http://www.portalnok.de))

Die **Hochbrücke Levensau** – eine kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke – quert mit einer Länge von ca. 180 m den NOK bei Kanal-km 93,491. Erbaut in den Jahren 1893/94 handelt es sich um die älteste noch existierende Brücke über den NOK. Die seitens der PLA-



NUNGSGRUPPE FÜR DEN AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANAL geplante Verbreiterung und Vertiefung des Kanals erfordert den Ersatzneubau der Brücke.

Die geologischen Verhältnisse im Kieler Raum sind trotz ihrer Komplexität typisch für das eiszeitlich geprägte Norddeutschland. Als tiefste und älteste Schicht wurde hier der dunkelbraune Glimmerton aus dem Miozän (Tertiär) mit von Süden nach Norden von ca. -14 mNHN auf unter -40 mNHN abfallender Oberfläche erkundet. Den Hauptteil des Baugrundes bilden jedoch quartäre Schichten aus dem jüngsten Pleistozän.



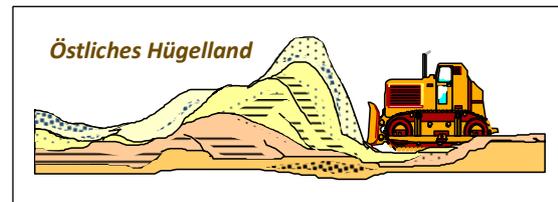
**Bild 3:** Die Landschaften am Nord-Ostsee-Kanal (Kartengrundlage: Schmidtke, 1995)

Bild 3 zeigt die Landschaften, die der Nord-Ostsee-Kanal quert. Die Levensauer Hochbrücke (roter Kreis) liegt im Bereich des „Östlichen Hügellandes“, das im Randbereich der Gletscher während der jüngsten norddeutschen Vereisung – der Weichsel-Eiszeit – entstanden ist. Die schwarzen Linien in Bild 3 im Bereich des Östlichen Hügellandes stehen schematisch für verschiedene ehemalige Gletscherrandlagen.

Der Osten Schleswig-Holsteins wurde während der Weichseleiszeit also nicht in einem einzelnen Vorstoß von Gletschern überfahren, sondern es handelte sich um einen Jahrtausende währenden Wechsel von Gletschervorstößen und -Rückzügen.

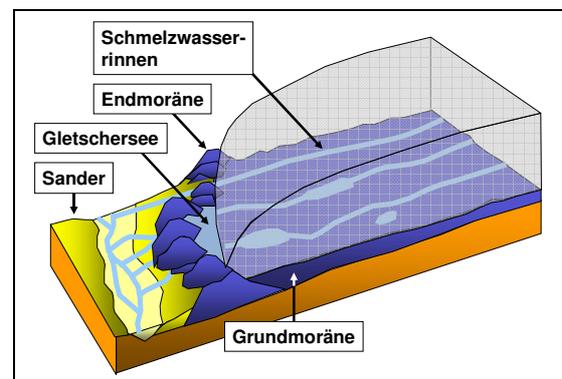
Was geschieht während eines Gletschervorstoßes?

1. Der Gletscher erodiert ältere Schichten.
2. Der Gletscher deformiert beim Vorrücken wie ein Bulldozer die vorhandenen Schichten („Glazialtektonik“, s. Bild 4).



**Bild 4:** Glazialtektonik: Ein Gletscher deformiert den Untergrund

3. Der Gletscher lagert Sedimente ab. Die Gesamtheit der zu einem Gletschervorstoß gehörigen Sedimente und Strukturen nennt man eine „glaziale Serie“ (s. Bilder 5 und 6):



**Bild 5:** Glaziale Serie

**Ablagerungsmilieu Gletscher: „glazial“**

Als „Geschiebemergel“ oder „Moräne“ wird das vom Eis „schwimmend“ transportierte Material bezeichnet. Der Geschiebemergel ist das zentrale Element einer glazialen Serie. In einer ungeschichteten Matrix aus Ton, Schluff und Sand („Mergel“) befinden sich Gesteinsbruchstücke („Geschiebe“), die i.d.R. zur Kies- oder Steinfraktion gehören. Geschiebemergel tritt entweder flächig auf („Grundmoräne“) oder als Höhenzug vor der Gletscherfront („Endmoräne“).

**Ablagerungsmilieu Schmelzwasserfluss: „glazifluviatil“**

Durch die Reibungswärme an der Gletscherbasis schmilzt das Eis. Das Schmelzwasser sammelt sich in Rinnen unterhalb des Gletschers, fließt wie das Gletschereis bergab – nur schneller – und tritt schließlich durch ein Gletschertor an der Gletscherfront aus. In diesem energiereichen Milieu wird gröberes Material („Schmelzwassersediment“: Sand und Kies) transportiert und unter dem Gletschereis in Rinnen (Schmelzwasserlinsen innerhalb des Geschiebemergels) oder vor dem Gletscher flächig als sog. „Sander“ sedimentiert.



**Ablagerungsmilieu Schmelzwassersee: „glazilimnisch“**

Der Gletscher schürft Hohlformen aus. Nach dem Rückzug des Eises kann hier ein Stillwassersee entstehen, in dem sich „Beckensedimente“, d.h. Feinsand, Schluff und Ton, ablagern, oft in Wechsellagerung und/oder lateral ineinander übergehend.



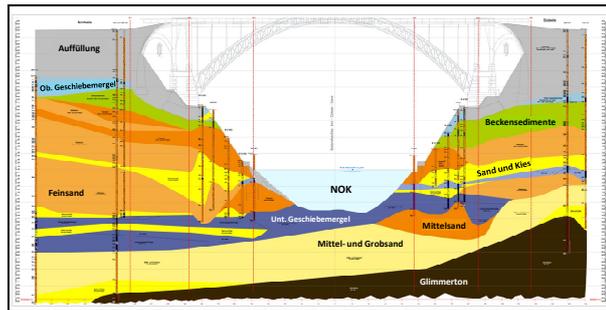
**Bild 6:** Die Böden der glazialen Serie: Geschiebemergel, Schmelzwasser- und Beckensedimente

Für das Gebiet westlich von Kiel bedeutet dies: Bei mehreren Gletschervorstößen wurde jedes Mal der Untergrund erodiert, deformiert und Sedimente der glazialen Serie abgelagert. In solch einem Gebiet sind keine einfachen Baugrundverhältnisse zu erwarten.

Folgendes Vorgehen bietet sich an: Zunächst werden Schichtpakete anhand des Ablagerungsmilieus zusammengefasst.

- Glaziale Schichten: Geschiebemergel mit Linsen aus Schmelzwassersand und -kies
- Glazifluviatile Schichten: Lagen aus Schmelzwassersand und -kies
- Glazilimnische Schichten: Beckenton, -schluff und -sand

Aus der geologischen Wildnis wird eine zwar komplexe, aber überschaubare Abfolge geologischer Schichtpakete – die Grundstruktur des Baugrundes wird erstmals sichtbar. Sofern es die Lagerungsverhältnisse erlauben, können anschließend innerhalb dieser Strukturen weitere unterschiedliche geotechnische Homogenbereiche unterschieden werden: z.B. wurden glazilimnische Schichten in einen relativ homogenen, überwiegend nichtbindigen Bereich „Feinsand“ und einen Bereich mit kleinräumiger Wechsellagerung bindiger und nichtbindiger Schichten „Beckensedimente“ unterteilt. Bild 7 zeigt das so entstandene geotechnische Profil.



**Bild 7:** Profilschnitt Levensauer Hochbrücke

Die im Profilschnitt dargestellten geotechnischen Schichten stellen die im Geotechnischen Bericht zu beschreibenden Einheiten dar.

Aber sind die Schichtenverläufe im Profilschnitt auch plausibel, d.h. geologisch sinnvoll, dargestellt?

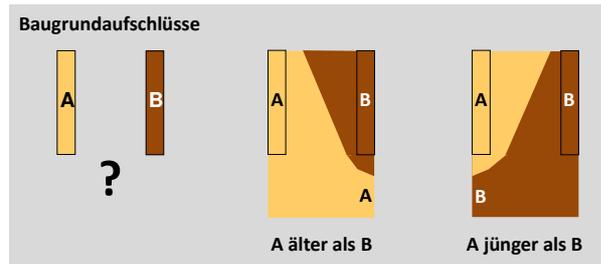
**2.2 Plausible Lagerungsverhältnisse**

Die Grundlage für ein geologisch sinnvolles Baugrundmodell ist die Beachtung stratigraphischer Regeln. Dabei gilt auch in der Geologie: Ausnahmen bestätigen die Regel, d.h. es sind Szenarien denkbar, die zu Lagerungsverhältnissen führen, die von den im Folgenden beispielhaft beschriebenen Prinzipien abweichen.

Die Stratigraphie (von lateinisch stratum: „Schicht“ und griechisch gráphein: „schreiben“) ist eine Teilwissenschaft der Geologie, die das Ziel verfolgt, geologische Ereignisse zeitlich zu ordnen. Mögliche stratigraphische Aussagen sind „Schicht A wurde vor einer Millionen Jahren abgelagert.“, „Schicht A stammt aus dem Quartär“ (beides absolute Altersbestimmungen) oder „Schicht A ist älter als Schicht B“ (relative Altersbestimmung). Eine relative Altersbestimmung erfolgt z.B. anhand der Lagerungsverhältnisse. Umgekehrt – und hier wird es interessant für das Baugrundmodell – kann in Kenntnis der regionalen Geologie und damit des relativen Alters der angetroffenen Schichten ein geologisch sinnvoller Schichtenverlauf konstruiert werden:

**Das Prinzip der Superposition:** Jüngere Schichten liegen oben, ältere unten.

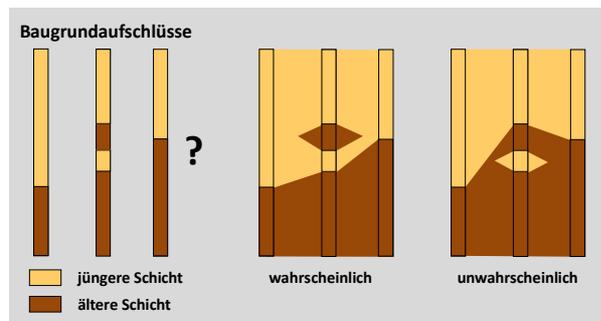
In zwei benachbarten Bohrungen werden unterschiedliche Schichten angetroffen. In Kenntnis der regionalen geologischen Verhältnisse kann aus dem relativen Alter der beiden Schichten auf geologisch sinnvolle Schichtenverläufe geschlossen werden: die zuerst abgelagerte, ältere Schicht wird von der jüngeren überlagert (Bild 8). Mehr noch: ist z.B. bekannt, dass Schicht A älter ist als Schicht B, so kann unterhalb von Schicht B (und unterhalb der Aufschlussendteufe) die ältere Schicht A auftreten, nicht aber die jüngere Schicht B unter Schicht A.



**Bild 8:** Das Prinzip der Superposition: Jüngere Schichten liegen oben, ältere unten

**Das Prinzip des Einschlusses.** Ein Einschluss ist gleichaltrig oder älter als die umgebende Struktur.

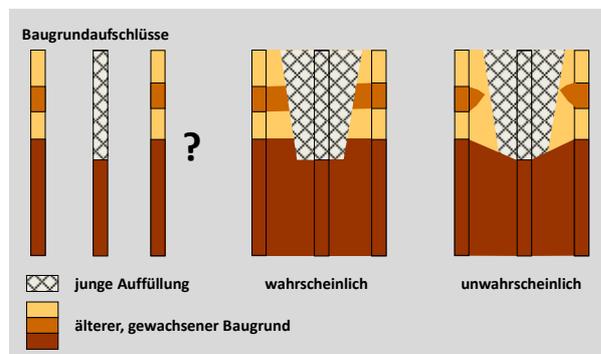
Jüngeres Material (hellbraun in Bild 9) kommt nicht als Einschluss innerhalb einer älteren Schicht (braun) vor, da es bei der Ablagerung der älteren Schicht noch nicht existierte.



**Bild 9:** Das Prinzip des Einschlusses: Ein Einschluss ist gleichaltrig oder älter als die umgebende Struktur

**Das Prinzip der durchschnittenen Schichten.** Jüngere Strukturen durchschneiden ältere.

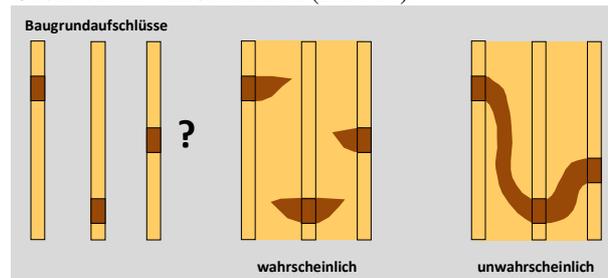
Eine ältere Schicht wird bei ihrer Ablagerung nicht durch eine jüngere (die zu diesem Zeitpunkt noch nicht existiert) beeinflusst; jüngere Schichten durchschneiden hingegen ältere (Auffüllung in Bild 10).



**Bild 10:** Das Prinzip der durchschnittenen Schichten: Jüngere Strukturen durchschneiden ältere

**Das Prinzip der ursprünglichen Horizontalität.** Natürliche Ablagerungsräume führen zur Entstehung etwa horizontal verlaufender Schichten.

Sofern (z.B. in Folge tektonischer Vorgänge) nach der Ablagerung keine Verstellung oder Auffaltung erfolgt, werden die Schichten auch später im Baugrund horizontal oder leicht schräg gestellt anzutreffen sein. Einzelschichten, die sich im Profilschnitt durch den Baugrund „schlängeln“, sind deshalb in tektonisch unbeeinflussten Gebieten unwahrscheinlich (Bild 11).



**Bild 11:** Das Prinzip der ursprünglichen Horizontalität

### 2.3 Geotechnisches Potenzial der Homogenbereiche

Mit Fertigstellung der Profilschnitte ist der Baugrund in geotechnisch aussagekräftige Homogenbereiche unterteilt, die Lagerungsverhältnisse sind plausibilisiert, und die Baugrundaufschlüsse sind nach DIN 4023 dargestellt.

Nun ist das Baugrundmodell im Geotechnischen Bericht zu beschreiben. Den roten Faden bildet dabei der Homogenbereich wie er im Profil dargestellt und benannt ist. Neben der zusammenfassenden Darstellung, Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen im Sinne der DIN EN ISO 14688-1 und -2 (bei Böden) bzw. der DIN EN ISO 14689 (Fels) sowie der Angabe von charakteristischen Bodenkenngrößen sollte zusätzlich auch das „geotechnische Potenzial“ der einzelnen Homogenbereiche beschrieben werden.

Damit ist gemeint: Mit welchen geotechnisch relevanten Eigenschaften ist bei einem Homogenbereich – in Kenntnis der Ablagerungsverhältnisse – über die im Baugrundaufschluss direkt beobachteten Ausprägungen hinaus zu rechnen? Beispielhaft sei hier das geotechnische Potenzial der Böden der glazialen Serie beschrieben:

In einem **Geschiebemergel** ist allgemein mit Steinen und Blöcken (die einzeln, lagenweise oder in Nestern auftreten können) sowie mit linsenförmigen Einlagerungen aus Schmelzwassersedimenten zu rechnen. Liegt ein Geschiebemergel nach dem Abschmelzen des Gletschereises frei, so kann der mergelige Anteil (Ton, Schluff und Sand) vom Wasser erodiert oder vom Wind ausgeweht werden; zurück bleibt eine Kies- und Steinlage („Residualschicht“). Hinweise für Steine sind z.B.



hindernisbedingt abgebrochene Baugrundaufschlüsse. In Abhängigkeit von der regionalen Geologie ist zudem mit Einschlüssen (auch in Form von großen Schollen) von älterem Material – wie z.B. tertiären Tonen – zu rechnen.

In den **Schmelzwassersedimenten** herrschen meist Mittel- und Grobsande vor. Es ist aber stets auch mit größeren Komponenten wie Kiesen und Steinen zu rechnen (bzw. mit Residualschichten aus Steinen und Blöcken, s.o.), nicht aber mit bindigen Einlagerungen.

Zu den **Beckensedimenten** gehören bindige Sedimente und Feinsande. Selbst wenn nur Sande erbohrt wurden, muss auch mit Schluff- und Ton-Lagen gerechnet werden – und umgekehrt. Das Auftreten von Steinen und Blöcken ist hingegen unwahrscheinlich; nur sehr selten kommen vereinzelt Steine vor: die sog. „Dropstones“, die in Eis eingeschlossen in den glazialen See gelangt sind.

Leider kann nicht davon ausgegangen werden, dass Geotechnische Berichte immer mit der notwendigen Sorgfalt erstellt werden und hinreichend aussagekräftig sind. Eine unzureichende, in sich widersprüchliche oder falsche Beschreibung des Baugrundes kann in der weiteren Projektbearbeitung zu Fehlplanungen und Nachtragsforderungen führen, deren Folgekosten in keinem Verhältnis zum höheren Aufwand einer sachgemäßen Bearbeitung stehen.

Deshalb ist es im Zweifelsfall erforderlich, ein vorliegendes Baugrundmodell daraufhin zu überprüfen, ob es bzgl. der Fragestellung ausreichend, in sich plausibel und geologisch sinnvoll ist.

## Literatur, Normen und Merkblätter

BAW (2013): Ersatzneubau der Hochbrücke Levensau. Nord-Ostsee-Kanal, NOK-km 93,491. Geotechnischer Bericht. Auftragsnr. A39550110286, Hamburg, 15.03.2013

DIN EN 1997-2 (10 / 2010): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010

DIN EN 1997-2/NA (12 / 2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

DIN 4020 (12 / 2010): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2.

DIN EN ISO 14 688-1 (06 / 2003): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden. Teil 1: Benennung und Beschreibung.

DIN EN ISO 14 688-2 (11 / 2004): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden. Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen.

DIN EN ISO 14 689-1 (06 / 2011): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels. Teil 1: Benennung und Beschreibung.

DIN 4023 (02 / 2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen Aufschlüssen.

HEELING, A.: Vom Aufschluss zum Baugrundmodell. bbr 10/2011, S. 32 - 37

SCHMIDTKE, K.-D. (1995): Die Entstehung Schleswig-Holsteins. 3. Auflage, Wachholtz Verlag, Neumünster

TERZAGHI, K.: Mein Lebensweg. Unveröffentlicht. Zitiert in E. GOODMAN (1999): Karl Terzaghi, The Engineer as Artist. ASCE Press, Reston, Virginia



## Mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser - Hygienische Aspekte bei Bau, Regenerierung und Sanierung von Brunnen

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis  
Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH  
Im Pesch 79  
D-53797 Lohmar  
0049-(0)-2246 9212-22; Fax: -99  
c.treskatis@bup-gup.de

### Abstract

Groundwater is the most important source for human water supply. Shallow groundwater is assumed to be at the highest probability of contamination with pathogens in respect of input and transport of contaminated surface and recharge water. The presence of preferential flow paths near the water well or the borehole increases the vulnerability of groundwater to contamination from the surface. Drinking water extraction by drilled water wells changes the natural hydraulic and chemical conditions for microorganisms. In this context flow into wells induced by drilling fluids or surface water is the main reason for high numbers of pathogens in drinking water. Thus an unsealed borehole or leaky casings are assumed to be the vertical short-circuits for recharge water and storm water. For sustainable attenuation of pathogens in boreholes the flow of surface water from surface into the well must be completely restricted by tight annular sealing, clay layers around the shaft building and tight casings.

### Kurzfassung

Normalerweise haben Grund- bzw. Quellwässer im Vergleich zum Oberflächenwasser eine geringe bis gar keine Belastung mit Mikroorganismen. Die Ursache dieses für die Trinkwassergewinnung wichtigen Unterschieds liegt im Rückhalte- und Reinigungsvermögen der Böden und der ungesättigten Zone gegenüber Mikroorganismen und insbesondere gegenüber pathogenen Keimen. Jeder bauliche Eingriff in den Untergrund sorgt aber für eine Störung dieses Zustandes. Daher werden in Brunnen immer wieder nach Arbeiten im oder am Bauwerk mikrobiologische Befunde im Rohwasser festgestellt. Ursachen sind ein rascher vertikaler Transport der pathogenen Keime über die vertikalen Klüfte und das Vorhandensein bevorzugter, präferenzierter Fließwege von der Bohrung oder dem Schachtbauwerk in die gesättigte Zone. In diesem Zusammenhang stehen oft erhöhte Keimbelastungen im Brunnenrohwasser, die durch unkontrollierbare Fremdwasserzuflüsse das Bauwerk ausgelöst werden. Ungeeignete Bohrspülungen, undichte Ringräume, korrodierte Sperrrohre und undichte Verbindungen im Ringraum sind die wesentlichen Transportwege zwischen dem eindringenden Oberflächenwasser und dem Grundwasser. Der Zufluss dieser Wässer muss durch geeignete Abdichtungen im Ringraum sowie im Bereich des Schachtbauwerkes und der Stichelungen nachhaltig unterbunden werden. Hierzu sind entsprechende Planungs- und Prüfkriterien für jedes Fassungsbauwerk individuell zu definieren.

### 1 Einleitung

Grundwasser ist die wichtigste Ressource für die Trinkwasserversorgung in Deutschland. Mehr als drei Viertel des Wasserbedarfs wird aus dem Grundwasser über Brunnen und Quellen gewonnen. Uferfiltrat und Oberflächenwasser decken den Wasserbedarf in den Regionen, in denen nur wenig oder kein echtes Grundwasser im Sinne der DIN 4049 gewinnbar ist. Strömendes Grundwasser transportiert wie Oberflächenwasser neben gelösten auch suspendierte Stoffe (Partikel). Mikroorganismen stellen im Grund- und Oberflächenwasser partikuläre Substanzen dar, die im Gegensatz zu gelösten Stoffen mit dem Wasser in Funktion der Durchlässigkeit und der Hohlraumgeometrie der Poren- und Kluftkanäle transportiert werden und sich je nach Lebensraum und Nährstoffangebot vermehren können. Für die Trinkwasserversorgung gelten strenge Grenzwerte für Indikatorkeime wie z.B. *Escherichia coli*, *coliforme* Keime und *Enterokokken*. Indikatorkeime sind für die Beurteilung von negativen Einflüssen mikrobiologischer Art auf das Roh- und Trinkwasser von

großer Bedeutung und erfüllen eine Vorwarnfunktion in der hygienischen Überwachung der Trinkwasserversorgung.

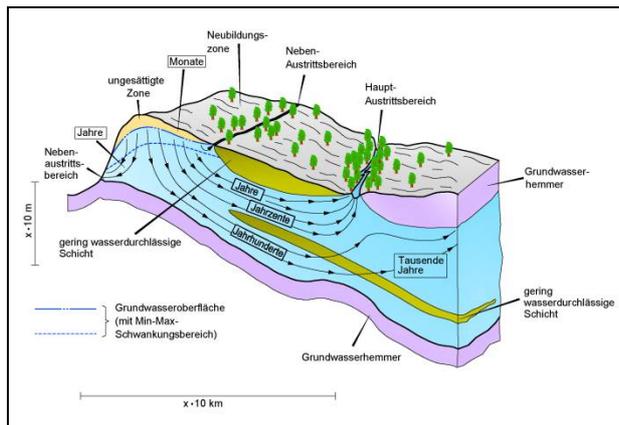
Grundwasser ist im Gegensatz zu Oberflächenwasser von Natur aus unbelastet mit krankheitserregenden Keimen und Mikroorganismen. Diese werden unter natürlichen Randbedingungen bei der zurückgehalten, da sie entweder in den Porenhälsen des Sedimentes hängen bleiben, sich an Bodenpartikeln ansiedeln, adsorbieren oder aufgrund von Nährstoffmangel im Verlauf der Bodenpassage absterben bzw. zumindest inaktiviert werden. Die Lage der Grundwasseroberfläche (Flurabstand), das Vorhandensein von bindigen Grundwassergingleitern, die Fließgeschwindigkeit, die Nähe zu einem Eintragungsbereich und dessen Quellstärke sowie die Art der Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Protozoen etc.) und die Nährstoffe im Grundwasser beeinflussen das Abbaupotenzial von Mikroorganismen (MCDO- WEL-BOYER ET AL. 1986). Große Quellstärken mikrobiologischer Belastungen gefährden die Grundwasserbeschaffenheit nicht nur in Ländern mit einem geringen



Anschlussgrad der Haushalte an die öffentliche Kanalisation sondern auch in unseren Grundwasserleitern, wenn „schlecht“ gebaute und ungenügend unterhaltene Brunnen in vulnerablen, von Natur aus nur ungenügend geschützten Grundwasserleitern ohne zusätzliche Desinfektions- oder Aufbereitungsmaßnahmen betrieben werden (MCKAY 2011).

## 2 Brunnenanströmung

Grundwasserleiter werden nicht einheitlich durchströmt (Bild 1). Der Hauptumsatz im Grundwasserraum findet in geringen Tiefen < 20 m unter Gelände statt (SEILER & LINDNER 1995). Oberflächennahe Grundwasserleiter weisen meist das ganze Jahr über konstante Temperaturen und aufgrund geringer Fließgeschwindigkeiten relativ stabile chemische Lebensbedingungen für Mikroorganismen auf. Dies ändert sich jedoch drastisch durch die Errichtung eines Brunnens. Neben dem möglichen Eintrag von Sauerstoff verändern sich vor allem die Strömungsrichtungen und Fließgeschwindigkeiten im Brunnenumfeld (Bild 2).



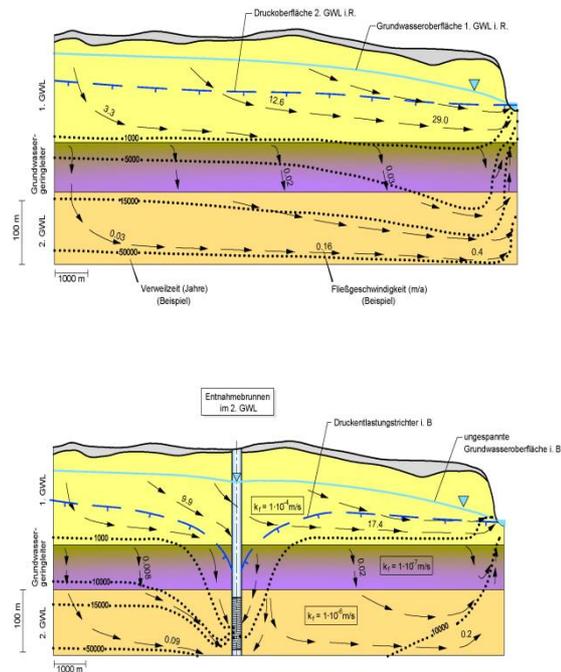
**Bild 1:** Schema der Grundwasserbewegung im natürlichen Fließsystem. Die Fließzeiten des Grundwassers nehmen mit der Tiefe und der Entfernung vom Neubildungsgebiet zu. Verändert nach FOSTER ET AL. (2000).

Beträgt die Fließgeschwindigkeit im Grundwasser meist nur wenige hundert Meter im Jahr, kann sie im Nahfeld eines Brunnens je nach Betriebsweise um ein Vielfaches ansteigen. Bewegt sich z.B. ein Bakterium mit gleicher Geschwindigkeit wie das umgebende Medium, werden Nährstoffe nur diffusiv an seine äußere Membran transportiert. Verankert es sich jedoch an einer Oberfläche, strömen stetig frische Nährstoffmoleküle an ihm vorbei. Dies hat zur Folge, dass z.B. Bakterien, die sich an Bodenpartikel anheften („sessil“), einen deutlichen Vorteil gegenüber planktischen, d.h. in der Freiwasserphase schwimmenden Bakterien erhalten.

Aus diesen Gründen finden vor allem sessile Bakterien im Brunnen sehr gute Lebensbedingungen vor, da hier

große Wassermengen mit einem kumulativ hohen Nährstoffangebot auf engem Raum an ihnen vorbeiströmen. Sie können sich also leicht vermehren und den Brunnen durch die Abscheidung von Stoffwechselprodukten zusetzen (HOUBEN & TRESKATIS 2012).

Vereinfacht erfolgt die Anströmung eines Brunnens gleichmäßig von allen Seiten. Ein quasi rotationssymmetrischer Absenkungstrichter bildet sich aus, und der horizontale Grundwasserzufluss wird in Brunnennähe in Richtung Filterstrecke vertikal abgelenkt. Damit geht eine Zunahme der radialen Fließgeschwindigkeit zum Brunnen einher, die in Funktion der Entnahmemenge, der Brunnenmantelfläche und der Korngröße der Ringraumschüttung in Brunnennähe allmählich vom laminaren in turbulentes Fließen übergeht.

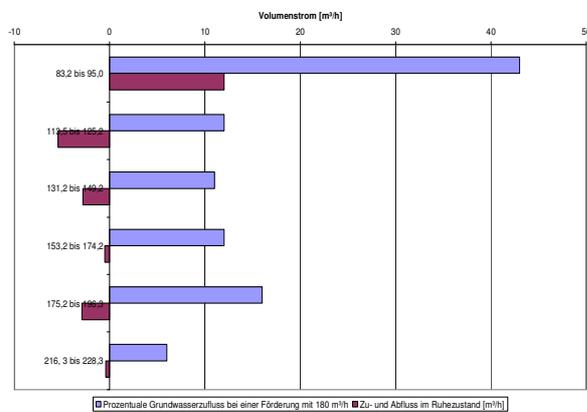


**Bild 2:** Veränderung der Fließgeschwindigkeiten und der Grundwasserströmung durch einen Brunnen. Oben: ungestörte Strömungssituation; unten: der ursprünglich horizontale Grundwasserfluss geht in Brunnennähe in eine vertikale Zuströmung über, so dass oberflächennahes Grundwasser über vertikale Sickerströmungen (Leakage) in tiefere Grundwasserleiterbereiche und in den Brunnen gelangt.

Turbulenz fördert Entgasungsprozesse, z.B. bei der Kohlensäure und befördert die Mischung von unterschiedlich zusammengesetzten Wässern aus verschiedenen hydrochemischen Zonen des Grundwasserleiters und kann so die Brunnenalterung aber auch den Eintrag mikrobiologisch belasteter Wässern aus dem oberflächennahen Teil des Grundwasserraums beschleunigen (Bild 2). Diesen Umstand haben schon zahlreiche Brunnenbetreiber erfahren müssen, bei denen Tiefbrunnen

von steigenden Nitratbelastungen oder von periodischen Keimbelastungen betroffen waren.

Im realen Brunnenbetrieb und aufgrund der Heterogenitäten des Grundwasserleiters ist der Absenkungstrichter um einen Brunnen selten rotationssymmetrisch, und die Filterstrecke wird nicht gleichmäßig angeströmt. Numerische Berechnungen von HOUBEN & HAUSCHILD (2006) zeigten, dass das Grundwasser bevorzugt nahe der Filteroberkante, d.h. dort mit höheren Fließgeschwindigkeiten in einen Brunnen eintritt im Vergleich zur Mitte oder zum unteren Teil der Filterstrecke (Bild 3). Besonderes Augenmerk ist aber auch der Strömung im Ringraum zu widmen. Bei vielen älteren Brunnen wurde dieser oberhalb des Filterkieses nicht mit undurchlässigem Material (Tonsperre) verfüllt sondern mit Bohrgut.



**Bild 3:** Zuflussmengen im Ruhezustand und Förderzustand innerhalb der Filterstrecke in einem Tiefbrunnen in der Oberen Süßwassermolasse. Die Hauptzuflusszone liegt nahe der Filteroberkante.

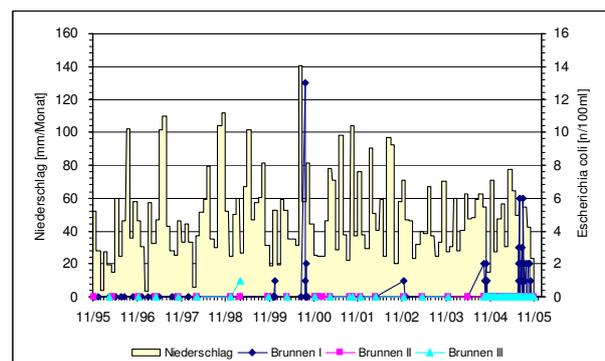
Dadurch bildet sich dort eine zwar schmale, aber gut durchlässige Zone aus, durch die aufgrund der brunnen-nah herrschenden hohen vertikalen Gradienten eine große Menge Wasser von oben in die Filterstrecke zuströmt (RUBBERT & TRESKATIS 2008). Dies kann zu trinkwasserhygienischen Problemen führen, wenn das oberflächennahe Grundwasser mit Mikroorganismen belastet ist. Eine Vielzahl der in der Praxis beobachteten mikrobiologischen Belastungen geht auf ungenügend dichte und defekte Ringraumsperren (z.B. Tonsperren oberhalb des Wasserspiegels oder ungeeignete Tonmaterialien) oder undichte Rohrverbindungen in den Aufsatzrohren zurück (TRESKATIS 2012).

### 3 Natürliche und brunnenbedingte Eintragspfade und Zurückhaltung von Mikroorganismen

Der Nachweis von Mikroorganismen im Rohwasser wird in der Praxis aufgrund der relativ seltenen Direktbeprobungen von Brunnen meist „zufällig“ im Rahmen

der gesetzlich vorgesehenen Rohwasser- oder Trinkwasserbeprobungen erbracht. Parallel mit mikrobiologischen Positivbefunden werden vor allem in Festgesteinsbrunnen und Quelfassungen oft Trübungseinbrüche festgestellt. Der Eintrag der Mikroorganismen erfolgt in Abhängigkeit vielfältiger geologischer oder brunnenbautechnischer Faktoren. Dabei sind nicht nur der Bau des Brunnens sondern auch Regenerier- und Sanierungsarbeiten Auslöser für positive mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser.

Die Ursachenforschung zur Herkunft von mikrobiologischen Belastungen wird durch die besonderen Transporteigenschaften und das Verhalten der Mikroorganismen in der ungesättigten und gesättigten Zone erschwert. Oft fehlen hierzu konsistente Beprobungen unter definierten und reproduzierbaren Randbedingungen, bei denen über längere Zeiträume das Eintragsmuster und die Abhängigkeiten der Befunde von externen und internen Faktoren des Brunnens und seines Umfeldes abgeleitet werden können.



**Bild 4:** Zeitreihe mikrobiologischer Positivbefunde in drei Brunnen im Karst der Nordeifel in Funktion des Niederschlages. In der Gesamtzeitreihe wurden bis 10/2004 nur die gesetzlich vorgeschriebenen Beprobungen 2mal pro Jahr durchgeführt. Vereinzelt Befunde stehen für Signale von immer wiederkehrenden Einträgen in einen der drei Brunnen.

Daher ist bei der Messung erhöhter Trübungswerte nicht automatisch der Rückschluss auf eine mikrobiologische Belastung zulässig.

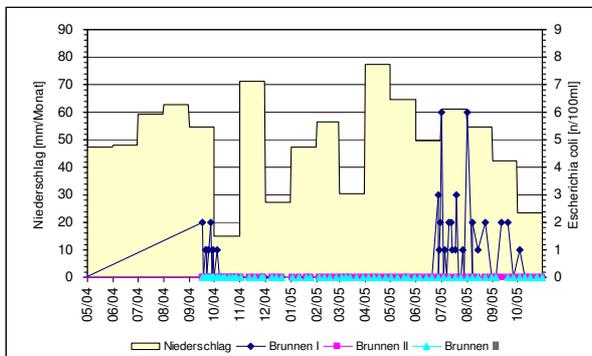
Bilder 4 und 5 zeigen beispielhaft, dass in der Zeitreihe mikrobiologischer Beprobungen in drei Brunnen eines Wasserwerkes im Karst der nördlichen Eifel erst bei einer Verdichtung der Probennahmen der externe Einfluss der Niederschläge auf die Belastungen erkannt werden konnte.

Externe Faktoren auf die Einträge und das Überleben von Mikroorganismen im Grundwasser sind z.B. der Bodenaufbau in der ungesättigten Zone, die Temperatur im Boden und Wasser, die mikrobiologische Aktivität bis hin zur hydraulischen Durchlässigkeit und Verweil-



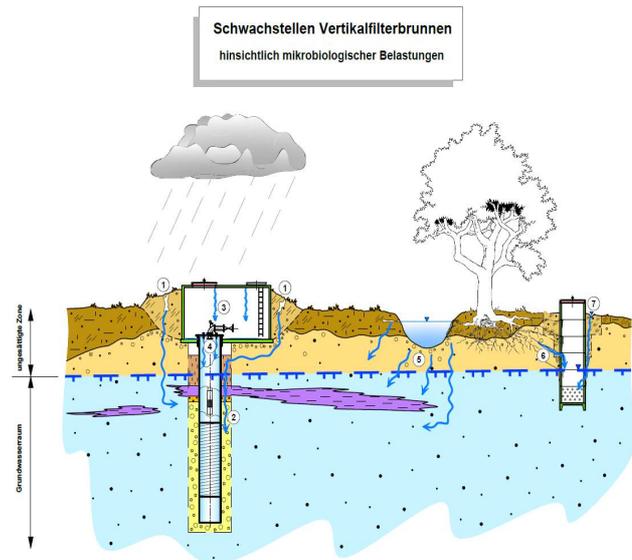
zeit des Wassers im Untergrund. Die externen Faktoren sind in den meisten Grundwasserleitern vor allem für sporadische, oft geringe Belastungen des Rohwassers mit *coliformen* Keimen und Keimzahlen verantwortlich. Starke Keimbelastungen sind aber oft aufgrund der bekannten Quellstärken, z.B. von undichten Abwasser-sammlern oder von Sickerwässern von Mistplatten nur dann zu erwarten, wenn im Untergrund erhöhte Fließgeschwindigkeiten für eine zu kurze Aufenthaltszeit und erhöhte Nährstoffeinträge ein Überleben der Mikroorganismen auch über längere Fließstrecken erlauben. In der Literatur ist bekannt, dass z.B. Bakterien und Viren in Sanden und Kiesen bis zu 400 m und *Coliphagen* in Karstsystemen bis zu 1.600 m transportiert wurden und überlebten (YATES & YATES 1988).

Interne Einflussfaktoren auf mikrobiologische Befunde sind vor allem die baulichen Randbedingungen sowie sanierungsbedingte Eingriffe in die Bauwerksstruktur eines Brunnens. Über Bohrungen vielfach vertikale Substanzsituationen geschaffen, über die partikuläre Substanzen in den Ringraum oder die Rohre und von dort direkt in den Fördervolumenstrom gelangen können (TRESKATIS 2012). Oft sind unsachgemäße Regenerierarbeiten Auslöser von Verkeimungen, wenn mikrobiologisch verfügbare Regenerate verdriften und in unerreichbare Hohlräume am Brunnen, z.B. in der Unterschüttung des Sumpffrohres, verlagert werden.



**Bild 5:** Ausschnitt aus der Zeitreihe in Bild 4. Ab 10/2004 wurden die Beprobungen nach dem Auftreten von erheblichen *E.coli*-Befunden verdichtet, so dass die Eintragsfunktion ermittelt werden konnte.

Undichtigkeiten im Bereich des Abschlussbauwerkes und des Brunnenkopfes sowie versickernde Oberflächenwässer in Brunnennähe (z.B. aus Stehgewässern wie Blänken nach Starkregen) gelten ebenfalls als interne Einflussfaktoren auf den Eintrag von Mikroorganismen in den Grundwasserraum.



**Bild 6:** Schematische Darstellung der Eintragswege und möglichen Quellen von mikrobiologischen Belastungen in Bohr- und Schachtbrunnen. Die Quellstärke der Belastungen und die Wegsamkeit der Brunnenbauten steuern den Eintrag der trinkwasserrelevanten Indikatorkeime.

**Indizes in Bild 6:**

- 1: Sickerwassereintritte über Grabbauten von Tieren in der Böschung; 2: undichte Ringraumsperren; 3: undichte Schachtabdeckungen; 4: undichte Brunnenkopfverschlüsse; 5: Sickerwässer abwasserbelasteter Stehgewässer; 6: Wurzeleinwuchs; 7: Sickerwässer in undichte Baugrubenverfüllungen**

Letztgenannte werden in der Praxis häufig unterschätzt, sind aber nach Erkenntnissen des Autors häufigste Ursache für massive mikrobiologische Beeinträchtigungen des Rohwassers. Das Bild 6 zeigt schematisch die Eintragspfade für Mikroorganismen im Brunnenumfeld.

Einflussfaktor	Überlebensszenario für das Bakterium	Einfluss auf die Verlagerung von sessilen Bakterien
Temperatur	Längere Lebenserwartung bei geringen Temperaturen	
Mikrobiologische Aktivität im Oberboden	Erhöhte Lebenserwartung in sterilen Böden	
Feuchtigkeitsgehalt im Oberboden	Höhere Überlebensrate in feuchten Böden und in Zeiten hoher Niederschläge	Die Verlagerung der Bakterien wird durch die Zunahme der Wassersättigung im Oberboden beschleunigt
pH-Wert der Bodenwasserlösung	-	Niedrige pH-Werte erhöhen die Retention der Bakterien im Oberboden
Salzgehalt und Art der Salze	-	Hoher Salzgehalt und die Anwesenheit ionischer Salze mit hoher Kationenladung erhöhen die Adsorption von Bakterien
Bodenstruktur und -	-	Es besteht eine



Einflussfaktor	Überlebensszenario für das Bakterium	Einfluss auf die Verlagerung von sessilen Bakterien
textur		hohe Verlagerungsgefahr bei texturreichen Böden; ein Rückhaltevermögen gegenüber Bakterien besitzen Tonminerale im Boden
Bakterientyp	Verschiedene Bakterien variieren in ihrer (Überlebens-) Empfindlichkeit gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren	Filtration und Adsorption ist durch die spezifischen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Bakterien vorgegeben
Organische Substanzen im Boden und Grundwasserleiter	Erhöhte Überlebensraten der Bakterien und Nachwachsen bei ausreichend verwertbarer organischer Substanz im Boden bzw. im Grundwasserleiter	Akkumulation organischer Substanzen kann die Filtration der Bakterien verbessern (Anlagerung an polare Substanzen)
Hydraulische Situation im Grundwasserleiter	-	Verlagerungsgefahr wächst mit dem hydraulischen Gradient, der Fließrate und der Porenkanalgröße

**Tab. 1:** Einflussfaktoren auf die Bakteriologie und Mikrobiologie im Oberboden. Nach YATES & YATES (1988). Aus ZHANG ET AL. (2004).

In der Tab. 1 sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Mikrobiologie im Oberboden und deren Verlagerungsmöglichkeiten in das Grundwasser über die ungesättigte Zone zusammengestellt worden. Aus dieser Tabelle kann abgeleitet werden, dass vor allem gut durchfeuchtete Böden und texturierte B-Horizonte, wie sie in den Deckschichten über Karst-, Sandstein- oder kiesigen Porengrundwasserleitern vorkommen können, die Verlagerung der Mikroorganismen beschleunigen können. Der Rückhalt bzw. die „Abbaurate“ für eine Bakterienbelastung ist in leichten, d.h. kiesigen Böden geringer als in bindigen Böden, da die Mikroorganismen als suspendierte Partikel dort in der Lösung gehalten oder an Bodenpartikeln angelagert werden und somit retardiert werden können.

Die Retardationsleistung anthropogen unveränderter Böden nimmt qualitativ gesehen in folgender Reihenfolge ab (TRESKATIS & TAUCHMANN 2013):

- Tonböden (höchste Retardationsleistung)
- Lehmböden
- Feinsande, lehmige Sande, Lösslehme
- Verwitterte Sandsteine, verwitterte Konglomerate mit hohem Feinkornanteil, wenig verfestigt, locker gelagert
- Mittelsande
- Grobsande und Kies-Steinböden
- geklüftete oder verkarstete Festgesteine (geringste Retardationsleistung)

Für die Retardation von Mikroorganismen ungünstige Bodenstrukturen werden auch im unmittelbaren Umfeld von Brunnen- oder Quellsbauwerken angetroffen, da bei der Rückverfüllung der Baugruben oft der Aushub wiederverwendet wurde (TRESKATIS & TAUCHMANN 2013). In Zeiten erhöhter Grundwasserneubildung oder nach Starkregen werden die ansonsten mit Luft und Haftwasser gefüllten intergranularen Porenräume der Baugrubenverfüllung mit Sickerwasser ausgefüllt und stellen dann eine bevorzugte Wegsamkeit für den Transport der mobilisierten Mikroorganismen und Nährstoffe dar.

In texturreichen Böden (Kies- und Karstböden) werden Bakterien mit dem Sickerwasser rasch zu den wassergesättigten Hohlräumen im Untergrund weitergeleitet. Die Retardationsraten sind vor allem abhängig von der Länge des Fließweges und dem Porenkanalgefüge im ungesättigten und gesättigten Untergrund.

Da mikrobiologische Befunde im Gegensatz zu gelösten Inhaltsstoffen, wie z.B. Nitrat oder Chlorid, als Fracht zu betrachten sind, kann zum Beispiel bei einem Befund von 1 *E.coli* / 100 ml nach einer Brunnenregenerierung folgende Betrachtung das „Problem“ beleuchten:

- 1 *E.coli* / 100 ml = 10 *E.coli* / 1.000 ml bzw. in 1 Liter Wasser
- 1 *E.coli* / 100 ml = 1.000 *E.coli* in einem Kubikmeter Wasser

Wenn z.B. 4 *E.coli* oder Enterokokken in 100 ml Rohwasser gemessen werden, so sind auch mindestens 4 KBE/100ml in das Trinkwassersystem eingespeist worden, bis dieser positive Keimbefund amtlich ist. Da nur wenige Keime an den Leitungsoberflächen und Biofilmen angelagert werden, können pathogene Keime in der fluiden Phase bis zum Verbraucher überleben. Da in den Trinkwasseranalysen nur wenige Indikatorkeime analysiert werden, werden auch nur wenige Bakterien und Keime aus dem Gesamtsystem des Grundwassers bei der routinemäßigen Trinkwasseruntersuchung herausgegriffen. Je nach pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Umweltbedingungen können so bei einem Positivbefund am Brunnen, z.B. Enterokokken, auch bei wenig Sauerstoff und andere Keime bei höheren Sauerstoffgehalten bis zum Verbraucher überleben, wenn keine weitere Barriere in der Trinkwasserversorgung eingebaut wurde (z.B. Desinfektionsanlage oder Aufbereitungsanlage) (TRESKATIS & TAUCHMANN 2013)

TRESKATIS ET AL. (2011) konnten anhand von Säulenversuchen mit Sanden der tertiären Oberen Süßwassermolasse des Alpenvorlandes nachweisen, dass bezogen auf die in den Versuchen eingesetzten Quellstärken bzw. Ausgangskonzentrationen der eingegebenen Mikroorganismen sich eine Eliminierungseffektivität von neun bzw. zehn Zehnerpotenzen durch die im Modell verbauten Sande ergab. Auf diese Weise übertraf die Reduktion der vertikalen Fließwegpassage durch die Mittelsande die für Bewertungen von Desinfektionsver-



fahren angelegten Maßstäbe um mehrere Zehnerpotenzen. Eine ausreichende Grundwasserüberdeckung und geringe Durchlässigkeiten reduzieren somit mikrobiologische Belastungen deutlich. Diese vereinfachte Modellvorstellung muss auch auf den Brunnenbau und das Brunnendesign übertragen werden. Die „Abbauraten“ bzw. Retardationsrate liegt z.B. beim Indikator *E.coli* bei ca. 3 bis 4 Tagen pro log-Stufe. Viren benötigen dagegen mehr als 30 Tage zum Abbau einer log-Stufe (DILLON 1997).

Sind z.B. pathogene Keime in einer Größenordnung von z.B. 10.000 Stück pro Liter vorhanden, so beträgt die Gesamtabbaurate viermal die genannte Abbauraten pro Log-Stufe, also zwischen 12 und 16 Tagen bei *E.coli* oder mehr als 120 Tage bei Viren, um später noch 1 *E.coli* in einem Liter Grundwasser anzutreffen (ohne Berücksichtigung von Verdünnung!). Diese Literaturangabe bei ZHANG ET AL. (2004) belegt, dass z.B. für eine sehr hohe Keimbelastung im Brunnenwasser von mehr als >100 *E.coli* unter Berücksichtigung der möglichen Verdünnung und der natürlichen Abbauraten in der vadosen Zone entweder eine erhebliche Eintragsquelle mit hoher Belastungsintensität, eine geringe Retardation im Porenraum oder eine Leckstelle im Brunnenbauwerk zur Verfügung stehen muss.

Ort	<i>E.coli</i> Anzahl/100 ml	Enterokokken Anzahl/100 ml
Kehlener Plateau bei Schaar	$8,9 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^6$
Bioabfalldepot auf Steinseler Plateau	$4,4 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$
Bioabfall und Mistdepot auf Steinseler Plateau	$7,8 \cdot 10^3$	$4,4 \cdot 10^8$
Kehlener Plateau Mistplatte Bauernhof	$8,9 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$
Kehlener Plateau Mistlager bei Meispelt	$1,9 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^6$

**Tab. 2:** Mikrobiologische Befunde von Sickersäften von Mistmieten und Mistplatten in Luxemburg (Probennahmen der Ville de Luxembourg, Service des Eaux im Februar 2005 im Quelleinzugsgebiet Kopstal, Gemeinden Steinsel und Kehlen). Aus TRESKATIS (2012).

Diese Belastungsintensität (Quellstärke) wird in der Regel durch Abwassersysteme oder mikrobiologisch hoch belastete Sickerwässer, z.B. aus Mistmieten erzeugt.

Ein Vergleich mikrobiologischen Befunde im Grundwasser in Luxemburg (Quellen im Sandstein) mit Messungen der mikrobiologischen Ausgangsbelastungen im Sickerwasser von Mistmieten belegt, dass die Mikroorganismen bei einer Partikelmenge von bis zu 1 Mio. *E.coli* einer Abbauraten von mindestens 21 Tagen bis zu 140 Tagen unterliegen müssen (Tab. 2).

#### 4 Schwachstellen und Konsequenzen für den Brunnenbau

Während die Qualitätsbeeinträchtigungen durch das Brunnenbauwerk bzw. das unmittelbare bauliche Umfeld mit Hilfe von Sanierungs- und Neufassungstechniken minimierbar sind, kann langfristigen Beeinträchtigungen der Rohwasserqualität durch Mikroorganismen nur durch Erfassung, Beurteilung und Beobachtung der Flächennutzungen und Eintragspotenziale im maßgeblichen Brunneneinzugsgebiet oder Wasserschutzgebiet begegnet werden. Diese Maßnahmen sind Aufgaben des Ressourcenmanagements und der Überwachung des Wasserschutzgebietes durch die Behörden.

Bei brunnenbürtigen Einflüssen auf die mikrobiologische Beschaffenheit des Rohwassers muss der Brunnenbetreiber eine Ursachenforschung durchführen, die Ursachen und Eintragspfade ermitteln und nach Möglichkeit abstellen. Dazu sind oft kostenintensive Sanierungsmaßnahmen, wie z.B. das Nachdichten von Ringräumen (Bild 7) oder der Einbau von zusätzlichen Abdichtungen durch Überbohrtechniken erforderlich. Bei Einträgen, die nicht durch bauliche Maßnahmen abgestellt werden können, muss das Rohwasser aufbereitet werden.

Die Eintragspotenziale von Keimen können aber schon beim Bau des Brunnens geschaffen worden sein und können sich im Betrieb und bei der Instandhaltung (Regenerierung) je nach Umfeld des Brunnens verstärken.



**Bild 7:** Nachverpressung eines undichten Ringraums in einem Brunnen im Buntsandstein der Norddeifel

Unsauberes Arbeiten auf der Baustelle (keine geschlossenen Container zum Anmischen und Absetzen der Spülung oder Regenerierlösungen, Eintrag von Laub oder anderem organischen Material auf der Baustelle in den Absetzteich oder in das Bohrloch etc.) fördert bereits beim Herstellen des Brunnens den Eintrag von



Nährstoffen und Mikroorganismen in den Förderhorizont. Die Verwendung von organischen Polymeren in Spülbohrungen oder beim Schachtabteufen im Horizontalfilterbrunnenbau führt oft zu Verkeimungen beim anfänglichen Brunnenbetrieb, da Kontaminationen bei der Verwendung biologisch aktiver Medien kaum auszuschließen sind. Dies gilt sowohl für organische Bohrspülungen und Regeneriermittel mit organischen Komponenten. Bei einer Nichteindickung der Polymerspülung durch bakteriologischen Befall (z.B. durch Laubeintrag in den Spülcontainer) kann diese z.B. einen Viskositätsverlust und somit auch einen Funktionsverlust erleiden (biologischer Abbau der Spülung findet schon beim Einsatz statt). Die Spülung geht bei einem Spülungsverlust mit samt ihrem mikrobiologischen Nährstoffpotenzial in den Grundwasserleiter über. Die Rückholbarkeit dieser Spülungsverluste ist in hoch permeablen Aquiferen praktisch unmöglich.

Ein möglichst exaktes Dosieren, sauberes Arbeiten mit geschlossenen Containern, der Zusatz von Bakteriziden und ein kompletter Spülungsaustausch und Spülen der Bohrung vor Erreichen des Grundwasserhorizontes sind z.B. als vorbereitende Maßnahme beim Brunnenneubau oder bei Sanierungsarbeiten zwingend erforderlich. Die Verwendung von mikrobiologisch aktiven Bohrradditiven, wie z.B. Polymeren ist daher in der Trinkwassererschließung möglichst zu vermeiden. Mikrobiologische Verunreinigungen lassen sich in solchen Fällen nur durch langes und zeit- und kostenintensives Abpumpen entfernen (HOUBEN & TRESKATIS 2012).

Neben den herstellungstechnischen Schwachstellen sind in Brunnen auch häufige, konstruktiv bedingte Schwachstellen für den Eintrag von mikrobiologisch belasteten Wässern verantwortlich (s. Bild 6). Dazu gehören z.B.

- bevorzugte, vertikale Wasserwegsamkeiten (Klüfte, Wurzelgänge, Grabbauten) in der ungesättigten Zone am Brunnenstandort
- ungenügende oder unsachgemäße Abdichtungen gegenüber Fremdwasserzutritten im Ringraum (auch bei fehlenden oder nicht funktionierenden Abdichtungen gegenüber der Erdoberfläche bei ungespannten Grundwasserleitern)
- Fehlende Abdichtungsringe in Vollrohrverbindern (Fremdwasserzutritte aus hangenden Stockwerken über Muffen oder Flanschverbindungen)
- Bohrspülungsreste in der Filterstrecke (Verkeimungspotenziale z.B. durch Nährstoffe aus hangenden Schichten oder durch biologisch nur unvollständig abgebaute Polymerspülungsreste)
- Fehlpositionierung der Filter- und Verkiesungsstrecken gegenüber den Wasserzutritten (vertikale Zutritte aus hangenden Stockwerken mit einem vom Förderhorizont unterschiedlichen Nährstoffpotenzial)
- keine wirksame Abdichtung des Schachtauffeldes (Eintritt von Oberflächenwasser über den gestörten

Boden im Bereich der ehemaligen Schachtgrube, Überflutungsgefahr)

- Grabbauten von Nagern und Hasen in den Böschung oberirdischer Abschlussbauwerken
- Brunnenschachtteile und -fugen undicht bzw. ohne Schutz vor Kleintieren
- undichte und hygienisch nicht einwandfreie Schachtdeckelkonstruktionen
- Fehlende Insektensiebe bei Be- und Entlüftungsrohren
- Brunnenkopf nicht dicht (fehlende oder unpassende PG-Verschraubungen bei den Kabeldurchführungen oder ungenügende Abdichtung gegenüber dem Brunnenkopfrohr)
- undichte Schachtwanddurchführungen für die Strom- und Wasserleitung (Eindringen von Oberflächenwasser oder Kleintieren)
- Brunnenabschlussbauwerk wurde erdgleich ohne Aufkantung ausgeführt oder Brunnen liegt in einer morphologischen Senke (Einschwemmung von Mikroorganismen und Nährstoffen über das Oberflächenwasser)

Fehlende, ungenügende oder unsachgemäße Abdichtungen sind in Brunnen die Hauptursache für viele erhöhte mikrobiologische Positivbefunde. Mikrobiologisch wirksame Abdichtungen müssen daher sowohl in der Bohrung und in der Verrohrung als auch im Bereich des Schachtbauwerkes eingebaut und regelmäßig hinsichtlich ihrer Funktion überprüft werden. Dazu ergeben sich hinsichtlich der Abdichtungen folgende mikrobiologisch relevanten Prüfpunkte für das Brunnendesign (TRESKATIS 2012):

- Ringraum zwischen Bohrlochwand und Brunnenrohr mindestens 15 cm mächtig (allseitig, zentrischer Einbau des Ausbaustranges vorausgesetzt)
- Einbau von Dichtungsringen in Rohrverbindungen (Brunnenrohre)
- Einbau von Dichtungen im Brunnenkopf gegenüber den Brunnenrohren (z. B. Rollgummidichtungen, Gliederkettendichtungen)
- Abdichtung aller Öffnungen im Brunnenkopf (Bild 8)
- Einbau von Ringraumsperren aus Tonpellets (mindestens 5 m Schüttungshöhe; Quellverhalten und Stabilität müssen durch das gewählte Produkt gewährleistet sein)
- Sperrrohre sind bis zur Felsoberkante oder in den ersten Stauer nach Durchteufen der Deckschichten abzusetzen und im Kontraktorverfahren zu zementieren (Mengen- und Dichtekontrolle erforderlich!)
- Nach Schüttung des Filterkieses mit einer ausreichenden Überschüttung der Filteroberkante ist dieser mittels Kolben zu verdichten, Nachsackungen sind auszugleichen (Nachfüllen); das Einbringen des Gegenfilters und der Abdichtungen oberhalb



der Kiesschüttungsstrecke darf erst nach Stabilisierung der Kiesschüttung erfolgen.

- Der Gegenfilter besteht aus Filtersand 1 bis 2 mm Körnung und ist mindestens 1 m mächtig und wird mindestens 2 m über der Filteroberkante eingebaut
- Über dem Gegenfilter wird bei klüftigem Gebirge eine Tonsperre von mindestens 1 m Mächtigkeit eingebaut (Stützung der hangenden Zementierung)
- Die Zementierung muss aus einem plastischen Ton-Zementgemisch bestehen (empfohlen wird das Verhältnis Ton zu Zement von 70:30), welches über ein Verpressgestänge eingebaut wird
- Bei tief zu verpressenden Brunnen ist ein Ringraumdurchmesser von mindestens 20 cm sinnvoll (Einbau des Verpressgestänges muss gewährleistet sein)
- Das Wasser/Feststoffverhältnis und die Dichte sind nach Herstellerangaben einzuhalten und zu überprüfen
- Für den Aufschluss der Ton-Zementsuspension ist ein Zwangsmischer erforderlich; die Wirksamkeit der Abdichtung ist nicht gegeben, wenn die Tonminerale nicht zum Quellen angeregt werden können
- Tonsperren aus quellfähigen Tonmaterialien (Pellets, Formlinge etc.) in der ungesättigten Zone sind nicht hydraulisch dicht; hier ist eine Abdichtung mittels Sperrrohren oder dichtenden Suspensionen erforderlich



**Bild 8:** Brunnenkopf mit ungenügend abgedichteten bzw. verschlossenen Öffnungen (Eindringpfade für Tiere)

Der Brunnenkopf muss druckwasserdicht in eine Bodenplatte aus Ortbeton eingegossen werden. Zwischen dem Brunnenkopf und dem Brunnenrohr ist eine dauerelastische Abdichtung einzubringen, um Setzungen auszugleichen und Totwasserräume zu vermeiden. Aus hygienischen Gründen sollten vor Ort anpassungsfähige Dichtungen verwendet werden, wie sie auch für die Schachtwanddurchführungen verwendet werden. Eine Abdichtung mit Quellton oder anderen Vergussmassen ist hier aus hygienischen Gründen nicht zu empfehlen.

Im Brunnenkopf sind mindestens zwei Öffnungen und zusätzlich eine Belüftung (mit Insektensieb) vorzusehen, von denen eine Öffnung als Peilöffnung für Wasserstandsmessungen (mindestens 1 Zoll Durchmesser) vorzusehen ist. Alle Öffnungen, auch die Kabeldurchführungen, sind aus hygienischen Gründen dauerhaft zu verschließen, so dass keine Tiere oder Tagwasser eindringen können. Der Schachtkorpus und die Schachtdeckel sind (druck-)wasserdicht auszuführen und müssen ca. 20 bis 30 cm über Gelände angeordnet werden.

Die Verfüllung der Baugrube um das Schachtgebäude ist grundsätzlich z.B. mit einem ausreichend mächtigen Lettenschlag oder einer Betontitmatte weiträumig über den Baugrubenrand hinaus abzudichten, wobei das Gefälle der Anböschung vom Brunnenschacht weg gestaltet werden muss. Zur Vermeidung von Grabbauten von Hasen, Mäusen oder anderen Nagern (s. Bild 6, Index 1) kann ein Gittergeflecht mit Graseinsaat das Bauwerk schützen (TRESKATIS 2012).

Beim Anschluss des Brunnens an die Transportrohrleitung sollte die brunnennahe Baugrube der Anschlussleitung mit einem Lettenschlag abgedeckt und die Leitung mit Lettenriegel gegenüber Sickerwasserzutritten geschützt werden.

## 5 Zusammenfassung und Maßnahmenbeispiel

Erhöhte mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser sind in ansonsten geschützten und sandig-kiesigen Aquiferen meist auf einen Eintrag aus dem unmittelbaren Brunnenumfeld zurückzuführen. Im natürlichen Umfeld ist der Grundwasserraum frei von mikrobiologischen Belastungen. Meist fördert die Konstruktion von Brunnen den vertikalen Wassertransport in den Grundwasserleiter im Betrieb und bei Regenerierungen sowie Sanierungsarbeiten. Eine Abdichtung aller künstlich geschaffenen Wegsamkeiten ist somit Pflicht bei jeder Brunnenbaumaßnahme.

Im ungestörten Boden und Grundwasserraum ist selbst bei großen Mächtigkeiten der ungesättigten Zone eine Retardierung oder Eliminierung je nach Umweltbedingungen und Keimart nicht immer möglich. Die Verweilzeit der Mikroorganismen, deren Umwelтанforderungen und die Quellstärke sowie die Entfernung bis zum Brunnen steuern deren Elimination oder Retardation, bevor sie im Rohwasser wirksam werden können.

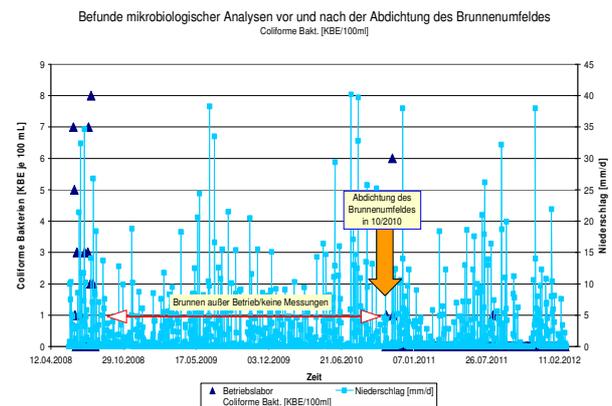


**Bild 9:** Abdichtung des Brunnenumfeldes (Beispiel einer Baumaßnahme in einem Grundwasserfeld mit hochpermeablen Schottern ohne mächtige Grundwasserüberdeckung) inkl. der Beobachtungsmessstellen. Aus TRESKATIS (2012).

Findet der Eintrag direkt am Brunnen, z.B. durch eine hoch permeable Schicht im Bereich des Abschlussbauwerkes oder eine präferenzielle Wasserwegsamkeit entlang der Brunnenbohrung statt, dann werden im Rohwasser oft sehr hohe Belastungen in Folge von rasch wirksamen Verlagerungsereignissen, wie z.B. bei Starkregen oder Überflutungen, messbar. Diese werden aber im normalen Rhythmus der gesetzlich geforderten Probenahmezyklen oft nicht ausreichend genau detektiert, so dass die Ursache der Positivbefunde oft im Dunklen bleibt.

Erst durch eine Verdichtung der Probenahmen und eine brunnenbautechnische Schwachstellenanalyse werden die Ursachen von diesen Befunden erkannt, so dass dann mittels Sanierungstechniken die Einträge abgestellt werden können.

In der Praxis konnte mit dieser Vorgehensweise bei einem Brunnen in einem oberflächennahen, hoch permeablen Schottergrundwasserleiter in Bayern die immer nach Starkregen oder Schmelzwasserereignissen auftretenden Keimbefunde abgestellt werden, indem die Geländeoberfläche um den Brunnenschacht großflächig gegen Versickerung von Regenwasser und Auswaschungen aus dem Boden geschützt wurde (Bilder 9 und 10).



**Bild 10:** Entwicklung der mikrobiologischen Befunde nach der Abdichtung des Brunnenumfeldes in 10/2010. Aus TRESKATIS (2012).

Das unmittelbare Umfeld eines Brunnens ist nach diesen Praxiserfahrungen aus dem Lechtal ausreichend schützbar, sofern der Eintrag mikrobiologisch wirksamer Partikel schon beim Bau der Fassung vermieden wird und die entstehenden Wegsamkeiten zwischen der Erdoberfläche und dem Fassungsorgan wirksam abgedichtet werden. Dazu gehören nicht nur die Ringraumsperren sondern auch die Schachtbauten, deren Einbauten und der Bereich der Baugrube sowie eventuell angelegter Spülteiche aus der Bohrphase. Bei Sanierungsarbeiten an bestehenden Brunnen ist auf die Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Abdichtungen zu achten.

Die natürliche Untergrundpassage im Zustrom zum Brunnen und deren Retardationswirkung auf Keime ist durch eine Risikoanalyse im Sinne des WHO Water Safety Planes und darauf abgestimmte Schutzmaßnahmen im Rahmen des Ressourcenmanagements zu betrachten (WHO 2004).

## Literatur

DILLON, P. (1997): Groundwater Pollution by sanitation on tropical islands - IHP-V Project 6-1, UNESCO; Paris.

Houben, G. & Hauschild, S. (2011): Numerical modelling of the near-field hydraulics of water wells.- Ground Water 49 (4): 570-575.

Houben, G. & Treskatis, C. (2012): Regenerierung und Sanierung von Brunnen.- 2. Auflage; München (Oldenbourg).

Foster, S.S.D., Chilton, P.J., Moench, M., Cardy, F. & Schiffler, M. (2000): Groundwater in Rural Development: facing the challenge of supply and resource sustainability.- World Bank Technical Paper Nr. 463; Washington, DC.



MCDOWELL-BOYER, L.M., HUNT, J.R. & SITAR, N. (1986): Particle transport through porous media.- Water Resources Research 22, Nr. 13: 1901 – 1921.

McKAY, L.D. (2011): Pathogens and Fecal Indicators in Groundwater.- GROUND WATER Vol. 49, Nr. 1: 1 -3

RUBBERT, T. & TRESKATIS, C. (2008): Anwendung numerischer Methoden bei der Brunnenbemessung und Bauwerksoptimierung. – GWF Wasser Abwasser 9/2008: 503-508.

SEILER, P. & LINDNER, W. (1995): Near surface and deep groundwater.- Journal of Hydrology, 165: 33 – 44.

TRESKATIS, C. (2012): Mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser? Eine Analyse aus Sicht des Brunnenplaners.- in: ewp 7/8 2012: 28-35.

TRESKATIS, C., EXNER, M., KOCH, C. & GEBEL, J. (2011): Bewertung des Rückhaltevermögens von tertiären Sandschichten gegenüber mikrobiologischen Einträgen in Filterrohrsträngen eines Horizontalfilterbrunnens. – in: gwf Wasser Abwasser 11/2011: S. 1.058 – 1.068.

TRESKATIS, C. & TAUCHMANN, H. (2013): Quellfassungsanlagen zur Trinkwasserversorgung - Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen für den Bau und Betrieb von Quellfassung für die Wasserversorgung – 673 S.; München.

WHO (2004): Guidelines for Drinking-Water Quality: Recommendations.- 3. Auflage, Vol. 1, WHO; Genf.

YATES, M.V. & YATES, S.R. (1988): Modelling microbial fate in subsurface environment.- CRC Critical Reviews in Environmental Control, 17(4): 307 – 344.

ZHANG ET AL. (2004): Sources, Types, Characteristics and Investigation of urban Groundwater Pollutants.- in: LERNER, D.N. (2004) Urban Groundwater: 54-107.



## Aufgaben von Ringraumschüttungen in Brunnen Vergleichende Betrachtungen von Kies und Glaskugeln

Diplom Geologe, MBA Reinhard Klaus  
RKP Consulting, Mögendorfer Hauptstraße 31 A, 90482 Nürnberg  
Tel.: +49 911 570 35 96, E-Mail: mail@reinhard-klaus.de

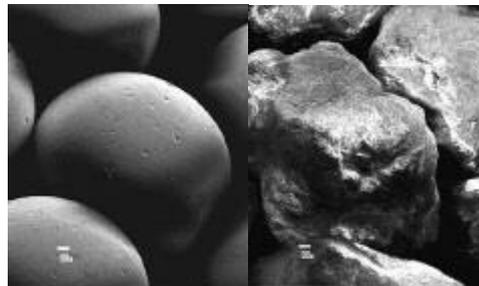
### Zusammenfassung

Qualität und ungünstige Faktoren in der Materialzusammensetzung von natürlichen Filterkiesen führen zu Nachteilen in der Hydraulik und Chemie von Bohrbrunnen und zu erhöhtem Aufwand in der Instandhaltung von Brunnen bei verringerter Lebensdauer. Seit Ende 2007 werden deshalb zunehmend Glaskugeln statt Sanden und Kiesen als Füllmaterial zwischen Bohrlochwand und Filterrohr in Bohrbrunnen verwendet. Erfahrungen mit rund 100 in Brunnen Deutschland, Italien, Frankreich, den USA bestätigen und weitere Forschungsarbeiten bestätigen die bisher absehbaren Vorteile.

Dies gilt gleichermaßen für die Anwendung in der Wasseraufbereitung, wo Glaskugeln ebenfalls Sande ersetzen.

### 1 Einführung

Die Verfügbarkeit und Qualität natürlicher Sande und Kiese als Filtermedien in Brunnen für die Wasserversorgung erweist sich zunehmend als Herausforderung. Erhöhte Anforderungen für die physikalischen, hydrologischen Eigenschaften und die Beständigkeit des Filtermaterials in Hochleistungsbrunnen schaffen weiteren Bedarf nach hochwertigen Alternativen.



**Bild 1:** REM-Aufnahme einer Glaskugel im Vergleich zu einem Kieskorn gleicher Größe. Die „glatte“ Oberfläche der Glaskugel verhindert die Bildung von Zugspannungen bei Lastaufgabe und mindert die Anlagerung von Inkrustationen.

### 2 Ergebnisse

Ende 2007 wurden hochwertige Kugeln aus Kalk-Natronglas zum ersten Mal als Alternative für Kies in einem 125 m tiefen Brunnen im stark verockerungsanfälligen Sandsteinkeuper westlich von Nürnberg, Bayern, eingesetzt. Die vielversprechenden Ergebnisse zogen weitere Anwendungen und Tests nach sich.

Vergleichende Feld- und Laborstudien von 2008 bis 2011 bewiesen Vorteile in:

- Rundheit
- spezifischer Oberfläche
- Sortierung
- Bruchfestigkeit
- Abriebbeständigkeit
- Oberflächenprofil
- Chemischer Beständigkeit
- Druckverformungsresistenz,
- effektivem Porenraum und
- hydraulischer Durchlässigkeit

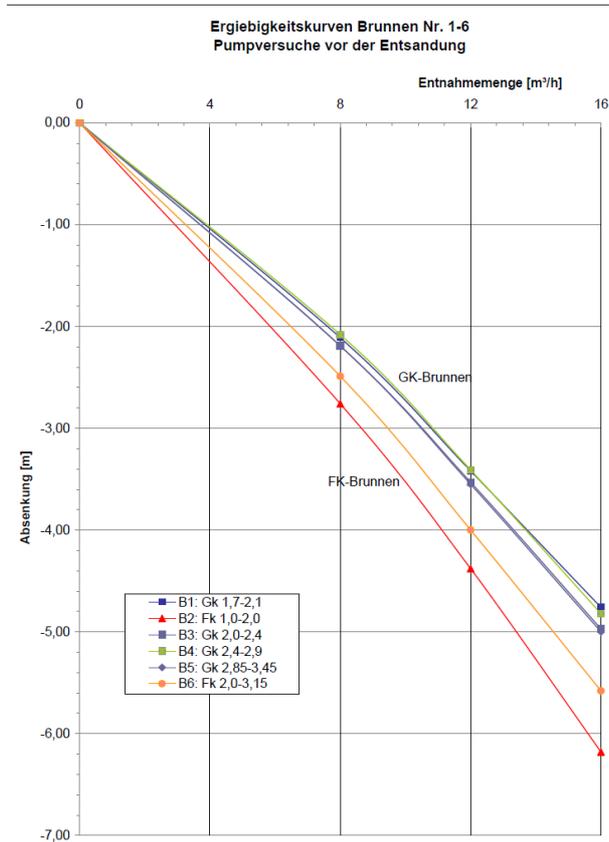
Vergleichende Labor- und Felduntersuchungen im Jahr 2012 erbrachten eine 2 bis 3 -mal verzögerte Verockerung von Glaskugeln im Vergleich zu Ringraumfüllungen aus natürlichen Kiesen.

Praxisergebnisse mit mehr als 4.000 verbauten Tonnen in mehr als 100 Brunnen in verschiedenen hydrogeologischen Verhältnissen in Europa und den USA zeigten unter anderem folgende Vorteile:

- Die Glaskugeln müssen vor Ort nicht desinfiziert werden
- Einfaches Einspülen der Glaskugeln über einen Trichter und eine Spülleitung
- Keine innere Reibung dadurch bessere und sicherere Verarbeitung in verrohrten Trockenbohrungen und
- Keine Brückenbildung beim Einbau
- Nur ca. ein Zehntel der Setzungen von Filterkies
- Sichereres und genaueres Setzen von Absperungen und teufendifferenzierten Schüttungen
- Keine unerwünschten Feinfraktionen
- kein Unterkorn dadurch geringere Entsandungszeiten
- keine abschlämmbaren Stoffe dadurch weniger Klarpumpen und keine Bildung eines Nährbodens für Keime



Feldversuche an Testbrunnen auf dem Gelände des Bau ABC Rostrup im Sommer 2012 zeigten Brunnen mit Glaskugel Schüttungen können schneller und effizienter entwickelt werden, als solche mit Kiesschüttungen. Dazu weisen sie eine höhere spezifische Kapazität auf und das Potenzial Einsparungen in der Gesamtkostenbilanz von mehr als 20% zu erzielen durch reduzierte Wartungs- und Betriebskosten.



**Bild 2:** Wasserandrangkurven der 6 Versuchsbrunnen vor der Entwicklung/Entsandung.

Seit 2010 konnten auch in Filteranlagen für die Wasseraufbereitung vielversprechende Ergebnisse erreicht werden. Glaskugeln zeigen im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten Filtersanden folgende Vorteile:

- Einfache und sichere Handhabung - kein Quarzstaub !
- Verbesserte Filterleistung (20%)
- Höhere Durchlässigkeit (30%)
- Weniger Druckverlust im Filterbett ( 20 - 30 %)
- Längere Betriebszeit und höhere Filterkapazität
- Bessere hygienische Eigenschaften (50 % reduziert Keimwachstumsrate )
- Verbesserte Rückspülung 50% weniger Geschwindigkeit und Zeit
- Geringere Filterbettausdehnung erforderlich (50%)

- Signifikante Einsparungen von Wasser und Energie

Beurteilungsgröße	Verhalten der Glaskugeln	Verhalten des Filterkieses
Rundheit	++	0
Abrieb	++	-
Bruchfestigkeit	++	-
Unterkorn	++	0
Nutzporosität	++	+
Setzungsverhalten	++	0
Mobilisierbarer Sandausttrag bei Entsandung	++	0
Entsandungsdauer bei korrekter Bemessung	++	0
Durchlässigkeit des Materials	++	+
Ergiebigkeit des Brun-nens (materialbezogen)	++	+
Ergiebigkeit des Sys-tems Brunnen-Material-Aquifer	+	+
Durchgang von Körnern bis Kennkorngröße (Trennverhalten der Schüttung)	++	0
Auswirkungen auf die Sandführung bei einer Fehl-bemessungen	-	+
Auswirkung auf die Brunnenleistung bei einer Fehl-bemessung	0	-
Durchbruchgefahr bei Fehl-bemessung	-	0
Druckverluste in Folge von Kolmationen und Inkrustationen (Neu-brunnen)	+	0
Verhalten gegenüber zunehmender Verocke-rung und Ergiebigkeits-verlusten (längerer Brunnenbetrieb)	0	0

**Tab. 1:** Zusammenstellung und praxisbezogene Bewertung der Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkiesen in Brunnen (Verhalten des Materials in Bezug auf die Beurteilungsgröße: ++ sehr gut, + gut, 0 mäßig, - schlecht)



### 3 Fazit und Ausblick

Die Anwendung von Glaskugeln in der Wassergewinnung und -aufbereitung ist ein wesentlicher Fortschritt und eine Weiterentwicklung des Standes der Technik der besonders Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit vereint.

Damit wird das bisher schwächste Glied in der Brunnenkonstruktion - die Ringraumfüllung- auf das Niveau der anderen hoch entwickelten Komponenten gehoben. Theoretische Anforderungen aus der Hydraulik können damit adäquat, reproduzierbar und konsistent umgesetzt werden.

### Literatur

- [1] TRESKATIS, C., DANHOF, M., DRESSLER, M. & HERRMANN, F. (2010): VERGLEICH AUSGEWÄHLTER MATERIALCHARAKTERISTIKEN VON GLASKUGELN UND FILTERKIESEN FÜR DEN EINSATZ IN TRINKWASSERBRUNNEN. DVGW ENERGIE|WASSER-PRAXIS (EWP) 1/2010: 26 – 32.
- [2] TRESKATIS, C. (2011): EINSATZ VON GLASKUGELN IN TRINKWASSERBRUNNEN – BISHERIGE FORSCHUNGSERGEBNISSE. – IN: BLUEFACTS – INTERNATIONAL JOURNAL OF WATER-MANAGEMENT: 110-116.
- [3] TRESKATIS, C., THOLEN, L. & KLAUS, R. (2011): HYDRAULISCHE MERKMALE VON FILTERKIES UND GLASKUGELSCHÜTTUNGEN IM BRUNNENBAU – TEIL 1. DVGW ENERGIE|WASSER-PRAXIS (EWP) 12/2011: 58 – 65.
- [4] TRESKATIS, C., THOLEN, L. & KLAUS, R. (2012): HYDRAULISCHE MERKMALE VON FILTERKIES UND GLASKUGELSCHÜTTUNGEN IM BRUNNENBAU – TEIL 2. DVGW ENERGIE|WASSER-PRAXIS (EWP) 01/2012: 40 – 43.
- [5] THOLEN, L. (2013): VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN AN FILTERKIES- UND GLASKUGELSCHÜTTUNGSBRUNNEN.– MASTERARBEIT AN DER JADE HOCHSCHULE: 94 S., OLDENBURG (UNVERÖFFENTLICHT)
- [6] KLAUS, R., (2013): GLASS BEAD FILTER PACKS IN WATER WELLS FOR HIGHER EFFICIENCY AND REDUCED O & M COSTS. - IN: BROWN, A., FIGUEROA, L., WOLKERSDORFER, CH. (EDS) (2013): RELIABLE MINE WATER TECHNOLOGY (VOL II): 783–1263.
- [7] SCHWARZMÜLLER, H., TAUTE, T. & DLUBEK, H. (2013): AUSWIRKUNG UNTERSCHIEDLICHER SCHÜTTMATERIALIEN AUF DIE VEROCKERUNG UND REGENERIERBARKEIT VON BRUNNEN. BBR 04/2013: 56 – 63.
- [8] TRESKATIS, C., THOLEN, L. & KLAUS, R. (2013): ERGEBNISSE EXPERIMENTELLER VERGLEICHSUNTERSUCHUNGEN MIT GLASKUGELN UND FILTERKIESEN IN TRINKWASSERBRUNNEN – IN: GWF WASSER ABWASSER 01/2014 : 84 – 94 MÜNCHEN.





## Was bei der Durchführung von Kampfmittelbohrungen zu beachten ist.

Jürgen Sebald  
BG BAU, Pirnaer Landstraße 40, 01237 Dresden  
Tel.: 0351-2572-243, E-Mail: [juergen.sebald@bgbau.de](mailto:juergen.sebald@bgbau.de)

### Zusammenfassung

Beim Um- oder Ausbau, bzw. bei der Sanierung von Industrie-, Wohn- oder Mischgebieten, aber auch bei Lückenbebauungen werden immer wieder Kampfmittel gefunden. Pipelines führen z.B. durch Gewässer wie die Ostsee, auch in Bereichen, wo bekanntermaßen Kampfmittel verklappt wurden. Es ist davon auszugehen, dass ca. 10–15 % der im Zweiten Weltkrieg abgeworfenen Bomben nicht zur Wirkung gelangten und auch heute noch eine Gefahr für die Umgebung darstellen. Daher werden Bauvorhaben immer wieder durch Kampfmittelfunde, ja sogar auch Explosionen von Kampfmitteln, gestoppt (Abb.). Vielfach ist aber festzustellen, dass aus Kostengründen keine Kampfmittelräumung im engeren Sinne geschieht, sondern versucht wird, dem Problem des „diffusen“ Kampfmittelverdachts mittels sog. Bauaushubüberwachung nicht aber durch baubegleitende Kampfmittelsondierung Herr zu werden.

### 1 Verantwortung für den Baugrund – Baugrundrisiko

Die Bereitstellung des Baugrundes zur weiteren Bearbeitung, z.B. zur Herstellung eines Bauwerkes oder zur Räumung von Kampfmitteln, ist gemäß der Rechtsprechung nach § 645 BGB im Sinne der Lieferung eines Baustoffes zu sehen. Die Verantwortung für den Zustand des Baustoffes „Baugrund“ trägt grundsätzlich der Bauherr, d.h. er trägt das so genannte „Baugrundrisiko“.

Daher stellen sich oft folgende Fragen:

- Hat der Bauherr bzw. dessen Planer im Rahmen der Gefahrenvorsorge das Problem „Kampfmittel im Baugrund“ überhaupt erkannt?
- Hat sich der Bauherr bzw. dessen Planer mit den zur Verfügung stehenden Sondier- und Räumverfahren überhaupt befasst?
- Ist sich der Bauherr seiner Verantwortung gegenüber den bauausführenden Unternehmen bewusst?

### 2 Räumverfahren

Die Durchführung von jeglichen Erkundungsarbeiten nach Kampfmitteln ist nur speziell geschulten und zugelassenen Fachunternehmen nach § 7 und § 20 Sprengstoffgesetz gestattet. Dies gilt insbesondere auch für die Ausführung von Sondierbohrungen als Hilfsleistung im Rahmen der Kampfmittelerkundung.

Gängige Praxis ist es, in den Ausschreibungsunterlagen von den ausführenden Unternehmen den Stand der Technik abzufordern.

Ist eine „Bauaushubüberwachung“ Stand der Technik?



Abb. 1: Bei Bohrarbeiten 5-Zentner-Bombe angebohrt

Nach Recherchen in der Fachliteratur gibt es keine Ausführungsbeschreibung für „Bauaushubüberwachung“, aber für die sog. „Baubegleitende Kampfmittelsondierung“.

Eine „Baubegleitende Kampfmittelsondierung“ darf aber nur in absoluten Ausnahmefällen erfolgen, insbesondere dann, wenn Bauwerksreste, künstliche Auffüllungen mit hohen ferromagnetischen Anteilen, dichte Leitungsnetze oder dergleichen eine Sondierung behindern. Dies gilt auch bei Bohrarbeiten.

Bei diesem Verfahren kommt es immer wieder vor, dass unter anderem

- klare Strukturen der Weisungsbefugnis fehlen,
- der schichtenweise Abtrag des Aushubes nicht eingehalten wird,
- Schutzausrüstungen nicht vorgehalten sind,
- Notfallmaßnahmen nicht bedacht,
- Sicherheitsabstände vernachlässigt,
- Kampfmittel unentdeckt von Baustellen verbracht werden.
- Wer trägt die Verantwortung bei weiteren Kampfmittelfunden?

**Grundsatz sollte sein:  
Zunächst Räumstelle - dann Baustelle!**



## Störung des Baugrundes durch Kampfmittelerkundungen

Dipl.-Geol. Michael Kneppenberg  
Fichtner Water & Wind GmbH, Hammerbrookstraße 47 b, 20091 Hamburg  
040/300673-205, Michael.Kneppenberg@fww.fichtner.de

### Zusammenfassung

Die Verantwortung für eine bekannte Gefahr durch Kampfmittel muss durch den Flächeneigentümer getragen werden. Dies bedeutet, dass vor einem Eingriff in den Untergrund, dieser sich zu vergewissern hat, dass eine Gefährdung Dritter ausgeschlossen ist. Im Regelfall sollte deshalb bereits in der Grundlagenermittlung die Kampfmittelfreiheit beim zuständigen Kampfmittleräumdienst abgefragt werden. Falls eine Suche nach verborgenen Kampfmitteln erforderlich ist, steht eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die eingesetzten Methoden sind von dem zu erwartenden Bombenhorizont, dem geplanten Eingriff in den Untergrund und der bestehenden Bebauung abhängig. Bei Untersuchungsmethoden, die es erforderlich machen, in den Untergrund einzugreifen (Bohrungen, Suchschächte, Spüllanzen etc.), kommt es naturgemäß zu erheblichen Veränderungen des Baugrundes. Diese können zudem bereits bestehende Bauwerke in ihrer Standsicherheit gefährden. Es sind deshalb bereits in der Planung und Ausschreibung von Maßnahmen zur Kampfmittelsuche Sicherungsmaßnahmen zu planen und auszuführen, die die geotechnischen Eigenschaften weitgehend erhalten, Veränderungen minimieren oder sogar verbessern.

### 1 Gefahr aus der Vergangenheit

Dass verborgene Kampfmittel aus dem ersten und zweiten Weltkrieg eine Gefahr darstellen, ist uns spätestens seit dem Unglück von Göttingen in 2009, bei dem drei Menschen ums Leben kamen, medienwirksam ins Gedächtnis gerufen worden.

Leider ist vielen Eigentümern von Flächen in der Bundesrepublik Deutschland nicht bekannt, dass sie seit dem Jahre 2005 die Verantwortung übernehmen, wenn von ihren Flächen, bei einem bekannten Kampfmittelverdacht eine Gefährdung der Allgemeinheit ausgeht.

In Hamburg wurden zum Beispiel im Jahre 2009 (Zeitonline 2009) folgende alte Kampfmittel geborgen:

- 19 Sprengbomben
- 116 Stabbrandbomben
- 29 Phosphorbrandbomben
- 83 Granaten
- 1 Tellermine
- 2 Panzerfäuste
- 58 kg loser Sprengstoff
- 23 Handgranaten

Dies ergibt nach Angaben des Kampfmittleräumdienstes eine Summe von 8,619 Tonnen Sprengstoff.

Vom Kampfmittleräumdienst werden z. B. in Hamburg noch 2900 Sprengbomben und in Berlin noch 3000 Sprengbomben vermutet. Diese Zahlen zeigen auf, dass wirklich eine Gefährdung der Personen, die sich mit dem Baugrundaufschluss beruflich befassen müssen, besteht. Dies gilt ebenso für Tätigkeiten bei der Errichtung der entsprechenden Bauwerke oder für Ausbaggerungen sowie Abgrabungen.

Aus Gründen der allgemeinen Sicherheit und Ordnung hat der Kampfmittleräumdienst seit nunmehr 69 Jahren die Aufgabe, bei Eingriffen in den Untergrund die Ge-

fährdung sowohl der Beteiligten als auch Dritter durch verborgene Kampfmittel auszuschließen bzw. zu minimieren. Bis 2005 war originär der im jeweiligen Bundesland organisierte Kampfmittleräumdienst für die Suche, Entschärfung und Beseitigung zuständig.

Seit 2005 haben sich diese Aufgaben der Suche nach verborgenen Kampfmitteln auf die Eigentümer der jeweiligen Flächen übertragen.



**Bild 1:** Unterwassersprengung einer Bombe  
Quelle: Schollenberger 2011

### 2 Rechtliche Grundlagen

Bei der Suche und Räumung von Kampfmitteln greifen eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen. Zunächst muss hierfür der Begriff „Kampfmittel“ definiert werden.



### **Kampfmittel**

Kampfmittel im Sinne der Kampfmittelverordnungen sind gewahrsamslos gewordene, zur Kriegsführung bestimmte Gegenstände und Stoffe militärischer Herkunft und Teile solcher Gegenstände, die

1. → Explosivstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten oder aus Explosivstoffen oder deren Rückständen bestehen,
2. → Chemische Kampf-, → Nebel-, → Brand- oder Reizstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten oder
3. Kriegswaffen oder wesentliche Teile von Kriegswaffen sind

(AH-KMR, 2007, TA Kampfmittel Hamburg, 2013) Hierbei handelt es sowohl um offen zutage liegende oder im Untergrund verborgene Kampfmittel.

Abzugrenzen gegenüber Kampfmitteln sind die Kampfstoffe gem. BBodSchG. Bei Kampfstoffen handelt es sich um nicht zündfähige Explosivstoffe und deren Abbauprodukte (s. BodSchV).

## **2.1 Verantwortlichkeiten und Haftung**

Die Zuständigkeiten für die Suche und Identifizierung von Kampfmitteln werden im Wesentlichen durch länderspezifische Verordnungen und Verwaltungsvorschriften geregelt. Weiterhin gelten für Bundesliegenschaften (z.B. Übungsplätze) bundesspezifische Vorschriften. Inwieweit für Bundesliegenschaften, länderspezifische Vorschriften und Regelungen gelten, ist für jeden Einzelstandorte beschrieben.

Für Flächen und Standorte, die nicht im öffentlichen Eigentum sind, gelten in jedem Fall die länderspezifischen Vorschriften (z.B. TVO Kampfmittel). In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass bei der Kampfmittelsuche auch andere umweltrechtliche Vorschriften zu beachten sind und eingehalten werden müssen (z.B. Bodenschutz- und Altlastengesetz, Abfallgesetz, Kreislaufwirtschaftsgesetz etc.).

Für die Räumung, Entschärfung und Beseitigung zündfähiger Kampfmittel geht die Verantwortung nach der Identifizierung auf den staatlichen Kampfmittelräumdienst über.

Bei der Haftung sind zunächst die öffentliche Haftung im Sinne der Schadenshaftung nach §839 BGB sowie Art. 34 GG und die Haftung Privater im Sinne des §823 BGB zu unterscheiden. Bei privaten Eigentümern resultieren weitere Haftungsansprüche aus vertragsrechtlichen Gründen.

Die Einzelfragen bezüglich einer staatlichen oder privatrechtlichen Haftung werden sich im Detail auf eine Verletzung der Versicherungspflicht, Organisationsmängel, vertragsrechtliche Ursache und nicht zuletzt auf die Gutachterhaftung beziehen.

### **Beim Eintritt einer strafrechtlichen Verantwortlichkeit kann sich diese immer nur auf eine natürliche Person richten.**

Körperschaften (z.B. Ämter, Büros) sind von einer strafrechtlichen Verantwortlichkeit ausgeschlossen. Die strafrechtliche Verantwortlichkeit greift auch bei einem Organisationsverschulden und bei Delegationsverantwortung („Linienverantwortung“).

Aufgrund dieser Rechtslage ist es für jeden, der mit Bauplanungen und dem eigentlichen Bauen verantwortlich befasst ist, erforderlich, bereits bei der Grundlagenermittlung das Thema „Kampfmittelfreiheit“ zu berücksichtigen. Die Kampfmittelberäumung sollte in jedem Fall auch in die Berechnung der Planungs- und Bauzeiten für ein Projekt einbezogen werden; das Gleiche gilt auch für die Kosten.



**Bild 2:** Sprengung von Munition  
Quelle: Schollenberger 2004

## **3 Untersuchungstechniken**

Bei den Untersuchungstechniken können zunächst die prinzipiell zerstörungsfreien Detektionsverfahren und die Suche mittels Aufgrabungen oder Bohrungen unterschieden werden. Für ein tiefer gehende Informationen über die physikalischen Grundlagen der Messsysteme gibt es eine Reihe von weiterführender Literatur. Als Beispiel sei hier das „Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3 (Geophysik)“, Knoedel, Krümmel & Lange, Springer-Verlag, 1997, genannt.

Die Detektionsverfahren beruhen auf unterschiedlichen geophysikalischen Methoden. Überwiegend werden aufgrund der ferromagnetischen Eigenschaften der Umhüllungen von Kampfmitteln magnetische und elektromagnetische Verfahren eingesetzt. Neben dem bekannten Minensuchgerät (aktives Verfahren) zum Aufspüren oberflächennaher Kampfmittel kommen überwiegend passive Systeme wie verschiedene Magnetometer zum Einsatz. Neben den magnetischen Verfahren werden aber auch andere geophysikalische Methoden, wie Gravimetrie, Seismik und Erdwiderstandsmessungen, ein-

gesetzt. Die Methodik wird entsprechend der zu untersuchenden Fragestellung (z.B. Kleinmunition, tiefliegende Bomben) ausgewählt.

Bei den sog. „Standardmethoden“ handelt es sich um die Methoden, mit denen heute ein großer Teil der Suche nach Kampfmitteln wirtschaftlich günstig und schnell abgearbeitet wird.

Als eine der Standardmethoden wird für die Suche nach oberflächennaher Munition und Minen das bekannte Minensuchgerät eingesetzt. Es handelt sich hierbei um ein aktives System, bei dem der Durchmesser der aktiven Spule (gleich Gerätebreite) gleich der Detektionstiefe ist – im Regelfall bis zu 0,5 m. Um auch nach tiefer liegenden Störkörpern zu suchen, wird heute im Regelfall bei den Sondierungen Magnetometer (z.B. Gradiometer) verschiedener Hersteller eingesetzt.



**Bild 3:** Einsatz eines Gradiometers bei der Bergung von Munition  
Quelle: Schollenberger 2011

Das Funktionsprinzip beruht bei dieser Methode auf der Veränderung des magnetischen Flusses (umgangssprachlich einfach „Magnetfeld“) durch ferromagnetische Störkörper im Untergrund.

Das Magnetometer erfasst die Abweichung von dem am jeweiligen Ort bestehenden, natürlichen magnetischen Fluss. Aus diesem Grunde muss die Messeinrichtung vor der eigentlichen Messung auf das jeweilige natürliche Magnetfeld kalibriert werden.

Für die Oberflächensondierung können einzelne Magnetometer zusammengefasst und als Liniensonde eingesetzt werden. Die Auswertung der Messwerte erfolgt über spezielle Software, die eine graphische Darstellung der Unterschiede in der magnetischen Flussdichte darstellt. Mit solchen Oberflächensondierungen können große Flächenareale zügig abgearbeitet werden.



**Bild 4:** GPS gesteuertes Sondenarray im Einsatz  
Quelle Schollenberger 2011



**Bild 5:** GPS gesteuertes Sondenarray im Einsatz  
Quelle Schollenberger 2011

Bei wasserseitigen Untersuchungen kommen neben magnetischen auch häufig gravimetrische Verfahren zum Einsatz. Weiterhin werden für große Areale und oberflächennah liegende Kampfmittel auch luftgestützte Systeme eingesetzt.



**Bild 6:** GPS gesteuertes Messboot im Einsatz  
Quelle Hirdes 2011



#### 4 Durchführung der Kampfmittelsuche

Aufgrund der in Abschnitt 2 beschriebenen rechtlichen Rahmenbedingungen ist es erforderlich, bei geplanten Baumaßnahmen, die in den Untergrund eingreifen, in jedem Fall sicherzustellen, dass bei der Maßnahme keine Gefährdung Dritter durch verdeckte Kampfmittel auftreten kann. Hierfür hat sich der Bauherr sicherzustellen, dass für die Fläche eine Freigabe durch den Inhaber eines Befähigungsscheins nach § 20 Sprengstoffgesetz (SprengG) oder durch den Kampfmittelräumdienst (KRD) des jeweiligen Bundeslandes erfolgt ist.

Im Regelfall wird der Bauherr deshalb eine Anfrage auf Gefahrenerkundung an den zuständigen Kampfmittelräumdienst stellen. Wenn sich aus dem Bescheid des KRD ein Verdacht ergibt, so ist der Bauherr aus rechtlichen Überlegungen aufgefordert, eine Untersuchung auf Kampfmittel durchführen zu lassen. Es ist sinnvoll, vor der Beauftragung einer Fachfirma für die Kampfmittelsondierung zunächst selbst oder durch ein beauftragtes Ingenieurbüro eine Grundlagenermittlung durchzuführen. In dieser Grundlagenermittlung wird sowohl die Art als auch die Tiefe des Verdachtshorizontes (das ist der Tiefenbereich in dem die Kampfmittel vermutet werden) bestimmt. Diese Grundlagenermittlung stellt nur eine Empfehlung für die verantwortliche Person (§20 SprengG) dar. **Den tatsächlich zu untersuchenden Horizont legt die verantwortliche Person fest.**

In der Grundlagenermittlung würde bereits die konkrete Vorplanung des Bauvorhabens berücksichtigt.

Nach dem Vorliegen der Grundlagenermittlung sollte durch den Bauherrn oder durch ein beauftragtes Ingenieurbüro eine Planung und Ausschreibung der Kampfmittelsondierarbeiten erfolgen. Für die öffentlichen Auftraggeber ist dies gem. Vergaberichtlinien des Bundes bzw. der Ländern zwingend. Bei schwierigen Baugrundverhältnissen oder bei bestehender Bebauung (z.B. Kaianlagen, Spundwände) empfiehlt es sich, vor der eigentlichen Ausschreibung Testfelder zu planen und auszuführen, um zu prüfen, ob die vorgesehenen Detektionsverfahren überhaupt sinnvoll eingesetzt werden können.

Als Ergebnis der Kampfmitteluntersuchung erstellt die ausführende Firma eine Dokumentation und einen Freigabebericht für den Bauherrn. Der Freigabebericht wird im Regelfall durch die ausführende Firma dem zuständigen KRD zur Prüfung zugestellt. Die Flächenfreigabe erfolgt entweder durch den KRD (des Landes) oder durch die ausführende Firma (s. Tabelle 1).

Bundesland	Freigabe durch KRD	Freigabe durch Fachfirma
Bayern		X
Brandenburg		X
Berlin	X	
Bremen	X	
Hamburg		X
Hessen	X	
Mecklenburg-Vorpommern	X	
Niedersachsen	X	
Nordrhein-Westfalen	X	
Rheinland-Pfalz		X
Saarland	X	X
Sachsen	X	
Sachsen-Anhalt	X	
Schleswig-Holstein		X
Thüringen		X

Tab. 1: Länderspezifische Flächenfreigabe

Grundsätzlich lässt sich die Vorgehensweise wie folgt zusammenfassen:

1. Grundlagenermittlung und historische Recherche
2. Ausschreibung und Vergabe
  - Ingenieurleistungen
  - Gewerbliche Leistungen
3. Durchführung der Kampfmittelsondierung
4. Räumung konkreter Verdachtspunkte
5. Dokumentation und Freigabe

#### 5 Auswirkungen der Kampfmittelsuche auf den Baugrund

Die Untersuchung auf Kampfmittel führt bei einer abschließlichen Oberflächensondierung mit dem unter Abschnitt 4 beschriebenen Verfahren zu keinen negativen Auswirkungen auf den Baugrund. Diese Verfahren haben aber beim Auftreten von magnetischen Störungen im Untergrund Grenzen in ihrer Auflösung.

Es ist deshalb häufig erforderlich, in den Baugrund durch Bohrungen oder Aufgrabungen einzugreifen. Im Bereich von Bombenblindgängerverdachtspunkten ist in jedem Fall durch die jeweilige TA Kampfmittel eine Tiefensondierung oder Aufgrabung bei konkretem Verdacht vorgeschrieben. Diese Eingriffe können zur einer Entfestigung/Aufweichung des Baugrundes führen.

Die Aufgrabungen können bei sog. Trümmerflächen großräumig oder bei einzelnen Verdachtspunkten auch kleinräumig erfolgen. In jedem Fall wird der anstehende Boden gelöst und die freigelegte Fläche anschließend sondiert (z.B. mit einem Magnetometer).



**Bild 7:** Großflächige Aufgrabungen zur Herstellung eines Sondierhorizontes GPS gesteuert  
Quelle G.E.O Monitoring 2010

Bei kleineren und tieferreichenden Verdachtsbereichen (z.B. Bombenblindgängerverdachtspunkte oder im Bereich bestehender Bauwerke) wird auch ein spezieller Verbau aus Aluminium (keine magnetische Störungen) eingesetzt.

Bei einer großflächigen Abgrabung kann der Baugrund in seinen Eigenschaften ggf. durch den Austausch von Bodenmaterial verbessert werden. In den meisten Fällen ist es möglich, dass der Baugrund in seinen ursprünglichen Verhältnissen wieder eingebaut werden kann.

Anders stellen sich die kleinräumigen, u.U. auch im Verbau ausgehobenen Bereiche dar. Hier kommt es im Allgemeinen zu einer Verschlechterung der Baugrundeigenschaften, weil ein verdichteter Einbau des Aushubbodens i.d.R. nicht hergestellt werden kann.



**Bild 8:** Bombenfund in einem Ringverbau  
Quelle Fa. Schollenberger 2008

Aus Kostengründen werden die meisten tieferen Sondierungen nicht im Verbau sondern in Bohrungen durchgeführt. Hierfür werden mittels Hohlbohrschneckenbohrungen oder in Ausnahmefällen mittels Rammbohrungen (TA Kampfmittel) Plastikrohre im Abstand von 2 m in den Untergrund eingebracht. In diesen Rohren wird

anschließend die Messsonde eingesetzt und die Messung erfolgt dann von unten nach oben.

Der Bohrabstand resultiert aus der Reichweite der Magnetometersonden (Radius gleich 1 m). Die Bohrteufe beträgt immer ein Meter mehr als die Unterkante des Verdachtshorizontes, weil die Magnetometersonden in jedem Bohrloch an das in der Bohrung bestehende, magnetische Differential angepasst werden müssen.



**Bild 9:** Hohlbohrschnecke im Einsatz mit eingezeichnetem Messraster (rot)  
Quelle Fa. Schollenberger 2008

Die Tiefensondierung mittels Bohrungen führt in jedem Fall zu einer nachhaltigen Veränderung des Baugrundes. Diese resultiert aus dem notwendigen sehr geringen Bohrabstand, der Störung des Baugrundes im Randbereich der Bohrung und einer schlechten Verfüllung des Bohrloches.

Die Bohrabstände lassen sich bei der Kampfmittelsondierung nicht vergrößern, da die Reichweite der Messungen technisch bedingt derzeit nicht erhöht werden kann.

Bei bestehenden Bauwerken, die tief in den Untergrund einbinden (z.B. Stahlspundwände, Rückverankerungen) besteht zudem oft die Notwendigkeit den Abstand noch zu reduzieren.

Aus Kosten- und Zeitgründen werden im Regelfall unverrohrte Bohrungen niedergebracht (z.B. Hohlbohrschnecke). Dies führt zu einer Auflockerung des Baugrundes, die auch durch eine teure Verpressung des Bohrloches nicht rückgängig gemacht werden kann. Unter Verpressung ist in diesem Fall nicht eine Zementierung zu verstehen, wie sie bei Bohrpfehlen oder Ankereinbauten durchgeführt wird. Die Verpressung erfolgt im Allgemeinen mit Drücken bis zu 3 bar. Als Verpressmaterial müssen zudem aus Umweltschutzgründen Ton/Zementgemische eingesetzt werden, die nach dem Aushärten in ihrer Festigkeit maximal einem Magerbeton entsprechen. Die Materialien müssen sich flexibel an die Bohrwand anpassen. Im Bereich von Bodenkontaminationen wird durch die Genehmigungsbehörden häufig auch der Einsatz von reinen Quelltonen vorge-



schrieben. Dies gilt auch bei Sondierungen in Wasserschutzgebieten.



**Bild 10:** Bohrungen für eine Tiefensondierung  
 Quelle iwB 2011

Aufgrund des notwendigen Einbaus von Plastikpegeln in den Bohrlöchern wäre der Einsatz von Verpressstäben sehr teuer. Aus diesem Grund erfolgt das Einbringen der Bohrverfüllung häufig von oben mittels Schlauch (s. Bild 11).



**Bild 11:** Bohrlochverfüllung mittels Schlauch  
 Quelle iwB 2011

Bei wasserseitigen Kampfmittelsondierungen ist es ebenfalls oft notwendig tiefer in den Baugrund einzugreifen. Insbesondere bei Böschungen ist es durch die

Deckwerkausbildung mit MHS-Schlacken oft erforderlich, diese entweder Abzuräumen oder mit Bohrungen zu durchhörtern.



**Bild 12:** Deckwerksräumung mit Seilgreifer  
 Quelle G.E.O. Monitoring 2010

Bei tiefliegenden Störkörpern kann es bereits ab – 1,5 m unter Gewässersohle aus Arbeitsschutzgründen unumgänglich werden mit Verbauen zu arbeiten.



**Bild 13:** Einsatz eines Spezialverbaues für die Gewässersondierung  
 Quelle Fa, Hirdes 1999

Neben dem Einsatz von Verbauen bei der Gewässersondierung werden oft aus Kostengründen Spüllanzen zum Einsatz gebracht. Diese erzeugen in der Gewässersohle Vertiefung/Löcher von sehr großen Abmessungen.

Die Störungen des Baugrundes stellen bei der Gewässersondierung ein großes Problem dar, weil eine Verfüllung im Regelfall, technisch bedingt, nicht zu den gleichen Baugrundeigenschaften führt, wie diese vor dem Eingriff vorlagen.

## 6 Ausblick

Um die Auswirkungen der Kampfmittelsondierungen mittels Bohrverfahren auf die Baugrundeigenschaften bewerten zu können, wird derzeit von der BAW ein



Forschungsvorhaben durchgeführt. In diesem Vorhaben werden auf verschiedenen Baugründen unterschiedliche Bohr- und Verfüllungstechniken eingesetzt. Hierbei wird der Baugrund vor und nachher auf seine geotechnischen Eigenschaften hin untersucht. Ein erster Feldversuch wurde 2013 in Hamburg bereits durchgeführt. Die Firma Fichtner ist in dem Vorhaben Kooperationspartner.

## 7 Schlussbemerkung

Bei Planungen für Bauwerke oder Eingriffen in den Untergrund besteht für den Bauherrn die Notwendigkeit zu prüfen, ob es verdeckte Kampfmittel im Untergrund gibt. Wenn dies der Fall ist, muss der Bauherr gewährleisten, dass Dritte durch diese Kampfmittel nicht gefährdet werden. Bei vielen Verdachtsflächen reicht eine zerstörungsfreie Oberflächensondierung nicht aus. Es ist deshalb bei der Kampfmittelsondierung notwendig in den Untergrund einzugreifen um die Kampfmittelfreiheit zu erzeugen. Die Bestätigung der Kampfmittelfreiheit ist bereits vor den eventuell notwendigen Baugrundaufschlüssen zu gewährleisten. Aus diesem Grund sollte der Bauherr oder der beauftragte Planer für die Kampfmittelsuche sowohl Zeitfenster als auch Kosten in die Projektplanung einplanen. Eine Tiefensondierung auf Kampfmittel führt im Regelfall zu einer Veränderung des Baugrundes. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Sondierung vor ggf. notwendigen Baugrunduntersuchungen durchzuführen, um den Baugrund mit seinen Eigenschaften nach der Sondierung bewerten zu können. Eine Baugrunduntersuchung mit gleichzeitigen flächigen Kampfmittelsondierungen ist aus rechtlichen Gründen nicht möglich.

Ein Verzicht auf die Untersuchung bei Verdacht auf verdeckte Kampfmittel sollte aufgrund der persönlichen Haftung des Bauherrn nicht erfolgen.

## Quellen

Der Autor dankt folgenden Firmen für die Überlassung von Fotomaterial:

G.E.O. Monitoring Umweltschutz- und Bau-Überwachungsgesellschaft mbH, Kajen 12, 20459 Hamburg

Iwb Ingenieurgesellschaft mbH, Kajen 12, 20459 Hamburg

HEINRICH HIRDES KAMPFMITTELKRÄUMUNG GMBH  
Sachtlebenstrasse 60, 14165 Berlin

Schollenberger Kampfmittelbergung GmbH, Industriestraße 4 a, 29227 Celle

## Literatur

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG & BUNDESMINISTERIUM DER VERTEIDIGUNG (download 2009):  
Arbeitshilfen Kampfmittleräumung

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ:, (download 2010):  
Abfallgesetz  
Bürgerliches Gesetzbuch  
Bodenschutz- und Altlasten Gesetz und - Verordnung  
Grundgesetz  
Kreislaufwirtschaftsgesetz

*HAMBURGISCHES GESETZ- UND VERORDNUNGSBLATT NR. 45*  
(download :2005)  
Kampfmittel Verordnung

KNOEDEL, KRÜMMEL & LANGE (1997)  
Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Depo-  
nien und Altlasten, Band 3 (Geophysik)",  
Springer-Verlag





## Kampfmittelräumung

Dipl. Ing.(FH) Stefan Schiessl  
Terrasond Kampfmittelräumung GmbH  
Tel.: +49 82 21 9 16 90 41, E-Mail: ssc@terrasond-eod.de

### Zusammenfassung

Tödliche und schwere Unfälle wecken die Baubranche in regelmäßigen Abständen auf. Meldungen über Kampfmittelfunde gehen wöchentlich in der Presse schon fast unter. Was kostet Baustillstand und Verzögerung von Bauabläufen den Bauherrn? Diese Thematik findet immer mehr Niederschlag in Standardwerken wie der VOB und rückt auch in den Fokus der BG. Das ordentliche Vorgehen bezüglich der Thematik Kampfmittel wird hier dargelegt und die verschiedenen Anforderungen der Beteiligten aufgezeigt

### Anforderungen an Unternehmen für die Kampfmittelerkundung.

Firmen für die Erkundungen nach Kampfmitteln müssen vor der Auftragsvergabe auf folgende wichtige Anforderungen überprüft werden. Die Firma muss nach § 7 Sprengstoffgesetz eine Erlaubnis vom zuständigen Gewerbeaufsichtsamt besitzen. Dieses setzt voraus, dass der Betrieb Fachkundige nach § 20 Sprengstoffgesetz beschäftigt. Der Erlaubnisscheininhaber muss seine gültige Erlaubnis auf der Baustelle vorweisen können. Die Arbeitnehmer auf der Räumstelle haben für den Todesfall und für die dauernde Erwerbsunfähigkeit ausreichend versichert zu sein. Wegen der massiven Auswirkungen im Schadensfall auf die Umgebung hat die Fachfirma eine Haftpflichtversicherung vorzuweisen, die Personen- Sach- und Vermögensschäden mit einer Summe von mindestens 2,5 Millionen Euro abdeckt. Selbstverständlich sollten die Arbeiten auch auf Basis der BGI 833 durchgeführt werden. Hier werden zum Beispiel erschütterungsarme Verfahren für die Tiefensondierung vorgeschrieben, die demzufolge Ramm- und Drehschlagbohrverfahren ausschließt. Bei Sondierungen in Gewässern ist zusätzlich noch der Arbeitsschutz im Rahmen der BGV C23 einzuhalten.

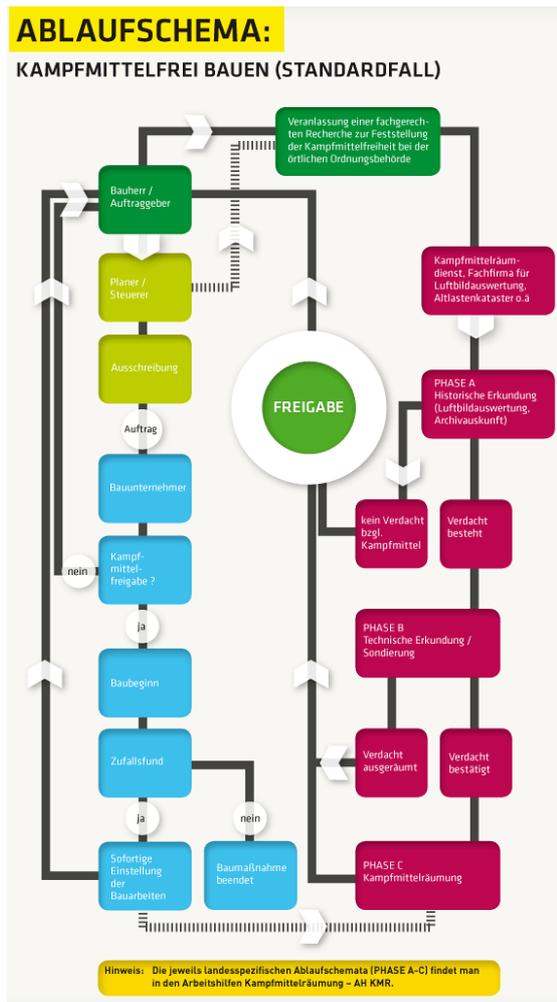
### Bauherren nehmen oft unkalkulierbare Risiken in Kauf

Immer noch stellt die Munition aus den beiden Weltkriegen eine bedeutende Gefahr bei der Reaktivierung ehemaliger Industriestandorte sowie bei der Neubebauung in Innenstädten dar.

Nicht zu vernachlässigen sind auch die derzeitigen Instandsetzungsmaßnahmen im Rahmen des Konjunkturprogrammes von Verkehrswegen und Infrastruktur wie z. B. Brücken, welche schon vor 1945 bestanden. Wie bei der Explosion einer Fliegerbombe am 01.06.2010 in Göttingen zu sehen ist, besteht hier keine abstrakte Gefahr durch geschätzte 90.000 t unentschärfter Bomben in Deutschland sondern ein tödliches Risiko für die am Bau Beteiligten.

### Checkliste Kampfmittelerkundung:

- ERKUNDUNG, HISTORISCH UND LUFTBILDAUSWERTUNG
- GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG UND BEURTEILUNG
- ERSTELLEN EINES ERKUNDUNGS- BZW. RÄUMKONZEPTES
- HERSTELLEN DER SONDIERFÄHIGKEIT
- SONDIEREN UND ORTEN
- FREILEGEN UND IDENTIFIZIEREN
- BERGEN
- ENTSCHEIDUNG DURCH STAATLICHE STELLE ÜBER ABTRANSPORT, ENTSCHÄRFEN ODER SPRENGEN



**Abb. 1:** Vorgehensweise für die Erfüllung der VOB/C 18299 0.1.17

Die Kampfmittelerkundung und die Kampfmittelbergung ist bei der Entwicklung von zu bebauenden Flächen häufig ein wesentlicher Zeit- und Kostenfaktor, der bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen ist. In der Planung sollte daher auch die enge zeitliche Koordinierung der Kampfmittelräumung mit der Untersuchung möglicher Bodenbelastungen berücksichtigt werden.

Erkundung, Feststellung und Bergung von Kampfmitteln stellt außergewöhnlich hohe Anforderungen an die gerätetechnische und personelle Ausstattung der ausführenden Firmen Als Qualitätskriterium hierfür kann z. B. die Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025 herangezogen werden. Als Mindestvoraussetzung muss eine Firma den § 20 nach SprengG besitzen, in dem explizit die genehmigten Arbeiten sowie das Fachpersonal aufgeführt sind.

### Verantwortung für den Baugrund – Baugrundrisiko hinsichtlich zu erwartender Kampfmittel-funde

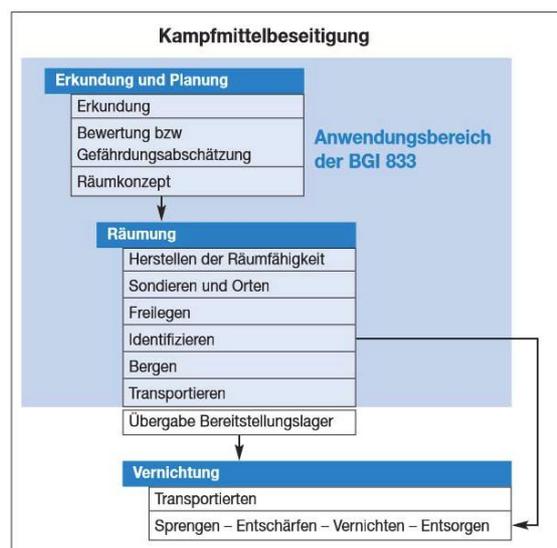
Die Bereitstellung des Baugrundes zur weiteren Bearbeitung, z.B. zur Herstellung von Infrastruktur oder zur Renaturierung, ist gemäß der Rechtsprechung nach § 645 BGB im Sinne der Lieferung eines Baustoffes zu sehen. Die Verantwortung für den Zustand des Baustoffes „Baugrund“ trägt grundsätzlich der Bauherr, d.h. die entsprechende Eigentümer.

Unter dem Begriff „Baugrundrisiko“ ist zu verstehen, dass sich die Boden- und Grundwasserverhältnisse, durch das Vorhandensein von Kampfmitteln anders darstellen als angenommen und dadurch die zu erbringende Leistung erschwert wird oder sogar zusätzliche Leistungen erforderlich werden. Beides hat zur Folge, dass der mit Ausschreibung ermittelte Kostenrahmen nicht mehr einzuhalten ist. Ist eine Zeitzeugenbefragung nicht mehr möglich, so kann dieses hohe Risiko durch die Untersuchung der Fläche durch eine Fachfirma minimiert werden. Fachfirmen sind Unternehmen mit der Erlaubnis nach §7 Sprengstoffgesetz. Ein weiteres Qualitätskriterium für die Kampfmittel-sondierung ist, nach der DIN EN ISO 2005 akkreditiert zu sein. Akkreditierte Firmen können auch die externe Qualitätskontrolle für solche Maßnahmen übernehmen

### Literatur

DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2013, Hrsg.): VOB 2012 DIN 18323 Kampfmittelräumarbeiten, Beuth Verlag GmbH

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG UND BUNDESMINISTERIUM DER VERTEIDIGUNG (2007, Hrsg.) Arbeitshilfen Kampfmittelräumung AH KMR, <http://www.arbeitshilfen-kampfmittelraeumung.de>



auf der Grundlage der Arbeitshilfen zur Kampfmittelräumung (AH-KMR) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und des Bundesministeriums der Verteidigung [1]

**Abb. 2:** Vorgehensweise als Empfehlung des Kampfmittelportales



von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung,  
<http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/bgi833.pdf>

BG BAU (1997, Hrsg.): BGV C 24 Unfallverhütungsvorschrift  
Sprengarbeiten,  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/c24.pdf>

HÄBER R., SACK W. (2012): Kampfmittelräumarbeiten  
Kommentar zum VOB/C ATV DIN 18299 und ATV DIN  
18323, Beuth Verlag

VEREIN ZUR FÖRDERUNG FAIRER BEDINGUNGEN AM BAU E. V.  
(2014, Hrsg.)  
<http://www.kampfmittelportal.de/ablaufschemakampfmittelfrei-bauen-standardfall.html>





## Betriebliches Managementsystem

Dipl.-Ing. Tim E. E. Becker  
Zertifizierung Bau GmbH  
Kronenstr. 55-58  
10117 Berlin  
Tel.: 030/20314142, E-Mail: info@zert-bau.de

### Zusammenfassung

Ein nach DVGW Arbeitsblatt W 120-1/2 zertifiziertes Unternehmen muss ein übersichtlich dokumentiertes, leicht nachvollziehbares und entsprechend der personellen und gerätetechnischen Anforderungen umfassendes betriebliches Managementsystem (BMS) haben. Dabei sind u.a. folgende Anforderungen zu erfüllen, zu dokumentieren und aktuell zu halten: Organisationsaufbau und -ablauf, Arbeitsanweisungen, Bedarfsplan zur Qualifikation, Fortbildung und Unterweisung der Mitarbeiter, Gefährdungsbeurteilung.

Das BMS schafft für das Unternehmen die Nachweismöglichkeit einer geeigneten Aufbau- und Ablauforganisation, der Umsetzung der einschlägigen Bestimmungen und Vorschriften im Betrieb und den Nachweis einer ausreichenden Qualitätssicherung im Unternehmen. Durch die Umsetzung des BMS wird die Rechtssicherheit des Unternehmens gestärkt und das Risiko eines Organisationsverschuldens deutlich mindern. Außerdem profitieren Unternehmen von den Optimierungsmöglichkeiten z.B. von Arbeitsabläufen, die dieses System bietet und erhalten gleichzeitig eine höhere Akzeptanz und Transparenz den Kunden gegenüber.

### 1 Anforderungen in den Regelwerken

Die grundsätzlichen Anforderungen, die die DVGW Arbeitsblätter W 120- 1 und W 120-2 enthalten, sind von den Unternehmen inklusive der Erbringung und Pflege der Nachweise einzuhalten. Dazu zählen die Kenntnisnahme und Vorhaltung der Rechtsvorschriften, des berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerks, der technischen Regeln in der jeweils gültigen Fassung und der Fachliteratur sowie der Vermittlung der jeweiligen Inhalte durch Maßnahmen zur Fortbildung des Personals. Zudem sind die verantwortlichen Fachaufsichten und bauleitenden Fachkräfte mit klaren und eindeutigen Befugnissen, Verantwortlichkeiten und Stellvertreterregelungen schriftlich zu benennen. Qualifikation, Schulung und Unterweisung des Personals sind auf Basis eines Bedarfsplans darzulegen, wobei entsprechende Maßnahmen regelmäßig (mindestens jährlich) durchzuführen und zu kontrollieren sind. Das Unternehmen hat Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Beschaffung, Handhabung und Lagerung von Arbeitsmitteln (einschließlich Mess- und Prüfmittel) und Baumaterialien zu integrieren. Die Nachvollziehbarkeit von Planungs- und Bauleistungen, einschließlich Änderungen ist sicherzustellen und die Qualifikation von Unterauftragnehmern (Nachunternehmer) ist zu prüfen. Es muss ein geregeltes Verfahren bei der Abnahme und Übergabe von Bauwerken vorhanden sein.

### 2 Vorhalten aktueller Gesetze, Vorschriften, Regelwerke

Das Bohrunternehmen muss Kenntnis über die aktuellen Gesetze, technischen Regeln, Unfallverhütungsvorschriften haben und Nachweise über die erfolgten Unterweisungen vorhalten. Das Unternehmen sollte die Aktualität mind. einmal im Jahr prüfen und dokumentieren. Als Quelle kann u.a. genutzt werden:

- Rechtsvorschriften:
  - [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)
- berufsgenossenschaftliches Vorschriften- und Regelwerk:
  - z.B. Info-CD BG Bau (jährlich neu)
  - [www.bgbau.de](http://www.bgbau.de)
  - Bausteine der BG Bau auch als App verfügbar
- technische Regeln und Fachliteratur:
  - Technische Mitteilungen unter [www.rbv-koeln.de](http://www.rbv-koeln.de)

### 3 Fortbildung des Fachpersonals

Zu Fort- und Weiterbildungen des Personals zählen unter anderem:

- Schulungen von Neuerungen in den Regelwerken, Normen und Vorschriften
- Produktschulungen durch Lieferanten (Rohrverbindungen, Gleit- und Stützmittel, Schweißzusätze) oder Maschinen-/Geräteherstellern (Bohrgeräte, Prüf- und Messmittel)
- Lehrgänge im inhaltlichen Zusammenhang mit den Regelwerken W 120-1 bzw. W 120-2



#### 4 Verantwortliche Fachaufsichten

Die verantwortlichen Fachaufsichten und bauleitenden Fachkräfte müssen schriftlich benannt werden. Dazu gehört auch die Angabe von klaren und eindeutigen Befugnissen, Verantwortlichkeiten und Stellvertreterregelungen. In dem vom Unternehmen zu erstellenden Organigramm sollten bereits die Verantwortlichkeiten abgelesen werden können.

#### 5 Qualifikation, Schulungen, Unterweisung

Auf Basis eines Bedarfsplans sind Maßnahmen zur Qualifikation, Schulung und Unterweisung regelmäßig (mind. jährlich) durchzuführen und zu kontrollieren. Nach der Ermittlung des Schulungsbedarfs sollte dieser in einer Übersicht des technischen Personals, zusammen mit der Personalqualifikation in einem Schulungsplan eingetragen und aktuell gehalten werden. Anhand dieser Übersicht sind regelmäßige Schulungen/Fortbildungen zu besuchen. Außerdem dient sie der Terminkontrolle bei wiederkehrenden Schulungen. Auch die regelmäßig durchzuführenden Unterweisungen können damit terminiert und kontrolliert werden.

Schriftliche Unterweisungen dienen als Nachweis, dass die Mitarbeiter zu einem bestimmten Thema unterwiesen worden sind. Dieser Nachweis sollte den Umfang und den Ablauf der Unterweisung so genau wie möglich widerspiegeln.

Die folgenden Angaben sind dabei erforderlich:

- Datum und Ort der Unterweisung
- Uhrzeit mit Beginn und Ende der Unterweisung
- Name des / der Unterweisenden
- stichpunktartige Beschreibung der Unterweisungsthemen (ggf. mit eindeutigem Verweis auf präsentierte und / oder ausgeteilte Unterlagen)
- Name und Vorname der Teilnehmer in Druckschrift
- entsprechende Unterschrift der Teilnehmer
- Vermerk, dass die Teilnehmer mit ihrer Unterschrift „die Unterweisungsthemen gehört und verstanden haben und diese anwenden werden“
- Ort, Datum und Unterschrift des Unterweisenden

Die notwendigen Qualifikationsanforderungen an das Personal können dem jeweiligen Teil der W 120 entnommen werden. Dazu enthält das Kapitel 6.2 die Anforderungen an die verantwortliche Fachaufsicht u.a.:

- Abschluss (Fach-) Hochschulstudium mit einschlägiger Fachrichtung oder Meister im Brunnenbauerhandwerk oder Ausnahmegenehmi-

gung nach § 7 a/b, § 8 und § 9 der Handwerksordnung und

- Nachweis einer fünfjährigen Berufstätigkeit in einem Bohr-, Brunnen- oder Brunnenregenerierungsunternehmen
- mind. **alle zwei Jahre** Teilnahme an einer einschlägigen, firmenexternen Fortbildungsmaßnahme mit der Möglichkeit des gegenseitigen Erfahrungsaustausches

In Kapitel 6.3 sind die Anforderungen an die bauleitende Fachkraft definiert:

- verantwortliche Fachaufsicht gemäß 6.2 oder
- Brunnenbauermeister oder Werkpolier im Brunnenbau
- Werkpolier Brunnenbau (W 120-1)
- Werkpolier Brunnenbau & Werkpolier Geothermie (W 120-2)
- Ausgebildeter Brunnenbauer mit mind. drei Jahren Berufserfahrung

Das Kapitel 6.4 beschreibt die Anforderungen an das Fachpersonal:

- Brunnenbaumeister oder
- Einschlägige Berufserfahrung als
  - Bohrergeräteleiter nach DIN 4021 oder
  - Facharbeiter für geologische Bohrungen
  - Fachkraft für geologische Zwecke (W 120-2) oder
  - Bergbautechnologe Fachrichtung Tiefbohrtechnik
  - Vorarbeiter Brunnenbau (W 120-1)
  - Vorarbeiter Brunnenbau (W 120-2)
- Nachweis über einschlägige, firmenexterne Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen **alle drei Jahre** für das Fachpersonal

Außerdem muss mind. ein Mitarbeiter mit einer gültigen Ersthelferausbildung auf der Baustelle anwesend sein. Es ist sicherzustellen, dass Kenntnisse über mögliche Gefahrenquellen / Schadensszenarien (z.B. Gasaustritte, artesische Verhältnisse) vorhanden sind.

#### 6 Qualitätssicherung bei der Beschaffung, Handhabung und Lagerung von Arbeitsmitteln

Ziel der Qualitätssicherung bei der Beschaffung, Handhabung und Lagerung von Arbeitsmitteln ist es, dass ausschließlich der Einsatz von ordnungsgemäßer Geräte, Ausrüstungen und Mess-/Prüfmittel gewährleistet wird. Dies wird erreicht durch die Pflege einer Inventarliste aller Geräte, Ausrüstungen und Mess-/Prüfmittel (Prüfplan). Dazu zählt auch das Vorhalten von Einzeldokumentationen, wie z.B. (Arbeitsmittel-/ Lebenslaufakten) und die Markierung der Geräte, z.B. mittels



Prüfplakette. Somit kann gewährleistet werden, dass die eingesetzten Geräte in einem ordnungsgemäßen Zustand sind und die jeweils erforderlichen aktuellen Prüfzeichen tragen.

## 7 Nachvollziehbarkeit von Planungs- und Bauleistungen

Die Projektphasen einer Bauaufgabe unterteilen sich grob in Vorplanung, Ausführungsplanung/Arbeitsvorbereitung und Ausführung. Bei der Vorplanung ist die Konformität mit dem DVGW-Regelwerk zu prüfen. Das beinhaltet u.a. die Prüfung der Konformität mit Rechtsvorschriften und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften, Prüfung der Übereinstimmung von Auftrag und Angebot, Auswahl der Arbeitsmittel, Baumaterialien und NU-Leistungen sowie Konformität mit technischen Regeln. Im Folgenden ist der Bauablauf zu planen. Dazu gehören:

- Prüfung von Genehmigungen, Anordnungen
- Prüfung technischer Spezifikationen für Baumaterialien
- Prüfung technische Spezifikationen für Baumaterialien
- Erstellen einer Gefährdungsbeurteilung, ggf. besondere Gefahren
- Personal-, Geräte- und Materialdisposition
- Prüfungen (Verdichtungen, Schweißungen, Druckprüfungen, Trinkwasserqualität)

Zum letzten Schritt, der Ausführung der Arbeiten, gehören:

- Einsatz von geeignetem und qualifiziertem Personal
- Arbeits- und Verfahrensanweisungen bei eigenem Personal und Nachunternehmern
- Steuerung der Dokumentation des Bauablaufs, Wareneingangsprüfungen
- Planunterlagen, Genehmigungen, Anordnungen (z.B. Verkehr) und Pläne über Fremdanlagen
- Bauausführung (Vorgaben in Rechtsvorschriften, den BGRn, BGVn und technischen Regeln und Normen)
- Vorgehen bei Abweichungen vom geplanten Bauablauf oder Bauverfahren

## 8 Abnahme und Übergabe von Rohrleitungen und Druckprüfung

Für die Abnahme und Übergabe von Rohrleitungen und von Bauwerken zur Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Wasservorkommen sowie deren Sanierung und Regenerierung ist ein geregeltes Verfahren anzuwenden.

## 9 Einsatz von Nachunternehmern

Bevor Unterauftragnehmer für Arbeiten eingesetzt werden, bei denen eine entsprechende Zertifizierung vorliegen muss, ist zu prüfen, ob diese die Anforderungen gemäß W 120 erfüllen. Dazu gehört:

- Sicherstellung, dass der Nachunternehmer über das erforderliche Zertifikat verfügt
- Übergabe aller notwendigen projektrelevanten Unterlagen und Informationen an den Nachunternehmer
- Einweisung der Mitarbeiter des Nachunternehmers in die Gefahren und Schutzmaßnahmen auf der Baustelle

## Literatur

DVGW Arbeitsblatt W 120-1 (08/2012): Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -generierung, -sanierung und -rückbau

DVGW Arbeitsblatt, W 120-2 (07/2013): Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik und Geothermie (Erdwärmesonden)





## Praktische Anwendung einer multikriteriellen Bewertung unterirdischer Infrastruktur

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sissis Kamarianakis; Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes  
IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen  
Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb  
Tel.: 0209 – 17806 – 42, e-Mail: Kamarianakis@ikt.de

### Zusammenfassung

Die ganzheitliche Betrachtung eines Bauwerks über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg, unter Berücksichtigung aller Phasen, von der Planung über Bau und Nutzung bis hin zum Abbruch oder zum Verlust des Bauwerks, rückt bei Betreibern und Planern mehr in den Fokus und kann die zu wählende Bauweise nachhaltig beeinflussen. Zielsetzung einer durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Studie, welche im Zeitraum zwischen 2008 und 2011 vom Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb gemeinsam mit der GSTT Beratungsservice GmbH durchgeführt wurde, war die Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungsverfahrens, mit dessen Hilfe es ermöglicht werden soll, eine adäquate Baumethode für das jeweilige Bauvorhaben zu wählen.

Die Studie hat gezeigt, dass unter Zuhilfenahme entscheidungstheoretischer Aspekte die Nutzung multikriterieller Entscheidungssysteme für die Bewertung unterirdischer Infrastruktur sinnvoll ist. Aus diesem Grund wurde auf Grundlage des AHP-Algorithmus ein spezielles Software-Tool, DEMUS – Decision Making for Underground Infrastructure – entwickelt, welches eine flexible und individuelle Anpassung der Bewertungshierarchie auf ein konkretes Projekt gewährleistet. Diese Software wird im Folgenden ausführlich vorgestellt. Die Analyse eines Leitungstunnelbauprojektes erfolgt am Ende dieser Veröffentlichung.

### 1 Aufbau und Nutzung der Software DEMUS

#### 1.1 Allgemeines

Die Planung eines Leitungstunnelprojektes bezieht sich im Prinzip auf einen Vergleich von offener und geschlossener Bauweise. In diesem Vergleich werden bestenfalls verfahrenstechnische, wirtschaftliche, ökologische und soziale Aspekte untersucht und hinsichtlich der Machbarkeit des Projektes bewertet wie es bereits in der Studie „Analyse zur ökologischen und ökonomischen Bewertung offener und geschlossener Bauverfahren zur Herstellung unterirdischer Infrastrukturmaßnahmen, Phase 2“ (DBU-Abschlussbericht 2011) und in verschiedenen Veröffentlichungen (Thewes et al. 2011) gezeigt wurde.

Die mathematisch geprägte Vorgehensweise der Bewertung erlaubt es, dass Bewertungen, Gewichtungen und Ergebnisse stets nachvollziehbar bleiben, so dass wenig Raum für die Manipulation von Entscheidungen bleibt. Die mathematischen Gleichungen erwiesen sich jedoch als umfangreich, wenn eine komplexe Entscheidungssituation vorlag. Die Nutzung eines Software-Tools war deswegen von großem Vorteil, so dass eine Programmierung des Softwaretools mit dem Namen „DEMUS – Decision Management for Underground Infrastructure“ von den Autoren durchgeführt wurde.

Die Programmierung erfolgte mit Hilfe von Visual Basic for Applications (VBA), so dass eine Nutzung von Microsoft Excel möglich ist. Der Entscheider wird bei der Eingabe von Kriterien und Gewichtungen von der Software geführt. Die aufwendigen Rechenschritte übernimmt das Programm. DEMUS wird hauptsächlich über grafische Oberflächen gesteuert, so dass der Entscheider zu jeder Zeit einen Überblick über die aktuellen Bewertungen hat. Insgesamt verfügt DEMUS über

drei Hierarchieebenen, auf denen maximal 258 Kriterien implementiert werden können. Darüber hinaus können insgesamt sechs Alternativen berücksichtigt werden.

Mit Hilfe von DEMUS ist es möglich, klassische multikriterielle Bewertungen durchzuführen. Darüber hinaus können weitere Analysen, wie z.B. Sensitivitätsanalysen, für alle Kriterien vorgenommen werden. Ferner ist hinsichtlich der Konsistenz einer Bewertung eine weitere nutzerfreundliche Option berücksichtigt worden. Augenblicklich ist es möglich, dass DEMUS bei einer zu hohen Inkonsistenz eine Warnung ausgibt und dem Entscheider Vorschläge für eine konsistente Bewertung unterbreitet, die entweder angenommen oder auch abgelehnt werden können.

Der Projektgruppe war weiterhin eine dynamische Ausrichtung der Software wichtig. Während der Planung eines unterirdischen Infrastrukturprojektes kann es durchaus vorkommen, dass bestimmte Kriterien projektbedingt entfallen oder aber auch hinzugefügt werden müssen. DEMUS verfügt dementsprechend über eine Methodik, die es erlaubt, auch während der Planungsphase stets anpassbar und variabel zu agieren. Eine Vielzahl gängiger Kriterien für die technische, ökonomische und ökologische Bewertung von Bauvorhaben für unterirdische Infrastruktur ist in DEMUS bereits hinterlegt, um den Einarbeitungsaufwand für die Nutzung des Tools möglichst gering zu halten.

Ein grundlegendes Problem wurde durch die Autoren ebenfalls analysiert: Beschreibungen und Daten des zu planenden Bauwerks liegen möglicherweise nur in linguistischer Form vor, was zu vagen unscharfen Entscheidungen führen kann. Eine solche linguistische Beschreibung des Entscheidungsproblems ist mit der klassischen Mathematik ohne weiteres nicht lösbar. Unter Zuhilfenahme der Fuzzy-Theorie ist es möglich, linguistische Daten zu mathematischen Größen zu trans-



formieren und direkt in den Bewertungsprozess einfließen zu lassen (Cheng et al. 1994; Kaufmann et al. 1988, 1991). Im Zuge der Programmierung wurde dieser Ansatz in einem sogenannten „Experten-Modus“ integriert, der es erlaubt unscharfe Bewertungen vornehmen zu können. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird jedoch auf eine Darstellung des „Experten-Modus“ verzichtet und auf die Studie verwiesen.

## 1.2 Entscheidungsfindung im Zuge des Analytischen Hierarchie Prozesses

Der AHP wurde durch Thomas Lorie Saaty in den siebziger Jahren entwickelt (Saaty 1980, 1982, 1986, 2001). Der AHP zeichnet sich durch drei Hauptbestandteile aus: analytisches Vorgehen, hierarchische Struktur und eine prozessuale Entscheidungsfindung (Hwang et al. 1981, Zimmermann et al. 1991). Das analytische Vorgehen bedeutet, dass die Methode mit mathematisch-logischen Funktionen arbeitet, welche für sämtliche Projektbeteiligten nachvollziehbar sind. Eine hierarchische Struktur ist deswegen sinnvoll, weil der Entscheidungsprozess in mehrere Ebenen unterteilt werden kann.

Der prozessuale Charakter erlaubt es, dass die Methode bzw. der Entscheidungsprozess zu jeder Zeit unterbrochen und neu gestartet werden kann, um eine Entscheidung erneut durchzuführen bzw. einzelnen Bewertungen zu verändern. Des Weiteren ist es möglich, dass quantitative und qualitative Informationen berücksichtigt werden können. Für ein aussagekräftiges Ergebnis sind verschiedene Informationen zu bewerten und zu gewichten, um die Aussage einer Entscheidung auch klar darzustellen. Für die Kriterien- und Alternativenvergleiche nutzt Saaty eine 9-Punkte-Skala (Saaty 1980, 1982, 1986, 2001; Harker et al. 1987). Diese Skala erlaubt auch die Nutzung reziproker Werte beispielsweise wenn ein Element A 3 mal wichtiger als ein Element B ist, dies im Umkehrschluss bedeutet, dass Element B den Wert 1/3 besitzt. Aufgrund der Tatsache, dass solche Vergleiche oftmals stark subjektiv durchgeführt werden, kann es durchaus möglich sein, dass diese Vergleiche inkonsistent sind. Beispielsweise wenn Kriterium A dreimal wichtiger ist als Kriterium B, und B ist zweimal wichtiger als C, der Entscheider dann Kriterium A dreimal wichtiger als C bewerten könnte (wobei es sechsmal sein müsste). In solchen Fällen wäre die Bewertung nicht korrekt und würde zu einem falschen Ergebnis führen. Dennoch sind solche Inkonsistenzen bis zu einem gewissen Grad zulässig und würden die Entscheidung nicht gefährden (Triantaphyllou et al. 1995). Für das Überprüfen dieser Inkonsistenzen definiert Saaty den sogenannten consistency index (CI) sowie die consistency ratio (CR). Mit Hilfe der Berechnung von Eigenwerten ist es möglich, Inkonsistenzen zu berechnen und nicht korrekt durchgeführte Vergleiche aufzudecken. Der Grenzwert für eine Inkonsistenz liegt bei  $CR = 0,1$ . Wenn der Wert von 0,1 überschritten wird, ist eine Inkonsistenz vorhanden, so dass die Logik

und Interpretation des Ergebnisses nicht mehr gegeben ist. Der Entscheider muss demzufolge den resultierenden Fehler korrigieren und den gesamten Bewertungsprozess erneut durchführen (Saaty 1980, 1982, 1987, 2001).

Für eine transparente und nachvollziehbare Entscheidung sollte am Ende einer Gesamtbewertung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Das Hauptaugenmerk dieser Analyse liegt dabei in dem Aufzeigen von Einflüssen bei marginaler Veränderung einzelner Gewichtungen, welche zu einem Alternativenwechsel in der Gesamtbewertung führen können. Die Sensitivitätsanalyse ist ein sehr effektives Werkzeug, um die Stabilität eines Ergebnisses zu prüfen, vor allem auch dann, wenn Alternativen im Gesamtergebnis sehr eng bei einander liegen.

## 1.3 Eingabe von Kriterien und Alternativen

Das Programm DEMUS liegt als xls-Datei zur Nutzung unter Microsoft Excel vor. Der Start des Programmes erfolgt durch Auswahl dieser Datei. Bei Aktivierung des Programmes erscheint der Startbildschirm wie er in Bild 1 zu sehen ist. Dabei handelt es sich um das Arbeitsblatt Input. Im oberen Abschnitt sind sechs horizontale gelbe Blöcke zu erkennen, die für die Eingabe der Alternativen ausgelegt sind.

Unterhalb der Alternativen ist eine große Schaltfläche mit der Beschriftung Dateneingabe zu erkennen, über diese das Projekt gestartet werden kann, so dass nun nacheinander Kriterien und Alternativen eingetragen werden können.

Unterhalb dieser Schaltfläche befindet sich der Kriterienbaum. So hat der Nutzer die Möglichkeit zu jeder Zeit zu erkennen, welche Kriterien bereits eingegeben wurden.

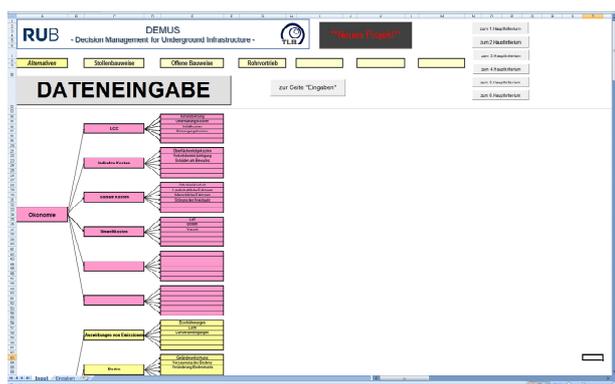


Bild 1: Startbildschirm DEMUS

Über die Schaltfläche Dateneingabe können sämtliche Kriterien und Alternativen eingegeben werden. Es blendet sich dabei eine Registerkarte ein, in der die Kriterien und Alternativen hinzugefügt oder auch ggf. geändert werden können (siehe Bild 2). Der Anwender wird dabei durch die einzelnen Registerkarten geführt, so dass nacheinander die Kriterien aller Ebenen sowie sämtliche Alternativen eingegeben werden können.

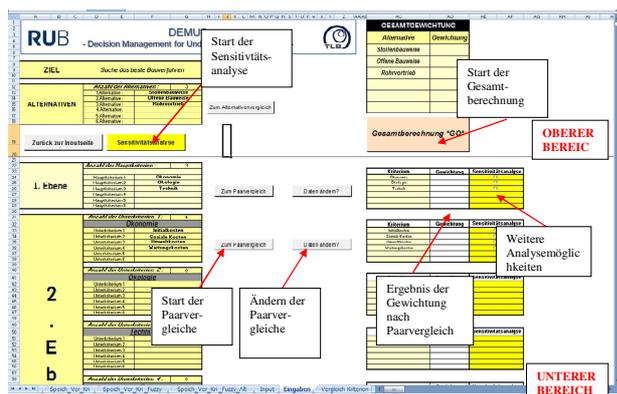


**Bild 2:** Dateneingabe der einzelnen Ebenen

### 1.4 Paarvergleiche der Kriterien

Um in den Bewertungsmodus zu gelangen, müssen zuvor sämtliche Kriterien und Alternativen eingegeben worden sein und abschließend die Schaltfläche „Bewertungen/Analysen“ betätigt werden. Es erscheint das Arbeitsblatt „Eingaben“ (Bild 3). Das Arbeitsblatt gliedert sich in zwei Bereiche. Im oberen Bereich wird das Gesamtergebnis ermittelt, weitere Analysemöglichkeiten zur Verfügung gestellt sowie die Möglichkeit zum „Alternativenvergleich“ gegeben.

Der untere Bereich dient zur Bewertung der gesamten Kriterien. Links davon befinden sich sämtliche Kriteriengruppen, sortiert nach Ebenen. Der rechte Bereich stellt eine Übersicht der Gewichtung der Kriterien dar. Darüber hinaus kann der Anwender hier bestimmen, welche Kriterien näher analysiert werden sollen. Des Weiteren kann hier der Anwender mit der Bewertung der Paarvergleiche beginnen. Überall dort, wo Paarvergleiche durchgeführt werden müssen, sind die Schaltflächen „Zum Paarvergleich“ sowie „Daten ändern“ zu sehen. Ob eine Kriteriengruppe bereits bewertet wurde, lässt sich dadurch erkennen, ob ein Ergebnis im weißen Feld (rechter Bereich) zu erkennen ist.

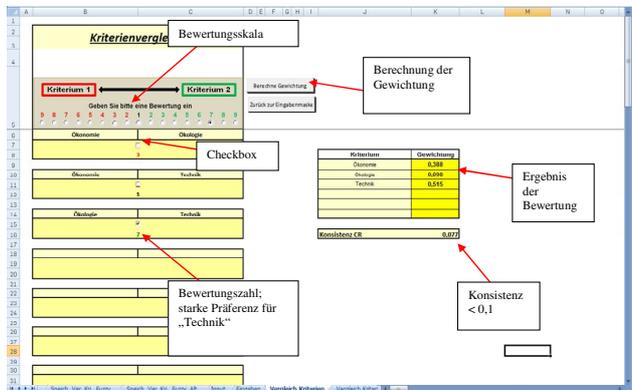


**Bild 3:** Übersicht Sheet „Eingaben“

Um den Paarvergleich zu starten, wird eine der Schaltflächen „Zum Paarvergleich“ betätigt, so dass der Paarvergleich der Kriteriengruppe durchgeführt werden kann. Unmittelbar nach Betätigung der Schaltfläche erscheint das Arbeitsblatt des Kriterienvergleichs (Bild 4).

Der Anwender hat hier nunmehr die Möglichkeit die Kriterien paarweise zu gewichten. Beispielfhaft ist hier der Vergleich von drei Hauptkriterien zu sehen. Durch

die Aktivierung des Kriterienpaares kann der Anwender nunmehr eine Bewertungszahl vergeben, welche von 1 bis 9 reicht. Der Anwender wählt nun die Bewertungszahl, welche sich in dem grauen Kasten befindet. Je nachdem welches Kriterium wichtiger ist, wird entweder eine „Rote“ Ziffer (d.h. das Kriterium, welches links steht, ist wichtiger als das rechte Kriterium), oder eine „Grüne“ Ziffer (d.h. das Kriterium, welches rechts steht, ist wichtiger als das linke Kriterium) gewählt. Sind beide Kriterien gleich wichtig, so wird der Vergleich mit der Ziffer „1“ bewertet. In Bild 4 ist beispielhaft der Vergleich „Ökonomie“ zu „Ökologie“ zu sehen. Hier hat der Anwender eine „rote 3“ gewählt. Dies bedeutet, dass das Kriterium „Ökonomie“ eine etwas größere Bedeutung als das Kriterium „Ökologie“ hat. Nach Durchführung sämtlicher Paarvergleiche kann der Anwender nunmehr die Gesamtberechnung vornehmen. Das Ergebnis erscheint im rechten gelben Feld.



**Bild 4:** Übersicht Sheet „Vergleich Kriterien“

Bei qualitativen Bewertungen (mittels der AHP-Skala) kann es vorkommen, dass das Ergebnis der Paarvergleiche inkonsistent ist. Genauer bedeutet dies, dass die Bewertungen durch den Anwender nicht logisch durchgeführt wurden. Beispielsweise ist dies der Fall, wenn  $A > B$ ,  $B > C$ , jedoch  $C > A$  bewertet wird. Dies stellt eine Verletzung der Logik dar, was zu fehlerhaften Ergebnissen führt.

Nach den Regeln der AHP-Methodik liegt eine Inkonsistenz vor, wenn die sogenannte „consistency ratio“ CR größer als 0,1 ist. Das Programm gibt bei vorliegenden Inkonsistenzen eine Warnung aus. Bei wenigen Paarvergleichen ist die fehlerhafte Bewertung noch relativ schnell auszumachen. Jedoch kann die Suche nach dem Fehler bei mehreren Kriterien sich als schwierig erweisen.

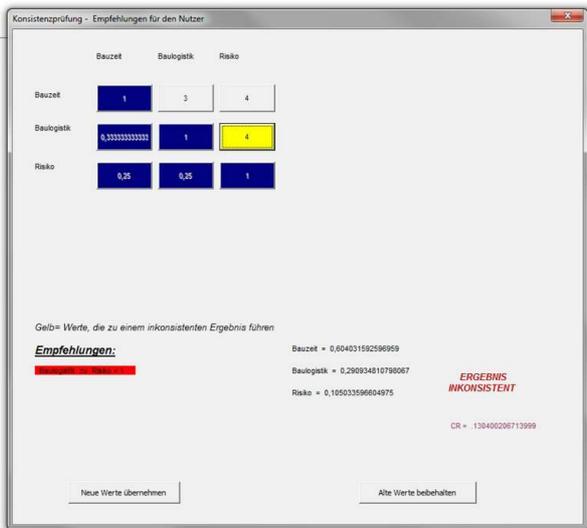
Sollte also eine Inkonsistenz vorliegen, öffnet sich (sowohl bei den Kriterien- als auch Alternativenvergleichen) folgendes Fenster (Bild 5).

Dieses Fenster spiegelt die gemachte Bewertung in einer Matrixschreibweise wider. Die gelb markierten Felder führen zu einem inkonsistenten Ergebnis. Das Programm gibt daraufhin eine Empfehlung, die Werte so zu konstruieren, die zu einer konsistenten Lösung führen. Die gelb markierten Felder können durch den Anwender dementsprechend angeklickt werden. Daraufhin wandelt sich das Feld in ein graues, konsistentes



Feld, welches nun die „konsistente“ Bewertungszahl beinhaltet. Das Ergebnis ist jedoch inkonsistent, solange die Matrix gelbe Felder aufweist.

Dies wird auch im Feld auf der rechten Seite durch die Anmerkung in rot „Ergebnis inkonsistent“ vermerkt. Unter dem Vermerk wird die consistency ratio erwähnt, welche nicht den Wert 0,1 überschreiten darf. Durchaus ist es jedoch möglich, die Empfehlung zu ignorieren. Dadurch gilt der Entscheidungsprozess als inkonsistent und könnte somit Folgen für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse haben. Daher ist es ratsam, auf die Empfehlung einzugehen oder den Bewertungsprozess erneut zu überdenken



**Bild 5:** Konsistenzprüfung – Empfehlungen für den Nutzer

Es kann jedoch vorkommen, dass trotz Aktivierung der Vorschläge eine Inkonsistenz vorhanden ist. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass bei stark unterschiedlichen Bewertungen maximal nur der Wert 9 bzw. 1/9 vergeben werden kann. Die Empfehlungen basieren nämlich auf eine mathematische Beziehung. Zur Ermittlung der Empfehlungen wird die erste Zeile der Matrix herangezogen. Mit Hilfe der Werte der ersten Zeile werden sukzessive die weiteren Zeilen neu berechnet. Somit besteht die Möglichkeit eine vollständig konsistente Matrix zu generieren.

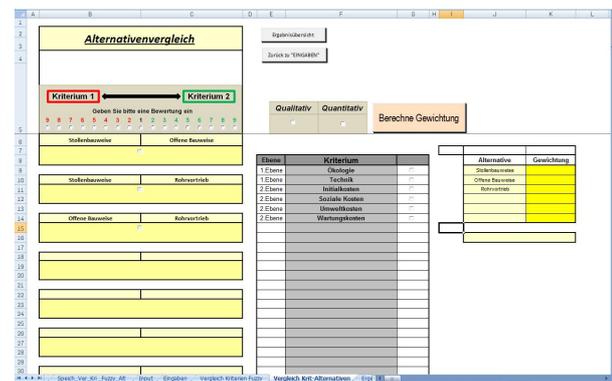
Es muss aber hinzugefügt werden, dass die nun nachträglich generierte konsistente Bewertung nicht mehr den Vorstellungen des Entscheiders entsprechen könnte. In jedem Falle muss überprüft werden, ob die neue Bewertung wirklich das Ergebnis liefert, welches auch vorher gegolten hat.

### 1.5 Bewertung der Alternativen

Um in den Modus der Bewertung der Alternativen zu gelangen, muss der Anwender im Arbeitsblatt „Eingaben“ die Schaltfläche „Zum Alternativenvergleich“ anklicken. Folgendes Arbeitsblatt erscheint (Bild 6), welches im Vergleich zu dem Arbeitsblatt der Kriteri-

envergleiche ein wenig variiert. In der Mitte des Arbeitsblattes sind sämtliche Kriterien aufgelistet, welche hinsichtlich der Alternativen bewertet werden müssen.

In einem ersten Schritt wählt der Anwender das erste Kriterium, welches anschließend bewertet werden soll. Der Anwender entscheidet nun, ob das Kriterium qualitativ (d.h. mittels der AHP-Skala) oder quantitativ (wenn konkrete Daten vorliegen) bewertet werden soll.



**Bild 6:** Sheet „Vergleich Kriterien Alternativen“

### 1.6 Qualitative Bewertung

Soll ein Kriterium mit Hilfe der AHP-Skala bewertet werden, so findet dieser Vergleich im linken Bereich des Arbeitsblattes statt. Hier verfährt der Anwender analog zu den Ausführungen aus Abschnitt 1.4.

### 1.7 Quantitative Bewertung

Ein vorteilhaftes Charakteristikum des AHP ist es, neben qualitativen auch quantitative Informationen in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Bei der Verarbeitung quantitativer Daten ist es nicht nötig, diese Daten mit Hilfe der 9-Punkte-Skala zu bewerten. Die Gewichte können direkt berechnet werden. Beispiele für solche quantitative Daten sind Kosten, Emissionen oder auch Immissionen.

Werden im Zuge einer Untersuchung maximale Werte gesucht, lässt sich eine Verhältniszahl zwischen den einzelnen Werten und der Summe der Werte bilden. Ein Beispiel hierfür ist die Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen. Je höher ein Wert ist, desto höher ist auch sein Nutzen. Werden jedoch beispielsweise die minimalen Werte einer Bewertung gesucht, muss das Verhältnis mit den reziproken Werten berechnet werden. Je höher ein Wert ist, desto niedriger ist sein Nutzen.

Liegen also dem Anwender konkrete Daten vor, so kann er diese über eine Eingabemaske eingeben. Die Einheiten der Daten haben dabei keine Bedeutung, da sämtliche Angaben normiert werden und dementsprechend vergleichbar bleiben.

Bei Aktivierung der „Quantitativen Bewertung“ erscheint folgendes Fenster (Bild 7).

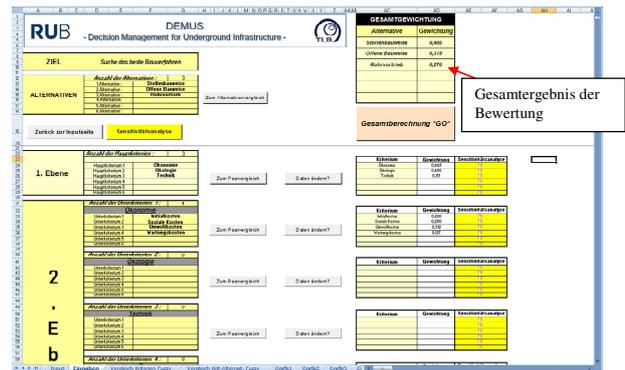


**Bild 7:** Quantitative Berechnung

Der Anwender kann nun entscheiden, ob die Bewertung „positiv“ oder „negativ“ durchgeführt werden soll. Positiv bedeutet, dass je höher der Wert ist, welcher eingegeben wird, desto besser ist er für die Alternative. Negativ hingegen bedeutet, dass je höher der Wert ist, welcher eingegeben wird, desto schlechter ist er für die Alternative. Hat der Entscheider sämtliche Daten in die Textfelder eingegeben, bestätigt er die Angaben mit „Berechnen“. Die normierte Berechnung erscheint im rechten Bereich des Eingabefensters.

### 1.8 Ermittlung des Gesamtergebnisses

Sind sämtliche Kriterien- und Alternativenvergleiche durchgeführt worden, kehrt der Anwender zum Arbeitsblatt „Eingaben“ zurück. Durch das Betätigen des Buttons „Gesamtberechnung“ startet die Ermittlung der Gesamtgewichtung. Das Ergebnis wird daraufhin normiert im dafür vorgesehenen Feld dargestellt, so dass der Anwender seine Präferenz ablesen kann (Bild 8).

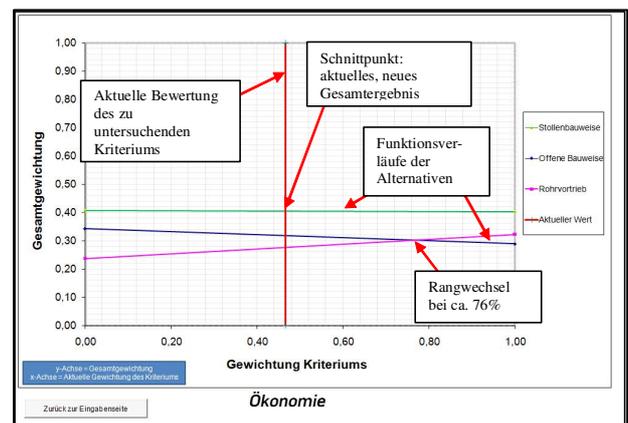


**Bild 8:** Übersicht - Eingaben

### 1.9 Sensitivitätsanalysen

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalysen lässt sich die Entscheidung genauer untersuchen. Vor allem, wenn die Ergebnisse der Alternativen sehr nah beieinander liegen. Der Anwender hat hier die Möglichkeit, den Einfluss jedes einzelnen Kriteriums auf das Gesamtergebnis genau zu untersuchen. Beispielsweise kann es vorkommen, dass eine minimale Veränderung der Gewichtung eines Kriteriums zu einem Rangwechsel innerhalb der Alternativen führen kann.

Das zu untersuchende Kriterium wird im Arbeitsblatt „Eingaben“ ausgewählt. Über die Schaltfläche „Sensitivitätsanalyse“ startet der Analyseprozess. In folgender Bild 9 sind die Funktionsverläufe im Zuge einer Sensitivitätsanalyse zu sehen.



**Bild 9:** Funktionsverläufe Sensitivitätsanalyse

Die vertikale Linie zeigt die aktuelle Gewichtung des Kriteriums an. Die Schnittpunkte der vertikalen Linie mit den Funktionsverläufen der Alternativen entsprechen exakt dem aktuellen Gesamtergebnis. Im obigen Funktionsverlauf erkennt der Anwender, dass das Kriterium „Ökonomie“ derzeit mit ca. 47% bewertet wurde. Der Anwender kann des Weiteren erkennen, wie sich das Gesamtergebnis verändern wird, wenn die vertikale rote Linie entlang der Abszisse verschoben wird. Bei-

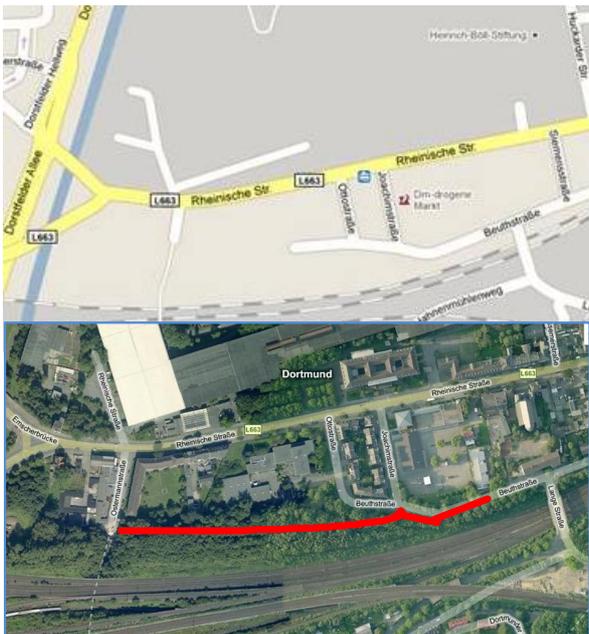


spielsweise wäre ab einer Veränderung des Kriteriums „Ökonomie“ auf ca. 76% ein Rangwechsel zwischen zwei Alternativen zu verzeichnen. Ab diesem Wert würde die zuvor auf dem 2.Rang liegende Alternative (mittlerer Verlauf) auf den 3.Rang fallen. Unabhängig davon kann der Anwender hier sehr gut feststellen, dass eine beliebige Veränderung des Kriteriums (von 0% bis 100%) keine Auswirkungen auf die Stabilität des Ergebnisses hat. Die Alternative mit dem grünen Verlauf wäre grundsätzlich die zu präferierende Alternative. Somit lässt sich beispielhaft hier feststellen, dass das Kriterium „Ökonomie“ keinen Einfluss auf die Wahl der Alternativen hat.

## 2 Analyse eines Leitungstunnelbauprojektes mit Hilfe von DEMUS

### 2.1 Projektbeschreibung

Das Leitungstunnelbauprojekt (Bild 10) liegt im Stadtbezirk der Innenstadt-West in Dortmund. Die Baumaßnahme umfasst eine Gesamtlänge von 135 m und wurde 2010 umgesetzt. Parallel zu dieser Trasse verlaufen mehrere Bahnverbindungen.



**Bild 10:** Projekt DO-Innenstadt-West

#### Bebauung

Am Anfang der Straße befindet sich im nördlichen Bereich eine Schule. Erst im späteren Verlauf der Straße sind auf der nördlichen Seite der Straße Wohnungen und nur wenige Geschäfte vorzufinden.

#### Natur

Westlich der Schule befinden sich auf beiden Seiten der Straße Wald- und Grünflächen. Im weiteren Verlauf sind weitere Bäume bzw. ein Waldgebiet nur im südlichen Bereich aufzufinden.

#### Straße

Die Straße ist einspurig von beiden Seiten befahrbar. Mit beidseitigem Fußweg beträgt die Breite etwa 15 m. Einen markierten Seitenstreifen gibt es nur im Bereich der Schule. Die Beanspruchung der Straße begrenzt sich auf geringe Verkehrslasten. Der ÖPNV ist auf dieser Straße nicht vertreten, nur Schulbusse von Montag – Freitag sind in der Zeit von 7:30 bis 16:00 h zu erwarten.

#### Boden und Grundwasserspiegel

Im Bereich der Trasse sind folgende verschiedene Böden vorfinden: verwitterter Sandmergel, fester bis harter Sandmergel, Störzonen im Sandmergel und schleifende Schichte mit der Schichtung des Felsens [6]. Das Grundwasser liegt bei ca. 12,0 m unter GOK.

#### Kenndaten des Vorhabens

Im Zuge dieses Projektes wurde der erste Abschnitt (17 m) in offener Bauweise vorgenommen und ein Kanal mit der Größe DN 2500 Sb (Verlegetiefe 4,0 m) eingebaut. Der letzte Abschnitt mit 118 m wurde in geschlossener Bauweise (Rohrvortrieb mit offener Ortsbrust) ausgeführt, (Tiefenlage bis 20,0 m; DN 2600 Sb).

#### Verfahren

Das Projekt wurde, wie bereits beschrieben, in offener und geschlossener Bauweise durchgeführt. Der Kanal dient in erster Linie als Stauraumkanal bzw. Hauptsammler. Der 17 m lange in offener Bauweise hergestellte Bauabschnitt veranschlagte Kosten in Höhe von ca. 150.000 €. Der Grund für diese Wahl des Bauverfahrens lag unter anderem an der geringen Überdeckungshöhe von 4,0 m. Im weiteren Verlauf erfolgte die Baumaßnahme mittels eines Rohrvortriebs mit offener Ortsbrust. Die Kosten lagen hierfür bei ca. 495.000 €.

#### Altrohr und Schadensart

Die Bausubstanz der Kanäle war in vielen Bereichen durch Alterung und Verschleiß aufgebraucht. Zudem führten die bereits angeschlossenen und zusätzlichen Anschlüsse zu einer hydraulischen Überlastung des Kanalnetzes (Overmeyer 2010), so dass der Kanal erneuert werden musste.

#### Verfahrensbeschreibung

Der in offener Bauweise hergestellte Abschnitt diente auch als Startbaugrube für den weiteren Vortrieb im Teilschnittverfahren (bemannt arbeitender Rohrvortrieb).

Über diese Startbaugrube wurden die Vortriebsrohre mit einer Nennweite von DN 2600 Sb mittels einer Pressstation durch den Baugrund bis zur Zielbaugrube vorgefahren. Eine steuerbare Schildmaschine, die dem ersten Rohr vorgeschaltet ist, ermöglichte eine gerade und gekrümmte Linienführung. Der Vortrieb erfolgte mit einem offenen Schild. Der anstehende Boden wurde an der Ortsbrust mit der Teilschnittmaschine (Baggerarm mit dementsprechenden Schneidkopfeinrichtungen) abgetragen. Je nach Beschaffenheit wurde im Einzelfall



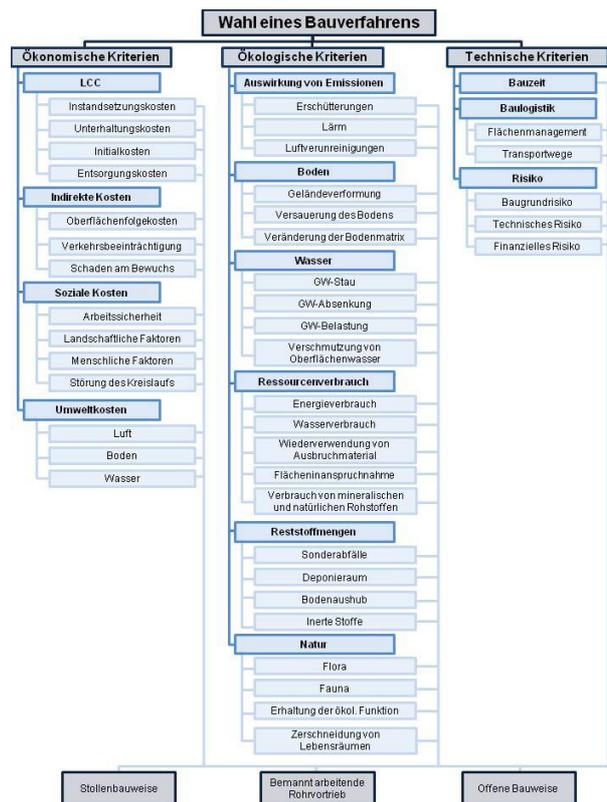
der Boden auch händisch abgebaut. Der Vorteil der offenen Ortsbrust war hierbei, dass schnell auf wechselnde Baugrundverhältnisse reagiert werden konnte, so dass Hindernisse an der offenen Ortsbrust beseitigt werden konnten. Der an der Ortsbrust anstehende Boden wurde des Weiteren über Fördersysteme wie z.B. Förderbänder, Förderleitungen oder Transporter abtransportiert.

## 2.2 Aufstellen einer Bewertungshierarchie

Das Bauvorhaben ist in zwei Bauabschnitte unterteilt. Für vorliegende Bewertung wird jedoch nur der Abschnitt betrachtet, der in geschlossener Bauweise hergestellt wurde. Die Kosten belaufen sich bei der geschlossenen Bauweise auf etwa 495.000 €. Die vorherige Planung sah einen bemannt arbeitenden Vortrieb vor. Vergleiche mit anderen Bauverfahren wurden dabei nicht angestellt. Auch wurden keine weiteren Randbedingungen mit in eine Bewertung einbezogen. Zwar wurden verschiedene Punkte wie z.B. Umweltbelastungen, Boden usw. besprochen, jedoch zu keiner Zeit mit in die Bewertung integriert.

Gerade das Kriterium Umwelt erwies sich jedoch als sehr wichtig, denn der Großteil des neuen Kanals verläuft durch ein Waldgebiet. Daher sollte Flora, Fauna und deren Umgebung nicht beeinträchtigt werden, um die Gefahr des Artenrückgangs nicht zu erhöhen. Aus ökologischer Sicht galt weiterhin, Erschütterungen zu vermeiden, da sich parallel zur Trasse der Bahnverkehr befindet. Darüber hinaus durfte die Luftqualität nicht zu stark durch Schadstoffe belastet werden, da der Bau teilweise auch durch Wohngebiet verlief. Auch eine eventuelle Bodenproblematik wie z.B. Geländeverformung, die zu Setzungen führen könnte, hätte in eine Bewertung mit einfließen sollen. Generell sollten Setzungen vermieden werden, nicht nur in Bezug auf den Bahnverkehr, sondern auch wegen der vorhandenen Bebauung in direkter Nähe. Daher sollte das ökologische und ökonomische Denken mit in die Verantwortung gezogen werden.

Für eine nachträgliche Untersuchung wurde eine weitere Alternative berücksichtigt. Neben dem bemannt arbeitenden Rohrvortrieb soll noch die Stollenbauweise und offene Bauweise mit in die Überlegungen einfließen. In folgender Bild 11 ist die Bewertungshierarchie für das Bauvorhaben zu sehen.



**Bild 11:** Hierarchische Struktur des Projekts

Für die gesamte Beurteilung des Projektes wurden insgesamt 83 Paarvergleiche sowie 43 Vergleiche der Kriterien hinsichtlich der Bauverfahren vorgenommen. Die genauen Rechenschritte bzw. Bewertungen können der veröffentlichten Studie zu diesem Forschungsprojekt entnommen werden (DBU-Abschlussbericht 2011). Das Gesamtziel dieser Bewertung war es, unter Berücksichtigung sämtlicher Kriterien, das bestmögliche Bauverfahren zu wählen. Um dieses Ziel zu erreichen, war es nötig, das Problem in eine hierarchische Struktur zu überführen.

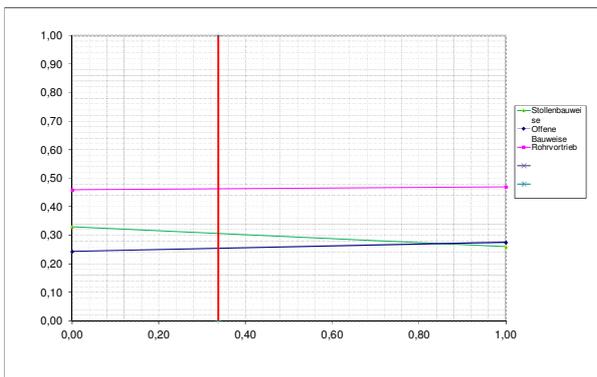
Aus den einzelnen lokalen Gewichten lässt sich nun der Gesamtvektor (Gesamtgewicht) ermitteln (Tabelle 1), welcher die einzelnen Prioritäten der Alternativen beschreibt. In diesem Fall stellt demnach der bemannt arbeitende Rohrvortrieb die Methode dar, die das Ziel am besten erfüllen wird (ca. 46%). Es lässt sich somit sagen, dass die zuvor getroffene Wahl des Bauverfahrens nachträglich bestätigt werden kann, mit dem Unterschied, dass nunmehr eine nachvollziehbare und transparente Entscheidungsfindung vorliegt.



Stollenbauweise	30 %
Offene Bauweise	24 %
<b>Rohrvortrieb</b>	<b>46 %</b>

**Tab. 1:** Ermittlung des Gesamtgewichtes der Entscheidung

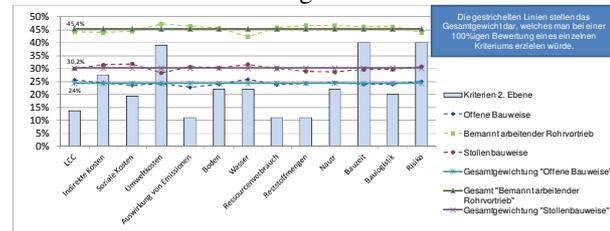
Die Qualität der Ergebnisse lässt sich des Weiteren mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse genauer darstellen. Ziel dieser Analyse ist es, die Stabilität des Gesamtgewichtes zu prüfen, indem die Gewichtungen verschiedener Kriterien verändert werden. In folgenden Graphen ist beispielsweise zu erkennen, ob es bei Betrachtung der Hauptkriterien (hier: Technik) zu möglichen Rangwechsel der Alternativen kommt, wenn die einzelnen Kriterien stärker oder schwächer bewertet werden. Insbesondere beim Kriterium „Technik“ ist zu erkennen, dass bei einer Gewichtung von ca. 85% es zu einem Rangwechsel zwischen der Stollenbauweise und der Offenen Bauweise kommen könnte. Dennoch bliebe der Rohrvortrieb insgesamt die bestmögliche Alternative (siehe Bild 12).



**Bild 12:** Sens.-Analyse für Technik

Bild 13 hingegen beschreibt die Beziehung zwischen den Alternativen im Hinblick auf die Gewichtung aller Kriterien der 2.Ebene. Die blauen Balken weisen auf die durch den Entscheider vorgenommene Bewertung, die die Dominanz einzelner Kriterien der 2.Ebene aufzeigen soll. Zu erkennen ist, dass hinsichtlich der Ökonomischen Kriterien die Indirekten sowie Umweltkosten am höchsten bewertet wurden. Hinsichtlich der Technischen Kriterien wurde das Hauptaugenmerk auf die „Bauzeit“ und dem „Risiko“ gelegt. Der Performance-Graph sagt insgesamt aus, dass bei Betrachtung aller Kriterien stets der Rohrvortrieb die bestmögliche Alternative darstellt. Minimal ändert sich das Gesamtergebnis bei den Kriterien „Umweltkosten“ sowie „Wasser“. Augenscheinlich ist hier festzustellen, dass bei einer noch stärkeren Wichtung der Umweltkosten, der Rohrvortrieb ein besseres Ergebnis erhalten würde, wohingegen bei noch stärkerer Bewertung des Kriteriums „Wasser“ die Alternativen „Stollenbauweise“ sowie „Offene Bauweise“ minimal im Endergebnis zulegen

können, ohne jedoch einen Einfluss auf das Gesamtergebnis nehmen zu können. Mit Hilfe dieser Art von Analyse ist es dem Entscheider vorab möglich, sensitive Kriterien herauszulösen und diese dann anschließend einer vertieften Betrachtung zu unterziehen.



**Bild 13:** Performance-Graph für Kriterien der 2. Ebene

### 2.3 Analyse der exemplarischen Darstellung

Die exemplarische Darstellung hat gezeigt, dass die Bewertung des Bauprojektes ohne großen Aufwand durchgeführt werden konnte. DEMUS hat den Nutzer durch jede Aktion geführt, so dass die Bewertung schnell und zielorientiert erfolgt ist. Das Ergebnis zeigt, dass die Wahl des zuvor gewählten Bauverfahrens nachträglich bestätigt werden kann, mit dem Unterschied, dass nunmehr ein transparentes und nachvollziehbares Ergebnis für weitere Diskussionen vorliegt. Darüber hinaus konnten ohne größeren Aufwand weitere Alternativen untersucht werden, die womöglich in der Planungsphase nicht berücksichtigt wurden. Die Aussagekraft der durchgeführten Sensitivitätsanalysen unterstreicht schließlich die Wahl des Bauverfahrens.

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Bereits in der Studie (DBU-Abschlussbericht 2011) wurde der Analytische Hierarchie Prozess als ein Bewertungsverfahren vorgestellt, welches die vielen Kriterien für eine exakte Bewertung von Bauverfahren für unterirdische Infrastruktur berücksichtigen kann. Um die Akzeptanz der Methodik beim Nutzer zu erhöhen, wurde im Rahmen der Studie die Software DEMUS entwickelt, die es erlaubt, das Projekt in wichtige Merkmale bzw. Kriterien zu unterteilen. Auf diese Weise kann der Nutzer schnell und transparent Bewertungen durchführen, um ein adäquates Bauverfahren projektorientiert bestimmen zu können.

DEMUS wurde im Zuge mehrerer Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbauprojekte erstmalig vollständig angewendet. Beispielhaft wurde in dieser Veröffentlichung die Bewertung eines Leitungstunnelbauprojektes vorgestellt. DEMUS stellt einen wichtigen Beitrag zur transparenten und ganzheitlichen Bewertung von komplizierten Bauvorhaben dar. In einer Dissertation soll zum einen die Software aber auch der ganzheitliche Bewertungsansatz erweitert werden. Insbesondere erscheint es wichtig, den Bewertungsansatz um projektspezifische Module zu erweitern. Beispielsweise sei hier die quantitative und qualitative Risikoanalyse oder auch die Un-



schärfe quantitativer Daten erwähnt, die es gilt weiter auszubauen und in das Entscheidungsmodell zu integrieren. Die Autoren danken ihrem Forschungspartner, der GSTT Beratungsservice GmbH und insbesondere dem Fördermittelgeber, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

## Literatur

CHENG, C. H. & MON, D. L. (1994): Evaluating weapon system by analytical hierarchy process based on fuzzy scales. In: Fuzzy Sets Systems 63

DBU-ABSCHLUSSBERICHT (2011): Analyse zur ökologischen und ökonomischen Bewertung offener und geschlossener Bauverfahren zur Herstellung unterirdischer Infrastrukturmaßnahmen (Verkehrstunnel, Ver- und Entsorgungsleitungen), Phase 2.

HARKER, P.T., VARGAS, L.G. (1987): The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process, Management Science, 33, pp. 1383-1403

HWANG, C.-L., YOON, K. (1981): Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications, Springer, New York.

KAUFMANN, A., GUPTA, M.M. (1991): Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Application, New York

KAUFMANN, A., GUPTA, M.M. (1988): Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science, Amsterdam

OVERMEYER, M.; ANHALT, D. (2010): Hauptsammler Tremoniastraße/Dortmund: Eine nicht alltägliche Baumaßnahme. Wirtschaftsmagazin für Mittelstand – Medien – Meinungsmultiplikatoren. 60. Jahrgang.

SAATY, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh

SAATY, T.L. (1982): Decision Making for Leaders; The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World, RWS Publications, Pittsburgh

SAATY, T. L. (1986): Axiomatic Foundation of the Analytical Hierarchy Process, Management Science 32, pp. 841-855.

SAATY, T. L. (2001): Decision Making for Leaders, 3. Aufl., RWS Publications, Pittsburgh

THEWES, M., KAMARIANAKIS, S., BIELECKI, R. (2011): Analyse zur ökologischen und ökonomischen Bewertung offener und geschlossener Bauweisen zur Herstellung unterirdischer Infrastrukturmaßnahmen. In: Tagungsband zum 25. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 35, 10.-11. Feb. 2011, S. 372-386, Essen

THEWES, M., KAMARIANAKIS, S., BIELECKI, R. (2011): Decision Making for Underground Infrastructure. Proceedings 29th International No Dig Berlin, 03.-05. Mai 2011, Berlin

THEWES, M., KAMARIANAKIS, S., BIELECKI, R. (2011): Bewertung von offenen und geschlossenen Bauweisen – Eine Analyse unter Berücksichtigung multikriterieller Entscheidungsverfahren. In: BI Umwelt, Nr. 3/11, S.40-49

TRIANAPHYLLOU, E., MANN, S. H. (1995): Using The Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges, International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, 2, 1, pp. 35-44.

ZIMMERMANN, H.-J./GUTSCHE, L. (1991): Multi-Criteria Analyse; Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, Springer Verlag.





## Notwendige Weiterentwicklungen der HDD-Technik

Trainen Markus, M.Sc.

IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Exterbruch 1, 45886 Gelsenkirchen  
Tel.: +49 (0)209 17806-26, e-Mail: trainen@ikt.de

### Zusammenfassung

Für den schnellen Ausbau der Energienetze wird ein effizientes und wirtschaftliches Verfahren zur Trassenherstellung benötigt. In der Diskussion um das HDD-Verfahren werden oft die Vorzüge, wie geringe Umwelteinflüsse, hohe Verlegegeschwindigkeiten und Lagegenauigkeit genannt. Routinemäßig werden heute Kabelstränge, Druckrohrleitungen, Fernwärmeleitungen uvm. mit dem HDD-Verfahren verlegt. Sogar Freigefälleleitungen scheinen im Rahmen des Möglichen zu liegen. Kritisch zu bewerten sind aber die wissenschaftlichen Grundlagen, sei es aus verfahrenstechnischer oder aus statisch-konstruktiver Sicht. Bauherrenseitig kommt oft fehlendes Verständnis über Möglichkeiten und Anwendungsgrenzen der HDD-Technik hinzu, sodass in vielen Situationen auf konventionelle Bauverfahren zurückgegriffen wird. Ein erster Schritt auf dem Weg zum besseren Verständnis sowie wissenschaftlich fundierten Grundlagen kann durch eine selbstkritische Einschätzung durch die HDD-Branche erfolgen. Im Rahmen einer deutschlandweiten Umfrage wurden Unternehmen und Fachverbände zum Thema „Notwendige Weiterentwicklungen der HDD-Technik“ befragt. Die Ergebnisse werden gegenwärtig ausgewertet und im Vortrag detailliert dargestellt.

### 1 Hintergrund

Die Energiewende bedingt ein Umdenken im gesamten Energiesektor. Windparks wurden und werden in kürzester Zeit errichtet, die Fernwärmenetze werden ausgebaut und insgesamt wandelt sich das Energienetz stark. Zur Anbindung der On- und Offshore Windparks an das Stromnetz, sowie zum Ausbau der Fernwärmenetze uvm, kann das Horizontal Directional Drilling (HDD) ein wirtschaftliches und effizientes sowie umweltgerechtes Bauverfahren sein. So können mit geringen Eingriffen in die Umgebung, in kurzen Bauzeiten kilometerlange Leitungstrassen sehr lagegenau errichtet werden [1,4].

Die Dringlichkeit eines schnellen und leistungsfähigen Energienetzes unterstreichen die vom BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) auf den Weg gebrachten Gesetze [2]:

- das Energieleitungsausbaugesetz - EnLAG (Kernstück des Gesetzes zur Beschleunigung des Ausbaus der Höchstspannungsnetze)
- Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)

Die WAZ titelt im Oktober 2013 „Brüssel drückt beim Ausbau der Energienetze aufs Tempo“ [5]. Recherchiert man auf der Website der Bundesnetzagentur findet sich das Thema „erdverlegte Kabel“ ebenfalls wieder. Allerdings hat man hier offensichtlich die HDD-Technik noch nicht im Blick: „*Ein Vorteil von Erdkabeln ist, dass sie sich meist viel harmonischer in die Landschaft einfügen als Freileitungen. Die Kabel selbst liegen schließlich unsichtbar unter der Erde. Allerdings hinterlässt ihre Verlegung dennoch sichtbare Spuren, zum Beispiel Schneisen durch Waldgebiete.*“. Dort heißt es weiter: „*Nicht zuletzt ist die Wahl der richtigen Alternative auch eine Frage des Preises. In der Regel ist eine Erdverkabelung je nach Berechnungsmethode zwei- bis*

*zehnfach teurer als ein Freileitungsbau, was am Ende die Verbraucher belastet.*“ [3]

Das HDD-Verfahren kann zukünftig eine zentrale Rolle einnehmen und stärker in den Blick der Auftraggeber rücken. Zunächst gilt es, die Weiterentwicklungspotenziale zu identifizieren, um so die HDD-Technik stärker zu etablieren und Schadensfälle zu vermeiden bzw. Risiken zu minimieren. Besonders die häufig nicht erklärbaren Schadensfälle, seien es Gestänge-, Leitungsabriss, Bohrlochkollapse oder Bohrspülungsprobleme, sind große Marktbarrieren, die bei vielen Auftraggebern den Blick auf konventionelle Bauverfahren schwenken lassen [7,9]. „Das funktioniert. Das haben wir schon immer so gemacht!“, ist dabei ein unzureichender Erklärungsversuch. Besonders wichtig ist, dass sich die Ursachen und Mechanismen, die zu einem Schaden geführt haben, erklären und beim nächsten Mal vermeiden lassen. Das spart viel Geld, Zeit und unangenehme Gespräche mit der Auftraggeberseite. Wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse über das gesamte verfahrenstechnische Spektrum können hier der Schritt in die richtige Richtung sein. Vor diesem Hintergrund und zur Validierung der Interessenschwerpunkte wurde eine deutschlandweite Umfrage unter Unternehmen und Fachverbänden der HDD-Branche durchgeführt. So wurde der Branche die Möglichkeit einer selbstkritischen Einschätzung gegeben.

Das Potenzial zur Erhöhung des Marktanteils, von mit dem HDD-Verfahren hergestellten Leitungstrassen, ist da. Nun gilt es die Technik weiterzuentwickeln und die Anwendungssicherheit zu erhöhen.



## 2 Die Umfrage

### 2.1 Umfrageziel

Die Umfrage verfolgt das Ziel, den ersten Schritt auf dem Weg zur Weiterentwicklung der HDD-Technik zu gehen. Dazu wurde bei Unternehmen und Fachverbänden der HDD-Branche nachgefragt. Sehen Unternehmen, die täglich routinemäßig HDD-Maßnahmen abwickeln, die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung des Bauverfahrens bzw. der Technik? Wenn ja, in welchem Bereich sehen sie den Weiterentwicklungsbedarf? Und wer soll Forschung und Entwicklung vorantreiben, durchführen und finanzieren?

### 2.2 Umfang und Ergebnisse

Die erfreulich hohe Rücklaufquote von fast 30% und eine 100%-tige Zustimmung zur Frage der Notwendigkeit von Weiterentwicklungen zeigt, wie aktuell die Thematik in der Branche ist. Die Unternehmen haben erkannt, dass die HDD-Technik funktioniert, es aber in vielen Bereichen, wie beispielsweise der Verfahrens-, Geräte- und Spülungstechnologie Potenzial zur Risikominimierung gibt. Dadurch könnten Schäden vermieden und die Akzeptanz für das Verfahren weiter gestärkt werden. Das wiederum bringt wirtschaftlichere und effizientere Baumaßnahmen mit sich, von denen sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer profitieren.

Die Umfrage besteht im Wesentlichen aus drei Abschnitten [8]. Im ersten Abschnitt werden die Kontaktdaten, die Unternehmensgröße, sowie das jährlich umgesetzte Bauvolumen abgefragt. Damit soll es später möglich sein, zu erkennen, welche Unternehmensgrößen das höchste Potenzial zur Weiterentwicklung im Zusammenhang mit Forschungsprojekten bieten.

Im zweiten Abschnitt wird das eigentliche Thema „Notwendige Weiterentwicklungen der HDD-Technik“ angesprochen. Die erste Frage aus diesem Bereich, „Gibt es Ihrer Meinung nach Weiterentwicklungsbedarf in der HDD-Technik?“, beantworteten bislang 100 % der Befragten mit „Ja“. Daran schließt sich die präzisierende Frage, „In welchen Bereichen sehen Sie einen Weiterentwicklungsbedarf der HDD-Technik?“, an. Dabei wird die gesamte HDD-Technik in die Themengebiete Verfahrenstechnik, Maschinen-, Werkzeug- und Ortungstechnik, Bohrspülungstechnologie, Qualität/Regelwerke unterteilt. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit für Freitextantworten. Bei dieser Frage zeigt sich bisher sehr deutlich, dass sich die Befragten gut mit den Schwächen und Problemen der HDD-Technik auskennen und diese bereits identifizieren konnten. Als nächstes sollen die Befragten ihre Einschätzung abgeben: „In welchen Bereichen sehen Sie den größten Weiterentwicklungsbedarf?“.

Der dritte Abschnitt thematisiert die Finanzierung der „notwendigen Weiterentwicklungen“. Eine Weiterentwicklung der HDD-Technik geht einher mit Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Diese benötigt, wenn nicht eigenfinanziert, einen Fördermittelgeber. Daher war die Frage an die Teilnehmer der Umfrage: „Wen sehen Sie in der Finanzierungsverantwortung von Forschungsprojekten?“. Ergänzend dazu schließt sich die Frage, „Wo sehen Sie die größten Chancen einer Finanzierung von Forschungsprojekten?“, an. Zum Schluss haben die Teilnehmer noch die Möglichkeit, ihr Interesse an der Mitwirkung bei Forschungsprojekten zu bekräftigen und eigene Kompetenzen und Möglichkeiten anzugeben.

Die Ergebnisse der Umfrage werden gegenwärtig ausgewertet. Im Vortrag wird davon detailliert berichtet.

## 3 Ausblick

Insgesamt erbrachte die Umfrage bislang, trotz oder gerade wegen ihrer kompakten Form, besonders interessante Ergebnisse. Teilweise hätte man im Vorfeld gewisse Aspekte als Markteintrittsbarriere angesehen. Doch die bisherigen Umfrageergebnisse zeigen, dass die Branche die Probleme und die Notwendigkeit zur Behebung eben dieser erkannt hat. Unternehmen möchten sich aktiv beteiligen und Fragestellungen ihres täglichen Geschäftes klären. Das Ziel dahinter ist eine Risikominimierung sowie eine Wirtschaftlichkeits- und Effizienzsteigerung. Dazu kommt erfreulicherweise, dass die Befragten die eigene Verantwortung bei der Weiterentwicklung der HDD-Technik erkannt haben. In vielen Bereichen wurden bereits Entwicklungspotenziale erkannt und Forschungsprojekte ins Leben gerufen. Ein besonders interessantes Beispiel ist ein aktuelles Forschungsvorhaben der AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. zum Thema „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“. Diese Thematik wird Herr Dr.-Ing. Ingo Weidlich in seinem Vortrag, „Gabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse“ am 09. Mai, aufgreifen [10].

## Literatur

[1] Bayer, H.J. (2005): HDD-Praxishandbuch. Vulkan-Verlag, Essen

[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Stromnetze der Zukunft: Herausforderungen und Antworten. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netzausbau/stromnetze-der-zukunft.html>, Abruf 12.03.2014

[3] Bundesnetzagentur: Netze zukunftssicher gestalten. [http://www.netzausbau.de/cln\\_1912/DE/Wissenswertes/Technik/Technik-node.html](http://www.netzausbau.de/cln_1912/DE/Wissenswertes/Technik/Technik-node.html), Abruf 14.03.2014



[4] DCA (2007): Informationsbroschüre: Gesteuerte Horizontalbohrtechnik – Horizontal Directional Drilling.

[5] Der Westen (15.10.2013): Brüssel drückt beim Ausbau der Energienetze aufs Tempo.  
<http://www.derwesten.de/wirtschaft/bruessel-drueckt-beim-ausbau-der-energienetze-aufs-tempo-aimp-id8562208.html>

[6] DVGW (2003): Arbeitsblatt GW 321 „Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“.

[7] DCA (2000): Horizontal Directional Drilling – Technische Richtlinien des DCA, Informationen und Empfehlungen für die Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten. Aachen

[8] Jacob, R., Heinz, A., Décieux, J.P., Eimbter, W.H. (2011): Umfrage: Einführung in die Methoden der Umfrageforschung. 2.Aufl., Oldenburg Wissenschaftsverlag

[9] Wegener, T. (2007): Grundlagen der Horizontalbohrtechnik. 2. Aufl., Vulkan-Verlag, Essen

[10] Weidlich, I. (2014): Vortragsprogramm 65. Brunnenbauertage „Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse“



## Kriterien der Bodengefrieretechnik

Benno Müller

Max Bögl GmbH & Co. KG; Frankfurter Ring 105 80807 München  
Tel.: +49 89 350 607 13 65, E-Mail: bmueller@max-boegl.de

### Zusammenfassung

Das Bodengefrieren ist ein flexibles Verfahren, das in jüngster Zeit vermehrt vor allem bei anspruchsvollen Maßnahmen und Bauen im Bestand eingesetzt wird. Bei maschinellen Tunnelvortrieben werden Querschlägen in wasserführenden, nicht standfesten Böden standardmäßig im Vereisungsverfahren ausgeschrieben und auch ausgeführt. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. In der Planungs- und auch Ausführungsphase sind die technisch wie auch wirtschaftlichen Randbedingungen und Eingangsgrößen zu beachten, die sich teilweise von den herkömmlichen Bauverfahren unterscheiden. Eine thermische Dimensionierung ist für eine erfolgreiche Ausführung unabdingbar.

### 1 Einleitung

Das künstliche Gefrieren von Erdreich ist eine Verfahrensweise, die in der Vergangenheit fast ausschließlich im Schachtbau zum Abteufen von Kohleschächten eingesetzt wurde. Innerhalb der letzten 30 Jahre hat sich diese temporäre Bauhilfsmaßnahme als ein anerkanntes und bewährtes Bauverfahren auch im Spezialtiefbau und im Tunnelbau etabliert. In vielen erfolgreich abgeschlossenen Bauprojekten konnte die flexible Technik als Standardbauverfahren in den Bauablauf integriert werden und ist damit nicht nur eine Notlösung für Haveriefälle. Die Gefrierverfahren mit den Kälteträgern flüssiger Stickstoff und Sole bieten hierzu angepasste und wirtschaftliche Möglichkeiten.

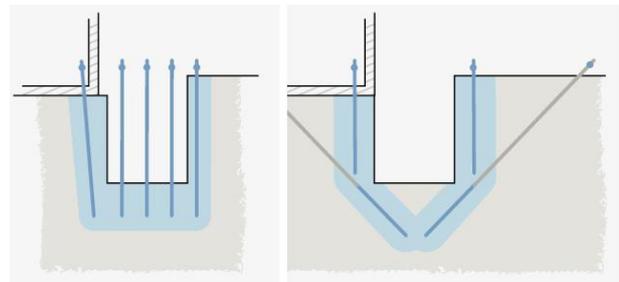
Das Bodengefrierverfahren steht nicht in Konkurrenz zu den gängigen Schlitzwand-, Bohrpfahl-, Düsenstrahlarbeiten oder auch Wasserhaltungsmaßnahmen. Diese Bauverfahren sind in der Regel wesentlich kostengünstiger als eine Bodenvereisung. Die Bodengefrieretechnik bietet Ergänzungen und Erweiterungen, die bei entsprechender Vorplanung und Umsetzung in einer sinnvollen Kombination mit den o. g. Verfahren zum Erfolg führen.

Um die technischen Möglichkeiten und auch die Grenzen des Vereisungsverfahrens beurteilen und einschätzen zu können, bedarf es einiger grundlegender Kenntnisse, die aus verschiedenen Disziplinen der Ingenieurwissenschaft gespeist werden. So sind Wissen und Erfahrungen im Bereich der Geotechnik, der Verfahrenstechnik und Kältetechnik notwendig, um ein Bodengefrierprojekt wirtschaftlich auslegen, kalkulieren und ausführen zu können.

Für den baupraktischen Einsatz werden im Wesentlichen die Wasserundurchlässigkeit von gefrorenem Boden und die statischen Eigenschaften als konstruktive Elemente genutzt.

### 2 Gefrierverfahren

Für das Gefrieren werden Rohre, sogenannte Gefrierrohre, in den Boden eingebracht und mit Kältemittel durchströmt. Durch das Entziehen von Wärme bilden sich walzenförmige Gefrierkörper, die entsprechend der geometrischen Anordnung der Gefrierrohre im Boden zusammenhängende Frostkörper ausbilden (Bild 1). Je nach Erfordernis wird die wasserdichtende und/oder die statische Komponente des gefrorenen Bodens genutzt. Frostkörper können beliebig nahe an oder unter bestehenden Bauwerken hergestellt werden, sofern dort die Gefrierrohre eingebohrt werden können. Gründungselemente, wie Pfähle oder auch Hindernisse können in den Frostkörper eingebunden werden.



**Bild 1:** Beispiele für Gefrierrohranordnungen

Die Ausdehnung und die Temperaturen innerhalb des Frostkörpers werden durch ein umfangreiches Temperaturmessprogramm überwacht. Temperatursensoren in Rohren innerhalb oder am Rand des planmäßigen gefrorenen Bodens erlauben Aussagen zu Temperaturprofilen und Frostkörperausdehnung.

Die Bohrtechnik und die Bohrgenauigkeit sind für die Ausbildung und Funktion der Gefrierkörper von entscheidender Bedeutung. Bei großen Bohrabweichungen von den Solllagen ergeben sich für das Zusammenwachsen der einzelnen Gefrierwalzen längere Gefrierzeiten. Da im Extremfall die Frostwalzen nicht zusammenwachsen und die gewünschte Funktion z. B. einer wasserdichten Umschließung nicht erfüllen, werden alle



Gefrierrohre in der Lage mit Inklinometer oder auch mit Kreiselkompassmesstechnik vermessen. Sind zu große Abweichungen aus der Solllage aufgetreten, müssen Zusatzbohrungen ausgeführt werden.

Als Bohrtechnik wird in der Regel das Überlagerungsbohrverfahren mit einem Doppelkopfantrieb eingesetzt. Die Außenverrohrung wie auch das Innengestänge können entsprechend der Baugrundverhältnisse mit den geeigneten Werkzeugen bestückt werden, sodass der Baugrund verdrängt, gelöst, bzw. zerkleinert wird. Sobald die Bohrung auf die vorgesehene Endtiefe abgeteuft ist, kann das Innengestänge ausgebaut und die Lage der Außenverrohrung vermessen werden. Mit dem Bohrverfahren ist eine Bohrgenauigkeit von  $\leq 1\%$  möglich.

Nach der Vermessung der Außenverrohrung kann das Gefrierrohr eingebaut werden. Die Bohrungen werden mit einem geeigneten Füllmittel z. B. Dämmen wärmeleitende in den Boden eingebunden. Die Außenverrohrung wird während des Verfüllens sukzessive gezogen, das Gefrierrohr verbleibt im Boden.

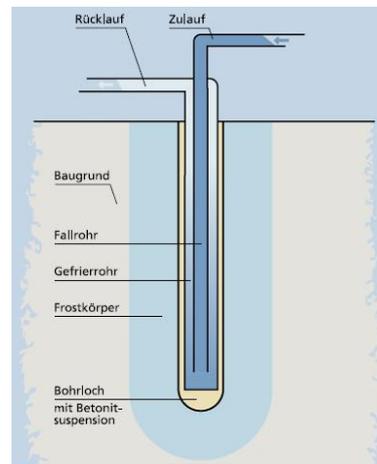


**Bild 2:** Bohrköpfe für gesteuerte Bohrungen bei der Baumaßnahme Wehrhahn-Linie, Düsseldorf

Für Bohrlängen  $>40$  m ist es erforderlich gesteuerte Bohrungen auszuführen. Die Steuerung des Bohrverlaufs erfolgt über die Bohrkrone (Bild 2). Diese besitzt eine schräg angeordnete Platte im vorderen Bereich. Die Krone ist definiert drehbar, sodass über die Ausrichtung der Bohrkrone entgegen der gewünschten Bohrrichtung die vorgegebene Richtung erreicht wird. Gleichmäßige Rotation der Krone bewirkt gerade Bohrungen.

Der Bohrkopf ist mit den entsprechenden Werkzeugen bestückt, sodass der Baugrund verdrängt und gelöst wird. Der Transport des Bohrkleins erfolgt über die Bohrspülung zu der Auswurflocke des Bohrgerätes. Während des Bohrvorgangs wird ständig die Lage des Bohrkopfs vermessen. Hierzu wird eine hinter dem Bohrkopf befindliche Magnetfeld- oder Kreiselkompasssonde eingesetzt, die per Kabel mit dem Steuerstand verbunden ist. Mit dem Bohrverfahren ist eine Bohrgenauigkeit von  $\pm 20$  cm Abweichung möglich.

Der Ausbau der oben geschriebenen eingebauten Rohre zu einem funktionsfähigen Gefrierrohre vollzieht sich durch die Montage eines Gefrierkopfes und einem sogenannten Speise- oder auch Fallrohr (Bild 3). Durch das Fallrohr gelangt der Kälteträger in dem Gefrierrohr zum Rohrtiefsten und strömt im Ringspalt unter Aufnahme von Wärmeenergie aus.



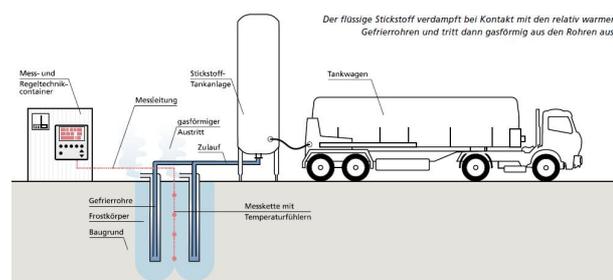
**Bild 3:** Schematische Darstellung eines Gefrierrohres

## 2.1 Gefrierverfahren mit flüssigem Stickstoff

Für Bodengefriermaßnahmen werden unterschiedliche Kälteträger eingesetzt.

Mit der Temperatur des flüssigen Stickstoffs von  $-196\text{ °C}$  und der großen frei werdenden Verdampfungsenthalpie (latente Wärme) steht mit diesem Medium ein sehr flexibler Kälteträger mit schneller Frostkörperausbildung zur Verfügung.

Bei der Anwendung von flüssigem Stickstoff tritt das Medium am Ende des Fallrohrs im Gefrierrohr aus und verdampft im Kontakt mit der relativ warmen Gefrierrohrwandung. Stickstoff ist ein ungiftiges Gas, das beim Gefrierprozess wieder in die Atmosphäre entweicht. Durch Änderung des Aggregatzustandes von der Flüssig- in die Gasphase wird dem Umfeld ein wesentlicher Energiebetrag entzogen. Dazu addiert sich die Energie, die das Gas bis zum Austritt aus dem Gefrierrohr durch Wärmeübergang aus der Rohrwandung aufnimmt.



**Bild 4:** Funktionsschema Stickstoffvereisung

Flüssiger Stickstoff wird industriell in Luftverflüssigern hergestellt, mit vakuumisolierten Tankwagen auf die

Baustelle transportiert und in Tankanlagen auf der Baustelle zwischengelagert. Über isolierte Verteilerleitungen mit Dosier- und Magnetventilen erfolgt eine Anbindung der Gefrierrohre (Bild 4). Jedes Gefrierrohr kann individuell mit dem Regelkreis bestehend aus Magnetventil und Stickstoffabgasfühler geregelt werden, wodurch je Gefrierrohr unterschiedlichen Gefrierleistungen gefahren werden können.

Eine Stickstoffgefrieranlage mit standardisierten Tankanlagen und Rohrleitungskomponenten ist in wenigen Tagen einsatzbereit aufgebaut. Als wesentlicher wirtschaftlicher Faktor muss der Verbrauch des flüssigen Stickstoffs bewertet werden.

Wirtschaftlich angewendet wird flüssiger Stickstoff daher in der Regel bei kleinvolumigen Frostkörpern und kurzen Frostkörperhaltezeiten.

## 2.2 Gefrierverfahren mit Sole

Bei dem Solegefrierverfahren durchströmt eine wässrige 30%ige Calciumchloridlösung – der sogenannten Sole – die Gefrierrohre und entzieht damit dem Boden die Wärme. Diese Salzlösung hat einen Gefrierpunkt von  $-55\text{ °C}$  und ist wirtschaftlich pumpbar bis ca.  $-40\text{ °C}$ . Bei tieferen Temperaturen steigen die Viskosität und damit die Druckverluste in den Rohrleitungen sehr stark an.

Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur Stickstoffvereisung ist anzuführen, dass bei der Solevereisung der Kälte Träger in einem geschlossenen Rohrleitungssystem umgepumpt und nicht verbraucht wird.

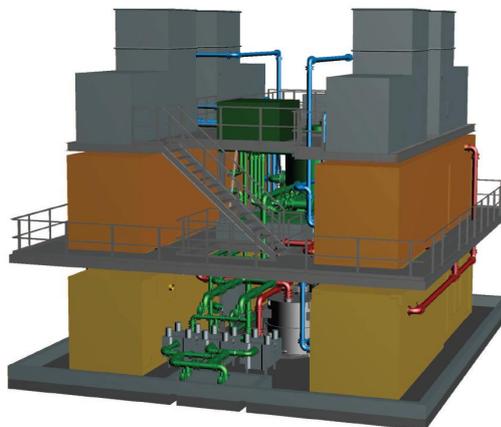
Die Erzeugung der Kälte erfolgt in vor Ort installierten Kälteaggregaten und Rückkühlwerken.

Als Kälteanlagen stehen vorkonfektionierte Containeranlagen mit Kälteleistungen von 80 bis 300 kW zur Verfügung. Werden größer Leistungen benötigt müssen Einzelaggregat zu einer Gesamtanlage zusammengeslossen werden (Bild 5).

Die Auslegung der Gefrieranlage mit der benötigten und zu installierenden Kälteleistung basiert auf der thermischen Berechnung. In einem FE-Programm werden die Frostausbreitungen und die Wärmeströme im Boden ermittelt.

Die Installation für eine Solevereisung mit der dazugehörigen Anlagentechnik (Gefrieraggregat, Kühlturm, Solepumpen, Rohrleitungssystem mit Vor- und Rücklauf, Trafostation) ist im Vergleich zu einer Stickstoffvereisung wesentlich aufwändiger. Betriebskosten für Strom und Anlagenmieten (Gefrieraggregat, Kühlturm, Solepumpen) sind die Kenngrößen, die bei großvolumigen Frostkörpern und länger andauernden Vereis-

ungsmaßnahmen jedoch wirtschaftliche Vorteile der Sole- gegenüber der Stickstoffvereisung ergeben.



**Bild 5:** Solegefrieranlage mit vier Gefrieranlagen, installierte Leistung 1.200 kW

## 3 Auslegungskriterien

Die detaillierte Vorplanung einer Bodengefriermaßnahme ist für die erfolgreiche Ausführung unabdingbar. Zunächst sind für die Gefrier Aufgabe die möglichen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Bohrgeometrien zu finden unter Berücksichtigung der Bauabfolgen und temporären Bauzwischenzuständen. Muss z. B. eine abdichtende Vereisung bis zur Auftriebssicherheit des Bauwerks aufrechterhalten werden, sind eventuell notwendige Durchdringungen des Bauwerkes vorzuzusehen und Rohrleitungsinstallationen anzupassen. Die im Ausgangszustand gewählte Bohrgeometrie ist somit mit der entsprechenden Vorausschau zu planen.

### 3.1 Thermische Bemessungen

Für die thermischen Berechnungen zur Frostausbreitung stehen in der Regel Daten aus dem geologischen Gutachten wie z. B. Bodentemperatur, Wassergehalt, Bodenarten, Grundwasserstände und Grundwasserfließgeschwindigkeiten zur Verfügung. Kenngrößen wie Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazität können aus Erfahrung abgeschätzt oder aus Nahrungsformeln abgeleitet werden.

Externe Wärmequellen wie z. B. angrenzende Gewässer, Grundwasserströmungen, Rohrleitungen, Kellerräume und Wasserhaltungen innerhalb einer Baugrube müssen ebenfalls in die thermischen Berechnungen eingehen, um deren Einflüsse auf die Aufgefrierzeiten und die notwendige Unterhaltungsleistung für den Frostkörper abschätzen zu können.

Als Ergebnis der thermischen Betrachtungen werden Kenngrößen zu den Aufgefrierzeiten in Abhängigkeit von den gewählten Gefrierrohrabständen und für den



Aufgefrier- und den Haltemodus die notwendigen Stickstoffmengen bzw. die zu installierende Kälteleistung bei der Solevereisung ermittelt.

FE-Berechnungen liefern zudem Isothermendarstellungen, aus denen die Mitteltemperaturen des Frostkörpers ermittelt werden könnten. Erfahrungen aus abgeschlossenen Projekten haben eine gute Übereinstimmung von Berechnung und praktischer Ausführung gezeigt.

Frostempfindliche Böden neigen durch das Gefrieren zu Frosthebungen. Anhand der Sieblinien, des Wassergehaltes und der Grundwasserstände kann dieses abgeschätzt werden. Mit dem Auftauen des Frostkörpers treten Tausetzungen auf, die den Betrag der Hebungen übersteigen können. In einigen wenigen Fällen kann die Hebungseignung des Bodens ein Ausschlusskriterium für das Gefrierverfahren sein. Ansonsten ist das Gefrierverfahren in allen Bodenarten auch in stark geschichteten Böden anwendbar.

### 3.2 Statische Bemessungen

Für die statische Bemessung ist fundiertes Wissen zu dem Verhalten von gefrorenem Boden notwendig. Kenngrößen von unterschiedlichen Bodenarten zu Druckfestigkeiten in Abhängigkeit der mittleren Frostkörpertemperatur sind in der Literatur oder aus Laborversuchung zu ermitteln.

Gefrorener Boden unterliegt bei Druck- oder Zugspannungen einem Kriechen, so dass auch die zeitliche Komponente bei der Bemessung Beachtung finden muss.

## 4 Anwendungsbeispiele

### 4.1 Querschläge

Bei Tunnelbaumaßen ist es bei zweiröhriger Bauweise vorgeschrieben im Abstand von max. 500 m Verbindungen zur Nachbarröhre zu schaffen. Dazu werden aus den aufgefahrenen Tunnelröhren Verbindungstunnel, sogenannte Querschläge, erstellt. Diese werden bei maschinell in tübbingbauweise aufgefahrenen Tunnelröhren in wasserführenden, nicht standfesten Böden in bergmännischer Bauweise im Schutze einer Vereisung ausgeführt.

Dazu werden aus einer Tunnelröhre meist nahezu horizontale Gefrierrohre bis zur gegenüberliegenden Tunnelröhre gebohrt (Bild 6). Durch die kreisförmige Anordnung der Gefrierrohre und dem erzeugten Frostkörper wird der zu erstellende Verbindungstunnel umhüllt und wasserdicht an die beiden Tunnelröhren angeschlossen. Für den nachfolgenden bergmännischen Vortrieb steht ein Erd- und Wasserdruck bemessener Frostkörper als Sicherung an. Diese Verfahrensweise ist

mittlerweile ein Standardverfahren, dass bei Straßen- und Eisenbahntunnel international ausgeschrieben wird.



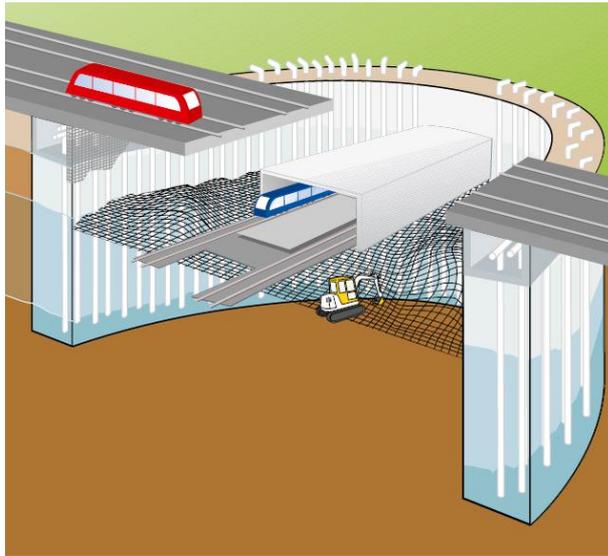
**Bild 6:** Querschlagsvereisung Finnetunnel; Neubau-  
strecke Erfurt-Halle/Leipzig

### 4.2 Baugrubenumschließung

Bei Baugrubenumschließungen mit Spundwänden, Schlitzwänden oder auch Bohrpfählen müssen oftmals bestehende Kanäle, Leitungen oder auch Tunnel in die Umschließung mit eingebunden werden. Liegen diese Durchdringungen unterhalb des Grundwasserspiegels, muss nach einem ergänzenden Abdichtungssystem gesucht werden, das eine zuverlässige wasserdichte Anbindung bietet. Mit einer Bodenvereisung kann dies zuverlässig erreicht werden.

Als Beispiel ist die Erweiterung der Metrostation „Centraalstation – Rotterdam“ Hauptbahnhof angeführt, die unter Betreib zu realisieren war. Dazu wurden rund um den Bestand Schlitzwände bis in eine Tiefe von 38 m eingebracht. Im Durchdringungsbereich des vorhandenen Metrotunnels erfolgte der Lückenschluss der Baugrubenumschließung mit Hilfe der Bodengefrieretechnik (Bild 7).

Unter dem bestehenden Tunnel stehen Wechselschichten aus Sand, Tonen und Sand mit lehmigen Zwischeneinlagerungen an. Die Grundwasserströmung im pleistozänen Sandpaket beträgt max. 4,0 m/d, welches eine Kombination aus Stickstoff- und Solegefrierverfahren erforderte. In der Aufgefrierphase wurde zunächst der Frostkörper bei gleichzeitigem Einsatz der Stickstoff- und Solegefrierkreisläufe aufgefroren. Es bildete sich im Boden eine wasserdichte Frostwand gewölbter Form, welche den Erd- und Wasserdruck aufnahm. Während des Aushubs der Baugrube, dem Erstellen der Betonsohlen und Wände wurde der Frostkörper ausschließlich mit der Solevereisung aufrechterhalten. Die Stickstoffvereisungsanlage diente dann betriebsbereit als Backup – System.

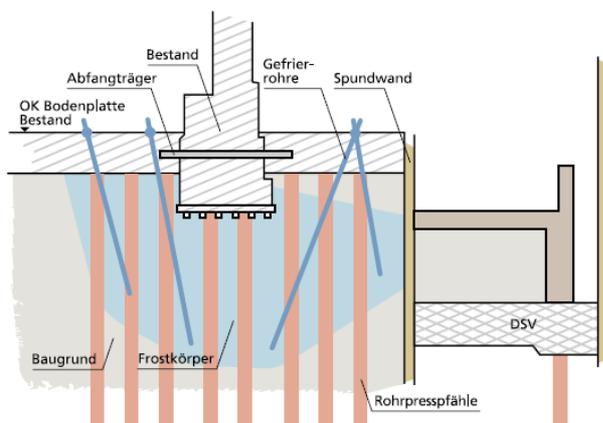


**Bild 7:** Schema „Centraalstation“ Rotterdam Baugrubenumschließung

#### 4.3 Unterfangung

Im Zuge der Sanierung des im klassischen Stil erbauten Neuen Museums auf der Museumsinsel in Berlin wurden das Pergamonmuseum und das Alte Museum restauriert und durch die wiedererrichteten Archäologischen Promenaden an das Neue Museum angebunden. Unterhalb der Promenaden wurden Wartungs- und Installationsgänge gebaut. Dazu musste die Bodenplatte an der südlichen Fassade des Neuen Museums abgebrochen und tiefer gelegt werden.

Unter den Bestandsfundamenten steht ein wenig tragfähiger Baugrund mit aufgefüllten Sanden, Kiessanden und teilweise organischen Böden an. Die Lasten werden mit Rohrpresspfählen in Verbindung mit Steckträgern und Holzpfählen abgetragen bei Grundwasserständen von ca. 1,3 m unterhalb der bestehenden Bodenplatte.



**Bild 8:** Gefrierinstallation zur südlichen Fassade Neues Museum Berlin

Um während der Umbauphase Setzungen durch Umlagerungen an dem historischen Gebäude zu vermeiden,

wurden unterhalb der Fundamente mehrere Frostkörper erstellt, welche die Pfähle umschlossen und die Lasten mittels Mantelreibung weiterleiteten (Bild 8). Ergänzend zu diesen Unterfangungsfrostkörpern wurde in Verbindung mit einer im Abstand von ca. 3,5 m parallel zur Fassade verlaufenden Spundwand eine wasserdichte Baugrube zur Herstellung der neu zu errichtenden und im Grundwasser liegenden Wartungs- und Installationsgänge aufgefroren. Die Vereisungsmaßnahme wurde mit Stickstoff als Kälteüberträger ausgeführt.

#### 5 Resümee

Die Bodengefriertechnik kann für komplexe Bauaufgaben wirtschaftliche und technische ausgereifte Lösungen bieten und ist damit auf dem Weg sich als Standardbauverfahren im Markt behaupten und weiter zu etablieren.

#### Literatur

Bayer, F., Müller, B. (2008): Baupraktische Erfahrungen eines Vortriebs im Schutze eines umhüllenden Frostkörpers am Beispiel des U-Bahnhofs Brandenburger Tor, Berlin, Geomechanik und Tunnelbau 2008 Heft 5; S. 498-503

Müller, B. (2012): Wehrhahn-Linie Düsseldorf, Unterfahrung Kaufhof an der Kö; Baugrundvereisung als Sicherung für den bergmännischen Vortrieb Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2012, S. 162–175

Müller, B.; Orth, W. (2005): Bodenvereisung unter schwierigen Randbedingungen: Bahnsteigerweiterung beim U-Bahnhof Marienplatz, München, Vorträge der STUVA-Tagung 2005 in Leipzig. Hrsg.: Studiengesellschaft für Unterirdische Verkehrsanlagen e.V. -STUVA-, Köln

Orth, W. (2009): Bodenvereisung, in: Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Kapitel 2.5, 7. Auflage (Hrsg. Witt, K. J.), 2009, Ernst & Sohn, Berlin





## Learning Layers

Ludger Deitmer, Joanna Burchert, Pekka Kämäräinen (Universität Bremen, Institut Technik & Bildung)  
Martina Lübbing (Pontydysgu), Melanie Campbell (Bau-ABC Rostrup)  
Virchowstr. 5, 26160 Bad Zwischenahn  
Tel.: 04403-97950, e-Mail: info@bau-abc-rostrup.de

### Zusammenfassung

Das EU-Projekt Learning Layers (2012-2016) setzt sich zum Ziel, digitale Werkzeuge (Tools) zum Lernen und Arbeiten zu entwickeln - und zwar für solche Arbeitsbereiche, in denen Neue Medien noch nicht sehr verbreitet sind, aber sinnvoll eingesetzt werden könnten. Erste Pilot-Felder sind die Bau-Branche vor allem in Norddeutschland sowie der Gesundheitssektor in England. Das Bau-ABC Rostrup ist ein wichtiger Partner in diesem Projekt. Es bringt aktiv Vorschläge zur Entwicklung neuer digitaler Werkzeuge ein, testet diese und setzt sie sukzessive in der überbetrieblichen Ausbildung und Weiterbildung aller im Bau-ABC Rostrup vertretenen Berufe ein. Vor allem sollen die Anwendungen auf mobilen Endgeräten, Smartphones oder Tablet-PC's funktionieren. In Kürze werden auf der Website [www.learning-layers.eu](http://www.learning-layers.eu) auch Informationen zum Projekt in deutscher Sprache bereit stehen.

Als Einzelanwendung oder in der "LearningToolBox" können im Projekt entwickelte Apps zur Erweiterung der individuellen Medienkompetenz und als Bereicherung informellen Lernens beruflich oder privat genutzt werden.

### 1 Reflect

Die Reflect App wurde für Android Smartphones und Tablets entwickelt. Benutzer können diese App nutzen um Eindrücke und Einsichten, die sie beispielsweise durch Meetings oder Veranstaltungen zur Aus- und Weiterbildung gewonnen haben, mit anderen zu teilen oder einfach zur eigenen Nutzung aufzuzeichnen (reflect = reflektieren). Die Idee entstand nach einem Gespräch mit einem Arzt in England innerhalb eines Learning Layers Workshops, die App wurde von Studenten HsKA Karlsruhe mit Beratung durch das Team von Pontydysgu entwickelt. Die zugrundeliegende Idee ist, die eigene Reflektion von neuen Inhalten und Erlebnissen durch verbale Interaktion zu unterstützen. Dies ermöglicht eine freihändige Benutzung der App, z.B. auf dem Weg zwischen zwei Veranstaltungen, Meetings oder Baustellen. Benutzer können vorab selbst Fragen erstellen und diese dann später beantworten. Die gesprochenen Antworten werden durch das System in Text umgewandelt, den man bei Bedarf als Textdatei herunterladen oder per E-Mail versenden kann.

### 2 AchSo!

Die AchSo! App ermöglicht es, kurze Videos zu drehen und zu annotieren, d.h. mit einem erklärenden Kommentar zu versehen. Diese Kommentare können in schriftlicher Form, in Zukunft auch in mündlicher Form oder als Skizze erfolgen. Damit können z.B. Filme über Arbeitsprozesse erstellt und um Feedback oder zusätzliche Informationen ergänzt werden. Solche Videos unterstützen, je nach Anwendungsbereich, die berufliche Orientierung, das Kennenlernen neuer Verfahren oder sinnvoller Praxishinweise, die Selbstreflexion oder den Wissenstransfer in Unternehmen oder Netzwerke.

AchSo! wurde von den Universitäten RWTH Aachen und Aalto (Finnland) entwickelt.

### 3 Captus

Die Captus App dient dazu, Gegenstände mit digitalen Informationen zu verknüpfen. So können z.B. Werkzeuge mit einer digitalen Bedienungsanleitung bereichert werden. Die Verknüpfung erfolgt dabei durch an den Werkzeugen angebrachte QR Codes. Die digitalen Dokumente können durch die Benutzer in der App kommentiert werden oder durch Videos ergänzt werden. Anschließend lässt sich der Katalog der gesammelten digitalen Informationen per E-Mail versenden, um sie später z.B. auszudrucken. Die App kann also gezielt Informationen zu den auf der Baustelle genutzten Maschinen, Materialien oder Arbeitsabläufen zur Verfügung stellen.

Auch auf Fachmessen kann Captus genutzt werden. Der Besucher, Partner oder potenzielle Kunde kann sich zu einem späteren Zeitpunkt die hinter dem gescannten QR Code hinterlegten Informationen auf dem Smart Phone oder Tablet anschauen und weiterverwenden. Die App wurde an der RWTH Aachen erstellt.

### 4 LearningToolBox

Die LearningToolBox unterstützt und bereichert Lernprozesse während der berufspraktischen Ausbildung. Sie funktioniert wie eine Art digitaler Werkzeugkasten und befindet sich noch im Entwicklungsprozess, einige grundlegende Funktionen sind jedoch bereits festgelegt. Oben beschriebene Anwendungen wie "AchSo!", "Reflect" oder "Captus" werden über den Werkzeugkasten auf dem Smartphone oder Tablet übersichtlich und



einfach verständlich integriert. Mit einer Suchfunktion können außerdem per Schlagwort fachlich verfügbare Informationen, Lösungen oder Hinweise auf weitere verfügbare Informationsquellen aufgerufen werden. Der eigene berufliche Hintergrund wird über das eigene Profil definiert und kennzeichnet eigens produzierte Daten automatisch. Das berufliche Profil und der Nutzungsverlauf anderer User werden einbezogen um zusätzliche situativ sinnvolle Informationen und Hilfe zu finden. Quellen können über das öffentliche Internet erreicht werden oder über IBeacons oder Bluetooth am Arbeitsplatz oder in der Bildungsstätte gezielt zur Verfügung stehen. Gibt es eine öffentlich geführte Diskussion von Experten auf dem Praxisforum BauBildung.Net zu einem gesuchten Schlagwort, so ermöglicht ein Hinweis den Zugang zu der entsprechenden Diskussion oder "Community of Practice" (COP).

Mit Hilfe der Learning Toolbox können Texte, Fotos, Videos, Links oder Sprachaufzeichnungen in einer persönlich strukturierten Sammlung oder einem eigenen E-Portfolio gespeichert werden. Diese Sammlungsfunktion ist ein Bereich der in Verbindung mit dem persönlichen Profil des Nutzers auch nach der Ausbildung zum Lebenslangen Lernen genutzt werden kann. Produzierte Mediendaten ermöglichen einen mobilen, beruflichen Erfahrungsaustausch unter Baufachleuten. Die Integrations-App wurde von Pontydysgu und dem ITB Bremen in enger Kooperation mit Lehrwerkmeistern und Auszubildenden des Bau-ABC Rostrup entworfen.

## 5 BauBildung.Net

Die Kommunikations-Plattform "BauBildung.Net" ermöglicht einen Erfahrungsaustausch zu baupraktischem Wissen unabhängig von Lehrplänen, aufwendigen sozialen Netzwerken oder starren Normen und Regelwerken. Benötigtes Wissen oder bauliche Problemstellungen können in Artikeln fachbezogen diskutiert werden und Lösungen gemeinsam entwickelt werden. Der Nutzer selbst schlüpft in die Rolle des Moderators und kann ein Thema initiieren, welches dann von interessierten Experten oder wissenshungrigen Praktikern diskutiert wird. Innerhalb dieser Artikel gibt es vielfältige Möglichkeiten auf Videos, Texte, Fotos oder andere Quellen zu verweisen oder Inhalte in einen persönlichen Tweet zu überführen. Wichtige identifiziert, aufgegriffen, bearbeitet und weiterentwickelt werden.

Diskussionsthemen entstehen immer aus einem gewissen Klärungsbedarf heraus, so dass sich im Forum technologische Entwicklungen abzeichnen und von mehreren Personen reflektiert werden. Aktive "Communities of Practice" (COP's) können entstehen. Berufliche Lernsituationen können durch hier geführte Diskussionen oder Artikel bereichert werden. Die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, die individuelle Wissensaneignung und berufliche Bildung wird informell gefördert. Um einen gemeinsamen Auf-

bau des BauBildung.Net zu ermöglichen, wurden und werden Multi Media Workshops für Baufachleute aus allen Tätigkeitsbereichen zur Steigerung der Medienkompetenz angeboten. Interessenten sind herzlich zur Nutzung dieser offenen Diskussionsplattform unter [www.baubildung.net](http://www.baubildung.net) eingeladen.

## 6 Auswirkungen moderner Kommunikations- und Medientechnologie auf die Bauwirtschaft

Der heutige Stand der Technik erfordert eine generelle Akzeptanz von Informations- und Kommunikationstechnologien in der Bauwirtschaft. Die Einführung dieser Technologien muss auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ermöglicht werden um die Vielfalt und den Innovationscharakter dieser Branche zu erhalten, zu fördern und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

Die Integration dieser Technologien in betriebliche Abläufe und beruflicher Lernprozesse unter Berücksichtigung aller am Bauprozess Beteiligten, inklusive der gewerblich-technischen Fachkräfte auf der Baustelle, stellen eine besondere Herausforderung für die Branche dar. Ohne eine grundlegende Medienkompetenz der Beschäftigten kann die Branche Veränderungen in Arbeitsprozessen aufgrund der bereits bestehenden Komplexität gepaart mit einem hohen Spezialisierungsgrad nicht mehr meistern.

Durch einen verschärften Wettbewerb muss sich die Expertise "Made in Germany" und das weltweit nachweislich nachhaltige Duale System neu positionieren. Spätestens bei der verbindlichen Einführung des "Building Information Modelling" BIM für öffentliche Auftragsvergabe und der Vergabe von Subventionen auf europäischer Ebene im Jahr 2016 wird sich insbesondere der Markt im Bereich Infrastruktur und öffentlicher Gewerbe- sowie Wohnungsbau neu ordnen.

Interessierte Bauunternehmen können die Forschungsergebnisse des EU-Projektes Learning Layers nutzen oder sich während der Projektdauer als Anwender aktiv einbringen.

### Hinweise zum EU-Projekt Learning Layers:

SÄMTLICHE INFORMATIONEN ZUM PROJEKT, DIE VORSTELLUNG ALLER PROJEKTPARTNER INKLUSIVE DER DORT BETRIEBENEN STUDIEN UND FORSCHUNGSTHEMEN FINDEN SIE UNTER [www.learning-layers.eu](http://www.learning-layers.eu)

ALLE OBEN GENANNTEN APPS SIND KOSTENLOS IM ANDROID PLAY STORE VERFÜGBAR:  
<https://play.google.com/store/apps/developer?id=Learning+Layers>



ALLGEMEINE AUSKÜNFTE ZUM PROJEKT ODER EINZELNEN APPS ERTEILT: JOANNA BURCHERT VON DER UNIVERSITÄT BREMEN, [Burchert@uni-bremen.de](mailto:Burchert@uni-bremen.de)

BEI INTERESSE AN MULTIMEDIA WORKSHOPS FÜR BAUFACHLEUTE ODER AM BAUBILDUNG.NET WENDEN SIE SICH BITTE AN DIPL.-ING. MELANIE CAMPBELL AUS DEM BAU-ABC ROSTRUP, [campbell@bau-abc-rostrup.de](mailto:campbell@bau-abc-rostrup.de)





## Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse

Dr.-Ing. Ingo Weidlich und Dr. Heiko Huther  
AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Stresemannallee 30,  
60596 Frankfurt/Main  
Tel.: 069/6304345, e-Mail: [i.weidlich@agfw.de](mailto:i.weidlich@agfw.de), [h.huther@agfw.de](mailto:h.huther@agfw.de)

### Zusammenfassung

Grabenloses Bauen ist für viele Versorgungssparten ein etabliertes und bewährtes Verfahren. Für die leitungsgebundene Wärmeverteilung gilt dies auch weitgehend bei der Verwendung von flexiblen Leitungen und beim Einsatz von Stahlmantelrohrsystemen. Im Gegensatz hierzu gibt es noch offene Fragen beim Einsatz von Kunststoffmantelrohren, dem Fernwärmeleitungstyp der am häufigsten eingesetzt wird. Der nachfolgende Artikel zeigt auf welchen Herausforderungen bei solchen Baumaßnahmen begegnet werden muss.

### 1 Einleitung

Die Energieeffizienzrichtlinie EED, erlassen am 25. Oktober 2012, gibt den EU-Mitgliedstaaten ein Energieeffizienzziel von 20% bis 2020 vor, u.a. durch jährliche Energieeinsparungen in einer Höhe von 1,5 % des jährlichen Energieabsatzes aller Energieverteiler oder Energieeinzelhandelsunternehmen an Endkunden (mit oder ohne Verkehrswesen) für den Zeitraum vom 1. Januar 2014 bis zum 31. Dezember 2020 [EED].

Durch die Verteilung und Nutzung von Abwärme bei der Stromerzeugung in hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) könnte dieses Ziel durch Primärenergieeinsparungen teilweise erreicht werden. Die Energiewende wird deshalb auch durch KWK und Fernwärme gestaltet und die Bundesregierung hat das ambitionierte Ziel ausgegeben, den Anteil der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung von derzeit rd. 15% bis 2020 auf 25% zu erhöhen [KWK Gesetz].

Die dann zusätzlich bereitgestellte Wärme muss über Wärmenetze verteilt werden, welche zur Bewerkstelligung dieser Aufgabe dringend erweitert werden müssen. Nur 13% des Wärmebedarfs wird heute mit der klimaschonenden Fernwärme gedeckt. Dabei muss der Ausbau der Wärmenetze schnell und kostengünstig erfolgen. Die grabenlose Verlegung von Wärmeleitungen kann hierbei einen wichtigen Beitrag leisten.

Im Gegensatz zu der Verlegung im offenen Graben bietet das Verfahren der grabenlosen Verlegung viele Vorteile hinsichtlich der Reduktion von Schadstoff- und Lärmemissionen, Schonung der Oberflächen und manchmal ist es sogar die einzige Möglichkeit eine Trasse zu realisieren. Die grabenlose Verlegung ist für viele Versorgungssparten ein etabliertes und bewährtes Verfahren. Für die leitungsgebundene Wärmeverteilung gilt dies auch weitgehend bei der Verwendung von flexiblen Leitungen und beim Einsatz von Stahlmantelrohrsystemen. Das Kunststoffmantelrohr ist das meist verwendete Rohrsystem in der leitungsgebundenen Wärmeverteilung. Im Gegensatz zu flexiblen Leitungen und dem Stahlmantelrohr gibt es noch offene bautech-

nologische Fragen bei der grabenlosen Verlegung von Kunststoffmantelrohren.

Dieser Artikel behandelt einige Zusammenhänge und Herausforderungen, denen bei solchen Baumaßnahmen begegnet werden muss. Der AGFW führt mit 8 Projektpartnern das Forschungsvorhaben „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes Grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“ durch, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit dem Förderkennzeichen 03ET1063A gefördert wird. In diesem Forschungsvorhaben wird sich der Thematik im Detail angenommen. Hier werden aktuelle Ergebnisse aus dem Vorhaben vorgestellt.

### 2 Technologischer Hintergrund

#### 2.1 Leitungsgebundene Wärmeverteilung

Die leitungsgebundene Wärmeverteilung erfolgt meistens durch eine Vorlauf- und einer Rücklaufleitung. Für die Versorgung müssen demnach zwei Leitungen, oft nebeneinander, verlegt werden. Das Kunststoffmantelrohr besteht aus einem stabilen Mediumrohr aus Stahl, einer Wärmedämmung aus Polyurethan-Schaum und einem Schutzmantelrohr aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD). Das wärmetransportierende Medium ist normaler Weise Wasser, das mit einem Druck von bis zu 25 bar und einer Temperatur von bis zu 140°C zum Verbraucher gepumpt wird.

Die Temperaturänderungen und auch der Innendruck induzieren in das Leitungssystem Spannungen und Dehnungen, die für einen sicheren Betrieb nur in zulässigen Größen eintreten dürfen. Temperaturdehnungen werden bei erdverlegten Wärmeleitungen teilweise durch den umgebenden Boden behindert. Diese behinderten Dehnungen müssen in Form von Spannungen im Rohrsystem aufgenommen werden.

Die Betriebszustände nach der Installation sind maßgebend für die Bemessung von warmgehenden Leitungen. Bei grabenlos verlegten Wärmeleitungen reicht es daher nicht aus, sich nur Gedanken zur Installation zu machen. Auch der Einfluss aus den sich aus der grabenlosen



Installation ergebenden Randbedingungen muss für den sicheren Betrieb berücksichtigt werden.

## 2.2 Reibung an Fernwärmeleitungen

Reibungskräfte zwischen warmgehenden, erdverlegten Fernwärmerohren und dem umgebenden Boden behindern einen Teil der temperaturbedingten Ausdehnung der Leitungen. Hierdurch können Verschiebungen des Leitungssystems signifikant reduziert werden und machen viele Abzweige, Armaturen und Netztopologien möglich, die ohne Bodenreibung unwirtschaftlich groß dimensioniert werden müssten oder eventuell gar nicht rechnerisch nachzuweisen wären. Das Rohr – Bodensystem ist daher eine wesentliche Komponente des Gesamttragsystems und der Reibungskraft am Rohr kommt eine statisch wichtige Bedeutung zu. Der Bereich am Leitungsende, an dem sich Reibungskräfte einstellen, wird Gleitbereich genannt. Im Haftbereich verhält sich die Leitung wie ein eingespannter Stab. Gemäß Gleichung 1 ist die Länge des Gleitbereiches  $l_0$  direkt von der Größe der Reibungskraft abhängig [AGFW FW401].

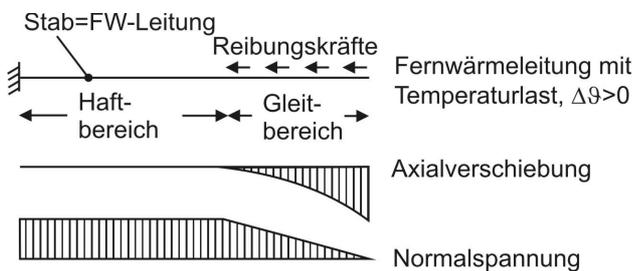
$$l_0 = \frac{\alpha_T * \Delta T * A_s * E}{F_R}$$

**Gleichung 1**

Mit:

- $\alpha_T$ =Ausdehnungskoeffizient von Stahl
- $\Delta T$ =Temperaturinkrement
- $A_s$ =Stahlquerschnitt
- $E$ =Elastizitätsmodul
- $F_R$ =Reibungskraft am Rohrmantel

Kräfte aus den Bogenbereichen und Innendruck werden in Gleichung 1 hier vereinfacht nicht betrachtet. Abbildung 1 stellt den Zusammenhang für eine einseitig eingespannte Fernwärmeleitung idealisiert dar.



**Bild 1:** Axiale Verschiebungen und Normalspannung einer einseitig eingespannten, erdverlegten als Stab idealisierten Fernwärmeleitung

Im Haftbereich muss die Fernwärmeleitung den auftretenden Normalspannungen sicher widerstehen und die Axialverschiebungen im Gleitbereich müssen durch Dehnpolster, Kompensatoren oder durch das System aufgenommen werden. Für eine sichere Bemessung von

Fernwärmeleitungen muss die Reibungskraft folglich so genau wie möglich bekannt sein.

Für Fernwärmeleitungen im offenen Graben darf die maximale Reibungskraft  $F_{R,u}$  gemäß Gleichung 2 nach EN 13941 abgeschätzt werden [DIN EN 13941].

$$F_{R,u} = \mu \left( \frac{1 + K_o}{2} * \sigma_v * \pi * D_c + G - \gamma_B * \pi * \left( \frac{D_c}{2} \right)^2 \right)$$

**Gleichung 2**

Dabei ist

$K_o$ =Koeffizient des Bodenruhedrucks,  $K_o = 1 - \sin \varphi$   
 $G$ =effektives Eigengewicht des mit Wasser gefüllten Rohres

$\sigma_v$ =effektive Bodenspannung in Höhe der Rohrmitte für körnige Böden gilt:

$$\sigma_v = \gamma_b * H_w + \gamma_{BW} * (Z - H_w) \quad \text{für } H_w < Z$$

$$\sigma_v = \gamma_s * Z \quad \text{für } H_w \geq Z$$

$H_w$ =Abstand des Grundwasserspiegels zur Erdoberfläche

$\gamma_b$ =Wichte des erdfeuchten Bodens

$\gamma_{BW}$ =Wichte des Bodens unter Auftrieb

$\gamma_s$ =Wichte des wassergesättigten Bodens

Gleichung 2 gilt für Rohrleitungen im Betrieb, die zuvor im offenen Graben in Sand nach AGFW FW401 [AGFW FW401] oder EN13941 [DIN EN 13941] verlegt wurden.

Bei grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen gelten andere Randbedingungen aus dem Installationsvorgang. Es gilt aber auch hier, dass für eine sichere statische Auslegung der Leitungen für den Betrieb die Schubspannungen am Rohraußenmantel so genau wie möglich bekannt sein müssen.

## 2.3 Reibungsminderung beim grabenlosen Einzug

Sofern Fernwärmeleitungen grabenlos im gesteuerten Horizontalspühlbohrverfahren (HDD-Verfahren) verlegt werden sollen, wird beim Einzug der Leitung die Mantelreibung zwischen Rohr und Bohrlochwandung durch die Bohrspülung im Ringspalt signifikant herabgesetzt. Eine umfangreiche Verfahrensbeschreibung findet sich in [WILLOUGHBY 2005]. Ohne Bohrspülung im Ringspalt wären die Reibungskräfte in vielen Anwendungsfällen so groß, dass bei der Übertragung der Einzugskräfte auf das Rohr Materialversagen des Rohrquerschnitts oder der Anschlusskonstruktion zu erwarten wäre.

## 2.4 Die technologische Herausforderung

Aus dem oben genannten kann festgestellt werden: Das HDD – Verfahren ist auf die Vorteile der Reibungsminderung durch die Bohrspülung angewiesen. Im Gegen-

satz dazu sind die Reibungskräfte nach der Installation für den Betrieb der Fernwärmeleitungen wichtig.

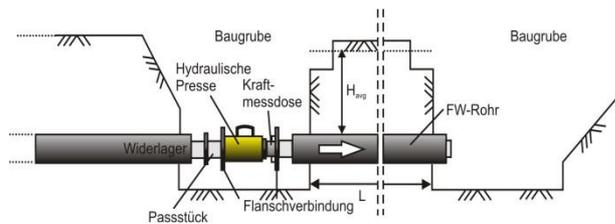
Da bei grabenlosen Projekten mit anderen Leitungsarten der Fokus der Betrachtung allein auf der Installation liegt, kann kaum auf Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung der Reibungskraft zurückgegriffen werden. Insbesondere fehlt es an Grundlagenwissen wenn ein Zeitraum der Gebrauchs- und Betriebsdauer von Fernwärmeleitungen – nach [AGFW FW401] in der Regel 30 Jahre – betrachtet werden soll.

Im o.g. AGFW-Forschungsvorhaben wurde deshalb an grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen im Maßstab 1:1 die Mantelreibung mehrere Monate nach der Installation experimentell ermittelt. Hierzu wurde ein eigens zu diesem Zwecke entwickeltes Vorgehen angewendet.

#### 4 Feldversuche

Um das Tragverhalten von grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen genau untersuchen zu können wurden zehn Leitungen unterschiedlicher Durchmesser unter üblichen Baustellenbedingungen auf einem Feldtestgelände eingezogen. Beim Einzug wurden die Einzugskräfte gemessen, die in einer Größenordnung von 0,2 kN/m bis 0,9 kN/m lagen.

Die im Bohrloch vorherrschende Mantelreibung wurde nach rd. sechs Monaten an zwei Rohrsträngen mit dem Durchmesser DN200/ $D_a=315$ mm durch Feldversuche ermittelt. Hierfür wurde aus je zwei Baugruben heraus je ein Rohrsegment zunächst vom Rohrstrang abgetrennt und nachfolgend mit einer hydraulischen Presse durch den Bohrkanal gepresst. Die hierfür erforderlichen Kräfte und die auftretenden Verschiebungen wurden aufgenommen. Bild 2 zeigt den Versuchsaufbau.



**Bild 2:** Versuchsaufbau

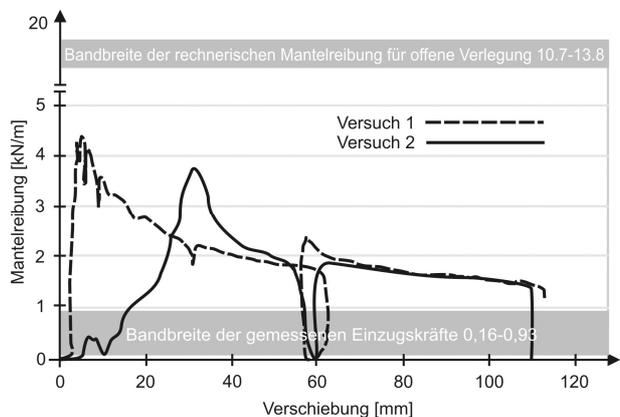
Im Versuch 1 wurde ein Rohrsegment mit einer Länge von  $L=3,72$  m und einer mittleren Überdeckungshöhe von  $H_{avg}=1,8$  m verschoben. Als Bohrspülung wurde bei der Installation ein nacherhärtendes Bentonit verwendet. Im zweiten Versuch wurde ein Rohrsegment mit einer Länge von  $L=3,08$  m und einer mittleren Überdeckungshöhe von  $H_{avg}=2,23$  m verschoben und es wurde bei der Verlegung eine reine Bentonitsuspension ohne Zusätze verwendet.

#### 5 Ergebnisse

In den Versuchen wurden die aufgebrauchte Druckkraft und die Verschiebung gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Im ersten Versuch mit nacherhärtendem Bentonit wurde eine maximale Reibungskraft von 4,33 kN/m gemessen, die nach 5,3 mm erreicht wurde. Nach Erreichen des Maximalwertes wurde eine residuale Reibung von 1,5 kN/m festgestellt. Im zweiten Versuch wurde reines Bentonit für die Bohrspülung verwendet. Trotz höherer Überdeckung lag hier der Maximalwert der Reibungskraft etwas niedriger bei 3,72 kN/m. Zudem wurde der Maximalwert erst bei deutlich mehr Verschiebung von 30,8 mm festgestellt. Die Residualreibung war ungefähr genauso groß, wie im ersten Versuch.

Es ist daher wahrscheinlich, dass die Verwendung eines nacherhärtenden Bentonits zu einer verbesserten Verzahnung mit dem Baugrund führt und die maximalen Reibungskräfte bereits nach wenigen Millimetern voll mobilisiert werden.

Weiterhin ist in Bild 3 die Bandbreite der beobachteten Einzugskräfte und die Bandbreite der zu erwartenden Reibungskraft für den offenen Graben nach Gleichung 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die gemessenen Reibungskräfte in einem Bereich dazwischen befinden. Offensichtlich nehmen die Reibungskräfte nach der grabenlosen Installation, z.B. durch das Schließen des Ringspalts infolge des Erddrucks, zunächst zu. Sie erreichen aber nicht die nach Gleichung 2 zu erwartende Reibungskraft.



**Bild 3:** Kraft – Weg Diagramm der Versuche

#### 6 Zusammenfassung und Ausblick

Für eine zutreffende und sichere Rohrdimensionierung stellt sich besonders bei grabenlos verlegten Kunststoffmantelrohren für die Wärmeverteilung heute die Frage nach den Randbedingungen infolge Installation und den daraus resultierenden zusätzlichen Belastungen im Betrieb. Die am Rohraußenmantel wirkende Reibungskraft ist eine wichtige Bemessungsgröße, die so genau wie möglich bekannt sein sollte.

Die vorgestellten Untersuchungen dienen dem besseren Verständnis der Reibungskraft am Rohraußenmantel grabenlos verlegter Fernwärmerohre. Es konnte festge-



stellt werden, dass bei der Verwendung von Bohrspülungen sich nach der Installation eine Mantelreibung einstellt, die deutlich geringer ist, als die Reibungskraft im offenen Graben bei selber Zieltiefe. Gleichzeitig ist die beobachtete Mantelreibung nach der Installation größer als während des Einzugs.

Die Untersuchungen zeigen, dass noch Forschungsbedarf besteht, um die Reibungskraft am grabenlos verlegten Fernwärmerohr besser zu verstehen. Deshalb sind weitere Versuche dieser Art geplant.

An dieser Stelle sei dem BMWi für die Bewilligung des genannten Forschungsvorhabens gedankt. Über weitere Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben wird fortlaufend berichtet werden.

## Literatur

[EED] - ENERGY EFFICIENCY DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 25 OCTOBER 2012, DIRECTIVE ON ENERGY EFFICIENCY, AMENDING DIRECTIVES 2009/125/EC AND 2010/30/EU AND REPEALING DIRECTIVES 2004/8/EC AND 2006/32/EC, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2012

[KWK GESETZ] GESETZ FÜR DIE ERHALTUNG, DIE MODERNISIERUNG UND DEN AUSBAU DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ) KWKG 2002, AUSFERTIGUNGSDATUM: 19.03.2002

VOLLZITAT: "KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ VOM 19. MÄRZ 2002 (BGBl. I S. 1092), DAS ZULETZT DURCH ARTIKEL 1 DES GESETZES VOM 12. JULI 2012 (BGBl. I S. 1494) GEÄNDERT WORDEN IST" STAND:

ZULETZT GEÄNDERT DURCH ART. 1 G V. 12.7.2012 I 1494 DAS G TRITT GEM. U. NACH MAßGABE D. § 13 ABS. 2 AM 31.12.2010 AUßER KRAFT. § 13 AUFGEH. DURCH ART. 1 NR. 16 G V. 25.10.2008 I 2101; DADURCH IST DIE GELTUNG DIESES G ÜBER DEN 31.12.2010 HINAUS VERLÄNGERT WORDEN. 2012

[AGFW FW401] AGFW-ARBEITSBLATT FW401 – TEIL 1-18 (2007), VERLEGUNG UND STATIK VON KUNSTSTOFFMANTELROHREN (KMR) FÜR FERNWÄRMENETZE- STATISCHE AUSLEGUNG; GRUNDLAGEN DER SPANNUNGSERMITTLUNG -", AGFW | DER ENERGIEEFFIZIENZVERBAND FÜR WÄRME, KÄLTE UND KWK E. V.

[DIN EN 13941] DIN EN 13941 (2010) Berechnung und Verlegung von werkmäßig gedämmten Verbundmantelrohren für Fernwärme, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag Berlin

[WILLOUGHBY 2005] WILLOUGHBY D.A. (2005) „HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING: UTILITY AND PIPELINE APPLICATIONS" DIGITAL ENGINEERING LIBRARY @ MCGRAW-HILL -THE MCGRAW-HILL COMPANIES, INC., 2005



## Vertikale Teufen im Festgestein mit der Schmelzbohrtechnik

Dipl.-Ing. Rolf Bielecki, Ph. D.  
Wissenschaftsstiftung Deutsch-Tschechisches Institut  
Telefon: 040 42883-2439

### Zusammenfassung

Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken. Hier bitte die Zusammenfassung einfügen und auf maximal 10 Zeilen beschränken.

### 1 Einführung

Die Erschließung des unterirdischen Bauraumes durch Teufen im Festgestein stellt eine besondere ingenieurtechnische Aufgabe dar, die in Anbetracht der ihr innewohnenden Komplexität je nach Tiefe nur mit unterschiedlichsten technischen Überlegungen u. a. aus folgenden Fachrichtungen zu lösen ist:

Physik, Chemie, Bau, Geologie, Mechanik, Vermessung, Elektrotechnik, Technische Informatik, Thermodynamik, Hydromechanik und Mikrometeorologie.

bohrlochbohrungen nur der Bohrlochrand, wobei der innere Kern mechanisch zu lösen ist.

Dazu ist der Nachweis zu erbringen, dass die bereits vorhandenen Risse und Klüfte und die durch das Schmelzen entstehenden Risse im Festgestein durch die erzeugte Gesteinsschmelze auf genügend großer Tiefe gegen hohe Drücke vollständig verschlossen werden. Außerdem ist die verglaste Bohrlochwand auf ihr Langzeitverhalten (Alteration) zu überprüfen.

### 2 Unterirdische Hohlraumherstellung mit der Schmelzbohrtechnik

Für das Schmelzbohren sind in den letzten Jahren in Deutschland folgende Patente angemeldet:

- am 3. Juli 2008 von der Firma Dypen aus Košice/Slowakei unter der Nr. 10 2008 031 490 eine Vorrichtung zum Einbringen eines Tiefbohrloches in Gestein mit der Flammenschmelztechnik (Patent erteilt am 26.08.2010),
- am 2. Oktober 2008 von Werner Foppe, D-52511 Geilenkirchen und Prof. Dr. Dr. Franz Josef Rademacher, D-89075 Ulm unter der Nr. 10 2008 049 943 ein Verfahren und die Vorrichtung zum Schmelzbohren mit einer Metallschmelze.

Weitere Patente für das Schmelzbohren unter Einsatz der Flammenschmelztechnik wurden in den letzten Jahren in der Slowakei und in den USA angemeldet.

Zur wasserdichten Ausführung unterirdischer Hohlräume bis in Tiefen > 1.000 m sollte das Festgestein je nach dem Durchmesser des Hohlraumes individuell geschmolzen werden, und zwar nach einer durchgeführten Teilanalyse aus wirtschaftlichen Gründen bei Groß-





### **Wie weit dringt die Gesteinsschmelze in offene Trennflächen in das Gebirge ein und wovon hängt die Eindringtiefe ab?**

Die Eindringtiefe der Schmelze hängt von ihrer Viskosität und der Menge ab, was über den Schmelzvorgang reguliert werden kann.

Die Tiefe der Rissverfüllung kann durch Messverfahren, die nicht materialzerstörend sind, ermittelt werden, beispielsweise durch Schallmessungen, zusätzlich unterstützt durch Bohrungen.

Die Herstellung von dauerhaft wasserdichten Hohlräumen im tiefen Festgestein stellt bisher ein besonderes Problem dar. Hier wird mit der Gesteinsschmelze ein großer Innovationsschritt getan.

### **3. Internationale Versuche mit der Schmelzbohrtechnik**

Schon in den 1970er Jahren wurden in Deutschland und den USA Testversuche mit der Schmelzbohrtechnik durchgeführt. In Los Alamos in Amerika wurde zunächst für die Gesteinsschmelze Metall mit hohem Energieaufwand durch elektrischen Atomstrom zum Glühen gebracht, während in Deutschland die Flammenschmelztechnik vom Triebwerkhersteller MBB bevorzugt wurde.

Für die Auswahl des Standortes einer mit der Schmelzbohrtechnik herzustellenden Schachanlage z. B. für die Abfallbeseitigung ist zusätzlich zu weitreichenden Erkundungsbohrungen ein spezielles Laboratorium zur späteren Steuerung der komplizierten thermodynamischen Prozesse beim Schmelzen der Gesteine einzurichten.

#### **3.1 Deutsche Versuche**

Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden erste deutsche Bohrversuche unter Federführung des Triebwerkherstellers MBB durchgeführt. Sie zeigten überraschende Ergebnisse: Der Abgasstrahl eines Raketentriebwerkes erzeugt Temperaturen um 2.000°C bis 2.500°C. Diese plötzliche extreme Hitzeeinwirkung führt selbst an härtesten Gesteinen zu so hohen Spannungen, dass sie splintern bzw. schmelzen.

In der Realität können damit Bohrgeschwindigkeiten von 30 bis zu 90 Meter pro Stunde erreicht werden. Damit wäre ein „Heißgasbohrer“ aber immer noch mindestens 10mal schneller als mechanische Bohrmaschinen. Schon nach damaligen Überlegungen könnte die Flammenschmelztechnik nach erfolgreicher Forschung auch beim unterirdischen umweltschonenden Bau von Verkehrstunneln sowie von Ver- und Entsorgungsleitungen und zur Verlegung von Pipelines in Hartgestein bzw. gefrorenem Boden sowie durch Großbohrungen zur Ablagerung radioaktiver und toxischer Abfälle in

großen Tiefen (>1.000m) eingesetzt werden. Bisher blieben derartige Überlegungen jedoch aus Gründen der hohen Entwicklungskosten nur eine Vision. Noch befinden sich deutsche Schmelzbohrverfahren im Labor- bzw. Feldversuchsstadium. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auch auf die Forschungsarbeiten des Ingenieurs Werner Foppe, AT-Consult, Geilenkirchen, Deutschland.

#### **3.2 Amerikanische Versuche**

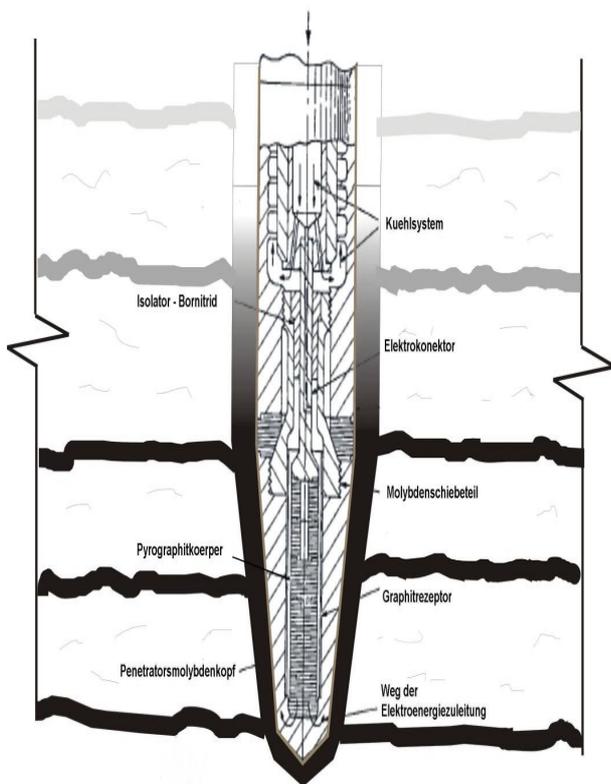
Der Einsatz der Schmelztechnik für das Abteufen von vertikalen Bauten oder für das horizontale Auffahren von Linienbauten kann auf weitere weltweite Testversuche aufbauen. So wurden bereits in den Laboratorien von Los Alamos/New Mexiko in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts unterirdische Vortriebsmaschinen für die Schmelztechnik entwickelt. Diese führten in der Nevada-Wüste Untertagebauten von nicht bekannt gegebener Länge aus. Die gewonnenen Ergebnisse zeigten, dass diese Anlagen eine dreimal höhere Leistung erreichten und die Kosten 40 % niedriger waren als bei bisherigen klassischen Technologietypen. Trotz der angeführten Erfolge in Los Alamos stellten jedoch selbst die Autoren fest, dass diese technologischen Anlagen in bewohnten Gebieten nicht eingesetzt werden können, weil die Wärmeenergiequelle zum Gesteinsschmelzen ein Atomreaktor war, der bei einer eventuellen Havarie das Grundwasser in den Gebieten verseuchen würde, in denen diese Technologie eingesetzt wird. Laut gewonnenen Angaben aus dem Internet schlugen die Autoren selbst die Nutzung eines chemischen exothermischen Prozesses vor, der diese Energiequelle ersetzen sollte.

Die in Los Alamos entwickelten Prototypanlagen arbeiteten beim Bohren auf dem Prinzip der Energiequelle mit Elektrowiderstand, wobei der Schmelzkopf aus Molybdän bestand. Der eigentliche Schmelzkopf wurde dabei mit dem elektrischen Strom auf die Temperatur um 1.800 °C zum Glühen gebracht. Der Schmelzkopf war konusförmig und auf die Kopfmittle wirkte eine Anpresskraft, die den Druck in der zerschmolzenen Gesteinszone bildete. Dieser Druck erzeugte im Gestein Radialrisse und gleichzeitig gelang unter seiner Einwirkung das zerschmolzene Gestein in die gebildeten Risse. Eine schematische Darstellung dieser Anlage ist in der Bild 2 angeführt.

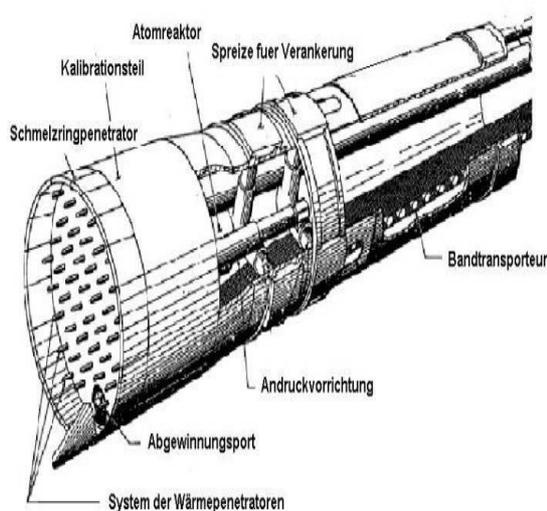
Für den horizontalen Vortrieb arbeitete das Institut für Los Alamos für Untertagebauten bis zum Durchmesser von 12 m. Diese Prototypen arbeiteten auf dem Prinzip des Gesteinsschmelzens mit dem speziellen ringförmigen Schmelzindenter, der bis zu 1.800 °C geglüht wurde und bei dem sich ein Kern wie bei den klassischen geologischen Kernbohrungen bildete. Dieser Kern wurde weiter durch thermodynamische Spannungen zerstört, die durch speziell geglühte nadelförmige Indentoren hervorgerufen wurden. Die schematische Darstellung dieses Prinzips ist in der Bild 3 dargestellt.



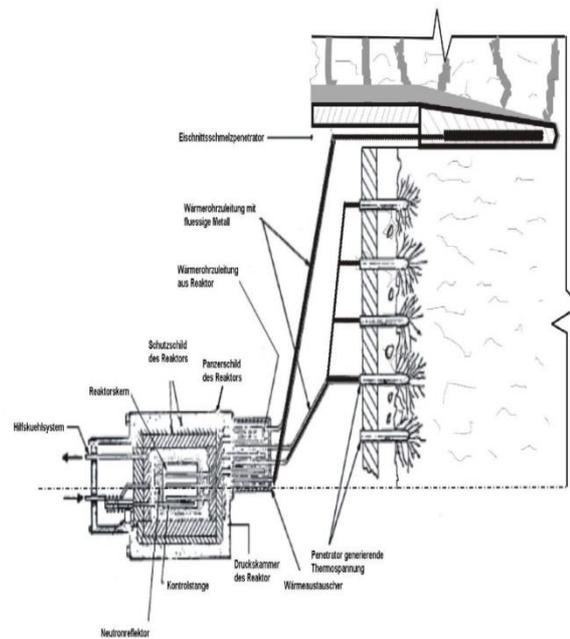
Die Wärmeenergiequelle wurde dabei über den Sekundärkreis des Atomreaktors in die oben erwähnten Indentoren übertragen. Das Medium des Übertragungssystems der Wärmeenergie war flüssiges Metall. Die schematische Darstellung dieser Übertragung ist in der Bild 4 angeführt.



**Bild 2:** Schmelzkopf



**Bild 3:** Prinzip des amerikanischen Bohrkopfes



**Bild 4:** Zuleitung flüssiges Metall am Bohrkopf

### 3.3 Slowakische Versuche

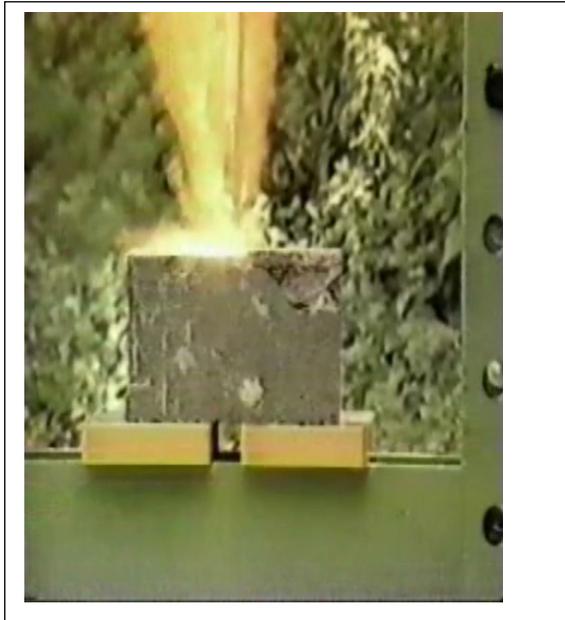
Erste Flammeninjektoren für die Verbrennung eines Gemisches aus Wasserstoff-Sauerstoff-Gasen zur Gesteinsschmelze entstanden mit den Erfahrungen aus Deutschland und den USA unter Mitwirkung deutscher Forscher in den 1990er Jahren in slowakischen Laboren. Sie wurden die Grundlage aller bisherigen Patententwicklungen und Konstruktionsplanungen.

Hierzu wurde zunächst ein Flammeninjektor aus Kobalt hergestellt, auf dessen Oberfläche durch Plasmatechnologie eine 200 Mikrometer dicke keramische Schicht aus Hafniumnitrid aufgetragen wurde. Am Kopfboden hatte der Injektor eine Abflussdüse, über die im stochiometrischen Verhältnis ein Sauerstoff-Wasserstoffgas strömte, wodurch das Gestein bei dessen Verbrennung schmolz. Unter Laborbedingungen gem. Bild 5 entstanden dabei Löcher von ca. 70 mm Durchmesser in verschiedenen Gesteinsblöcken mit den Abmessungen 0,5 x 0,5 x 0,5 Meter.

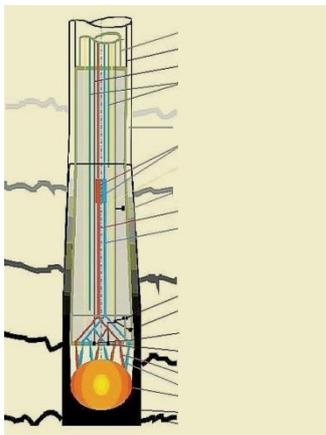
Damit keine Radialrisse infolge des hydraulischen Spaltdruckes entstehen, war es erforderlich, eine neue technische Philosophie des Mechanismus der Bildung von Radialrisen mittels des Spaltdruckes unter dem Kopf des Flammeninjektors zu entwickeln. Dabei war zu sichern, dass die Brennprodukte Wasserdampf vom Bereich unter dem Kopf über die abgeteufte Bohrung in die freie Atmosphäre entweichen können.

Hierfür wurde die Form des Flammeninjektors mit umgekehrtem Konus entworfen, der bei der Technologie in Los Alamos entwickelt wurde. Der neuentworfene und hergestellte Injektor ist in der Bild 6 dargestellt. Durch die angeführte Form des Injektors wurde auch deutlich, dass es nicht notwendig ist, mit einer großen Axialkraft

auf die Achse des Injektorkörpers zu wirken, wie es bei der Los Alamos entwickelten Abteuftechnologie erforderlich war.



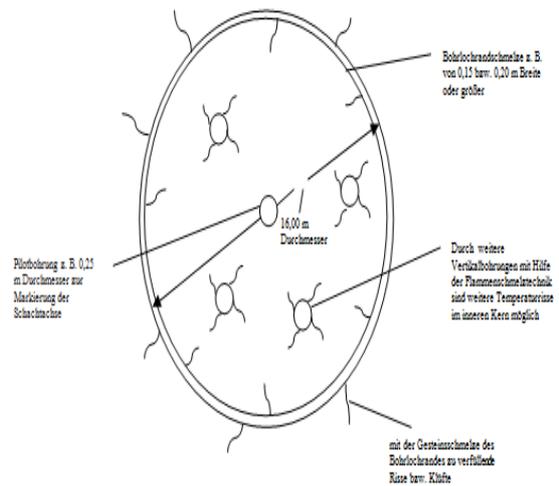
**Bild 5:** Bohrversuche im Labor



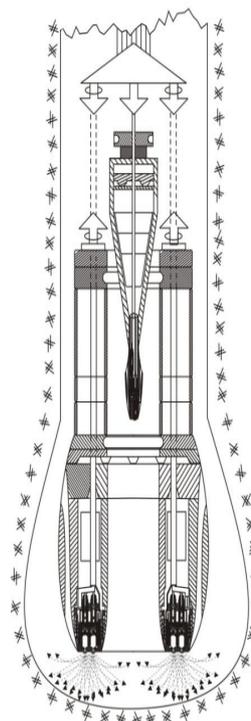
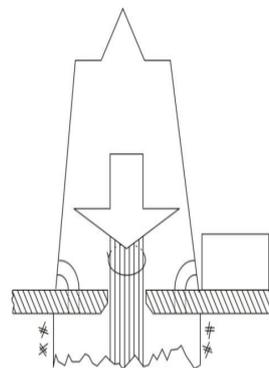
**Bild 6:** Flammeninjektor

Für größere Schacht-Querschnitte sind aus Gründen der Wasserdichtheit und insbesondere der Wirtschaftlichkeit - wie bereits erwähnt - Bohrlochrand-Schmelzungen zu empfehlen.

Für das Lösen des inneren Kernes derartiger Querschnitte können z. B. weitere Vertikalbohrungen gemäß Bild 7 unter Einsatz der Flammenschmelztechnik oder Sprengungen bzw. der Abbau mit einer von den Professoren T. Lazár und F. Sekula et al., TU Košice entworfenen Vortriebsmaschine gemäß Bild 8 unter Anwendung der Flammenschmelz-technik ausgeführt werden.



**Bild 7:** Gesteinsabbau bei größeren Schacht-Querschnitten



**Bild 8:** Prinzip einer Maschine für größere vertikale und horizontale Vortriebe unter Anwendung der Flammenschmelz-technik



#### **4. Notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

Die gemäß Abschnitt 2 am 26.08.2010 patentierte Vorrichtung der Fa. Dypen ermöglicht mit der Flammenschmelztechnik im Festgestein die Herstellung eines Bohrloches von bis zu 60 cm Durchmesser. Mit dieser Vorrichtung können Bohrungen von mehreren 1.000 m Tiefe hergestellt werden, wobei das Gestein des Bohrloches insgesamt geschmolzen wird.

Im Übrigen werden für die noch durchzuführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Großlochbohrungen zunächst für eine in den nächsten 3,5 Jahren herzustellende Machbarkeitsstudie ca. 4 Mio. Euro und für die praxisreife Entwicklung der Schmelzbohrtechnik von Großlochbohrungen in weiteren 15 Jahren ca. 200 Mio. Euro erforderlich.

#### **5. Schlussbetrachtungen**

Die Schmelzbohrtechnik kann nicht nur bei vertikalen Teufen im Festgestein eingesetzt werden, sondern auch bei der Herstellung von horizontalen Linienbauwerken im kristallinen Gestein.

Ein Vorteil der Schmelzbohrtechnik gegenüber dem Abbau z. B. mit Rollenmeißel bei Großbohrlochbohrungen ist darin zu sehen, dass beim Schmelzen z. B. schneller größere Bohrtiefen erzielt werden können und damit der Kern in größeren Abschnitten über mehrere Meter gelöst werden kann. Generelle Vorteile dieser Technik sind die damit verbundene kürzere Bauzeit, Wasserdichtheit und Wirtschaftlichkeit der Ausführung.

Für größere Tiefen wird es notwendig, flüssigen Wasserstoff und Sauerstoff zu verwenden, deren spezifisches Gewicht gegenüber dem gasförmigen Zustand günstiger ist. Damit der mit Hochdruckpumpen zu fördernde Wasserstoff und Sauerstoff im flüssigen Zustand bleibt, ist der Mantel ihrer Zuführungsleitungen zur Temperaturisolierung mit flüssigem Stickstoff von  $-195,8^{\circ}\text{C}$  zu umgeben.

Allen, die sich künftig mit der Schmelzbohrtechnik näher befassen wollen, wünsche ich viel Erfolg und ein herzliches „Glückauf“.

## Wechselwirkungen im Rohr-Boden-System

Prof. Dr.-Ing. Bert Bosseler

IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Exterbruch 1, 45886 Gelsenkirchen  
Tel.: +49 (0)209 17806-0, e-Mail: bosseler@ikt.de

### Zusammenfassung

Unterirdische Kanäle und Leitungen müssen so geplant, gebaut, unterhalten und betrieben werden, dass der bauliche Zustand über die Nutzungsdauer aufrechterhalten wird (vgl. [EN752]). Eine besondere Kompetenz des Planers und bauüberwachenden Ingenieurs liegt darin, das Verhalten des Tragsystems aus Rohrleitung und umgebenden Boden grundsätzlich zu verstehen und ggf. auch den Einfluss des Grundwassers auf die langfristige Bauwerksqualität zu berücksichtigen. Den gängigen Modellvorstellungen liegen meist halbempirische Beschreibungsansätze zugrunde, die insbesondere dann zu hinterfragen sind, wenn innovative Bauverfahren oder -produkte zum Einsatz kommen.

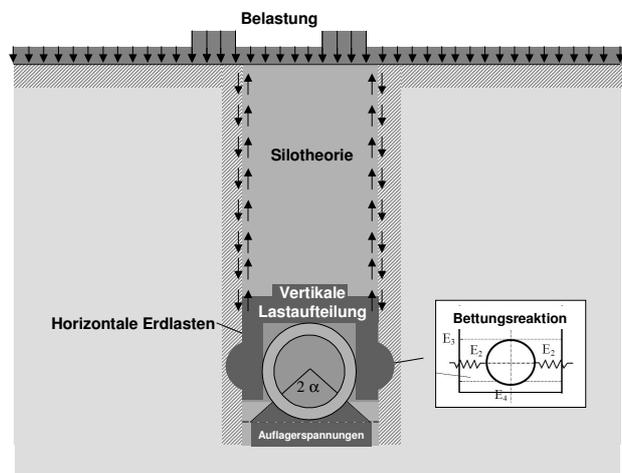
### 1 Offene Bauweise

Die Beschreibung der bautechnischen und statischen Verhältnisse von in offener Bauweise verlegten Rohrleitungen stellt ein komplexes technisches Fachgebiet dar, das Gegenstand umfassender Studien sowie Forschungs- und Normungsarbeiten ist; einen Überblick geben BULSON [Bul85], HORNING [Hor89], MOSER [Mos08] und der Normenüberblick in [EN1295].

Im unterirdischen Leitungsbau der offenen Bauweise wird die Beschreibung des Rohr-Boden-Systems meist auf eine Querschnittsbetrachtung gemäß Abbildung 1 beschränkt. Dies setzt allerdings gleichmäßige Bauteil-, Belastungs- und Bettungsbedingungen in Längsrichtung voraus. Beanspruchungen in Längsrichtung werden entsprechend auch nicht als Standardfall in den allgemeinen Bemessungsverfahren berücksichtigt (vgl. [EN1295]).

Ziel der mathematisch-physikalischen Beschreibung ist es, die verschiedenen Einflüsse auf das statische Tragsystem, wie Rohrdurchmesser, Überdeckungshöhe, Aushubverfahren sowie Einbettungs- und Verfüllbedingungen, in anschaulicher und zuverlässiger Weise zu berücksichtigen. Auch wenn Unterschiede zwischen den zahlreichen international verbreiteten Berechnungsverfahren bestehen (vgl. [Mos08], [EN1295]), so lassen sich die Wechselwirkungen zwischen Rohr, Einbettung, Grabenverfüllung und umgebendem Boden grundsätzlich auf fünf Modellvorstellungen zurückführen (vgl. Abbildung 1):

- **Silotheorie** der Grabenverfüllung,
- **Vertikale Lastaufteilung** über dem Rohrscheitel,
- **Auflagerspannungen** unter der Rohrsohle,
- **Horizontale Erdlasten**,
- **Bettungsreaktion** unter horizontalen Verformungen.



**Bild 1:** Rohr-Boden-System in offener Bauweise, Modellvorstellungen

Diese Modellvorstellungen beschränken sich allein auf die Betrachtung bautechnischer, mechanischer Wirkungen. Wichtige Modellvoraussetzungen sind die Möglichkeit zur Aktivierung von Erddruck sowie durchgängige Kontakt-, Elastizitäts- und Reibungswirkungen, wie sie typischerweise bei granularen Materialien und elastischen, homogenen Rohrwerkstoffen zu erwarten sind.

Weichen die tatsächlichen Systembedingungen oder Fragestellungen von den o.a. Modellvorstellungen ab, sind weitergehende Betrachtungen notwendig. Typische Beispiele betreffen die Auswahl der

**Verfüllstoffe:** Neuartige, z.B. flüssige Verfüllstoffe eröffnen neben bautechnischen Vorteilen auch zusätzliche Optionen für eine gemeinsame Planung von Grünflächen, Regenwasserbewirtschaftung und unterirdischen Kanal- und Leitungsnetzen. Als Auswahlkriterien sind dann auch die Substrateigenschaften, d.h. die Eignung als Pflanzboden oder Wurzelsperre, sowie die hydrologischen Eigenschaften der Verfüllstoffe zu berücksichtigen [DWA08].



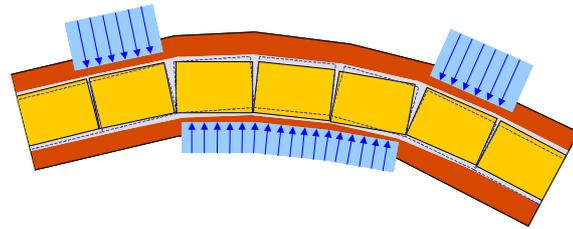
**Rohrwerkstoffe:** Die Leistungsgrenzen von Verbundwerkstoffen, wie z.B. Stahlbeton, können im unterirdischen Kanal- und Leitungsbau nur zuverlässig bewertet werden, wenn auch in der Rohrprüfung die für Rohr-Boden-Interaktionen typischen Spannungsbilder angesetzt werden. So werden Rissgrößen und Rissverteilung in Stahlbetonrohren bei gleicher Anrissspannung wesentlich durch das für die Spannungsverteilung verantwortliche Schnittgrößenverhältnis  $M/N$  geprägt. [IKT04a]

## 2 Geschlossene Bauweise

Eine umfassende Übersicht über Verfahren zum Neubau in geschlossener Bauweise enthalten [Ste03], [EN12889], [DWA-A125]. Letztere Quelle behandelt „den unterirdischen Einbau von vorgefertigten Rohren unterschiedlicher Querschnittsgeometrie, bei dem durch Verdrängen, Rammen, Bohren, Pressen oder sonstigen Abbau ein Hohlraum im Boden geschaffen wird, in den die Rohre eingezogen, eingeschoben oder eingepresst werden, oder bei dem bestehende Kanäle oder Rohrleitungen überfahren bzw. ausgewechselt werden.“ Die Ermittlung der Beanspruchungen und die Bemessung der Rohrleitung erfolgt in der Regel getrennt nach Querschnittsbeanspruchungen am Kreisringmodell und Längskraftbeanspruchungen am Rohrstrang in axialer Richtung nach Arbeitsblatt ATV-A 161 [DWA-A161].

Forschungsergebnisse in [IKT02a], [IKT07] zur Wechselwirkung von Rohr und Boden beim Rohrvortrieb zeigen, dass die elasto-plastischen Eigenschaften der Druckübertragungsmittel insbesondere im Zusammenhang mit Kurvenfahrten und Steuerbewegungen einen weitreichenden Einfluss auf die Form der Spannungsverteilung haben können. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen aus [IKT07], dass auch die Modellvorstellungen zur Rohrstrangkinematik bei Kurvenfahrten und Steuerbewegungen weiterentwickelt werden müssen. Nach SCHERLE [Sch03] war bisher folgende Auffassung weit verbreitet: „Die Rohre brauchen beim Vortrieb in der vom Schild vorgeschrittenen Röhre ihre Führung. [...] die logische Folge ist hier, dass beim Vortrieb in Kurven die Gefahr des Ausknickens am geringsten ist, da die gesamte Rohrstrecke durch die Vorpresskraft an die Außenwand des Ausbruchraumes gedrückt wird.“

Demgegenüber lassen jedoch die im Versuch nach [IKT07] gemessene Bettungsdruckverteilung und die hieraus abgeleiteten qualitativen Kontaktspannungsverteilungen (Abbildung 2) deutlich erkennen, dass die gesamte Rohr-Kurve zwar in den Kurvenanfangs- und -endpunkten an der Kurvenaußenseite gehalten wird. Die im Kurvenverlauf liegenden Rohre erfahren jedoch eine haltende Bettungsreaktion an der Kurveninnenseite.

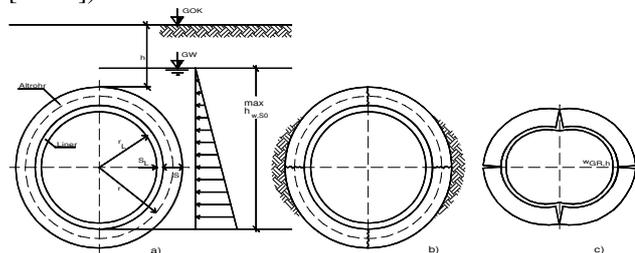


**Bild 2:** Versuchsergebnisse: Qualitative Kontaktspannungsverteilung; aus [IKT07]

Die mittleren Rohre neigen zu einer geradlinigen Ausrichtung, so dass sie sich relativ zum Anfangs- bzw. Endrohr verdrehen. In der Folge ist mit einer unregelmäßigen äußeren Bettung einzelner Rohre und entsprechenden Abwinkelungen und Querkraftbeanspruchungen in den Rohrverbindungen zu rechnen. Diese Ergebnisse gewinnen insbesondere dadurch an Bedeutung, dass eine Gruppierung von Rohren zu kurzen geraden Abschnitten (Stabeffekt) auch von Fachleuten aus der Vortriebspraxis bestätigt wird [IKT07a], [Mil99].

## 3 Instandsetzung

Modelle zur Beschreibung der Rohr-Boden-Systeme für die Instandsetzung von unterirdischen Kanälen und Leitungen in geschlossener Bauweise beschränken sich in der Regel auf den Fall der vollständigen Sanierung bzw. Erneuerung, da der Einsatz von Reparaturverfahren grundsätzlich nur einer vorübergehenden Stabilisierung und Abdichtung lokaler Schäden ohne Nachweis der Standsicherheit dient. Ein maßgeblich von FALTER (vgl. [Fal75], [Fal94]) entwickelter Beschreibungsansatz für Altrohr-Liner-Boden-Systeme für die Sanierung von Freispiegelleitungen, d.h. drucklos betriebene Leitungen, wurde auch in [DWA-M127] eingeführt. Das Verhalten des Systems aus Altrohr und umgebenden Boden wird demnach in drei statisch relevante Lastfälle bzw. (Altrohr-)zustände unterschieden (Abbildung 3, vgl. [Fal94]).



**Bild 3:** Lastfälle des Inliners; Grafik aus [Fal94]  
 a) undichtes Altrohr, allein tragfähig (Zustand I),  
 b) Altrohr-Boden-System tragfähig (Zustand II),  
 c) Altrohr-Boden-System nicht allein tragfähig (Zustand III)



Aussagen über eine mittragende Wirkung des alten Rohres im Zustand III sind bisher kaum zuverlässig möglich. Darüber hinaus beschränkt sich das Modell auf die ebene Betrachtung. Längsbiegeeinflüsse werden nicht berücksichtigt. Untersuchungen in [IKT10] an eingedeten, mittels Lining-Verfahren sanierten Hausanschlussleitungen zeigten jedoch, dass Auftriebseffekte in den Rohrverbindungs-bereichen vor Bögen oder Abzweigen zu besonderen Längsbiegebeanspruchungen führen können. Im Ergebnis besteht ein Zielkonflikt zwischen der angestrebten Verklebung des Liners mit dem Altrohr zur Vermeidung von Umläufigkeiten und der notwendigen Abwinkelbarkeit der Rohrverbindungs-bereiche unter Auftrieb.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die halbempirischen und versuchstechnischen Modelle zur Beschreibung der Wechselwirkungen Boden-Wasser-Bauwerk im unterirdischen Kanal- und Leitungsbau müssen fortlaufend neuen Erkenntnissen und Produktentwicklungen angepasst werden. Den versuchstechnischen Untersuchungen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da nur so auch völlig neue Lösungsräume erschlossen werden können. Im Ergebnis lassen sich dann neue, bisher „unsichtbare“ Phänomene und Wechselwirkungen im Untergrund zuverlässig beschreiben.

#### Literatur

[Bul85] Bulson, P.S.: Buried structures. Chapman and Hall, London, New York, 1985.

[DWA08] DWA: Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle, Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES 3.6 „Baumstandorte, Kanäle und Leitungen“. KA Korrespondenz Abwasser 56, S. 240-243, 03/2009.

[DWA-A125] DWA-A 125: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren. Regelwerk der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Gelbdruck, 02/2007.

[DWA-A127] ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. Regelwerk der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 3. Auflage, 08/2000.

[DWA-A161] ATV-A 161: Statische Berechnung von Vortriebsrohren. Regelwerk der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 01/1990.

[DWA-A161n] DWA-A 161, Entwurf: Statische Berechnung von Vortriebsrohren. Regelwerk der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2. Auflage, Entwurf, 10/2008.

[DWA-M127] ATV-M 127, Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -

leitungen mit Lining- und Montageverfahren. Regelwerk der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 01/2000.

[EIS97] El Shahid, S.: Zur Belastung erdverlegter Rohrleitungen nach dem Ziehen von Verbauprofilen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Technische-wissenschaftliche Berichte des IKT - Institut für Kanalisationstechnik, Bericht 97/5, Gelsenkirchen, 1997.

[EN12889] DIN EN 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Beuth Verlag, Berlin, 03/2000.

[EN1295] DIN EN 1295: Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen. Beuth Verlag, Berlin, 09/1997.

[EN752] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, 04/2008.

[Fal75] Falter, B.: Berechnung freier und einseitig elastisch gebetteter Kreisbögen und -ringe unter Außendruck mit großen Verschiebungen und Verdrehungen. Dissertation, TU Hannover, 1975.

[Fal94] Falter, B.: Praktische Vorgehensweise beim Standsicherheitsnachweis für Linersysteme in Abwasserkanälen. Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau (TIS), 09/1994.

[Hor89] Hornung, K.; Kittel, D.: Statik erdüberdeckter Rohre/Structural analysis of buried pipes. Bauverlag, Wiesbaden Berlin, 1989.

[IKT02a] IKT: Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt, Teil 2. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 03/2002.

[IKT04a] IKT: Stahlbetonrohre in offener Bauweise – Rohrprüfungen unter realitätsnahen Beanspruchungen. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW und die Emschergenossenschaft Essen, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 02/2004.

[IKT07] IKT: Der IKT-Vortriebssimulator - Entwicklung, Bau, Versuche und Ergebnisse. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW und die Emschergenossenschaft Essen, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2005.

[IKT07a] IKT: IKT-Symposium on Pipe-Jacking-Simulation. IKT – eNewsletter Februar 2007, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, <http://www.ikt.de/pipejacking/>, eingesehen am 24.03.2014.

[IKT10] IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner 2010“. Endbericht, gefördert durch das MUNLV NRW, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, 03/2010; download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).

[IKT10a] IKT: Qualitätssicherung beim Rohrvortrieb durch kontinuierliche Fugenvermessung. Endbericht



zum Forschungsvorhaben, gefördert durch die DBU-Deutsche Bundesstiftung Umwelt, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 2010.

[Jan95] Janssen, H. A.: Versuche über Getreidedruck in Silozellen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band XXXIX, Nr. 35, S. 1045-1049, 1895.

[Leo72] Leonhardt, G.: Einfluss der Bettungssteifigkeit auf die Tragfähigkeit und die Verformungen von flexiblen Rohren. Strasse Brücke Tunnel, 03/1972.

[Leo73] Leonhardt, G.: Die Belastung von starren Rohrleitungen unter Dämmen. Dissertation, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Mitteilungsheft 4, TU Hannover, 1973.

[Leo79] Leonhardt, G.: Die Erdlasten bei überschütteten Durchlässen. Bautechnik, 11/1979.

[Mar30] Marston, A.: Iowa Engineering Experiment Station. Bull. no. 96, 1930.

[Mil99] Milligan, G.W.E.; Norris, P.: Pipe-soil interaction during pipe jacking. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, Vol. 137, S. 27-44, 01/1999.

[Mos08] Moser, A.P., Folkman, S.: Buried pipe design. Third edition, McGraw-Hill, 2008.

[Sch03] Scherle, M.; Rößler, U.: Fernseminar Rohrvortrieb. 03/2003, <http://www.maxscherle.com>, eingesehen am 24.03.2014.

[Spa37] Spangler, M.G.: Structural design of flexible pipe culverts. 17th Annual Meeting, Highway Research Board, 1937.

[Spa47] Spangler, M.G.: Underground Conduits – an appraisal of modern Research. ASCE Proc., Paper 2337, 1947.

[Ste03] Stein, D.: Grabenloser Leitungsbau, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2003.

[Ter36] Terzaghi, K.: Stress distribution in dry sand and in saturated sand above a yielding trap door. First International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, 1936.



## Aus- und Weiterbildung in der Deutschen Bauwirtschaft am Beispiel des Brunnenbauers

Dipl.-Ing. Emke Emken, Dipl.-Ing. Kerstin Engraf  
 Bau-ABC Rostrup, BAU-Akademie-Nord, Virchowstraße 5, 26160 Bad Zwischenahn  
 Telefon: 04403 - 97 95 - 0; e-mail: emken@bau-abc-rostrup.de, engraf@bauakademie-nord.de

### Zusammenfassung

Die Qualitätsstandards und Einbautechniken in der Bauwirtschaft werden immer anspruchsvoller. Material-, Geräte- und Maschinenhersteller haben darauf kontinuierlich reagiert. Das Qualifikationsniveau der gewerblichen Mitarbeiter in den Bauunternehmen liegt dazu nicht immer auf einer Ebene. Dabei gibt es in der Deutschen Bauwirtschaft seit über 30 Jahren eine fundierte Erstausbildung in mittlerweile 18 unterschiedlichen Bauberufen, z.B. Brunnenbauer, Spezialtiefbauer oder Rohrleitungsbauer). Parallel hat sich eine differenzierte Aufstiegsfortbildungsstruktur bis hin zum Handwerksmeister bzw. Geprüften Polier (Industriemeister Bautechnik) entwickelt. Am Ende der unterschiedlichen Qualifikationswege steht ein breit ausgebildeter, handlungskompetenter Baustellenprofi, auf dem jeweils aktuellen Stand der Technik. Nur mit diesem Arbeitertypus sind die zukünftigen Bauvorhaben technisch und wirtschaftlich erfolgreich zu bewältigen.

### 1 Struktur der Ausbildung

Die dreijährige Ausbildungszeit wird in zwei Fachstufen gegliedert. Die Fachstufe 1 umfasst das erste und zweite Ausbildungsjahr und kann bereits jetzt mit dem anerkannten Berufsabschluss "Tiefbaufacharbeiter Schwerpunkt Brunnenbauarbeiten" abgeschlossen werden. Die Fachstufe 2 umfasst das dritte Ausbildungsjahr und endet mit dem Spezialfacharbeiterabschluss "Brunnenbauer".

Die Ausbildung wird getragen von den drei Lernorten Ausbildungsbetrieb, Überbetriebliche Ausbildungsstätte und Berufsschule. Die anteilige zeitliche und inhaltliche Gewichtung ist in der Ausbildungsordnung für die Berufe der Bauwirtschaft verbindlich geregelt (Abb. 1). Dabei wird beim Brunnenbauer über eine tiefbauorientierte Grundbildung bereits im ersten Ausbildungsjahr in die brunnenbauspezifische Grundbildung eingestiegen, die dann in der bohrtechnischen, brunnenbauspezifischen Fachbildung im zweiten und dritten Ausbildungsjahr optimiert wird.

### 2 Zielsetzung der Ausbildung

Umfassendes Ziel der Ausbildung ist es, den Auszubildenden zur Ausübung einer qualifizierten beruflichen Baustellentätigkeit zu befähigen. Der ausgebildete Brunnenbauer soll die ihm übertragenen Arbeitsaufträge

- selbstständig planen,
- selbstständig durchführen,
- selbstständig kontrollieren, können.

Was im Einzelnen darunter zu verstehen ist beschreibt der Ausbildungsrahmenplan in der Ausbildungsordnung in Form von Lernzielen (Abb. 2).

Diese Auffassung über die Berufsbefähigung oder auch Handlungskompetenz soll vor allem zum Ausdruck bringen, dass der ausgebildete Brunnenbauer eigenständige Entscheidungen, beispielsweise zum Ablauf seiner

Arbeit auf der Baustelle, zur Qualitätssicherung der durchgeführten Arbeiten oder zur Arbeitssicherheit und zum Umweltschutz fachkompetent treffen kann. Vor allem darin unterscheidet sich der ausgebildete Brunnenbauer von einem angelernten (sprich: ungelerten) Mitarbeiter.

	4 Wochen	
Überbetriebliche Ausbildung	48 Wochen	3. Ausbildungsjahr
Spezialausbildung in Betrieb und Berufsschule	13 Wochen	
Überbetriebliche Ausbildung	39 Wochen	2. Ausbildungsjahr
Fachausbildung in Betrieb und Berufsschule	32 Wochen Betrieb und Berufsschule	
Grundbildung in Theorie und Praxis	20 Wochen überbetriebliche Ausbildung	1. Ausbildungsjahr

Hauptschulabschluss + Ausbildungsabschluss = Sek I (Realschul-) Abschluss !  
 Abschlussprüfung: Brunnenbauer

Abschlussprüfung: Tiefbau-Facharbeiter Schwerpunkt Brunnenbauarbeiten

Abb. 1: Zeitliche Gewichtung der Ausbildungsjahre

Die Ausbildungsordnung schreibt vor, dass diese Befähigung sowohl in der Zwischenprüfung als auch in der Abschlussprüfung nachzuweisen ist.

### 3 Überbetriebliche Ausbildung

Der zeitliche Rahmen der überbetrieblichen Ausbildung in Ausbildungsstätten der Bauwirtschaft beträgt im

<p><b>Ausbildungsrahmenplan Brunnenbauer</b></p> <p>Aufbau und Organisation des Ausbildungsbetriebes                  Sicherheit und Gesundheitsschutz, Umweltschutz                  Auftragsübernahme, Leistungserfassung, Arbeitsplan, Ablaufplan                  Einrichten, Sichern und Räumen von Baustellen                  Prüfen, Lagern und Auswählen von Bau- und Bauhilfsstoffen                  Lesen und Anwenden von Zeichnungen, Anfertigen von Skizzen                  Durchführen von Messungen                  Herstellen von Baugruben und Gräben, Verbauen und Wasserhaltung                  Einbauen und Anschließen von Ver- und Entsorgungssystemen                  Bearbeiten von Metallen und Kunststoffen                  Bedienen und Instandhalten von Geräten, Anlagen und Maschinen                  Herstellen von vertikalen und horizontalen Bohrungen                  Ausbau von Bohrungen zu Brunnen                  Herstellen von Abschlussbauwerken                  Installieren von Wasserförderungs- und Wasseraufbereitungsanlagen                  Instandhalten und Sanieren von Brunnen                  Qualitätssichernde Maßnahmen und Berichtswesen</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abb. 2: Auszüge aus dem Ausbildungsrahmenplan



ersten Ausbildungsjahr 20 Wochen, im zweiten Ausbildungsjahr 13 Wochen und im dritten Ausbildungsjahr 4 Wochen (Abb. 1).

Die Baustellenarbeit unterliegt bekanntlich einem starken Termin- und Leistungsdruck bei höchsten Qualitätsanforderungen. Deshalb richtet sich der Ablauf der betrieblichen Ausbildung nach den vorliegenden Aufträgen und nicht nach dem sachlogischen Aufbau des Ausbildungsrahmenplans der Ausbildungsordnung (Abb. 2). Dies erschwert eine nach lernmethodischen Gesichtspunkten ausgerichtete Ausbildung auf der Baustelle. Ein anerkanntes Qualitätsmerkmal der Berufsausbildung in der Bauwirtschaft liegt deshalb in der Unterstützung der betrieblichen Ausbildung durch überbetriebliche Ausbildungsstätten.

Die Formulierung der Inhalte der überbetrieblichen Ausbildung ist in der Ausbildungsordnung bewusst flexibel gehalten. So ist es möglich, auf die spezifischen Ansprüche des Ausbildungsberufes, auf die Bedeutung einzelner Ausbildungsjahre für die Gesamtausbildung, die regionalen Gegebenheiten, die betrieblichen Voraussetzungen und die Vorqualifikation eines Auszubildenden besonders gut einzugehen.

So ist gewährleistet, dass jeder Brunnenbauer nach Abschluss seiner Ausbildung über ein weites Fertigkeitsspektrum verfügt, das auch die Tätigkeiten umfasst, die ein Ausbildungsbetrieb aufgrund der räumlichen bzw. geräte- und verfahrenstechnischen Ausrichtung nicht umfassend vermitteln kann.

#### 4 Vermittlung von Handlungskompetenz in der überbetrieblichen Ausbildung

Überbetriebliche Ausbildung wird in den Ausbildungszentren der Bauwirtschaft auf der Grundlage eines handlungsorientierten Vermittlungskonzeptes vermittelt. Am Ende der Ausbildung soll ein handlungskompetenter Straßenbauer auf der Baustelle stehen, der seinen Stundenlohn erwirtschaftet.

Die baustellenbezogenen Aufträge der überbetrieblichen Ausbildungsprojekte verlangen von den Auszubildenden aktives Lernen und baustellenorientiertes Mitdenken und Handeln.

Dazu gehören das Erlernen einer systematischen persönlichen Arbeitsvorbereitung, das fachgerechte Abarbeiten des Auftrags, sowie eine begleitende und abschließende Qualitätssicherung (Abb. 3).

Dieser hohe Ausbildungsanspruch verlangt von den Ausbildungsbetrieben, der überbetrieblichen Ausbildungsstätte und der Berufsschule ein hohes Maß an Transparenz und Kommunikation über den jeweils aktuellen Ausbildungsstand des Auszubildenden.

Im Rahmen einer Lernortkooperation müssen die Ausbildungspartner den zukünftigen Brunnenbauer mittels gemeinsam entwickelter Lehr- und Lernkonzeption in Richtung "handlungskompetenter Brunnenbauer" führen.

Aber auch vom zukünftigen Brunnenbauer wird einiges erwartet. Eigenverantwortliches Handeln in den praxis-

nahen Ausbildungssituationen ist gefragt. Projektaufträge sind selbstständig und/oder in der Gruppe abzuarbeiten.

Fachthemen müssen selbstständig mittels Fach- und Tabellenbüchern oder auch der Recherche im Internet aufgearbeitet werden. Der Umgang mit der neuesten Technik und die kritische Beurteilung der eigenen Leistung stehen im Vordergrund. Der systematische Nach-



Abb. 3: Vermittlungsstruktur in der überbetrieblichen Ausbildung

weis einer qualitätssichernden und abrechnungsrelevanten Projektdokumentation wird bereits von den Auszubildenden permanent gefordert.

#### 5 Zusatzqualifikationen

Zur Optimierung der Brunnenbauerausbildung bietet sich die Nutzung von Zusatzqualifizierungen für Aus-

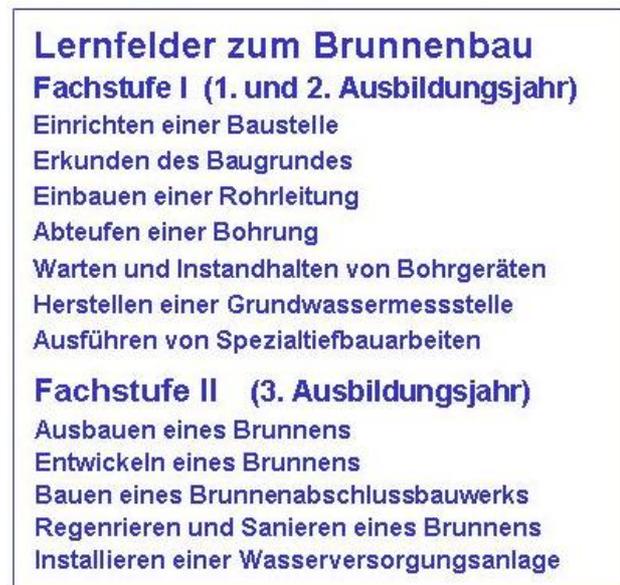


Abb. 4: Lernfelder zum Brunnenbau

zubildende des dritten Ausbildungsjahres an. Als ergänzende überbetriebliche Ausbildungslehrgänge werden für den Brunnenbauer z.B. Schulungen zur Festgesteinsbohrung, Fachkräfteschulung zur horizontalen Spülbohrtechnik nach DVGW Arbeitsblatt GW 329 zum Geräteführer A und/oder B, sowie Sicherheitstrai-



ning für das Arbeiten in Leitungsnähe nach DVGW Hinweis GW 129 im Bau-ABC Rostrup angeboten.

## 6 Berufsschule

Umfang und Inhalt des Berufsschulunterrichts sind in den Rahmenlehrplänen verbindlich geregelt. Die Vermittlung der Fachinhalte erfolgt über Lernfelder. Die Lernfeldgliederung ermöglicht es, den Auszubildenden in handlungsorientierter Form die einzelnen Arbeitsfelder des Brunnenbauers zu vermitteln (Abb. 4).

Alle Kenntnisse und Fertigkeiten werden in baustellen-typischen Projektaufträgen erarbeitet. Es ist davon auszugehen, dass der Auszubildende selbst erarbeitetes und erfahrenes Wissen besser reproduzieren und in die Baustellenpraxis einbringen kann.

Im Vordergrund stehen Lerntechniken, die den zukünftigen Facharbeiter befähigen, Probleme selbst zu lösen, indem er sich Informationen selbst beschafft, diese auswertet und entsprechend anwendet.

In Lernortkooperation zwischen den drei Lernorten müssen die Ausbildungsprojekte im Idealfall übergreifend verzahnt und bearbeitet werden.

## 7 Finanzierung der Ausbildung

Die Deutsche Bauwirtschaft praktiziert seit Einführung der Stufenausbildung im Jahr 1978 ein Umlagesystem zur Finanzierung der Ausbildung. Diese Umlage wird durch die Sozialkasse der Bauwirtschaft, der SOKA-BAU, verwaltet. Alle der SOKA-BAU angeschlossenen Bauunternehmen erhalten für jeden Auszubildenden im ersten Ausbildungsjahr zehn Ausbildungsvergütungen plus 20% Sozialabgabenpauschale; im zweiten Ausbildungsjahr sechs Ausbildungsvergütungen plus 20% Sozialabgabenpauschale und im dritten Ausbildungsjahr eine Ausbildungsvergütung plus 20% Sozialabgabenpauschale zurück erstattet.

Die Kosten der überbetrieblichen Ausbildung, Unterkunft und Verpflegung, sowie die Fahrtkosten der Auszubildenden werden ebenfalls durch die SOKA-BAU aus der Umlage erstattet.

Bei entsprechender Produktivität eines Auszubildenden ist die Ausbildung in der Bauwirtschaft also nahezu kostenneutral und ein interessantes Instrument zur gezielten Personalentwicklung.

## 8 Aufstiegsfortbildung

Aufbauend auf die Erstausbildung verfügt die Deutsche Bauwirtschaft seit langem über eine feste tarifvertraglich geregelte Aufstiegsfortbildungsstruktur mit Qualifizierungen zum Vorarbeiter, Werkpolier, Handwerksmeister/Brunnenbauermeister und Geprüfter Polier Tiefbau.

Die Karriereleiter wird ergänzt durch Duale Studiengänge im Praxisverbund, einer Kombination aus Erstausbildung z.B. zum Brunnenbauer und Bauingeni-

erstudium zum Bachelor of Engineering (Abb. 5). Den Mitarbeitern werden damit auch nach der Berufsausbildung attraktive Karrieremöglichkeiten im Brunnenbau geboten.

## 9 Vorarbeiter - Werkpolier - Geprüfter Polier Tiefbau

Die Neuordnung der Aufstiegsfortbildung über die drei Stufen Vorarbeiter - Werkpolier - Geprüfter Polier Tiefbau ist zum 1. Juli 2012 in Kraft getreten. Bildungsexperten der Sozialpartner (Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, IG BAU) haben die Aufstiegsfortbildung mit diesen drei Stufen neu konzipiert. Die Prüfungsordnungen sind jetzt bundeseinheitlich geregelt (Abb. 6).

Neu im System der Aufstiegsfortbildung sind die Strukturen der Prüfungsordnung, die veränderten Zulas-

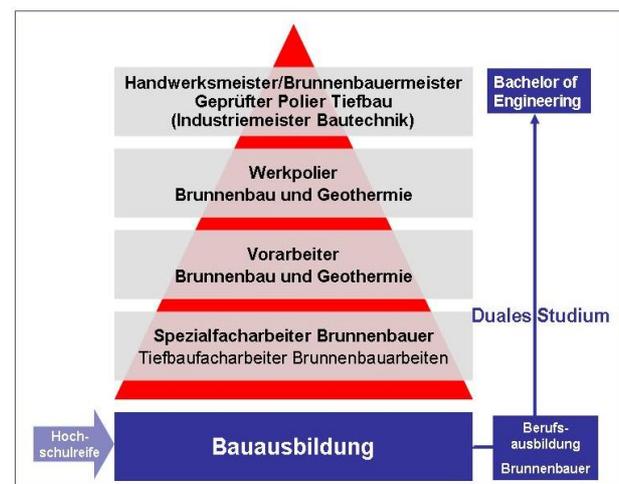


Abb. 5: Aufstiegsstruktur in der Bauwirtschaft

sungsvoraussetzungen (unter anderem verbindlich geregelte Praxiszeiten) und die Prüfungsformen.

Die Neuordnung der Aufstiegsfortbildung spiegelt die veränderten Anforderungen der Berufs- und Arbeitswelt



in der Bauwirtschaft wieder, die sich aus deutlich gestiegenen Anforderungen an die Schnittstellenkompetenz der Fachkräfte im mittleren Führungsmanagement für Bauprojekte ergeben. Diese Veränderungen fordern zunehmend, selbstständig und eigenverantwortlich komplexe Aufgabenstellungen praktisch umzusetzen. Dieser Anforderung trägt die neue Aufstiegsbildung unter anderem mit dem Konzept des handlungsorientierten Lernens Rechnung. Das Weiterbildungskonzept in den Spezialisierungsbereichen Brunnenbau und neu im Bereich Geothermie sieht aufbauende Stufen bei der Vermittlung der Lernstoffinhalte vor. Dadurch werden inhaltliche Wiederholungen vermieden und Fortbildungszeiten optimiert. Neben den bautechnischen Inhalten werden bei den höheren Stufen die Baustellenorganisation und der Baubetrieb sowie die zunehmend wichtiger werdende Mitarbeiterführung stärker berücksichtigt. Eine individuelle Schwerpunktsetzung wird durch Wahloptionen im Bereich Brunnenbau oder Geothermie ermöglicht, um für neue Anforderungsprofile im Bereich der Baustellenführung (zum Beispiel in der Baustellenadministration oder in neuen Aufgabengebieten wie der Nachhaltigkeit) offen zu sein. Konkret heißt dies, dass ein Lehrgangsteilnehmer nach einem bereits absolvierten Lehrgang Vorarbeiter oder Werkpolier einer speziellen Fachrichtung durch aufsatteln weiterer verkürzter Vertiefungsinhalte einen zweiten vollwertigen Lehrgangsabschluss erwerben kann. Hierbei finden die fachübergreifenden Themen Anrechnung.

### 10 Brunnenbauermeister

Mit der Novellierung der Handwerksordnung 2004 blieb der Brunnenbau in der Gruppe der zulassungspflichtigen Berufe, so dass für die Selbstständigkeit im Brunnenbau der Meisterbrief verpflichtend ist. Das Bau-ABC Rostrop qualifiziert als bundesweites Bildungszentrum für die Brunnenbauer seit 23 Jahren Brunnenbauermeister. Jährlich werden in den Prüfungsvorbereitungslehrgängen die Fachtheorie und Fachpraxis (Teil 1 und 2) in Kooperation mit der Prüfungsinstanz Handwerkskammer Oldenburg durchgeführt. Schwerpunkt des Vorbereitungslernganges ist die Befähigung nach vorgegebenen Unterlagen Brunnenbau- oder Geothermiebauwerke aller Art ausführen zu können. Die Teilnehmer werden in die Lage versetzt entsprechende Grundlagen für die Planung, den Entwurf und die Berechnung dieser Bauwerke zu erwerben. Der Brunnenbauermeister ist bei der Unternehmenszertifizierung nach DVGW Arbeitsblatt W 120, Teil 1 und 2, als "Verantwortliche Fachaufsicht" oder "Bauleitende Fachkraft" in den höchsten Stufen eingeordnet. Meister und Bachelor sind dem Niveau 6 des Deutschen Qualifikationsrahmens (DQR) zugeordnet.

### 11 Weiterbildung

Eine weitere Qualifizierung stellt die "Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahme und Grundwassermessungen" dar.

Nach 20 Jahren Erfahrung in der Qualifizierung der Gerätebediener kann festgestellt werden, dass dieser Qualifikationsnachweis einen festen Stellenwert in der geotechnischen Erkundung und Untersuchung gefunden hat. Mit der Normenumstellung von der DIN 4021 auf die DIN EN ISO 22475 ist zusätzlich die "Fachkraft Bohrungen für geothermische Zwecke und Einbau von geschlossenen Wärmeüberträger-Systemen (Erdwärmesonden)" entstanden. Dem gewachsenen Schulungsbedarf für Fachkräfte in Bereich Geothermie wurde hiermit Rechnung getragen.

### 12 Zertifizierung von Fachunternehmen nach W 120

Bei der Zertifizierung nach dem DVGW Arbeitsblatt W 120 handelt es sich um ein Qualifikationsnachweisverfahren für Unternehmen in den Bereichen Brunnenbau, Bohrtechnik, Brunnenregenerierung und Geothermie. Das Zertifikat W 120 wird von Auftraggebern und Genehmigungsbehörden für Brunnenbauarbeiten, insbesondere im Bereich von Bohrungen zum Einbau von Erdwärmesonden als Nachweis der Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit gefordert. Im DVGW Arbeitsblatt W 120, Teil 1 und Teil 2, sind die dem Stand der Technik angepassten personellen, fachspezifischen und gerätetechnischen Anforderungen an die Unternehmen festgelegt.

Im August 2012 ist das aktualisierte DVGW Arbeitsblatt W 120, Teil 1 (Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -regenerierung, -

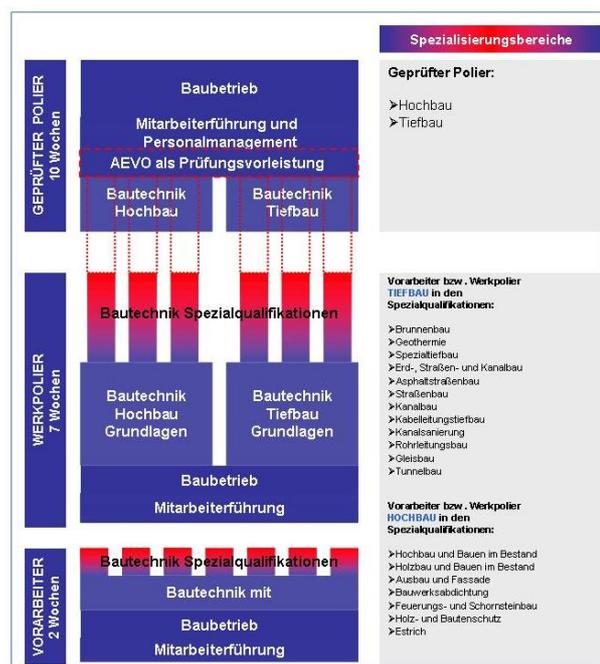


Abb. 6: Aufstiegsfortbildung in der Bauwirtschaft

sanierung und -rückbau), erschienen. Das Arbeitsblatt ist, wie bereits die bisherige Fassung, Grundlage für Zertifizierungen von Unternehmen im Bereich Brunnenbau, die seit 1991 Grundlage für die Auftragsvergabe und Ausführung von Brunnenbauarbeiten ist.

Im Juli 2013 wurde nun auch der neue Teil 2 der W 120 mit den Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik und oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden) veröffentlicht. In beiden Teilen der Regelwerke werden die personellen Anforderungen in drei Gruppen untergliedert:

- Verantwortliche Fachaufsicht
- Bauleitende Fachkraft
- Fachpersonal.

Erstmals werden der Berufsabschluss Brunnenbauer und die Aufstiegsfortbildung als tarifvertragliche Bildungsabschlüsse explizit gefordert.





## Fachgerechte Grundwasser-Probenahme zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit

Monika Schulz  
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz  
Tel.: 0261 13065855, e-Mail: monika.schulz@bafg.de

Bei Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen an Bundeswasserstraßen wird die Grundwasserbeschaffenheit unter verschiedenen Fragestellungen betrachtet. Einerseits können diese rein bautechnischen Aspekte zur Beton- und Stahlaggressivität beinhalten; andererseits werden jedoch oftmals auch umfassendere Untersuchungen vor dem Hintergrund einer wasserwirtschaftlichen Nutzung des Grundwassers (GW) gefordert. Stehen umweltrelevante Ziele im Vordergrund, wie sie sich aus der nationalen und der europäischen Gesetzgebung ableiten lassen, sind gleichfalls breit gefächerte GW-Untersuchungen durchzuführen.

Bei einer bautechnischen Fragestellung wird das GW in der Regel nur ein- bzw. zweimalig beprobt und auf einen relativ kleinen Parameterumfang untersucht. Demgegenüber ist bei wasserwirtschaftlichen oder umweltrelevanten Aspekten fast immer ein Parameter reiches Monitoring erforderlich, welches die GW-Beschaffenheit vor, während und nach einer Baumaßnahme durch zahlreiche Beprobungen beweissichern soll. Dabei wird nach der primären Erhebung des Ist-Zustandes eine Prognose für zu erwartende oder auch auszuschließende Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit erstellt. Mit dem fortlaufenden Monitoring wird die zuvor erstellte Prognose während der Baumaßnahme und auch in der Zeit danach verifiziert.

Die Probenahme aus fachgerecht ausgebauten GW-Messstellen, welche gewährleisten, dass das zu beurteilende GW in Lage und Tiefe erfasst ist, bildet die primäre Grundlage für repräsentative Aussagen zur GW-Beschaffenheit. Die Probenahme sollte nicht als Schöpfprobe aus unverfilterten Bohrlöchern erfolgen, da das so gewonnene Standwasser durch Ausgasungen, durch Oxidationen und gleichzeitig durch den gerade erst beendeten Bohrvorgang verändert oder verunreinigt sein kann.

Für die Probenahme, die Untersuchung und die Bewertung von GW im Hinblick auf seine Beton- und Stahlaggressivität gelten die DIN-Vorschriften DIN 4030-1/-2 und DIN 50929-3.

Das Arbeitsblatt von DWA und DVGW „Grundsätze der Grundwasser-Probenahme aus Grundwassermessstellen“ enthält alle wichtigen Eckpunkte einer qualifizierten GW-Probenahme und kann demzufolge als Ausschreibungsgrundlage empfohlen werden. Andere Vorschriften bzw. Empfehlungen zur Probenahme sind:

- DIN 38402, Teil 13: Probenahme aus Grundwasserleitern
- DVWK-Regeln 128/1992: Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben

- LAWA-Richtlinie: Grundwasserbeschaffenheit
- LAWA-AQS-Merkblatt P-8/2: Probenahme von Grundwasser



**Bild 1:** Geöffnete Grundwasser-Messstelle an einer Bundeswasserstraße

Um eine repräsentative GW-Probe zu gewinnen sind bestimmte Voraussetzungen erforderlich. Generell ist immer das frisch zur Messstelle zufließende GW zu beproben. Daraus folgt, dass das Standwasser der Messstelle vor der eigentlichen Probengewinnung vollständig auszutauschen ist. Die Förderrate beim Abpumpen ist dabei so zu wählen, dass der Grundwasserstand in der Messstelle weitgehend gehalten wird. Damit ist gewährleistet, dass der gesamte verfilterte Bereich der Grundwassermessstelle repräsentativ erfasst wird. Im Besonderen bei der Untersuchung von Gesamtgehalten organischer und anorganischer Schadstoffe, welche hauptsächlich an Feinstpartikel des Bodens gebunden sind, wird durch eine „sanfte“ Beprobung die Mobilisierung der Bodenpartikel minimiert. Ziel ist, das Gleichgewicht zwischen Feststoff- und Wasserphase im Grundwasserleiter während der Probenahme weitestgehend zu erhalten, um so die natürliche Filterwirkung des Bodens nicht herabzusetzen.

Während des Abpumpens sind die Vor-Ort Parameter kontinuierlich oder in definierten Zeitintervallen zu messen. Die Konstanz der Messwerte für die Leitfähig-



keit bzw. für den pH-Wert, den Sauerstoffgehalt, das Redoxpotential und die Temperatur gelten als Indiz für den gewünschten Neuzufluss von Grundwasser aus dem zu beprobenden Grundwasserleiter.

Das Abfüllen und Lagern der Grundwasserproben hat Parameter spezifisch so zu erfolgen, dass Oxidation durch Luftsauerstoff, Ausgasungen oder andere Umsetzungen der Probe (z.B. bakterielle Umsetzungseffekte) auszuschließen sind.

Wenn gelöste Stoffgehalte ohne die partikulär gebundenen Anteile zu untersuchen sind, wird für die anorganischen Parameter eine Druckfiltration über 0,45 µm Membranfilter durchgeführt. Für einige Parameter sind der Probe unmittelbar vor Ort Konservierungskemikalien zuzugeben.

DIN EN ISO 5667-3 definiert die Probengefäße, die fachgerechte Konservierung, die Lagerung und den Transport der Proben sowie die parameterspezifisch einzuhaltenden Zeiten bis zur Analytik. Da für die Bestimmung gewisser Parameter (z.B. Kalk-aggressive Kohlensäure) eine Haltbarkeit der Probe von lediglich 24 Stunden vorgegeben wird, sind die Proben unverzüglich ins Labor zu transportieren.



**Bild 2:** Qualifizierte Grundwasser-Probenahme mittels Unterwassermotorpumpe (U-Pumpe)

Alle Probenahmedaten sind zusammen mit den Angaben zur technischen Durchführung der Probenahme in einem Probenahmeprotokoll zu dokumentieren, so dass die durchgeführte Probennahme auch für unbeteiligte Dritte zu jeder Zeit nachvollzogen werden kann.

Untersuchungen zur Beton- und Stahlaggressivität sind über die einschlägigen DIN-Vorschriften unter gleichzeitiger Beachtung des o.a. DWA-Arbeitsblattes ausführlich beschrieben und können anhand dieser Vorschriften ausgeschrieben und beauftragt werden.

Darüber hinausgehende GW-Untersuchungen sind auf Grundlage der einschlägigen rechtlichen und fachlichen Vorgaben meist projektspezifisch bzgl. des erforderlichen Untersuchungsumfanges und darauf aufbauend im Hinblick auf die praktische Durchführung und die notwendigen Qualitätssicherung zu definieren.

Dazu kann der BfG-Support genutzt werden. Folgende Aufgabenstellungen werden durch die BfG unterstützt:

- Ermittlung und Bewertung des Untersuchungsbedarfs unter Berücksichtigung der Rechtslage
- Erstellung von fallbezogenen Untersuchungskonzepten unter Zugrundelegung der hydrogeologischen Verhältnisse
- Auswahl/Einrichtung von Grundwassermessstelle
- Fachliche Vorgaben für die Grundwasserprobenahme
- Definition der durchzuführenden Analysen
- Aufstellung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Fachliche Begleitung der Probenahme im Gelände
- Plausibilisierung der Probenahmedokumentation und der Analysenberichte
- Hydrogeologische Gesamtbewertung
- Unterstützung bei der fachlichen Diskussion mit Behörden, Wasserwerken und Anderen.

## Literatur

DWA ARBEITSBLATT DWA-A-909 (2011): GRUNDSÄTZE DER GRUNDWASSER-PROBENAHME.

DIN 4030-1 (2008): BEURTEILUNG BETONANGREIFENDER WÄSSER, BÖDEN UND GÄSE - TEIL 1: GRUNDLAGEN UND GRENZWERTE

DIN 4030-2 (2008): BEURTEILUNG BETONANGREIFENDER WÄSSER, BÖDEN UND GÄSE - TEIL 2: ENTNAHME UND ANALYSE VON WASSER- UND BODENPROBEN

DIN 50929-3 (1985): KORROSION DER METALLE; KORROSIONSWAHRSCHEINLICHKEIT METALLISCHER WERKSTOFFE BEI ÄUßERER KORROSIONSBELASTUNG; ROHRLEITUNGEN UND BAUTEILE IN BÖDEN UND WÄSSERN

DIN 38402 TEIL 13 (1985): PROBENAHME AUS GRUNDWASSERLEITERN

DVWK-REGELN 128 (1992): ENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSUMFANG VON GRUNDWASSERPROBEN

LAWA-RICHTLINIE (1993): GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

LAWA-AQS-MERKBLATT P/8/2 (1995): PROBENAHME VON GRUNDWASSER

DIN EN ISO 5667-3 (2004): WASSERBESCHAFFENHEIT - PROBENAHME – TEIL 3: ANLEITUNG ZUR KONSERVIERUNG UND HANDHABUNG VON WASSERPROBEN

## Nutzung von Aufschlussbohrungen für umweltgeologische und hydrogeologische Untersuchungen

Natürliche Stoffgehalte und anthropogene Kontaminationen in Boden und Grundwasser

Dr.-Ing. Heinz J. Theis  
Dr. Willi Laier  
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz  
Tel.: 0261-13065441, e-Mail: theis@bafg.de

### Zusammenfassung

Werden die ersten umweltgeologischen/hydrologischen Untersuchungen bereits im frühen Planungsstadium parallel mit den geotechnischen Untersuchungen durchgeführt, können die Ergebnisse zu Boden und Grundwasser einerseits als Grundlage und Entscheidungskriterium für die Realisierung von möglichen Bauvarianten herangezogen werden. Andererseits sind auch frühzeitig kostenoptimierte Verwertungs- bzw. Beseitigungswege für das in der Baumaßnahme anfallende Baggergut durch Recherchen und Planungen zu realisieren. Als Auftraggeber von Untersuchungen, deren Ergebnisse die Kosten einer Maßnahme unmittelbar beeinflussen, ist die WSV verpflichtet, die Qualität der beauftragten Leistungen zu gewährleisten. Der BfG-Support garantiert eine schnelle und unkomplizierte Abwicklung von Untersuchungen, ist in alle Schritte der Auftragsabwicklung eingebunden und kann Untersuchungsfehler frühzeitig aufdecken und vermeiden.

### 1 Bodenproben

Sollen Bohrkerne auch zur Klärung umweltgeologischer Fragestellungen, wie z.B. die Untersuchung auf Kontaminationen dienen, dann sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- Die zu untersuchenden Bohrkerne werden im Kernliner im Trockenbohrverfahren ohne chemische Spülzusätze gewonnen.
- Die geschützt vor Frost und hohen Temperaturen zu lagernden Linerproben sollen zeitnah in einem maximalen Zeitfenster von 14 Tagen geöffnet werden.
- Eine kühle Lagerung zur Vermeidung von Umsetzungs- bzw. Ausgasungseffekten ist insbesondere dann notwendig, wenn der Verdacht auf mögliche Altlasten besteht.

Die Proben für die Umweltanalytik werden unter Berücksichtigung der erbohrten Schichtenfolge direkt nach dem Öffnen der Liner gewonnen. Jede Schicht wird getrennt beprobt, dabei sollten unterschiedliche Bodenarten nicht zu einer Mischprobe vereinigt werden. Auch bei gleicher Bodenart sind künstliche Auffüllungen immer vom liegenden, gewachsenen Boden zu trennen. Für den humosen Oberboden und die oftmals noch anthropogen überprägten Teufen 0,3 – 1 m sowie 1 – 2 m werden in der Regel separate Proben abgefüllt.

Die Kernoberfläche eines jeden Bohrkerns ist vor der Probengewinnung abzuschälen, um mögliche Verschleppungen aus hangenden Bereichen zu minimieren. Insbesondere bei Lockergesteinsproben ist sicherzustellen, dass kein Nachfall aus höherliegenden Teufen die Analyseergebnisse für den zu beurteilenden Tiefenbereich verfälscht.

Die Entnahmegewinde müssen frei von Ölen, Fetten, Farben oder sonstigen Verunreinigungen sein und sind vor jedem Einsatz fachgerecht zu reinigen.

Die Probemenge muss ausreichen, um nach sachgerechter Probenvorbehandlung die Laboruntersuchung, die Bereitstellung von Rückstellproben und die vereinbarten Qualitätssicherungsmaßnahmen zu gewährleisten.

Detaillierte Ausführungshinweise zur Probengewinnung, Probenlagerung und Probentransport liefert insbesondere die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) in Verbindung mit der OFD-BAM-Vereinbarung „Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften“.



**Bild 1:** Bearbeitung eines geöffneten Kernliners (BAW-Baugrundkolloquium 2008)

Mit dem von der BfG bereitgestellten Werkzeug „WSV-Lab“ wird der WSV eine Plattform für effektive und qualitätsgesicherte Beschaffenheitsuntersuchungen von Baggergut bzw. Bodenaushub zur Verfügung gestellt.



Auf Grundlage einer ausführlichen, projektspezifischen Beratung durch die BfG wird dort ein Untersuchungsauftrag an ein qualitätsgeprüftes Rahmenvertragslabor vergeben. Die BfG begleitet den Auftrag fachlich, bei schwierigen Probenahmen auch vor Ort. Für jede 10. Probe werden im Labor der BfG Kontrollanalysen durchgeführt. Alle Probenahme- und Analysedaten sowie die dazugehörigen Textteile mit grafischen Darstellungen werden vom Rahmenvertragspartner in das Sedkat-WSV-System unter Nutzung von aufgabenspezifischen Auswertemodulen hochgeladen. Hierbei wird ein Untersuchungsbericht erzeugt, welcher der WSV nach fachlicher Prüfung durch die BfG zur Verfügung gestellt wird.

## 2 Grundwasserproben

Sind im Rahmen einer geplanten Maßnahme hydrochemische Grundwasserfragen zu beantworten, ist es sinnvoll bereits im Rahmen der Baugrunderkundung ausgewählte Bohrungen als Grundwasserbeschaffenheits-Messstellen auszubauen.

Dies kann der Fall sein bei:

- Neu-, Ausbau- und Rückbaumaßnahmen vor dem Hintergrund einer wasserwirtschaftlichen Nutzung bzw. der flußgebietsbezogenen Bewirtschaftung
- Terrestrische Baggergutunterbringung auf Ablagerungsflächen, Spülfeldern oder Monodeponien (Beweissicherung)
- Altlastenerkundung und Altlastensanierung
- Grundwasser-Aggressivitätsfragen (Beton- und Stahlaggressivität)

Unter Zugrundelegung der hydrogeologischen Verhältnisse und anderer Projekt relevanter Eckdaten sind die Standorte für die Grundwasser-Messstellen des Messnetzes festzulegen. Bei bautechnischen Fragestellungen (Grundwasser-Aggressivität) reichen in der Regel einige wenige Messstellen aus. Bei allen übrigen Fragestellungen, welche meist vor dem Hintergrund der Ausbreitung von GW-Inhaltstoffen bearbeitet werden, sind umfangreichere Messnetze zu konzipieren, die den Grundwasser-Anstrom und den Grundwasser-Abstrom berücksichtigen und wenn möglich zentrale „Kontakt-Messstellen“ beinhalten.

Jede Grundwassermessstelle muss das zu beurteilende GW in Lage und Tiefe repräsentativ erfassen. Der fachgerechte Ausbau einer Grundwasser-Beschaffenheitsmessstelle erfolgt nach den Vorgaben der Technischen Regeln W 121 der DVGW.

Die praktische Umsetzung einer auferlegten Grundwasseruntersuchung - wie Probenahmetechnik, Probenbehandlung und Probentransport, Untersuchungsumfang, Qualitätssicherung und Dokumentation - ist in den einschlägigen Richtlinien und Normen (DIN, DWA, DVWK, DVWG, LAWA, Landesspezifische Empfeh-

lungen) beschrieben, welche fallspezifisch anzuwenden sind.

Für die korrekte fachliche Realisierung kann in allen Untersuchungsphasen der BfG-Support genutzt werden.



**Bild 2:** Grundwasser-Messstelle in der Talaue einer Bundeswasserstraße

## Literatur

BBodSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

OFD BAM (2008): Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften

LABO (2002): Arbeitshilfe für Qualitätssicherung





Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen



**ZENTRALVERBAND  
DEUTSCHES  
BAUGEWERBE**



**BUNDESFACHGRUPPE  
BRUNNENBAU, SPEZIALTIEFBAU  
UND GEOTECHNIK**  
im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes

**BILDUNGS- UND  
TAGUNGSZENTREN  
DER BAUWIRTSCHAFT**



**BAU  
ABC**  
AN DER  
MELLENBORG



**Akademie  
Nord**

Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe  
Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg

[www.baw.de](http://www.baw.de)

Gesellschaft zur Förderung des Deutschen Baugewerbes

im Auftrag der  
Bundesfachgruppe Brunnenbau, Spezialtiefbau und Geotechnik  
im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes  
Kronenstraße 55 – 58 · 10117 Berlin

**Bau-ABC Rostrop**

Virchowstraße 5 · 26160 Bad Zwischenahn

[www.zdb.de](http://www.zdb.de)

[www.bfg-brunnenbau.de](http://www.bfg-brunnenbau.de)

[www.bau-abc-rostrup.de](http://www.bau-abc-rostrup.de)

[www.brunnenbauertage.de](http://www.brunnenbauertage.de)