

Forschungsvorhaben:

# Bohrverfahren zur Einbringung von Erdwärmesonden, Entwicklung technischer und wirtschaftlicher Planungshilfen

Kurzbericht

Projektleitung:  Univ. Prof. Dr.- Ing. R. Rauh  
Universität Siegen - LuFG Baubetrieb  
Paul-Bonatz-Str. 9-11, 57068 Siegen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. T. Becker, LuFG Baubetrieb, Universität. Siegen  
Dipl.-Ing. T. Scherer, Institut für Konstruktion, Universität Siegen  
Dipl.-Ing. A. Scholl, Institut für Geotechnik, Universität Siegen  
Dipl.-Ing. M. Brockmann, IEK, Abt. Gebäudetechnik, Universität Hannover

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau  
des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.  
(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7- 08.5 / II 2 – F20-08-1-122)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Siegen, 11. Juni 2010

## Ziel der Forschungsaufgabe

Stark gestiegene Energiepreise und zahlreiche Förder- und Finanzierungsprogramme haben eine starke Nachfrage nach geothermischen Heizungsanlagen ausgelöst. Die Wärmeengewinnung erfolgt dabei meist über Erdwärmesonden. Zur Vermeidung geologischer Risiken sollten mit der Anlagenerstellung nur erfahrene Unternehmen beauftragt werden (z.B. Brunnenbauunternehmen). Es war jedoch in den letzten Jahren zu beobachten, dass verstärkt unerfahrene Anbieter in dem prosperierenden „Geothermie-Bohrmarkt“ tätig werden. Solche Firmen-Neugründungen kommen häufig aus der Branche der Heizungs- und Sanitärinstallateure, wobei diese ihr Tätigkeitsfeld dann auf kleinere Anlagensysteme mit bis zu 30 KW Heizleistung und 100 m Sondentiefe beschränken. Der Einstieg in den Bohrmarkt ist für Betriebe ohne bzw. mit geringen geologischen oder bohrtechnischen Kenntnissen leicht möglich, weil nach der maßgebenden Vorschrift - VDI 4640 – für geothermische Kleinanlagen vereinfachte Regelungen gelten. Die Unerfahrenheit eines Anwenders birgt ein stark erhöhtes Schadens- und Mangelrisiko bez. Geologie und Anlagentechnik. Das Risiko erhöht sich weiter, wenn bei der Projektorganisation keine unabhängige Fachplanung beteiligt wird, was nach den durchgeführten Untersuchungen in vielen Fällen gegeben ist. Große Schadensfälle im Zusammenhang mit der Herstellung von Erdwärmesonden haben auf die Bedeutung der fachgerechten Ausführung der Bohrarbeiten aufmerksam gemacht und Defizite der Bauqualität wie auch der Bau- und Planungsüberwachung deutlich werden lassen.

Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes zur Förderung der Erdwärmesondentechnik werden mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben die Aspekte der Verfahrenstechnik, Wirtschaftlichkeit und Qualität zusammengeführt. Es soll hierdurch ein Beitrag zur Qualitätsverbesserung beim Bau von Erdwärmesonden geleistet werden.

Zur Erfüllung des Anspruchs einer Anwendungsorientierung wurden im Rahmen der allgemeinen Zielsetzung die folgenden Teilziele gebildet, die als technische und wirtschaftliche Planungshilfen in der Praxis Verwendung finden sollen:

- Formulierung der Anwendungskriterien der Bohrverfahren und Aufstellung eines Katalogs der Leistungsmerkmale der Bohrgeräte für die Geräteeinsatzplanung.
- Identifizierung von Fehlerbereichen der Bauausführung.
- Systematisierung der Verfahrensschritte zur Herstellung von Erdwärmesonden.
- Aufstellung technisch detaillierter und VOB-konformer Leistungsbeschreibungen.
- Entwicklung von Kalkulationsmodulen für die Kostenberechnung.

# 1 Durchführung der Forschungsaufgabe

Die Teilziele des Forschungsvorhabens führten zur Bildung von vier separaten Arbeitsabschnitten (Teil A – D), die im Folgenden zusammengefasst beschrieben sind.

Im **Teil A „Geräte- und Verfahrenstechnik“** wurden die zur Herstellung von Erdwärmesonden anwendbaren Bohrverfahren analysiert und Anwendungsempfehlungen erarbeitet. Vor- und Nachteile der einzelnen Bohrverfahren wurden identifiziert und die Grenzen der Einsatzgebiete aufgezeigt.

Die Gerätedaten der auf dem Markt verfügbaren Vertikal- und Schrägbohranlagen werden nach einer herstellereigenen Systematik zur Verfügung gestellt. Für Bohrunternehmen und besonders für Neugründungen ist ein direkter Vergleich der Leistungsdaten damit nicht möglich. Um dies zu ermöglichen wurden spezielle Datenblätter für Geothermiebohrgeräte aufgestellt und eine Analyse der Leistungsdaten deutscher Hersteller erstellt.

Anhand der Gerätedatenblätter wurde nachgewiesen, dass die Herstellerangaben zur Geräte-Bohrleistung in vielen Fällen nicht ausreichend sind. Beispielsweise ist die Leistung am Bohrkopf von der Drehzahl des Antriebs abhängig, sodass sich nur aus einem Verhältniswert der beiden Parameter, nicht aber aus den Einzelgrößen – meist werden nur von den Herstellern angegeben - eine Aussage über das Bohr-Drehmoment gewinnen lässt. Es wurde dargelegt, dass die Problematik der Definition der Gerätekennwerte auch die die Einordnung der Bohrgeräte in die Baugeräteliste (BGL) betrifft. Der Zusammenhang zwischen Gerätekennwert und den Kostenwerten der BGL wurde kritisch diskutiert. Da die Angabe des maximalen Drehmoments am Bohrkopf nicht aussagekräftig ist, wurde empfohlen, für die BGL-Einstufung der Geräte die Anschaffungskosten als Kenngröße zu verwenden.

Im **Teil B „Projektdokumentationen“** wurden Praxisprojekte dokumentiert. Es wurde hierzu ein einheitliches Dokumentationsformular entwickelt, mit dem technische und wirtschaftliche Daten verglichen werden können. Die Aufnahme des Zeitaufwands und der eingesetzten Kapazitäten diene der Bewertung der Arbeitsprozesse und ermöglicht Aussagen zum effizienten Einsatz von Gerät und Bohrmannschaft. Bei der Projektdokumentation erhobene Daten dienen der Verifizierung der Ergebnisse der Nachkalkulation der Herstellkosten im Teil D des Forschungsprojektes.

Bei den Praxisprojekten zeigte sich, dass insbesondere die Bohrarbeiten auf bereits bebauten Grundstücken eine sorgfältige Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten erfordern. Beengte Platzverhältnisse bestimmen in vielen Fällen, ob eine Erdwärmesonde überhaupt eingebracht werden kann. Die Ausführung erfordert dann kompakte und wendige Bohrgeräte mit guter Geländegängigkeit. Die Baustelleneinrichtung erfolgt überwiegend dezentral. Die Bohrgeräteperipherie und Zusatzgeräte werden in der Praxis nach Möglichkeit

an den Erschließungsstraßen und Zufahrten belassen und dann über Schlauchleitungen mit dem Bohrgerät verbunden.

Bei den beobachteten Bauausführungen wurde überwiegend das direkte Spülbohrverfahren angewendet. In weichen und mittelfesten Böden kam hauptsächlich das drehende Spülbohren zum Einsatz. Bei felsigem Untergrund hat sich das Imlochhammerbohren als Standard etabliert, da es sich durch einen schnellen Bohrfortschritt bei relativ geringer erforderlicher Geräteleistung auszeichnet.

Bohrungen für Erdwärmesonden zeichnen sich durch eine verhältnismäßig kurze Projektlaufzeit aus. Die Arbeiten für private Einfamilienhäuser umfassen durchschnittlich zwei bis vier Bohrungen von bis zu 100 m Tiefe. Die Bohrarbeit und der Bohrlochausbau können in der Regel in einer Woche abgeschlossen werden. Bei kurzen Ausführungszeiten könnten jedoch schon relativ geringe Störungen zu deutlich Zeitverschiebungen führen, was sich bei dem engen Terminkalender der Bohrunternehmen dann auch auf nachfolgende Projekte auswirkt. Bei mehr als der Hälfte der dokumentierten Projekte waren deutliche Verzögerungen der Bauausführung festzustellen. Die Ursachen bestanden meist in Maschinenschäden und Problemen beim Bohrlochausbau.

Es war bei der Analyse der Vertragsdaten festzustellen, dass sich Bohrunternehmen nicht selten vorbehalten, die Gesamtbohrmeter - abweichend von den Planvorgaben - auf mehrere Bohrungen aufzuteilen, sofern die ursprünglich geplante Bohrtiefe mit einer Bohrung nicht erreicht werden kann. In manchen Fällen wurde die Bohrung gar abgebrochen und die Sonde verkürzt eingebaut, obwohl hierzu kein rechnerischer Nachweis für die Wärme-Entzugsleistung vorlag. Die Feststellungen bei den beobachteten Praxisprojekten machen deutlich, dass bei der Herstellung von Erdwärmesonden die Maßnahmen der Projektüberwachung und Qualitätssicherung noch unzureichend sind und dringender Verbesserungsbedarf besteht.

Zu den qualitätssichernden Maßnahmen gehört u.a. die kontinuierliche Bohrprobenentnahme, die Dichtepfung der Verfüllsuspension und mehrere Sondendruckprüfungen gemäß VDI Richtlinie 4640. Die Maßnahmen dienen der Dokumentation der durchgeführten Arbeiten gegenüber dem Bauherrn und den Aufsichtsbehörden und sollen die sichere Funktion, wie auch die Umweltverträglichkeit der geothermischen Anlage sicherstellen. Es wurde festgestellt, dass nach Art und Umfang viele Qualitätssicherungsmaßnahmen (Prüfungen und Probeentnahmen) nicht regelkonform durchgeführt wurden. Selbst Arbeiten zertifizierter Bohrunternehmen wiesen hierzu Mängel auf.

Die Ergebnisse der Qualitätsanalyse der Bauausführung sind auch damit zu erklären, dass bei vielen der dokumentierten Projekte keine Beteiligung eines Fachplaners erfolgte. Aufträge kamen häufig durch eine einfache Angebotsaufforderung des Bauherrn an ein

Bohrunternehmen zustande. Wesentliche Teile der Vorplanung (teilweise die gesamte Planung) wird auf ausführende Unternehmen übertragen. Da bei einer solchen Art der Projektorganisation Planung, Ausführung und Überwachung in einer Hand liegt, sind Interessenskonflikte mit nachteiligen Folgen auf die Bauqualität vorprogrammiert.

Aus der Handhabung der Erdwärmesondenprojekte auf den Baustellen wurde abgeleitet, dass es zur Verbesserung der Bauqualität sinnvoll ist, Leistungsbeschreibungen in technischer Hinsicht zu konkretisieren. In der Form einer Arbeitsanweisung erhält man hierdurch ein Instrument des Qualitätscontrollings. Ein wesentlicher Teil des Forschungsvorhabens bestand daher in der Aufstellung technisch detaillierter Leistungsbeschreibungen. Dies erfolgte im **Teil C „Leistungsbeschreibungen“**.

Die Analyse der Bestimmungen der VOB/C ergab, dass hierin nur wenige konkrete Angaben für die Ausschreibung bzw. Herstellung von Erdwärmesonden enthalten sind. Andererseits wurde aber auch festgestellt, dass die auf dem Markt verfügbaren LV-Mustertexte in vielen Punkten den Bestimmungen der VOB widersprachen. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Zusammenfassung ungleichartiger Leistungen in einer Position (z.B. Bohrung gemeinsam mit Bohrlochausbau und Anbindung), was nach VOB/A § 7 Abs. 12 nicht zulässig ist.

Im Rahmen des Arbeitsabschnitts Teil C „Leistungsbeschreibungen“ wurden daher nach einer speziell für die Herstellung von Erdwärmesonden entwickelten ausführungorientierten Systematik VOB-konforme und technisch detaillierte Leistungstexte aufgestellt. Die Arbeitsergebnisse können in der Praxis als Vorlage bei der Erstellung von Ausschreibungen verwendet werden. Es wird hierdurch sowohl die Kalkulation der Bohrunternehmen erleichtert, wie auch die Voraussetzungen für eine Vergleichbarkeit und Bewertung der Angebote durch den Auftraggeber geschaffen.

**Im Teil D „Kostenermittlungen“** wurden baukalkulatorische Berechnungen für die bei der Herstellung von Erdwärmesonden anfallenden Leistungen durchgeführt. Die Berechnungen können als Vorlage für die auftragnehmerseitige Angebotskalkulation nach der Methode der Zuschlagskalkulation mit vorbestimmten Zuschlägen verwendet werden. Um die Anwendung in kleinen und mittelständischen Betrieben zu unterstützen, wurden die Berechnungen in Form einer Excel-Anwendung durchgeführt. Die Kostenberechnungen basieren auf den zuvor aufgestellten Modulen der LV-Mustertexte.

Für Bohrunternehmer liegt der Vorteil der einheitlichen Angebotskalkulation in der firmeninternen Vergleichbarkeit unterschiedlicher Projekte. Erfahrungen aus früheren Projekten können so in neue Angebote einfließen. Die im Rahmen des Projekts erstellte Kalkulationsdatei unterstützt direkt bei der aufwandsgerechten Ermittlung der Herstellkosten einer Erdwärmesondenanlage.

Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Planung und Ausführung ist die Kenntnis der kostenintensiven Bereiche von besonderer Bedeutung. In Fallstudien wurde untersucht, inwiefern sich planerische und verfahrenstechnische Varianten auf die Kosten auswirken. Es wurde belegt, dass Bohrarbeiten und der Bohrlochausbau den größten Anteil der Gesamtkosten einer Anlage ausmachen; die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Auswahl des Bohrgeräts und des Bohrverfahrens. Maschinenintensivere Bohrverfahren, wie das Imlochhammerbohren, welches zusätzliche Peripherie für die Pressluft-Bereitstellung benötigt, gleichen den Nachteil höherer Gerätekosten durch einen schnelleren Bohrfortschritt aus.

## **2 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Durch die Forschungsarbeit wurde dargelegt, dass die derzeit bestehenden organisatorischen und technischen Maßnahmen der Qualitätssicherung bei der Herstellung von Erdwärmesonden nicht ausreichend sind. Obwohl die im Rahmen Projektdokumentation beteiligten Bohrbetriebe Gütesiegel bzw. Zertifizierungen nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 besaßen, wurden zahlreiche gravierende Mängel beobachtet. Zur dauerhaften und nachhaltigen Entwicklung der Geothermie ist es erforderlich, ein System der Qualitätssicherung für Planung und Ausführung der Bohrarbeiten einzuführen. Die Einschaltung privater Sachverständiger in der Wasserwirtschaft, analog der Regelungen im Bundesland Bayern bei einer Wasser-Wasser-Geothermienutzung könnte hierbei von Nutzen sein. Die Notwendigkeit ergibt sich insbesondere aus dem Schutzbedarf für Grundwasser und Boden.

Folgende anwendungsorientierten Ergebnisse für die Aufgabenbereiche von Unternehmer- und Auftraggeberseite wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeitet:

1. Entwicklung eines Datenblatts zum Vergleich von Bohrgeräte-Leistungsdaten.
2. Formulierung technisch detaillierter und VOB-konformer Leistungstexte
3. Aufstellung von Kalkulationsmodulen für die Kostenermittlung.