
KURZBERICHT

Entwicklung und Verifizierung eines kostengünstigen Verfahrens zur Errichtung von Flächenkollektoren als Erdwärmequelle für Wärmepumpen

(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7 – 08.38/ II 2 – F20-08-1-170)

für

Forschungsinitiative Zukunft Bau
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn

von

Dr.-Ing. Detlef Bohmann (Bega.Tec),
Dipl.-Ing. Frank Burmeister (GWI), Dipl.-Ing. Hendrik Rahms (GWI),
Dipl.-Ing. Kai Scholten (GWI), Dipl.-Ing. Janina Senner (GWI)
Dipl.-Ing. Eren Tali (GWI) , Volko Kuschan (GWI)

Essen, Dezember 2012

AIF Mitglied

Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Geschäftsführender Vorstand: Dr.-Ing. Rolf Albus

Bankverbindung

Mitglied der

Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

Sparkasse Essen (BLZ 360 501 05)

Kaufmännischer Vorstand: Dipl.-Betriebswirt Michael Radzuweit

Konto-Nr.: 208033

Motivation und Hintergrund

Die Geothermie ist eine erneuerbare Energiequelle mit enormem Potenzial, die in Deutschland zunehmende Verbreitung findet. Mittlerweile ist das technische Know-how zur Erschließung dieses Potenzials vorhanden und auch die Anwendungstechnologien für die Wärmeversorgung von Wohngebäuden in Form von Wärmepumpen stehen zur Verfügung. Dies gilt für Elektrowärmepumpen und für einige Gaswärmepumpentypen. In vielen Fällen erweisen sich jedoch sowohl die Investitionskosten der Umweltwärmeeinkopplung als hinderlich als auch der Installationsaufwand im Falle von Flächenkollektoren insbesondere bei bestehenden Objekten. Einspareffekte und ein reduzierter Aufwand zur Einbringung können die Nutzung dieser Technologien deutlich befördern.

Das Hauptziel dieses Vorhabens bestand im Vergleich von Flächenkollektoren mit und ohne notwendige Erdaushubarbeiten in Bezug auf Funktion, Leistung, Kosten und Aufwand für die Installation. Dazu wurden an mehreren Standorten Kollektoren mit unterschiedlichen Verfahren verlegt und deren Effektivität vermessen. Begleitend wurden numerische Simulationen zur Auslegung durchgeführt und mit den Daten aus der praktischen Umsetzung validiert.

Projektvorgehen

Der Überblick über die Nutzung oberflächennaher Geothermiequellen bietet die Grundlage zum Verständnis der nachfolgenden Analyse und Bewertung bestehender Einbringverfahren. Sowohl das konventionelle Einbringverfahren von Flächenkollektoren als auch die Möglichkeiten der grabenlosen Verlegung werden ausführlich dokumentiert. Für die experimentelle Projektphase wird von dem Projektpartner ein Werkzeug zur Durchführung der innovativen grabenlosen Einbringtechnik ausgewählt und erprobt. Für den direkten Vergleich von konventioneller und innovativer Einbringtechnik bzw. der späteren Nutzungsfunktion werden Demonstrationsanlagen an verschiedenen Standorten errichtet. Zwei Anlagen (Berlin I und Essen) werden mit jeweils drei Flächenkollektoren ausgestattet, die jeweils mit unterschiedlicher Einbringtechnik verbaut wurden. Die Abbildung 1 zeigt die Verlegung der Kollektoren am Standort Essen.

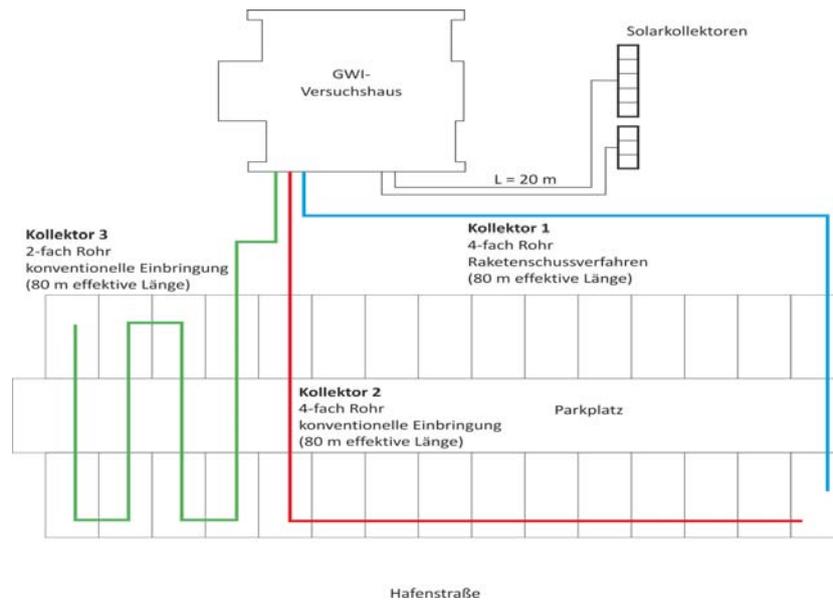


Abbildung 1: Verlegung der Kollektoren am Standort Essen

Ein weiterer Standort (Berlin II) dient zur Verifizierung der Anlagenparameter unter praxisnahen Betriebsbedingungen. Zu diesem Zweck wurde ein innovativ verlegter Kollektor an einer Feldtestanlage unter realem Lastprofil betrieben.

Zur Aufnahme der Messdaten wurde im Vorfeld am Gas- und Wärme – Institut in Essen eine Messdatenerfassung konstruiert, die anschließend im Feld mit Datenfernablesung installiert wurde. Die Abbildung 2 zeigt die Pilotanlage zur Messdatenerfassung. Diese Messeinrichtungen wurden anschließend an den jeweiligen Demonstrations- bzw. Feldteststandorten aufgebaut und in Betrieb genommen.

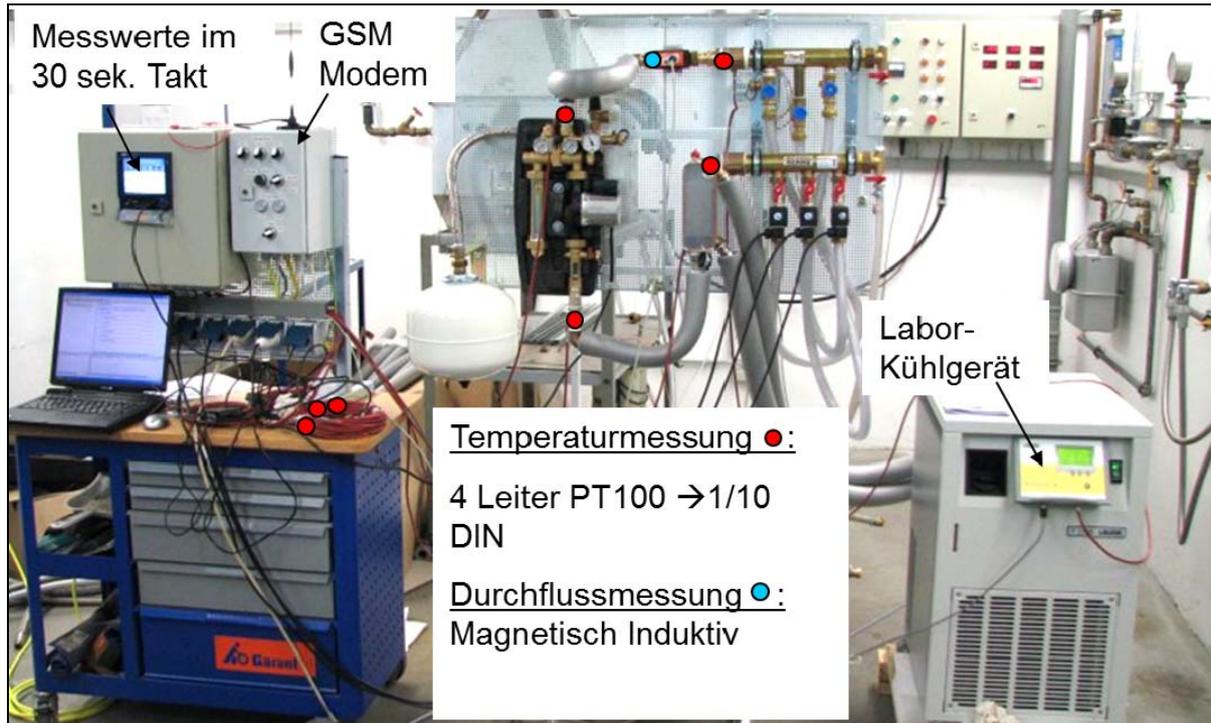


Abbildung 2: Pilotanlage zur Messdatenerfassung

Für die Auslegung der Demonstrationsanlagen und die ganzheitliche Betrachtung für den Vergleich der unterschiedlichen Verfahren wurde die experimentelle Versuchsphase durch ausführliche numerische Simulationen begleitet und ergänzt. Ziel ist eine Unterstützung bei der Auslegung sowie die Validierung der späteren Ergebnisse. Wichtige Einflussfaktoren, wie Rohrgeometrien und –dimensionierung, Wärmeleitfähigkeit des Bodens und des Rohrmaterials sowie Volumenstromänderungen beim Soledurchfluss wurden untersucht.

Die Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Kollektorentnahmeleistungen bei unterschiedlichen Parametern sowie verschiedenen Kollektorgeometrien.

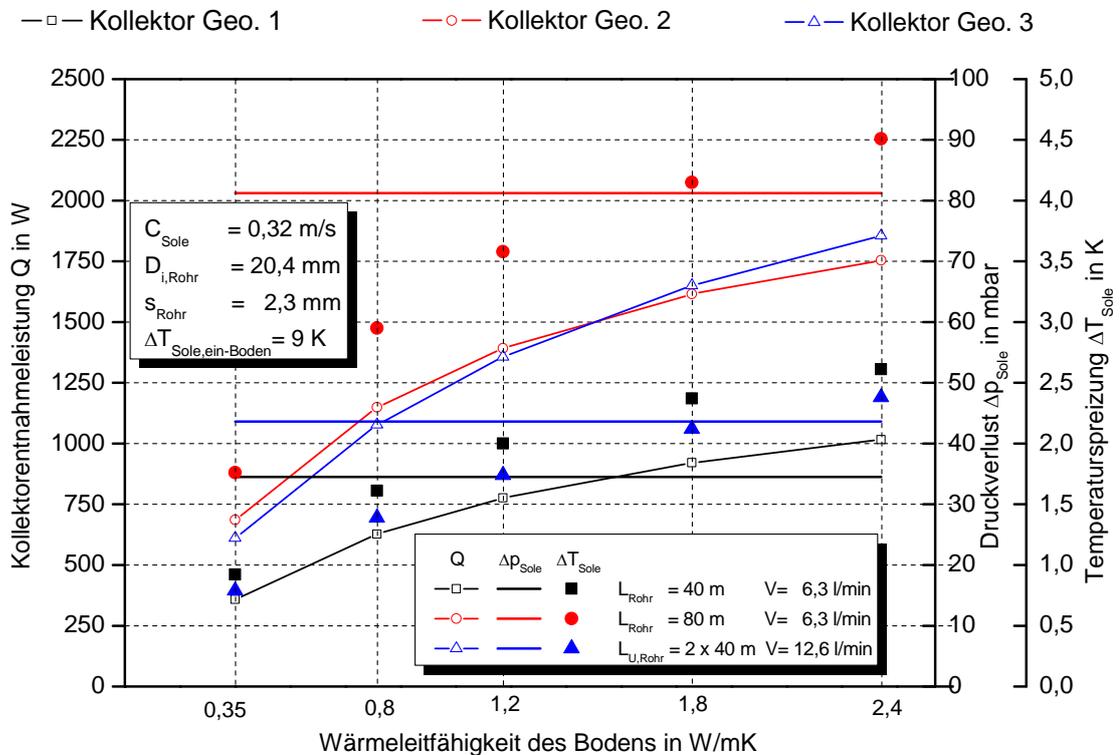


Abbildung 3: Numerische Ergebnisse der Kollektorentnahmeleistungen bei unterschiedlichen Parametern

Die Abbildung 4 zeigt den direkten Vergleich der Ergebnisse einer numerischen Simulation mit gemessenen Werten an Kollektoren am Standort Essen. Die Ergebnisse aus der Simulationsrechnung zeigen eine Abweichung von maximal 2,6 % zu den Messwerten, so dass eine Genauigkeit bei der Übereinstimmung eines realen Betriebsfalls mit der Simulation gewährleistet ist. Im Gegensatz zu den Simulationen zu den einzelnen Einflussfaktoren (siehe Abbildung 3), die zur Parameterstudie und Auslegung durchgeführt wurden, zeigt Abbildung 4 den Vergleich von realen Messwerten mit einer Simulation auf Basis realen Betriebsbedingungen am Standort Essen.

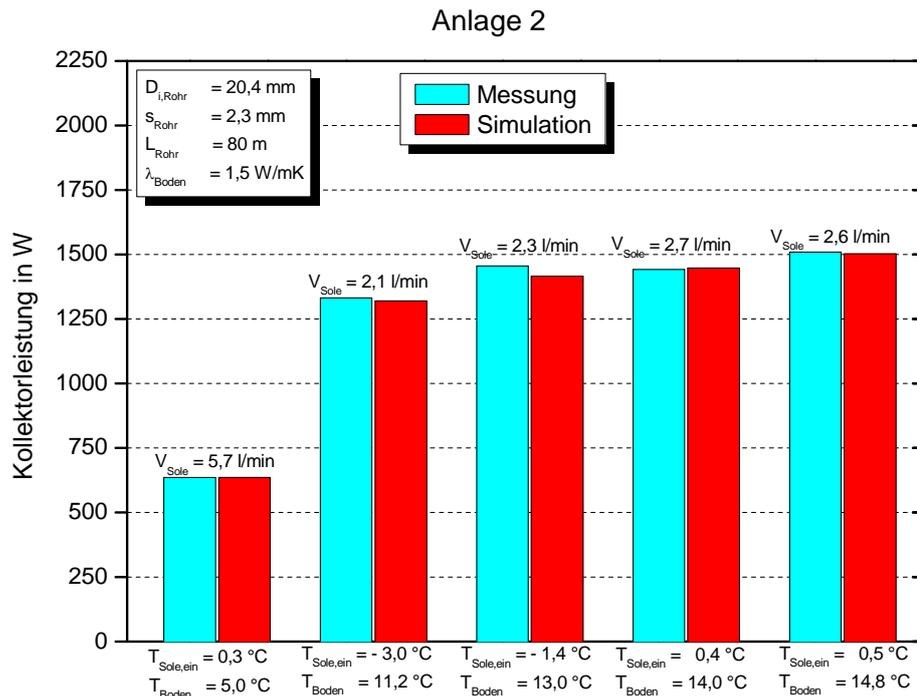


Abbildung 4: Vergleich von Ergebnissen aus Simulation und Messung

Erfahrungen und Ergebnisse der Demonstrationsanlagen

Im Rückblick haben sich bei der Versuchsdurchführung einige Schwierigkeiten gezeigt. Der Versuchsstandort wurde schwerpunktmäßig nach Kriterien der Durchführbarkeit ausgewählt, unabhängig von geologischen und hydrologischen Gegebenheiten. Einflussfaktoren, wie Bodenbeschaffenheit, ein saisonal schwankender Grundwasserspiegel, Schatten bzw. unregelmäßige Sonneneinstrahlung durch partielle Bebauung und Bepflanzung bewirken einen unregelmäßigen Wärmeeintrag und beeinflussen bedingt die Regenerationsfähigkeit des Bodens.

Die Messsysteme wurden komplett fernadministrierbar eingerichtet. Eine störanfällige Verbindung zur ersten Anlage wurde durch einen im Januar 2010 installierten Repeater beseitigt.

Hauptproblem war die Auffindung von Standorten für die Aufstellung von Demonstrationsanlagen bzw. die Beschaffung von Gaswärmepumpen. Als Ersatz für die nicht verfügbaren Gaswärmepumpen wurde ein Laudabad beim Standort Berlin-Wernsdorf installiert. Dieses ist allerdings nicht in der Lage Temperaturen unter 0°C für den Rücklauf zu gewährleisten und so dem Boden auch bei niedrigen Temperaturen Wärme zu entziehen. Deshalb entsprechen die gemessenen Leistungen nicht dem Optimum. Weiterhin ist zu beachten, dass im Winter 2010 die Temperaturen durchschnittlich um 3 °C kälter lagen als die so genannte Referenztemperatur. Als auch die Sonnenscheindauer hat sich

auf etwa 40% gegenüber der Referenzzeit verkürzt [1]. Diese Ergebnisse entsprechen nicht der Regel, höhere Temperaturen sind zu erwarten und daraus folgend höhere Leistungen. Ein direkter Vergleich der Kollektoren war bei zwei Standorten gewährleistet. Beim dritten Standort (Berlin-Nottenpfad) wurde ein Kollektor mittels der Raketenschusstechnik verlegt, eine Vergleichbarkeit zu konventionell verlegten Methoden im gleichen Grund ist nicht möglich. Allerdings konnte diese Anlage zur Validierung vorhandener Messdaten beitragen.

Schlussendlich weisen alle vergleichbaren Kollektoren der einzelnen Standorte ähnliche Leistungen auf. Der innovativ eingebrachte Kollektor schneidet im Vergleich nur geringfügig schlechter ab. Bei der Betrachtung sind auch die Wetterabhängigkeit und der zeitversetzte Betrieb zu berücksichtigen. Die Abbildung 5 zeigt einige Messergebnisse am Standort Essen vom Zeitraum Februar bis Juni 2011.

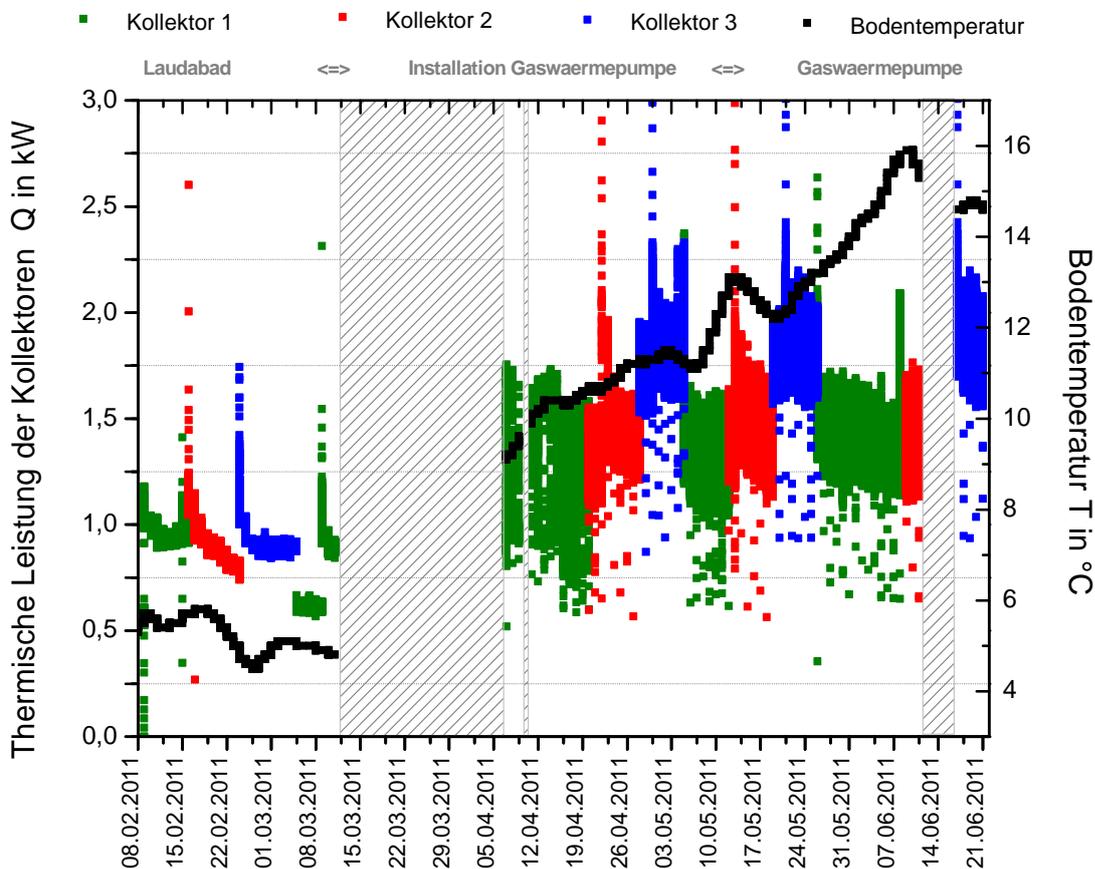


Abbildung 5: Kollektorentnahmeleistung Februar bis Juni 2011 (Essen)

Individuelle, temporäre Unterschiede bei der Kollektorleistung sind vermutlich Auswirkungen der regionalen Bodenbeschaffenheit (z.B. Feuchtigkeitsgehalt des Bodens). Auch eine ausgeprägte Regeneration zeigt sich durch Leistungsdifferenzen, je länger ein Boden regeneriert, desto höher sind anfangs seine erbrachten Leistungen. Diese sinken jedoch nach einer Weile wieder auf ein

konstantes Niveau ab. Eine ausgeprägte Regeneration, wie es nur der Sommer schafft ist für einen stabilen Dauerbetrieb der Kollektoren zwingend notwendig.

Bei allen Kollektoren ist eine Abhängigkeit von den Bodentemperaturen sowie vom resultierenden $\Delta\vartheta$ gegeben. Je größer die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$, desto größer sind die erzielten Leistungen. Für hohe Leistungen muss die Vorlauftemperatur wesentlich kleiner als die Bodentemperatur sein. Zu niedrige Vorlauftemperaturen müssen allerdings vermieden werden, um einen übermäßigen Wärmetzug bzw. eine Vereisung zu vermeiden. Durch Gefrieren des Bodens um die Kollektorrohre können Hebungen bzw. Setzungen auftreten, wenn die Radien des gefrorenen Bodens zu groß werden. Des Weiteren wird die hydraulische Leitfähigkeit unterbrochen, wenn benachbarte Eisradien zusammenwachsen, was im Frühjahr zu Matsch an der Erdoberfläche führt. Eine natürliche Regeneration wird dadurch erschwert und nachfolgende Leistungseinbrüche sind möglich.

Eine solche Abschaltung trat im Februar 2012 am Standort Essen ein, als die Vorlauftemperaturen in den Kollektor -10 °C erreichten und die Bodentemperatur $3,7\text{ °C}$ erreichte schaltete die Anlage ab. Die Abbildung 6 zeigt die Messperiode kurz vor der Abschaltung.

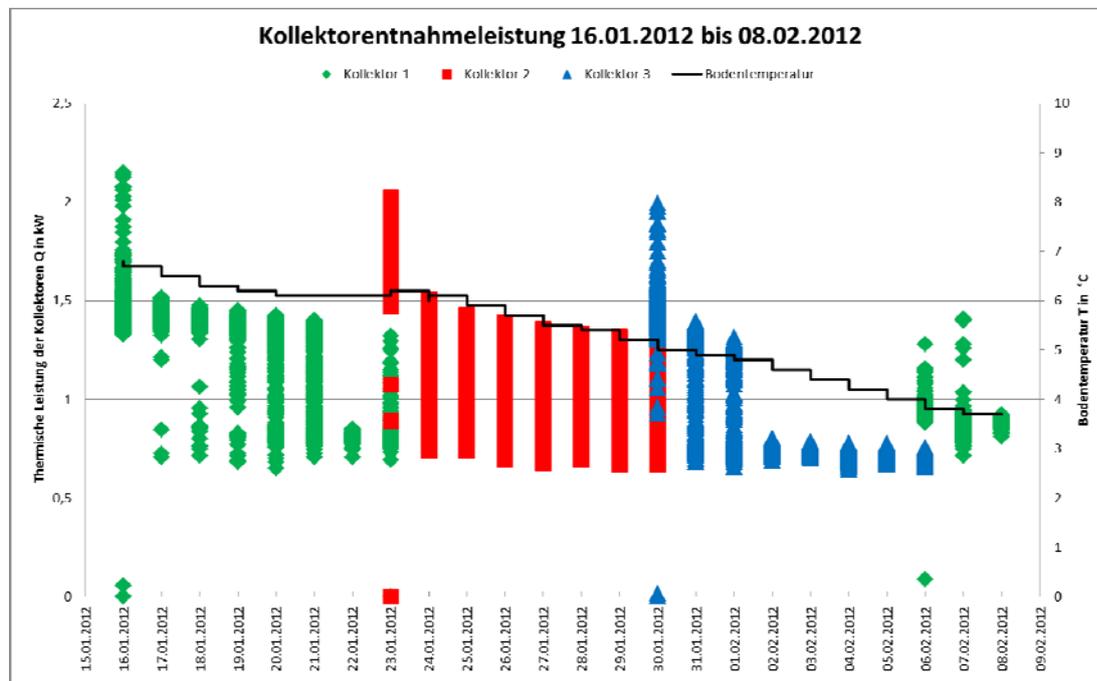


Abbildung 6: Kollektorentnahmeleistung vor der Abschaltung Februar 2012 (Essen)

Die Abbildung 6 zeigt einen deutlichen Leistungsabfall bedingt durch die geringe Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ von Kollektorvor- und rücklauf. Die genauen Temperaturen sind in Abbildung 7 abgebildet.

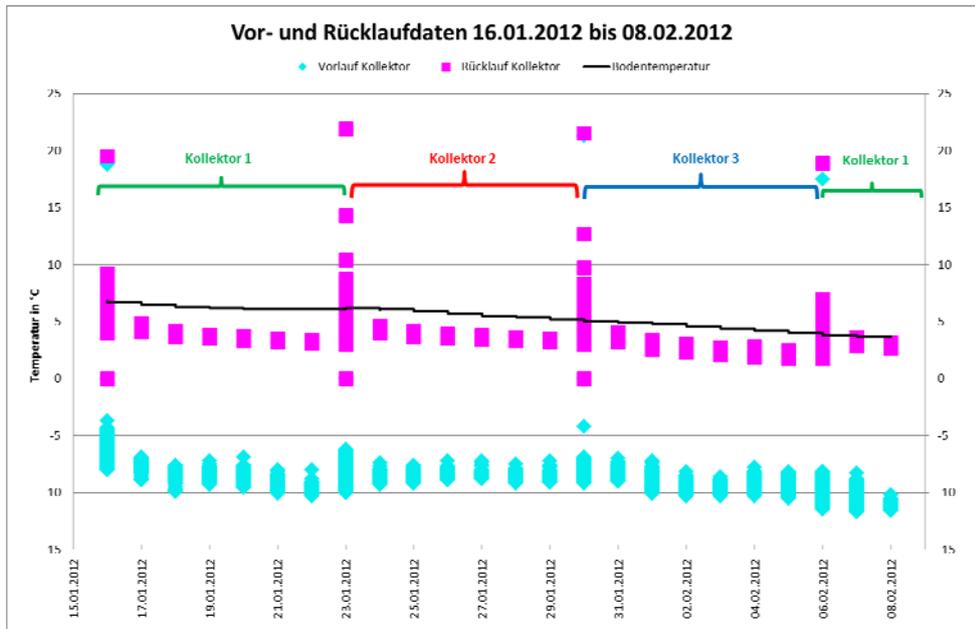


Abbildung 7: Vor- und Rücklauf temperaturdaten vor der Abschaltung Februar 2012 (Essen)

Beurteilung der Einbringart & Vergleich mit anderen Systemen

Die Datenauswertung zeigt, dass die innovative Einbringungsart zu keinen gravierenden Nachteilen in der Wärmeleistung führt. Das System zeigt ein ähnliches Verhalten wie ein konventionell eingebrachter Kollektor. Auch bei den Kollektorenarten ist innerhalb des Projektes kein klarer Unterschied festgestellt worden. Der Vierfachkollektor arbeitet trotz seiner größeren Außenfläche genauso gut, wie der einfache Kollektor und erzielt gleiche Leistungen. In der Praxis wird somit letzterer wegen des geringeren Materialpreises Verwendung finden.

Das Ziel war die Bewertung der technischen Möglichkeiten der innovativen Einbringtechnik und die damit verbundenen wirtschaftlichen Aspekte. Da die Leistung konventioneller Systeme annähernd den innovativen Verlegeverfahren entspricht, bietet das neue Verfahren Vorteile durch den geringeren Aufwand und niedrigeren Kosten.

Nachfolgend sind beispielhaft die Kosten anhand einer für 6–7 kW ausgelegten Anlage ermittelt worden. Dies entspricht der Heizlast eines durchschnittlichen Niedrig-Energie-Einfamilienhauses. Die Kosten dienen lediglich als Anhaltspunkte, da eine Reihe von Faktoren hier einwirken, wie z.B. Entzugsleistung des Bodens, Einbringbarkeit mit den jeweiligen Verfahren, Materialart, individuelle Firmenangebotskosten usw.

Die teuerste Anlagenvariante ist der konventionell eingebrachte Flächenkollektor mit ca. 10.000 €. Horizontal verlegte Flächenkollektoren, verursachen Kosten von 4.000 € bis 5.000 €, wenn sie mit

einer Erdrakete eingebracht werden. Das neu entwickelte, optimierte Verfahren liegt ca. 2.000 bis 3.000 € unter den Kosten der bisher in der Praxis angewendeten Verfahren. Ein ungefährender Kostenüberblick¹ ist in der Tabelle Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-1 gelistet.

Tabelle Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-1: Kostenübersicht der Einbringtechnik mit unterschiedlichen Systemen [2]

Anlagenvariation	Einbringart	geschätzte Kosten in [€]
Flächenkollektor, Horizontal	konventionell	10.000
Flächenkollektor, Horizontal	Pressverfahren	10.000
Flächenkollektor, Horizontal	Raketenverfahren	4.000 - 5.000
Flächenkollektor, Horizontal	"geschossen" mit innovativen Verfahren	2.000 - 3.000

Die Kosten einer Wärmepumpe sind nicht berücksichtigt (ab ca. 10.000 €).

Fazit und Ausblick

Anhand der Messergebnisse sind nur geringe Unterschiede bei der Kollektorentnahmeleistung zwischen den konventionellen und innovativen Einbrinverfahren fest zu stellen. Das innovative Verfahren ist jedoch um rund ein Drittel günstiger und somit erheblich wirtschaftlicher gegenüber den konventionellen Systemen. Darüber hinaus stellt das innovative Verfahren eine wesentlich einfachere und schnellere Installationsmöglichkeit dar. Als Nachteil ist eine erhöhte Sorgfalt bei der Verlegung mit „Erdraketen“ zu nennen, insbesondere bei steinigem Böden mit größeren Festkörpern. Hier kann es zu Abweichungen beim Durchtrieb kommen. Als Ausblick für einen weiteren Forschungsbedarf sind insbesondere herstellerepezifische Optimierung beim Raketenschussverfahren (z.B. Durchschuss bei steinigem Gelände, Wassermenge beim Spülgang, etc.) sowie Verbesserung bei Kollektorgeometrien und -materialien zu nennen. Diese werden voraussichtlich herstellerseitig erfolgen, da weitere Verbesserungen am individuellen Hersteller-Produkt design orientiert sein sollten. Insgesamt kann festgehalten werden, das durch den erweiterten Anwendungsbereich auch Marktsegmente und Kundenkreise mit sanierten Alt-bzw. Bestandbauten von der Nutzung dieser Heizungstechnik in Kombination mit der Verlegeart profitieren können, da aufwendige Erdarbeiten entfallen und die Platzanforderungen geringer sind.

¹ Die Kosten für die Grabenlosen Verfahren beruhen auf aktuellen Schätzungen der Firma Bega.Tec, da es sich momentan noch um Prototyp-Verfahren handelt sind Kostensenkungen bei einer zukünftigen Marktdurchdringung mit serienreifen Produkttypen zu erwarten.

Literatur

- [1] Deutscher Wetterdienst, URL: <http://www.dwd.de>, Abfragedatum: 11.02.2010
- [2] Interview, Befragung von Herrn Dr. Bohmann , Geschäftsführer der Bega.tec GmbH, Berlin,
Stand: 27.08.2009