



Geothermie-Vorhaben

Tiefe Geothermie:
Recht, Technik und Finanzierung

herausgegeben von
Dr. Jörg Böttcher

Oldenbourg Verlag München

Lektorat: Dr. Stefan Giesen
Herstellung: Tina Bonertz
Titelbild: thinkstockphotos.de
Einbandgestaltung: hauser lacour

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

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

A CIP catalog record for this book has been applied for at the Library of Congress.

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

© 2014 Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH
Rosenheimer Straße 143, 81671 München, Deutschland
www.degruyter.com/oldenbourg
Ein Unternehmen von De Gruyter

Gedruckt in Deutschland

Dieses Papier ist alterungsbeständig nach DIN/ISO 9706.

ISBN 978-3-486-71712-9
eISBN 978-3-486-77863-2

Vorwort

Das Thema Erneuerbare Energien hat in der politischen und öffentlichen Wahrnehmung seit der 2011 in Deutschland beschlossenen Energiewende nochmals an Aufmerksamkeit gewonnen. Dabei geht die nationale Abkehr von der Atomenergie auch mit einer Überprüfung und Anpassung von Fördersystemen der erneuerbaren Energien einher, die zu deutlichen strukturellen Veränderungen im Energie-Mix führen wird, wobei derzeit noch nicht klar ist, wer als Gewinner und wer als Verlierer aus dem politischen Verteilungskampf hervorgeht. Auf internationaler Ebene befinden sich die energiepolitischen Rahmenbedingungen insbesondere im Gefolge der Schuldenkrise noch stärker im Fluss, was die Planbarkeit von Investitionen und die Etablierung von Märkten für erneuerbare Energien deutlich erschwert¹.

Löst man sich von der politischen Dimension der Erneuerbaren Energien und betrachtet ihre Teilsegmente, so stellt man fest, dass sie sich in unterschiedlichen Entwicklungsphasen befinden, was wiederum mit ihrer Marktintegration und politischen Förderung korrespondiert. Wasserkraft, Onshore-Windenergie und Photovoltaik-Kraftwerke sind mittlerweile etablierte Formen, während sich Offshore-Windenergie und die Geothermie-Nutzung in einer frühen Marktphase befinden. Angesichts der teils umfangreichen Investitionen in die letztgenannten Bereiche kann aber erwartet werden, dass auch sie vor einem deutlichen Marktwachstum stehen. Wir wollen uns in dieser Abhandlung mit dem Teilsegment der Tiefen Geothermie beschäftigen.

Bei all der Fach- und Medienpräsenz der Erneuerbaren Energien ist ein Aspekt erstaunlich: Im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien wird nur selten das Thema ihrer Umsetzung angesprochen. Stattdessen fokussiert sich die Diskussion zumeist auf einzelne Themenfelder, wie ihre politischen, ökologischen und technischen Aspekte. Eine zusammenhängende Darstellung der rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekte, die gleichermaßen erfüllt sein müssen, damit ein Geothermie-Vorhaben realisiert werden kann, liegt bislang nicht vor. Dies mag damit zusammenhängen, dass Geothermie-Vorhaben erst seit wenigen Jahren Größenordnungen erreicht haben, die sie für Kapitalgeber interessant machen, und sich in einer jungen Branche im Anschluss an die Bewährtheit der Technik rechtliche und wirtschaftliche Standards erst etablieren müssen.

Dieses Buch ist aus der Wahrnehmung entstanden, dass es eines gemeinsamen Verständnisses und konzertierten Vorgehens von Vertretern aus Technik, Recht und Wirtschaft bedarf, um Vorhaben im Bereich Geothermie zu realisieren. Daher wird in dieser Publikation der Weg beschrit-

¹ Als Beispiele können etwa die Verwerfungen angeführt werden, die in verschiedenen Märkten der Solarbranche seit 2008 stattgefunden haben: In einigen Ländern wurden Tarife auch für bestehende Vorhaben reduziert oder es wurden nachträglich Steuern eingeführt. Dass die Tarifikürzungen zum Teil auch auf bestehende Vorhaben rückwirkten, ist als ordnungspolitischer Sündenfall zu werten und hat das Vertrauen in die Stabilität des Rechts- und Regulierungssystems dieser Länder beeinträchtigt. Siehe hierzu J. Böttcher 2012d, S. 21f.

ten, verschiedene Experten aus den genannten Bereichen zum Thema Projektfinanzierung von Geothermieprojekten zu Wort kommen zu lassen, so dass in der Gesamtschau vermittelt wird, welche Aspekte bei der Realisierung von Geothermieprojekten zu beachten sind².

Wir wollen im Folgenden darlegen, welche technischen und rechtlichen Voraussetzungen zum derzeitigen Zeitpunkt erfüllt sein müssen, um ein großvolumiges Geothermieprojekt über die Finanzierungsmethode einer Projektfinanzierung zu realisieren. Dabei muss man sich bewusst sein, dass sich insbesondere die Technik dynamisch weiterentwickelt sowie die rechtlichen Rahmendaten auf die Marktgegebenheiten reagieren und übergeordneten energiepolitischen Vorgaben gehorchen, so dass Geothermieprojekte insbesondere während der Entwicklungsphase dynamisch und flexibel gesteuert werden müssen. Durch den interdisziplinären Ansatz soll erreicht werden, dass der Leser für die Anforderungen der verschiedenen Teilbereiche sensibilisiert wird. Diese Darstellung ersetzt nicht eine projektspezifische Unterstützung und Beratung durch Spezialisten aus den jeweiligen Bereichen – dafür sind die Vorhaben einerseits zu spezifisch, andererseits befinden sich rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte auch in einer beständigen Weiterentwicklung.

Zur Realisierung von Projektfinanzierungen in einer Branche müssen mindestens zwei Voraussetzungen erfüllt sein: Die Technik muss langfristig einen stabilen und prognostizierbaren Energieertrag liefern und der Staat hat ein klares, planbares und verlässliches Rechts- und Regulierungsumfeld vorzugeben, das den Investoren und Fremdkapitalgebern eine hinreichende Planungssicherheit für einen wirtschaftlichen Betrieb verschafft. Sind diese beiden grundsätzlichen Anforderungen erfüllt, eröffnet sich die Möglichkeit für die wirtschaftliche Nutzung der Geothermie, und zwar auch in Form einer Projektfinanzierung. Zentrales Merkmal einer Projektfinanzierung ist die enge Verknüpfung des Schicksals des Projektes mit der Rückführung der Darlehen: Es sind die zukünftigen Cashflows des Vorhabens, die einzig für die Begleichung der operativen Kosten, die Bedienung des Kapitaldienstes und für Ausschüttungen an die Investoren verwandt werden können. Neben diese Cashflow-Orientierung der Projektbeurteilung tritt eine vertragliche Einbindung verschiedener Projektbeteiligter, die den Erfolg des Vorhabens unterstützen sollten (*Risk Sharing*). Der gesamte Risikomanagement-Prozess bei einer Projektfinanzierung bildet ein abgestimmtes Zusammenspiel von Risikoidentifikation, Risikoallokation und Risikoquantifizierung.

Damit Projektfinanzierungen im Bereich der Geothermie realisiert werden können, müssen Experten aus den Bereichen Technik, Recht und Wirtschaft zusammenfinden und eine für ein Vorhaben maßgeschneiderte Lösung entwickeln. Dieses in der Praxis bei jedem Vorhaben geübte Vorgehen war auch Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit. Bei der Konzeptionierung dieses Buches war schnell klar, dass Tiefe Geothermie ein Themenfeld darstellt, das in den verschiedenen Teilbereichen in einem sehr unterschiedlichen Detaillierungsgrad behandelt wird: Während die technischen Aspekte bereits sehr differenziert untersucht worden sind, gibt es nur einen recht kleinen Kreis von spezialisierten Rechtsanwälten, die sich des Themas aus rechtlicher Sicht angenommen haben. Und da insgesamt in Deutschland nur wenige Geothermie-Vorhaben realisiert worden sind, fehlt es ebenso an einer breiten Basis wirtschaftlicher Erfahrung. Die Projektfinanzierung von Geothermie-Vorhaben ist damit für

² Dieses Konzept habe ich bereits als Herausgeber für eine Reihe anderer Formen Erneuerbarer Energien umgesetzt: Im Oldenbourg-Verlag sind die Themen „Handbuch Windenergie“ (2011), „Solarenergie“ (2011) und „Handbuch Offshore-Windenergie“ (2013) dargestellt worden.

viele Beteiligten ein Betätigungsfeld, in dem Vieles neu ist: die Fragestellungen, die Zusammenarbeit der Beteiligten und die allgemein akzeptierten Spielregeln.

Bereits an dieser Stelle lässt sich festhalten, dass Geothermie-Vorhaben innerhalb der Erneuerbaren Energien ein einzigartiges Risikoprofil aufweisen: Während die Fertigstellungsphase erhebliche Risiken birgt, sind die möglichen, im Langfristbetrieb auftretenden Risiken besser beherrschbar. Aus energiepolitischer Sicht ermöglicht die Nutzung der Geothermie eine grundlastfähige Energieproduktion, was ihr im Zusammenhang mit der zunehmenden Bedeutung der anderen Erneuerbaren Energien und deren eher volatilen Energieangebot eine Ausgleichsfunktion zuweist.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 1 skizzieren PROF. DR. ROLF BRACKE und DR. ECKEHARD BÜSCHER, welche Zukunftsperspektiven die Tiefe Geothermie hat und vor welchen Herausforderungen sie steht. Im folgenden Kapitel 2 beschreibt DR. JÖRG BÖTTCHER die wesentlichen Aspekte einer Projektfinanzierung und leitet auf die folgenden Kapitel über.

DANIEL MARHEWKA informiert uns über die rechtlichen Anforderungen, die im Rahmen eines Geothermie-Projektes zu beachten sind. REINER BRUMME beschreibt im anschließenden Beitrag, welche Besonderheiten bei der Ausgestaltung der Verträge rund um die Fertigstellung zu beachten sind. Im Anschluss bringt er uns eine Reihe von rechtlichen Fragestellungen nahe: Dazu zählen das Thema Interferenz, aber auch das Thema Geodaten. Abgeschlossen wird der rechtliche Teil mit dem Beitrag von DR. WOLFRAM DISTLER, der die wesentlichen rechtlichen Anforderungen an ein Sicherheitskonzept aus Bankensicht beschreibt.

Im technischen Teil untersucht PROF. DR. ERNST HUENGES die Reservoireigenschaften und das Reservoirmanagement von Geothermievorhaben. SEBASTIAN JANCZIK, DR.-ING. NILS KOCK und PROF. DR. MARTIN KALTSCHMITT stellen in ihrem Beitrag dar, welche Techniken bei Geothermie-Vorhaben angewandt werden und welche Entwicklungsperspektiven derzeit erkennbar sind. TILO WACHTER beschreibt, wie der Fertigstellungsprozess eines Geothermie-Vorhabens in der Praxis gemanagt werden kann. DR. HEINER MENZEL stellt die Betriebserfahrungen eines Geothermievorhabens dar. Damit werden im Technik-Teil die Aspekte dargestellt, die für die Beurteilung der langfristigen Geeignetheit der Technik relevant sind.

Im wirtschaftlichen Teil wird auf den Ergebnissen der rechtlichen und technischen Darstellung aufgesetzt, die um verschiedene, komplementäre wirtschaftliche Teilaspekte ergänzt werden. Die soziale Akzeptanz von Geothermievorhaben stellt MARTINA LEUCHT dar. DR. JÖRG BÖTTCHER gibt Hinweise zur Optimierung der Finanzierungsstruktur.

Der guten Ordnung halber sei angemerkt, dass die Autoren ihre individuelle Meinung vertreten. Ihre Aussagen und Wertungen müssen weder notwendigerweise die Meinung der Unternehmen oder Institutionen widerspiegeln, für die die Autoren arbeiten, noch die Auffassung der übrigen Autoren treffen. Fehler habe ich selbstverständlich selbst zu vertreten.

Mein aufrichtiger Dank gilt den Autoren dieses Buches, die mit großem Enthusiasmus und Engagement seine Realisierung erst ermöglicht haben.

Kiel, im Oktober 2013

Dr. Jörg Böttcher

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XIX
1 Zukunftsperspektiven und Herausforderungen der Tiefen Geothermie	1
<i>Prof. Dr. Rolf Bracke und Dr. Eckehard Büscher</i>	
1.1 Marktentwicklung bei der Stromerzeugung.....	3
1.1.1 Situation in Deutschland.....	3
1.1.2 Europa und die Welt	4
1.2 Wärmemarkt und Tiefe Geothermie	5
1.3 Projekthindernisse und Herausforderungen	7
2 Projektfinanzierung eines Geothermie-Vorhabens	9
<i>Dr. Jörg Böttcher</i>	
2.1 Einleitung.....	9
2.2 Geothermie und Projektfinanzierung	13
2.2.1 Grundlagen einer Projektfinanzierung.....	13
2.3 Risikomanagement bei Geothermievorhaben	16
2.4 Relevante Einzelrisiken – Zuweisung von Verantwortlichkeiten	20
2.4.1 Das Ressourcenrisiko – Abschätzung des Energieertrages.....	21
2.4.2 Das Funktionsrisiko – Bewährte Technologie?	23
2.4.3 Das Fertigstellungsrisiko – Einbindung eines Generalunternehmers	24
2.4.4 Das Betriebs- und Managementrisiko.....	28
2.4.5 Das Rechts- und Regulierungsrisiko in Deutschland.....	29
2.4.6 Zinsänderungsrisiko.....	31
2.4.7 Zusammenfassende Würdigung der Einzelrisiken.....	32
2.5 Entwicklung einer Finanzierungsstruktur aus dem bisherigen Risikomanagement	32
2.5.1 Grundsätzliche Überlegungen.....	32
2.5.2 Hinweise zur Optimierung aus Sicht der Investoren und der Fremdkapitalgeber	35
2.5.3 Einbindung von Versicherungen in die Finanzierungsstruktur	36

3	Rechtliche Rahmenbedingungen	39
3.1	Das deutsche Regulierungssystem für Tiefe Geothermie..... <i>Daniel Marhewka</i>	39
3.1.1	Einleitung	39
3.1.2	Die relevanten Vorschriften.....	40
3.1.2.1	Bergrecht	40
3.1.2.2	Wasserrechtliche Normen (WHG, Wassergesetze der Länder).....	48
3.1.2.3	Baurecht	52
3.1.2.4	Immissionsschutzrecht	56
3.1.3	Staatliche Förderung der Geothermie.....	57
3.1.3.1	Die Einspeisevergütung gemäß EEG.....	57
3.1.3.2	Vergütungsbonus für petrothermale Techniken – § 28 Abs. 2 EEG	58
3.1.3.3	Degression der Vergütung	59
3.1.3.4	KfW-Finanzierung als Teil des Fremdkapitals	59
3.1.4	Relevante Prüfungspunkte in der Due Diligence.....	60
3.1.5	Rechtliche Hemmnisse für die Geothermie.....	62
3.1.6	Ausblick und Vorschläge an den Gesetzgeber	63
3.2	Vertragspraxis Geothermie – rechtliche Aspekte	64
	<i>Reiner Brumme</i>	
3.2.1	GU-Vertrag Kraftwerksbau Tiefe Geothermie – rechtliche Aspekte	64
3.2.1.1	Definition eines GU-Vertrages	64
3.2.1.2	Vergabe bei Ausschreibungspflicht.....	64
3.2.1.3	Beurteilung eines GU-Vertrages	66
3.2.1.4	Arten GU-Vertrag.....	66
3.2.1.5	Wer schreibt den Vertrag?.....	67
3.2.1.6	Einzelne Vertragsaspekte	67
3.2.1.7	Vertragsverhandlungen.....	68
3.2.1.8	Einzelne Vertragsinhalte des Globalpauschal-Vertrages.....	68
3.2.2	Tiefbohrvertrag.....	72
3.2.2.1	Einleitung	72
3.2.2.2	Ausschreibung	73
3.2.2.3	Vertragsarten	75
3.2.2.4	Vertragsinhalte	77
3.2.2.5	Ausländische Vertragsmuster	83
3.2.2.6	Zusammenfassung	85
3.2.3	AGB und VOB/B	85
3.2.3.1	Einleitung	85
3.2.3.2	Vertragsbedingungen.....	86
3.2.3.3	Hinweise.....	91
3.2.3.4	Rechtsprechung	92
3.3	Ausgewählte rechtliche Fragestellungen	95
	<i>Reiner Brumme</i>	
3.3.1	Genehmigungsverfahren.....	95
3.3.1.1	Immissionsschutzrecht	95
3.3.1.2	Naturschutzrecht.....	95

3.3.1.3	Flächen und Wege für Leitungen.....	96
3.3.1.4	Strahlenschutzrecht.....	96
3.3.2	Geodaten.....	97
3.3.3	Vergabe- und Ausschreibepflichten für tiefengeothermische Anlagen	100
3.3.4	Nutzungskonkurrenz und Interferenz	103
3.3.4.1	Einleitung.....	103
3.3.4.2	Hydraulik, Temperatur, Wasserchemismus	104
3.3.4.3	Beeinflussung, Beeinträchtigung oder Gefährdung?	104
3.3.4.4	Beweissicherung – selbständiges gerichtliches Beweisverfahren oder isoliertes Beweisverfahren SOBau.....	110
3.4	Rechtliche Anforderungen an ein Sicherheitenkonzept aus Bankensicht..... <i>Dr. Wolfram Distler</i>	124
3.4.1	Einleitung.....	124
3.4.2	Sicherheitentreuhänder und Parallel Debt	126
3.4.3	Die Kreditsicherheiten im Einzelnen.....	128
3.4.3.1	Pfandrecht an öffentlich-rechtlichen Genehmigungen.....	128
3.4.3.2	Grundstückssicherheiten.....	130
3.4.3.3	Sicherungsübereignung.....	134
3.4.3.4	Pfandrechte an Forderungen und Rechten als Kreditsicherheit	141
3.4.3.5	Die Globalzession als Kreditsicherheit.....	144
4	Technische Rahmenbedingungen	151
4.1	Reservoireigenschaften und Reservoirmanagement	151
	<i>Prof. Dr. Ernst Huenges</i>	
4.1.1	Einleitung.....	151
4.1.2	Reservoiringeering.....	152
4.1.3	Konzeption und bohrtechnische Erschließung des Forschungslabors Groß Schönebeck.....	153
4.1.4	Hydraulische Wasserstimulation	154
4.1.5	Seismische Ereignisse.....	157
4.1.6	Hydraulische Stützmittelstimulation.....	159
4.1.7	Produktivitätsbestimmung auf Basis hydraulischer Teste	159
4.1.8	Installation der Unterwasserpumpe.....	160
4.1.9	Betrieb und Monitoring	161
4.1.10	Zusammenfassung	163
4.2	Techniksysteme und Entwicklungstendenzen	165
	<i>Dipl.-Ing. Sebastian Janczik, Dr.-Ing. Nils Kock, Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt</i>	
4.2.1	Einleitung.....	165
4.2.2	Untertägige Komponenten.....	165
4.2.2.1	Bohrtechnik	165
4.2.2.2	Verrohrung und Komplettierung	172
4.2.3	Übertägige Komponenten.....	174
4.2.3.1	Heizwerke.....	175
4.2.3.2	Kraft- bzw. Heizkraftwerke	178
4.2.4	Anlagenkonzepte	182
4.2.5	Herausforderungen und Entwicklungstendenzen.....	185

4.3	Management zentraler Fertigstellungsrisiken.....	189
	<i>Tilo Wachter</i>	
4.3.1	Risikobegriff.....	189
4.3.2	Ziel und Risiken eines Geothermieprojektes.....	189
4.3.2.1	Reifegrad geothermischer Projekte in Deutschland.....	190
4.3.2.2	Zeitpunkt des Einstiegs in ein Geothermieprojekt.....	192
4.3.2.3	Risiken aufgrund des zeitlichen Entwicklungshorizontes	193
4.3.2.4	Planungsrisiken	194
4.3.2.5	GU-Verträge und Versicherungslösungen.....	196
4.3.2.6	Wahl der Erschließungsstrategie	198
4.3.2.7	Das bohrtechnische Risiko	199
4.3.2.8	Nachhaltigkeit der Förderung.....	201
4.3.2.9	Risikominimierung durch alternative Wärmeplanung.....	202
4.3.2.10	Öffentlichkeitswirkung.....	202
4.4	Betriebserfahrungen und Betriebskosten von Geothermie-Vorhaben	203
	<i>Dr. Heiner Menzel</i>	
4.4.1	Einführung.....	203
4.4.2	Gesamtinbetriebnahme.....	205
4.4.3	Grundlagen des Betriebes.....	207
4.4.4	Pflichten des Betreibers.....	209
4.4.5	Risiken des Betriebes	211
4.4.5.1	Betriebsrisiko – Energiebereitstellung.....	212
4.4.5.2	Betriebsrisiko – Nachhaltigkeit	212
4.4.5.3	Betriebsrisiko – Verunreinigungen.....	213
4.4.5.4	Betriebsrisiko – Mikroseismik.....	213
4.4.5.5	Betriebsrisiko – verfahrenstechnische Leistungsminderung	213
4.4.5.6	Betriebsrisiko – Stillstand der Anlage	214
4.4.5.7	Betriebsrisiko – Stromabsatz/Wärmeabsatz	214
4.4.6	Betriebswirtschaftliche Betrachtung.....	215
5	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	221
5.1	Sozio-technische Parameter der Projektentwicklung: Soziale Akzeptanz von Vorhaben der Tiefen Geothermie	221
	<i>Martina Leucht</i>	
5.1.1	Vorwort	221
5.1.2	Einleitung	222
5.1.3	Sozio-technische Parameter an der Schnittstelle zwischen Technik und Gesellschaft	224
5.1.4	Indikatoren für Akzeptanztendenzen gegenüber der Tiefen Geothermie in der Printmedienberichterstattung.....	227
5.1.4.1	Zur Erhebung von Indikatoren für Akzeptanztendenzen.....	227
5.1.4.2	Bewertungstendenzen und Vermittlung von Botschaften in der Printmedienberichterstattung zur Tiefen Geothermie.....	230
5.1.4.3	Akzeptanzfaktoren der Tiefen Geothermie	234

5.1.5	Bürgerinitiativen gegen Tiefe Geothermieprojekte	235
5.1.5.1	Motive und Gründe für die Entstehung der Bürgerinitiativen aus projekthistorischer Sicht	236
5.1.5.2	Motive und Gründe für die Entstehung der Bürgerinitiativen im gesamtgesellschaftlichen Kontext.....	239
5.1.5.3	Zur Relevanz der Bürgerinitiativen	240
5.1.6	Zur Rolle der Projektkommunikation	241
5.1.6.1	Kommunikationsnetzwerk im Projektumfeld	243
5.1.6.2	Erste Empfehlungen.....	245
5.2	Wirtschaftlichkeit und Ausgestaltung einer geeigneten Finanzierungsstruktur ...	249
	<i>Dr. Jörg Böttcher</i>	
5.2.1	Anforderungen an die Finanzierungsstruktur aus Sicht von Investoren und Banken	249
5.2.2	Methodik und Zusammenspiel zwischen Risikoidentifikation, Risikoallokation und Risikoquantifizierung	250
5.2.3	Darstellung der Reagibilität eines Geothermie-Projektes auf verschiedene Parameter-Änderungen	256
5.2.3.1	Zinssatzänderung	257
5.2.3.2	Betriebskostenänderung.....	258
5.2.3.3	Einnahmenrückgang	260
5.2.4	Verfahren der Risikoquantifizierung: Cashflow-Modell und Rating-Verfahren .	261
5.2.4.1	Dynamische Ziele einer Risikoquantifizierung.....	261
5.2.4.2	Der Schuldendienstdeckungsgrad als zentrale Kennziffer.....	266
5.2.4.3	Die Einbindung des Rating-Verfahrens	268
5.2.5	Entwicklung einer geeigneten Finanzierungsstruktur	269
5.2.5.1	Laufzeit-Variation.....	270
5.2.5.2	Tilgungsfreie Zeit	271
5.2.5.3	Die Schuldendienstreserve.....	273
5.2.5.4	Performance-abhängige Betriebskosten.....	274
Literatur		279
Autorenverzeichnis		291

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	System der Tiefen Geothermie mit aufgebrochenen Strukturen	3
Abbildung 2:	Entwicklung der geothermischen Stromerzeugung in unterschiedlichen Weltregionen.....	4
Abbildung 3:	Geothermische Fernheizsysteme in Europa	5
Abbildung 4:	Direkte Nutzung geothermischer Energie in Europa	6
Abbildung 5:	Installierte Geothermiekapazität in MW	10
Abbildung 6:	Installierte Geothermiekapazität nach Ländern	11
Abbildung 7:	Tiefengeothermische Nutzungspotenziale in Deutschland	12
Abbildung 8:	Vergleich Unternehmensfinanzierung und Projektfinanzierung	14
Abbildung 9:	Einflussfaktoren für die Wirtschaftlichkeit.....	17
Abbildung 10:	Risikomanagementprozess bei einer Projektfinanzierung – Teil I.....	19
Abbildung 11:	Ablaufschema Fertigstellungsphase.....	26
Abbildung 12:	Auswirkung einer Zinsänderung auf den DSCR-Verlauf.....	31
Abbildung 13:	DSCR bei verschiedenen Parameteränderungen.....	33
Abbildung 14:	Schema der existierenden Geothermischen Systeme.....	152
Abbildung 15:	Geometrische Beziehung zwischen Stressachsen, tektonischem Regime und Rissflächen	153
Abbildung 16:	Zielpunkte von Bohrungen im Reservoir.....	154
Abbildung 17:	Experimenteller Aufbau in Groß Schönebeck	155
Abbildung 18:	Hydraulische Stimulationen im Reservoir der Bohrung Groß Schönebeck 4.....	156
Abbildung 19:	Bohrung mit künstlichem Riss.....	157
Abbildung 20:	Relokalisierung seismischer Ereignisse nach massiver Stimulation	158
Abbildung 21:	Bohrung mit künstlichem Riss.....	159
Abbildung 22:	Schema einer elektrischen Tauchpumpe.....	161
Abbildung 23:	Korrosion an einer Pumpe und an der Verrohrung	162
Abbildung 24:	Bleiausfällung in der Nähe einer Pumpe in der Anlage Groß Schönebeck.....	163
Abbildung 25:	Geothermisches System.....	164
Abbildung 26:	Aufbau Rotary Bohranlage	166
Abbildung 27:	Spülungskreislauf (Quelle: Kaltschmitt, M; Streicher, W.; Wiese, A. (Hrsg): Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5. Auflage. Springer Berlin 2013.).....	168
Abbildung 28:	Meißeldirektantriebe (links Bohrturbine, rechts Verdrängermotor) (Quelle: Siehe S.168).....	171
Abbildung 29:	Beispielhaftes Verrohrungsschema.....	173
Abbildung 30:	Arten der Komplettierung (Open-Hole links; Cased Hole rechts)	174
Abbildung 31:	Prinzip eines Thermalwasserlaufes (Quelle: Siehe S.168).....	175

Abbildung 32:	Prinzip Nass- (links) und Trockenkühlturm (rechts)	179
Abbildung 33:	Vereinfachtes Schema eines ORC (Organic Rankine Cycle) (Quelle: Siehe S.168).....	180
Abbildung 34:	Nettostromwirkungsgrade verschiedener wassergekühlter ORC-Systeme.....	181
Abbildung 35:	Vereinfachtes Schema eines Kalina-Prozesses	181
Abbildung 36:	Nettostromwirkungsgrade verschiedener wassergekühlter Kalina-Systeme.....	182
Abbildung 37:	Exemplarisches Systemlayout einer geothermischen Heizzentrale	183
Abbildung 38:	Beispiele für Prinzipschemata geothermischer Heizzentralen	184
Abbildung 39:	Konzept einer kombinierten geothermischen Strom- und Wärmebereitstellung	184
Abbildung 40:	Reifegrad von Geothermie-Vorhaben in Deutschland.....	192
Abbildung 41:	Ganzheitlichkeit von geothermischen Erzeugungsanlagen im Vergleich von konventionellen Erzeugungsanlagen.....	204
Abbildung 42:	Vertragsmanagement beim Betrieb eines geothermischen Heizkraftwerkes.....	211
Abbildung 43:	Gegenüberstellung der erzeugten elektrischen Leistung in Abhängigkeit der Außentemperatur am Beispiel des geothermischen Heizkraftwerkes Landau.....	214
Abbildung 44:	Betriebskosten in Anlehnung an die GuV	216
Abbildung 45:	Zweiseitigkeit der Betriebskosten bei Stillständen durch Störungen und Havarien	218
Abbildung 46:	Beispielhafte prozentuale Aufteilung beim Stromeigenbedarf.....	219
Abbildung 47:	Schnittstelle Technik und Gesellschaft am Beispiel eines Projekts der Tiefen Geothermie.....	225
Abbildung 48:	Ausprägungen von Akzeptanz (nach Zoellner et al. 2009).....	228
Abbildung 49:	Differenzierungsschema für die Analyse von Akzeptanztendenzen im Rahmen einer Printmedienanalyse	229
Abbildung 50:	Bewertungstendenzen zur Tiefen Geothermie/Geothermie.....	230
Abbildung 51:	Übermittlung von Botschaften in der Berichterstattung	233
Abbildung 52:	Zeitliche Entstehung der Bürgerinitiativen (BI) zu Projekten der Tiefen Geothermie.....	237
Abbildung 53:	Relevante Stakeholder im lokalen Kommunikationsnetzwerk am Projektstandort.....	244
Abbildung 54:	Bestandteile des Risikomanagementprozesses	251
Abbildung 55:	Risikoeinflüsse auf ein Erneuerbare-Energien-Projekt.....	253
Abbildung 56:	Risikomanagementprozess bei einer Projektfinanzierung – Teil II	255
Abbildung 57:	DSCR Geothermie-Projekt (Sponsors Case)	257
Abbildung 58:	DSCR bei unterschiedlichen Zinssätzen.....	258
Abbildung 59:	DSCR bei veränderten Betriebskosten	259
Abbildung 60:	DSCR bei Einnahmenveränderung.....	260
Abbildung 61:	Gegenüberstellung Interner Zinssatz/Debt Service Cover Ratio	261
Abbildung 62:	Grundlegendes Cashflow-Modell mit Base- und Worst-Case.....	264
Abbildung 63:	Variation der Laufzeit.....	270
Abbildung 64:	DSCR bei Veränderung der tilgungsfreien Zeit	271
Abbildung 65:	DSCR bei Veränderung der Höhe der Schuldendienstreserve.....	273

Abbildung 66:	DSCR bei Flexibilisierung der Wartungskosten	275
Abbildung 67:	DSCR nach Verhandlungsprozess	276

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Erfolgsfaktoren einer Projektfinanzierung im Bereich Geothermie.....	17
Tabelle 2:	Übersicht über exogene und endogene Risiken	18
Tabelle 3:	Systeme der Tiefen Geothermie.....	23
Tabelle 4:	Verteilung von Fertigstellungsrisiken auf die Kapitalgeber	27
Tabelle 5:	Due-Diligence-Checkliste Geothermieprojekte	60
Tabelle 6:	GU-Vertrag aus Sicht des Auftraggebers.....	66
Tabelle 7:	Arten von GU-Verträgen	66
Tabelle 8:	Phasen einer ganzheitlichen Nutzung von geothermischer Energie	203
Tabelle 9:	Kosten bei Tauch- und Gestängepumpe	208
Tabelle 10:	Einflussfaktoren im Betrieb eines Geothermiekraftwerkes	217
Tabelle 11:	Risikoart, Risiko-Instrument und Risikoträger	252
Tabelle 12:	Systematisches Vorgehen bei der Risikoquantifizierung.....	255
Tabelle 13:	Rahmendaten eines Geothermieprojektes in Deutschland	256
Tabelle 14:	DSCR-Werte im Ausgangsfall.....	257
Tabelle 15:	DSCR-Werte bei unterschiedlichen Zinssätzen	258
Tabelle 16:	DSCR-Werte bei Betriebskostenänderungen.....	259
Tabelle 17:	DSCR-Werte bei Einnahmenveränderung	260
Tabelle 18:	DSCR-Werte bei Laufzeitvariation.....	270
Tabelle 19:	DSCR-Werte bei Variation der tilgungsfreien Zeit	272
Tabelle 20:	DSCR-Werte bei Veränderung der Höhe der Schuldendienstreserve	274
Tabelle 21:	DSCR-Werte bei flexiblen Wartungskosten	275
Tabelle 22:	DSCR-Wert im Kompromiss-Modell	277

1 Zukunftsperspektiven und Herausforderungen der Tiefen Geothermie

PROF. DR. ROLF BRACKE UND DR. ECKEHARD BÜSCHER

Geothermale Energiequellen sind grundlastfähig und können daher im Gesamtmix der Erneuerbaren Energien tageszeitliche oder saisonale Schwankungen ausgleichen. Die weltweiten – mit heutiger Technik theoretisch erschließbaren – Reserven werden auf das Dreißigfache sämtlicher fossiler Reserven geschätzt. Die großtechnische Nutzung der Erdwärme befindet sich allerdings am Anfang ihrer Entwicklung. So dürfte sich der Beitrag der geothermischen Energieerzeugung global von ca. 20 PJ (5,5 TWh) im Jahre 2010 auf 395 PJ im Jahr 2050 erhöhen. Dies bedeutet zugleich auch eine Verzwanzigfachung des relativen Anteils der Geothermie an den erneuerbaren Energien von 2,2 % in 2010 auf 13 % in 2050 (DLR 2012). Bereits das theoretische Potenzial ist enorm: 99 % unserer Erde ist heißer als 1.000 °C und 99,9 % sind wärmer als 100 °C. Zum Vergleich: Allein in Deutschland werden – über alle energetischen Nutzungen hinweg – 40 % des Primärenergieeinsatzes aufgewendet, um Wärme unter 100 °C zu erzeugen. Die geowissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Herausforderungen bestehen nun darin, diese Energien wirtschaftlich und nachhaltig zu erschließen. Doch ob dieses Potenzial dauerhaft erschlossen werden kann, hängt auch von den Erfahrungen und den Lerneffekten aus umgesetzten Projekten ab. Dabei spielen sowohl die Zuverlässigkeit der bestehenden Systeme als auch die weitere Kostenreduzierung – insbesondere der Bohrkosten – eine besondere Rolle.

Großtechnische Anlagen zur Nutzung geothermischer Energie für die Elektrizitätserzeugung finden sich weltweit insbesondere in vulkanisch und tektonisch aktiven Gebieten entlang von Plattengrenzen der Erdkruste. Die Nähe zu magmatischen Intrusionen führt in solchen Schwächezonen der Kruste zu besonders hohen Wärmestromdichten und zu erheblichen geothermalen Gradienten. Daraus resultieren Lagerstätten hoher Enthalpie, aus denen die Geofluide unmittelbar als Heißdampf gefördert werden können. Dieser Heißdampf aus hydrothermalen Lagerstätten lässt sich mittels Dampfturbinen unmittelbar in Strom wandeln.

Regionen mit besonders hohen Potenzialen und mit intensiver energetischer Nutzung der Erdwärme befinden sich zum Beispiel an den Rändern des Pazifiks. An diesem sogenannten „*Ring of fire*“ liegen große geothermale Vorkommen im äußersten Westen der USA, entlang der Subduktionszonen von Zentral- und Südamerika sowie auf der anderen Seite des Pazifiks in den Philippinen, in Indonesien, Japan und Neuseeland. Aber auch in der West-Türkei, Italien, Island und Ostafrika wurde die geothermische Energie bereits zu einer der wichtigsten Energiequellen für die Stromerzeugung ausgebaut.

Allerdings ist die Entwicklung geothermischer Lagerstätten nicht ausschließlich auf Hochenthalpie-Gebiete beschränkt. Im Gegenteil: Diese Reserven sind aufgrund ihrer tektonischen Lage begrenzt und nur noch beschränkt ausbaubar. In den übrigen Bereichen der kontinentalen Kruste, d.h. außerhalb aktiver Plattengrenzen, befinden sich die Regionen niedriger Enthalpie; sie machen mehr als 95 % der landbedeckten Erdoberfläche aus. Dort liegt die eigentliche Zukunft der Geothermie. Neben vergleichsweise wenigen Formationen mit hoher natürlicher Thermalwasserführung ist deren Erschließung weitaus überwiegend an nicht- bzw. geringpermeable Sedimentgesteine oder an deren kristallines Basement gebunden.

Die Erschließung dieser petrothermalen Speichergesteine in einer Tiefe zwischen 3.000 und 5.000 Metern erfordert andere, z.T. noch zu entwickelnde Methoden, wie z.B. *Enhanced Geothermal Systems* (EGS).

Der größte Teil der in Deutschland vorhandenen Geothermie kann nur über eine hydraulische Erschließung des Tiefengesteins genutzt werden; laut einer Potenzialstudie des Technikausschusses des Deutschen Bundestages sind dies 85–90 % aller vorhandenen Ressourcen³. Dabei werden die im Reservoirgestein natürlich vorhandenen Klüfte und Risse freigespült und hydraulisch aktiviert. Untergeordnet werden neue Risse mit Druckwasser hydraulisch erzeugt. Auf diese Weise wird die Durchlässigkeit des Gesteins künstlich erhöht und so der limitierende Faktor der Förderrate verbessert. Das Verfahren wird als *Enhanced Geothermal System* (EGS) bezeichnet; eine ältere Bezeichnung dafür ist *Hot Dry Rock* (HDR).

Allgemein unterscheidet man verschiedene Arten des hydraulischen Aufschlusses:

1. Wasserstimulation: Wasser, evtl. mit geringen Mengen an Zusätzen versetzt, wird mit einem über dem Gebirgsdruck liegenden Druck in den Untergrund gepresst. Als Reservoirgesteine dienen überwiegend rigide, spröde reagierende Gesteine wie z.B. Kalkstein, Sandstein, Kristallingestein (Granite, Gneise, Vulkanite). Dabei werden bereits vorhandene, z.T. durch Überlagerungsdruck und Mineralausfällungen verheilte Kluftsysteme wieder reaktiviert. Zudem können in Abhängigkeit von der Gesteinszusammensetzung neue, zum Teil mehrere hundert Meter lange Risse entstehen. Dieses Verfahren wurde bei den in jüngster Zeit durchgeführten EGS-Projekten eingesetzt. Außerdem kommen Stimulationen mit Säurezusatz auch bei hydrothermalen Projekten in Süddeutschland (bayrisches Molassebecken) sowie bei Brunnenbauprojekten zum Einsatz.
2. Stützmittelfrac: Bei diesem Verfahren werden diverse Stützmittel in Verbindung mit hochviskosen Gelen und/oder der Injektion von Chemikalien verwendet, die Teile des Gesteins lösen, das dann mit der Spülung an die Oberfläche befördert wird. Dieses Verfahren ist in der Kohlenwasserstoff-Industrie verbreitet. Es dient dort der Erschließung von i.d.R. plastisch reagierenden Tonsteinen ohne ausgeprägte natürliche Kluftsysteme und mit einem hohen Anteil an organischer Substanz. Diese Fracoperationen wurden auch z.T. beim ersten europäischen EGS-Forschungsprojekt in Soultz-sous-Forêts (FRA) sowie beim Forschungsprojekt in Groß Schönebeck des HELMHOLTZ-ZENTRUMS POTSDAM – DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM (GFZ) durchgeführt⁴.

³ TAB Arbeitsbericht Nr. 84 (02/2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Deutscher Bundestag, Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung.

⁴ Siehe hierzu auch den Beitrag von Prof. Dr. Ernst Huenges in Kapitel 4.1.

Wie in Abbildung 1 erkennbar, zirkuliert hier eingebrachtes Wasser in einem geschlossenen Kreislauf zwischen der Produktions- und der Injektionsbohrung durch den künstlich geschaffenen unterirdischen Wärmetauscher und dem oberirdischen Kraftwerksteil. Mit dem derzeitigen Stand der Tiefbohrtechnik kann auf diese Weise Erdwärme in bis zu 6.000 Metern Tiefe bis zu 400 °C erschlossen und für die Stromproduktion verwendet werden.

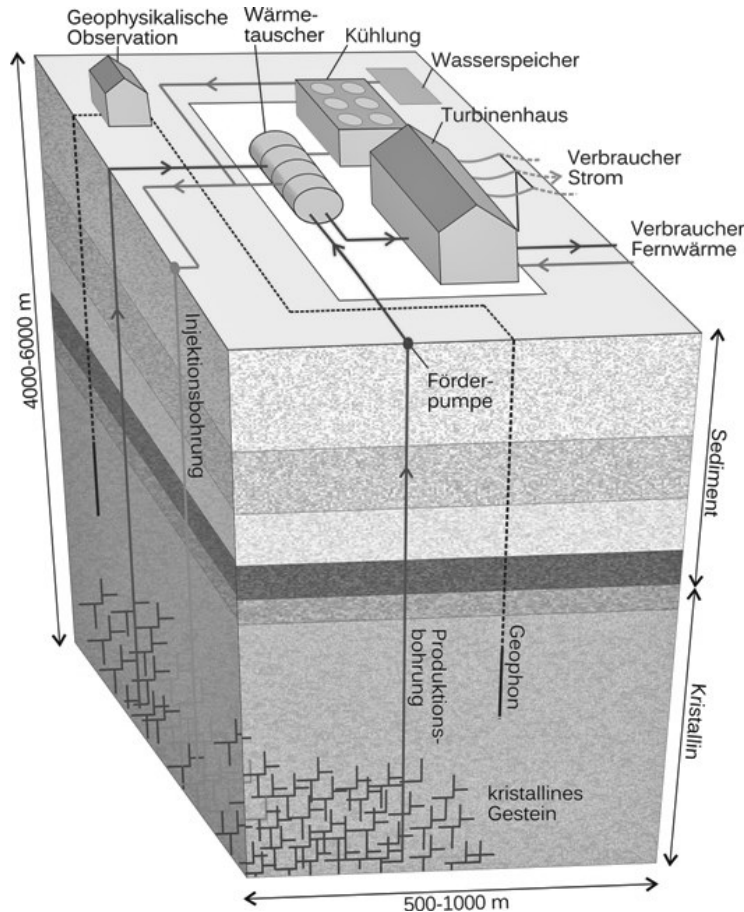


Abbildung 1: System der Tiefen Geothermie mit aufgebrochenen Strukturen

1.1 Marktentwicklung bei der Stromerzeugung

1.1.1 Situation in Deutschland

Nach Untersuchungen des GtV⁵ sind im Jahr 2013 22 Tiefe Geothermie-Anlagen in Betrieb, davon fünf mit Stromerzeugung. 15 Tiefe Geothermie-Anlagen werden errichtet und

⁵ Bundesverband Geothermie, <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/in-deutschland.html>.

43 Projekte sind deutschlandweit in Planung (Stand: Juli 2013). Insgesamt sind tiefe geothermische Kapazitäten von 12,3 MW_{el} und 222,9 MW_{th} in Deutschland am Netz. Die Einspeisevergütung des aktuellen EEG (Erneuerbare Energien Gesetz, § 28) beträgt bei Anlagen bis 10 MW 25,00 Cent/kWh. Dazu kann bei Anlagen mit petrothermaler Technik ein Technologiebonus von 5,00 Cent/kWh kommen. Ab 2018 greift eine Degression von 5,0 %.

1.1.2 Europa und die Welt

Sowohl die INTERNATIONALE ENERGIE AGENTUR (IEA) der OECD⁶ als auch der Bericht zur Geothermie des IPCC⁷ (INTERGOVERNAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) gehen von einem sehr starken Wachstum der geothermischen Stromerzeugung sowohl in Europa als auch in der Welt aus. Von 11.000 MW_{el} installierter elektrischer Leistung im Jahr 2010 sollen die Kapazitäten bis 2015 um über 75 % auf 19.500 MW_{el} gesteigert werden. Die von der IEA prognostizierte Entwicklung bis 2050 läßt eine verzehnfachte geothermische Erzeugungskapazität von 200 GW_{el} erwarten. Diese würden ca.1.400 TWh/a Strom produzieren. Der Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung würde bis 2050 in diesem Szenario auf 75 % ansteigen – der Anteil der geothermischen Elektrizität würde sich von 0,5 % im Jahr 2010 auf 3,5 % versiebenfachen. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der erwarteten Zuwächse auf die verschiedenen Weltregionen.

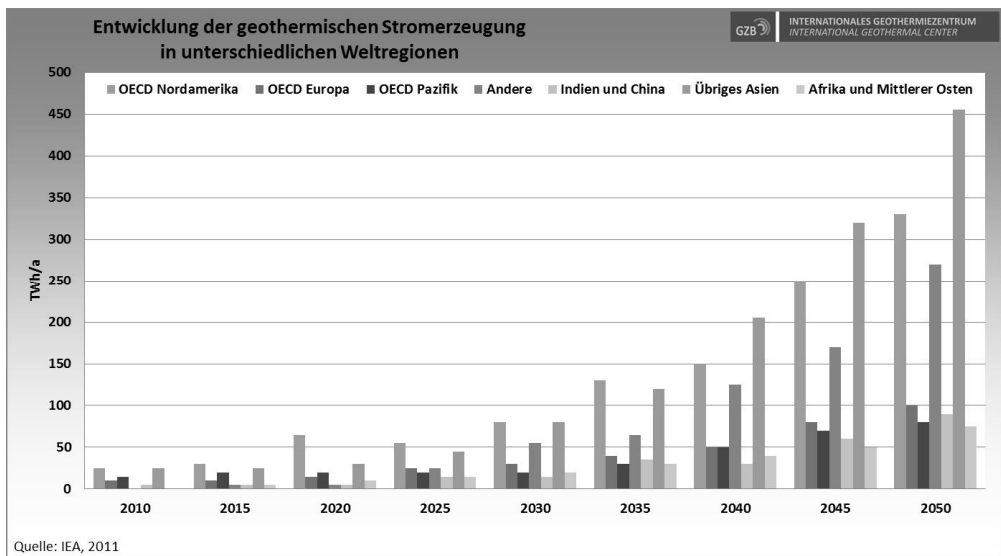


Abbildung 2: Entwicklung der geothermischen Stromerzeugung in unterschiedlichen Weltregionen

⁶ Technology Roadmap – Geothermal Heat and Power, OECD/IEA, Paris 2011.

⁷ Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Geothermal Energy, IPCC Working Group II, Final Release, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp., 2011.

Die enormen Steigerungen von 1.000 % verteilen sich relativ gleichmäßig auf die untersuchten Weltregionen. Die bisherige starke Stellung Nordamerikas in der Geothermie wird durch Entwicklungen in Asien – ohne China und Indien – abgelöst. Hier wird besonders in Indonesien und auf den Philippinen ein weiterer Ausbau erwartet. Die Geothermieverstromung in Europa, Afrika, China und Indien wird deutlich zunehmen. Besonders stark sind die Erwartungen an die Entwicklung in Zentral- und Südamerika, die bei der IEA unter „Andere“ subsumiert sind.

1.2 Wärmemarkt und Tiefe Geothermie

Auf dem europäischen Wärmesektor besteht für die Geothermie eine ungleich größere Chance als auf dem Strommarkt. Bis zum Jahr 2020 soll in Europa (EU-25) ein Anteil der Erneuerbaren Energien von 20 % am Primärenergieverbrauch und ein Anteil von 21 % an der Strombereitstellung erzielt werden. Laut Weißbuch der Europäischen Kommission soll die geothermische Stromkapazität auf 2 GW_{el} im Jahr 2020 ansteigen. Auf der Basis von ca. 850 MW_{el} installierter Leistung im Jahr 2007 kann dieses ehrgeizige Ziel erreicht werden. Für den Wärmebereich lauten die Ziele 25 GW_{th} im Jahr 2020.

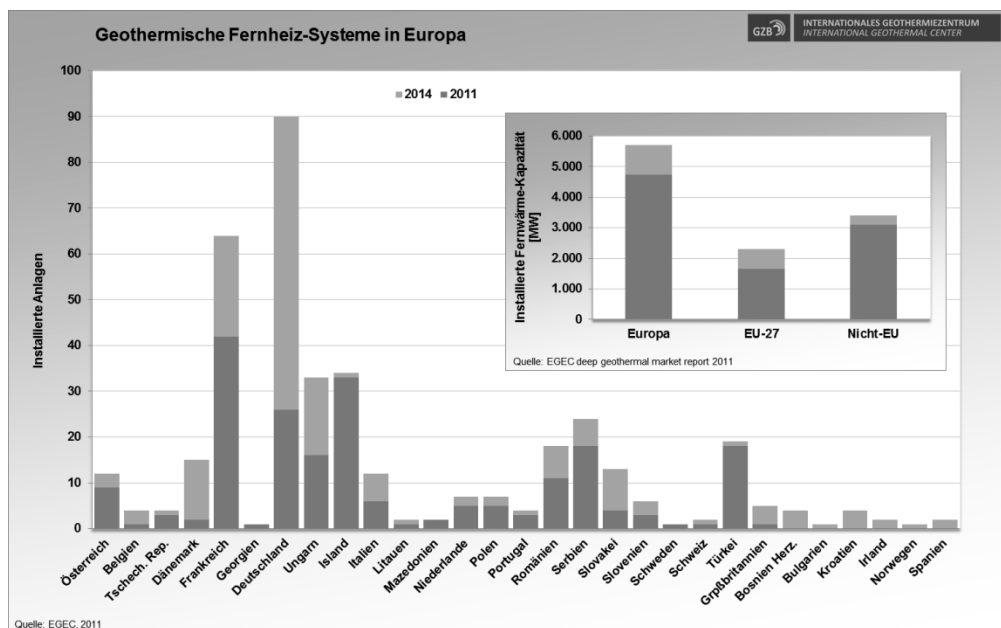


Abbildung 3: Geothermische Fernheizsysteme in Europa

Bereits heute machen Fernwärmenetze in Europa einen Anteil von 10 % am gesamten Wärmemarkt aus. Von den derzeitig 5.000 in Europa genutzten Fernwärmenetzen werden 216 als geothermische Fernwärmenetze betrieben⁸. Diese besitzen eine Gesamtkapazität von über

⁸ EGEC Deep Geothermal Market Report, First Edition 2011, Brussels.

4.700 MW_{th}; davon stammen alleine 500 MW_{th} aus CHP (Boissavy, 2011). Mitte der 1970er Jahre bis hin zur Mitte der 80er Jahre gab es den ersten großen Impuls zur Errichtung von solchen Netzen. Bis zum Jahr 2009 beruhigte sich der Markt, bekam dann erneuten Aufschwung und entwickelt sich seitdem stetig weiter. So beträgt im Jahr 2012 die installierte Gesamtleistung 4.900 MW_{th}; bis ins Jahr 2015 sollen weitere 2.000 MW_{th} realisiert werden. Die einzelnen Netze befinden sich meistens in einem Leistungsspektrum von 0,5 bis 50 MW_{th}, wobei sich der Trend hin zu Wärmenetzen für 1.000 bis 1.500 Gebäudeeinheiten entwickelt.

In Deutschland existieren zurzeit 24 geothermische Fernwärmenetze, welche vor allem in Bayern anzutreffen sind. Bis 2015 sollen 53 weitere Netze hinzukommen. Bis dahin wäre Deutschland hinsichtlich der Anzahl führend, aber auch Frankreich (2012: 42, 2015: +27), Ungarn (17, +17), Rumänien (11, +7) oder Dänemark (1, +13) betreiben einen massiven Ausbau. Fördertiefen von 2.000 m bis 3.500 m, hauptsächlich in Sedimentgestein, sind nicht unüblich. Bei geringeren Tiefen und ggf. geringeren Fördertemperaturen kommen immer häufiger Großwärmepumpen zum Einsatz. Diese sind leistungsstarke Aggregate im Megawatt-Bereich. Ziel muss es sein, möglichst zeitnah die geothermische Fernwärme massiv auszubauen, um die Energiewende im Bereich der erneuerbaren Wärmebereitstellung voranzutreiben.

In Deutschland wird laut BMU mehr als ein Drittel des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser genutzt; in Europa sind es etwa 50 % für das Heizen und Kühlen. Deshalb werden die massiven Potenziale der Geothermie zur Vermeidung von Treibhausgasen und für den Ausbau der Energiewende auf thermischer Seite erkennbar.

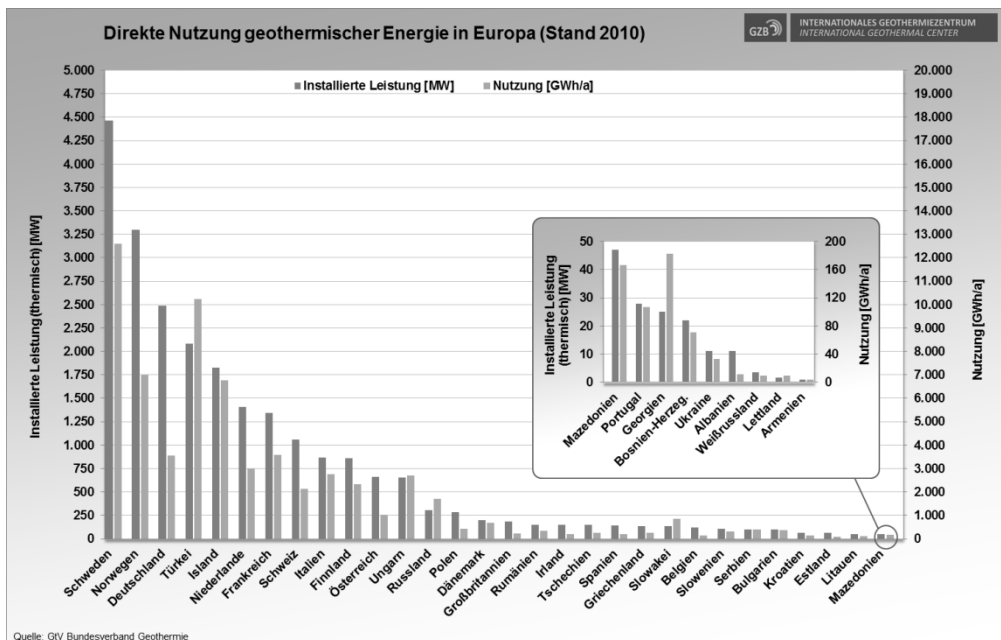


Abbildung 4: Direkte Nutzung geothermischer Energie in Europa

Auch ohne Fernwärmenetze kann die Tiefe Geothermie zur Heizung und Kühlung von Gebäuden genutzt werden. In den Niederlanden z.B. wird nicht nur die tiefegeothermische Heizung von Gewächshäusern, sondern auch von einzelnen Wohnanlagen genutzt. Den Haag ist die erste Stadt in den Niederlanden, die Geothermie zur Wärmeversorgung nutzt. Mittels zweier Bohrungen von 2.400 m bzw. 2.700 m Tiefe sollen Heizwärme und warmes Wasser für 4.000 Haushalte und knapp 20.000 m² Büroflächen bereitgestellt werden. Bis 2017 soll das Projekt fertiggestellt sein. Das Projekt „AARDWARMTE DEN HAAG“ (Erdwärme Den Haag) ist ein Gemeinschaftsprojekt der Stadt Den Haag, zwei Energielieferanten (ENECO und E.ON BENELUX) und drei örtlichen Wohnungsbaugesellschaften (STAEDION, VESTIA und HAAG WONEN).

Global betrachtet ist China mit ca. 8.900 MW_{th} installierter geothermischer Leistung (Bezugsjahr 2010) der mit Abstand größte geothermische Wärmemarkt. Zum Vergleich: Der deutsche geothermische Wärmemarkt beläuft sich auf 2.485 MW_{th} in rund 265.000 Projekten ein Viertel des chinesischen Volumens (IGA 2010). In China erzwingt neben dem starken Bevölkerungswachstum und einem damit verbundenen steigenden Energiebedarf auch die hohe Umweltbelastung durch die Kohlenutzung die Erschließung alternativer Energiequellen. Das offizielle Ziel lautet 16 % Erneuerbare Energien an der Primärenergieversorgung bis 2020. Laut der NATIONAL DEVELOPMENT AND REFORM COMMISSION (NDRC) könnten die geothermischen Kapazitäten von 45 MW_{el} auf 250 MW_{el} im Jahr 2020 ausgebaut werden.

Neben der Wärmeversorgung von Gebäuden und der Prozesswärme für Betriebe spielt die Wärmeversorgung von Gewächshäusern mit Tiefer Geothermie eine zunehmend wichtige Rolle. Nicht nur in den Niederlanden, sondern auch in Deutschland und weltweit ist die Tiefe Geothermie trotz relativ hoher Investitionskosten aufgrund der geringen Betriebskosten insbesondere bei hohen jährlichen Nutzungsstunden immer häufiger eine Alternative zu Gas- oder Ölheizungen.

1.3 Projekthindernisse und Herausforderungen

Bedingt durch die hohen Investitionskosten, die technischen Risiken beim Bohrvorgang selbst und einem generellen Fündigkeitsrisiko von einigen Millionen Euro pro Fehlbohrung, ist es zu diesem Zeitpunkt sowohl für Kommunen als auch für die kommunalen Stadtwerke als potenzielle Betreiber noch mit großen Schwierigkeiten verbunden, die Projektfinanzierung sicherzustellen. Mittlerweile bieten hier einige Industrieversicherungsmakler erste ganzheitliche Versicherungslösungen an, während auf ministerieller Ebene für nationale und internationale Projekte die Überlegungen in Richtung von Projektfonds gehen, die solche Risiken abdecken sollen.

Es existieren positive Erwartungen an die zukünftige Entwicklung der Geothermie sowohl bei der Stromerzeugung als auch im Wärme- und Kältemarkt. Die im Jahr 2011 von der IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY der OECD) veröffentlichte Roadmap geht von starkem Wachstum sowohl in den klassischen OECD-Ländern als auch in China und Indien aus. Als besondere Herausforderungen für die Wissenschaft und die Industrie sehen die INTERNATIONAL GEOTHERMAL ASSOCIATION (IGA), die INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR und andere Organisationen in erster Linie die Entwicklung und den Ausbau der EGS-Technologie. Nur damit ist der Geothermie zu einem spürbaren Marktanteil unter den

Erneuerbaren Energieträgern zu verhelfen. Dafür sind in den kommenden 20 Jahren fünf Meilensteine zu erreichen:

1. Die Entwicklung von EGS-Kraftwerken bzw. Anlagen in unterschiedlichen geologischen und tektonischen Situationen, wie Kristallin-/Sedimentgesteine oder Becken- bzw. Orogenstrukturen innerhalb der nächsten zehn Jahre. Dazu gehört auch deren Weiterentwicklung aus und Überschneidung mit hydrothermalen Systemen.
2. Die Entwicklung von hydraulischen und chemischen Stimulationstechnologien, die insbesondere auf geothermische Fragestellungen abgestellt sind.
3. Aus Gründen des Umweltschutzes und der gesellschaftlichen Akzeptanz muss der Fokus auf umwelt- und sozialverträglichen Stimulationsverfahren liegen. Dazu müssen zunächst die Projektmanagementstrukturen im Hinblick auf den Gesundheitsschutz, die Sicherheit und den Umweltschutz definiert und standardisiert werden. Das gilt z.B. auch für Aspekte der induzierten Seismizität.
4. Das Erreichen einer Langzeitverfügbarkeit der Ressource mit den zugehörigen Betriebsführungs- und Monitoringprozessen für das Reservoir.
5. Ab 2025 sollte die Lernkurve zum Ausbau der Kraftwerkskapazitäten bis 50 MW_{el} und anschließend zu einer Größenordnung von 200 MW_{el} führen. Hierfür müssen kaskadierte, modulartige Systeme entwickelt werden.

2 Projektfinanzierung eines Geothermie-Vorhabens

DR. JÖRG BÖTTCHER

2.1 Einleitung

Die INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) prognostiziert in einer ihrer Studien (World Energy Outlook 2009), dass der weltweite primäre Energiebedarf zwischen 2007 und 2030 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 1,5 % ansteigen wird, wobei Asien und der Mittlere Osten Hauptträger des Bedarfs sein werden. Die Stromnachfrage wird im gleichen Zeitraum sogar um 2,5 % ansteigen. Dieser erwartete Energiebedarf lässt sich nur dann decken, wenn auch hinreichende Finanzierungsmittel zur Verfügung stehen, was vor dem Hintergrund der andauernden Umbrüche im Finanzsektor eine Herausforderung sein wird. Die IEA sieht bis 2030 einen kumulierten Kapitalbedarf von etwa 26 Billionen USD, wobei etwa die Hälfte der Investitionen in Entwicklungsländern benötigt wird. Im gleichen Zeitraum steigen die CO₂-Emissionen – ohne einen Politikwechsel – ebenfalls mit einer jährlichen Wachstumsrate von 1,5 % an mit den vielfach beschriebenen Folgen für das globale Klima. Um den Temperaturanstieg unter 2°C zu begrenzen, bedarf es erheblicher politischer Anstrengungen und umfangreicher Investitionen in umweltverträgliche Energieträger. Der STERN-REPORT hat darüber hinaus deutlich gemacht, welche weltweiten ökonomischen Folgen sich aus dem Klimawandel ergeben: Die jährlichen Kosten entsprechen, sofern nicht gehandelt wird, einem jährlichen Verlust zwischen 5 % bis 20 % des globalen Bruttoinlandsprodukts, wobei Entwicklungs- und Schwellenländer noch wesentlich härter betroffen sein können.

Die genannten Aspekte umreißen das politische Spannungsfeld der Energiepolitik, die eine langfristige Versorgungssicherheit zu akzeptablen Preisen und ökologisch verträglichen Rahmenbedingungen sicherstellen will. Erneuerbaren Energien kommt in diesem Umfeld eine hohe Bedeutung zu, da sie benötigt werden, um den Treibhauseffekt möglichst klein zu halten. Während bestimmte Formen – wie Wasserkraft, Onshore-Windenergie und Photovoltaik – mittlerweile als etablierte Technologien angesehen werden können, befinden sich andere Technologien – wie Offshore-Windenergie, Solarthermie und Tiefe Geothermie – in einer frühen Marktphase, die aber gleichwohl erhebliches Ausbaupotenzial versprechen.

Im Rahmen dieser Darstellung soll untersucht werden, welche Rahmenbedingungen bei der Realisierung von Geothermie-Vorhaben in Form einer Projektfinanzierung zu beachten sind. Dies bedarf, wie im Vorwort beschrieben, eines abgestimmten Vorgehens von Spezialisten aus den Bereichen Recht, Technik und Wirtschaft, was sich hier in einer Aufteilung in drei

entsprechende Themenblöcke widerspiegelt. Wir haben uns dazu entschieden, hier ausschließlich die Tiefe Geothermie zu betrachten. Ziel ist es, fachliche Hinweise und Handlungsempfehlungen zu entwickeln, die bei der Realisierung von Geothermievorhaben beachtet werden sollten.

Starten wollen wir mit einem Blick auf den aktuellen Stand der Geothermie-Nutzung. In Deutschland wird mit gegenwärtig etwa 600 MW installierter Leistung Wärme produziert, weltweit sind etwa 15.000 MW_{thermisch} und 8.400 MW_{elektrisch} installiert⁹.

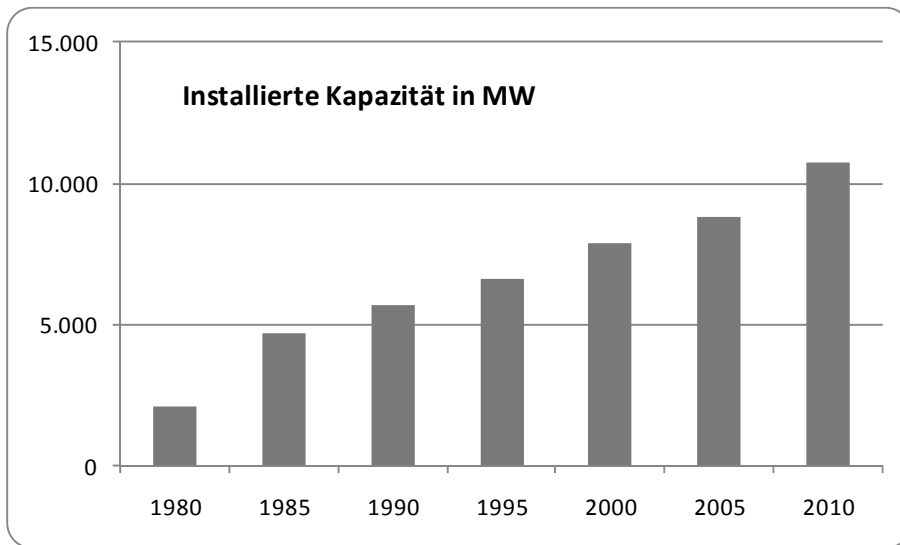


Abbildung 5: Installierte Geothermiekapazität in MW

Bei einem Blick auf die Länder fällt auf, dass wir Schwerpunkte in Nord- und Mittelamerika sowie Fernost vorfinden. Die Nutzung in Europa fällt demgegenüber deutlich zurück.

Fragt man nach den Gründen für die zurückhaltende Entwicklung bei der Nutzung der Tiefen Geothermie in Deutschland, so wird man neben den geologischen Gegebenheiten das einzigartige Risikoprofil von Geothermieprojekten als einen wichtigen Grund anführen können. Einerseits finden wir hier ein ausgeprägtes Fündigkeits- und Bohrlochrisiko vor, das eine erhebliche Verlustgefahr während der untertägigen Fertigstellungsphase bedeutet. Damit ist eine Beteiligung von Fremdkapitalgebern in dieser Phase eher unwahrscheinlich. Andererseits erlauben Geothermie-Kraftwerke mit erfolgter Fertigstellung eine grundlastfähige Energieproduktion, die sie in dieser Phase als für eine Projektfinanzierung grundsätzlich gut geeignet erscheinen lassen. Diese zeitlich unterschiedliche Risikoausprägung erfordert eine entsprechende Anpassung der Finanzierungsquellen und der Finanzierungsstrukturen: Während der Bohrphase und der unterirdischen Erschließung sind die Eigenkapitalinvestoren gefragt, die in der Lage sein müssen, erhebliche Vorleistungen aus eigener Hand vornehmen zu können, während die oberirdische Erschließung auch den Einsatz von Fremdkapital ermöglicht.

⁹ GEFGA, S. 4.

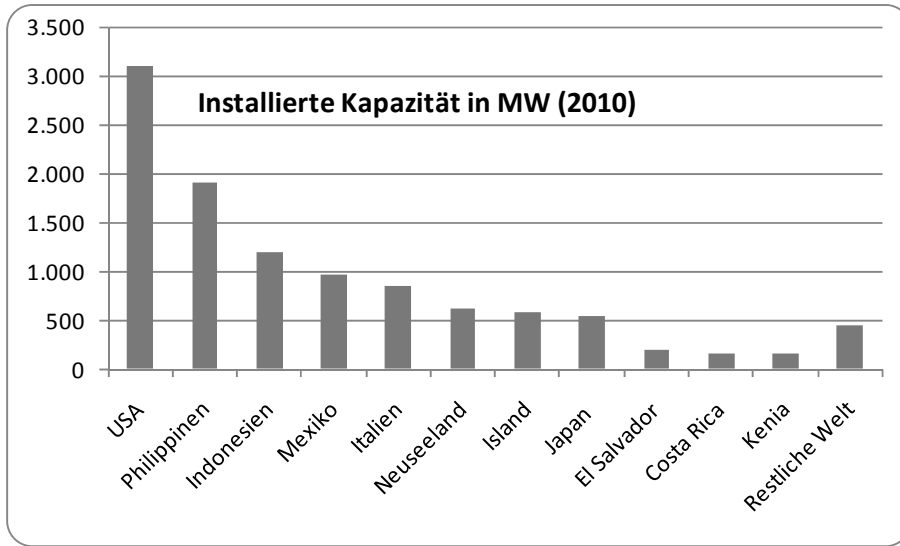


Abbildung 6: Installierte Geothermiekapazität nach Ländern¹⁰

Insbesondere die Möglichkeit, grundlastfähigen Strom erzeugen zu können, sollte die Finanzierbarkeit von Geothermie-Projekten begünstigen, wobei die Risiken – abhängig von der Technik und den geologischen Verhältnissen – insbesondere in der Fertigstellungsphase hoch sein können und die wahrgenommene Akzeptanz in der Bevölkerung als derzeit problematisch erscheint. Für die Politik sollte die Nutzung der Geothermie gleichwohl interessant sein, da neben einer grundlastfähigen Stromerzeugung auch konventionelle Verbrennungsprozesse vermieden werden, sodass keine direkten CO₂-Emissionen verursacht werden.

Aussagen zur Wirtschaftlichkeit einer geothermischen Anlage sind entscheidend von den hydraulischen und thermischen Eigenschaften des Nutzhorizonts sowie der Zusammensetzung des Wassers abhängig. Zentral ist dabei der geothermische Gradient: Er beschreibt den Temperaturanstieg hin zum Erdkern und beträgt in Deutschland durchschnittlich 3 bis 4°C pro 100 Meter¹¹. Standorte mit erhöhten Temperaturgradienten können zu Kosteneinsparungen führen, weil die Bohrtiefe geringer ausfällt. Allerdings muss immer auch die Förderrate mit berücksichtigt werden.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer geothermischen Anlage wird die Wärme regelmäßig ganzjährig genutzt. Dabei ist die Nutzung der Wärme hintereinander auf verschiedenen Temperaturniveaus – Kaskadenprinzip – aus ökonomischer und ökologischer Sicht anzustreben, etwa in einer Kombination Fernwärme (60 bis 90°C), Gewächshäuser (30 bis 60°C) und Fischzucht (unter 30°C). Eine Stromerzeugung ist in der Regel erst bei Temperaturen oberhalb von 100°C mit entsprechender Technologie möglich. Je höher das Temperaturniveau ist, umso besser ist der Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung. Auch bei dieser Technologie ist

¹⁰ IGA 2012.

¹¹ Enerchange 2012, S. 4.

die Restwärme aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht zu vermarkten. Analoge Überlegungen gelten für die Nutzung von petrothermalen Systemen.¹²

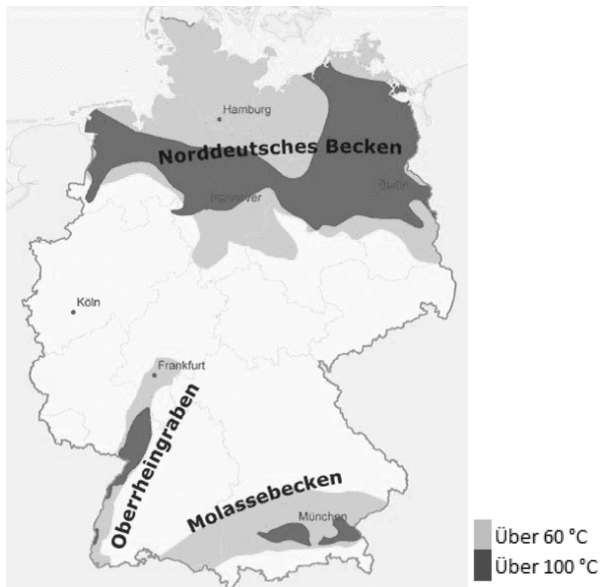


Abbildung 7: Tiefengeothermische Nutzungspotenziale in Deutschland¹³

Deutschlands wichtigste Regionen im Hinblick auf hydrogeothermische Nutzungen sind das Süddeutsche Molassebecken, daneben das Norddeutsche Becken und der Oberrheingraben.¹⁴ In diesen Regionen existieren im tiefen Untergrund Reservoirs mit heißen Wässern, die mit Temperaturen von über 60 °C eine direkte Wärmenutzung, darüber hinaus bei Temperaturen von über 100 °C auch eine grundlastfähige Stromerzeugung ermöglichen.

Geothermievorhaben können in Form einer Projektfinanzierung realisiert werden, so dass die Sponsoren eine Haftungsbeschränkung erreichen. Dies gelingt aber nur, wenn die vom Projekt generierten Cashflows als so stabil und vorhersagbar angesehen werden können, dass auf eine Mithaft der Initiatoren über die gesamte Projektdauer verzichtet werden kann. Welche methodischen Besonderheiten bei einer Projektfinanzierung dabei zu beachten sind, stellen wir im folgenden Abschnitt 2.2 vor.

¹² PK Tiefe Geothermie 2007, S. 14.

¹³ O.V. BMU 2011, S. 4.

¹⁴ Das Geothermische Informationssystem GeotIS (www.geotis.de) bietet weitergehende Informationen über die Standorte und Potenziale der Tiefen Geothermie. Siehe zu den Spezifika der drei genannten Regionen auch den Beitrag von TILO WACHTER in Kapitel 4.3.