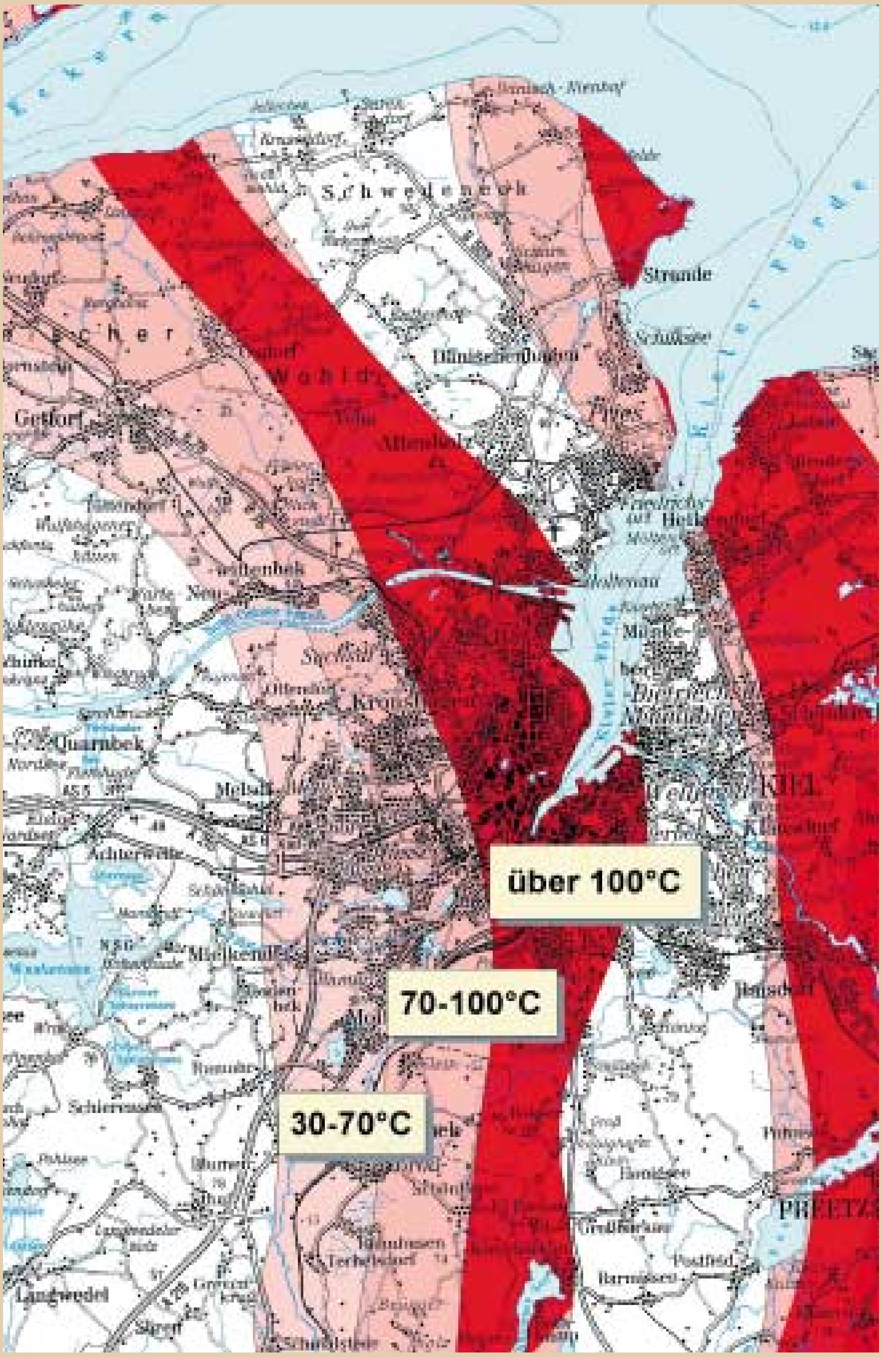
Landesamt für
Natur und Umwelt
des Landes
Schleswig-Holstein



Geothermie in Schleswig-Holstein

Ein Baustein für den Klimaschutz

Herausgeber:
Landesamt für Natur und Umwelt
des Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek
Tel.: 0 43 47 / 704-0
www.lanu-sh.de

AnsprechpartnerInnen:
Claudia Thomsen, Tel.: 0 43 47 / 704-563
Dr. Thomas Liebsch-Dörschner, Tel.: 0 43 47 / 704-559
Dr. Reinhard Kirsch, Tel.: 0 43 47 / 704-534

Titelfotos (Fotoautor):
Oben: Bohrarbeiten zur Installation von
Erdwärmesonden
Mitte: Einbringen der Erdwärmesonde
(beide: Dr. T. Liebsch-Dörschner)
Unten: Erdwärmesonde (Dr. P.-F. Schenck)

Karte: Potenzieller geothermischer Nutzhorizont
im Raum Kiel - Kartengrundlage: Rasterdaten TÜK 200,
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Herstellung:
Pirwitz Druck & Design, Kiel

Juli 2004

ISBN: 3-923339-96-8

Diese Broschüre wurde auf
Recyclingpapier hergestellt.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der
Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-
holsteinischen Landesregierung heraus-
gegeben. Sie darf weder von Parteien
noch von Personen, die Wahlwerbung
oder Wahlhilfe betreiben, im Wahl-
kampf zum Zwecke der Wahlwerbung
verwendet werden. Auch ohne zeit-
lichen Bezug zu einer bevorstehenden
Wahl darf die Druckschrift nicht in einer
Weise verwendet werden, die als Partei-
nahme der Landesregierung zu Gunsten
einzelner Gruppen verstanden werden
könnte. Den Parteien ist es gestattet,
die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer
eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Landesregierung im Internet:
www.landesregierung.schleswig-holstein.de

Geothermie in Schleswig-Holstein – Ein Baustein für den Klimaschutz

Vorwort 5
Wolfgang Vogel

Einführung 7
Sven Christensen

Geothermie – die Energie, die aus der Tiefe kommt 9
Claudia Thomsen

Tiefengeothermie

Die Struktur des tiefen Untergrundes von Schleswig-Holstein 13
Paul-Friedrich Schenck

Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein 27
Claudia Thomsen

Hydrothermale Wärmeversorgung 37
Claudia Thomsen

Vorbilder im Norden – Geothermieprojekte in Dänemark und Schweden 43
Sven Christensen, Thomas Liebsch-Dörschner, Reinhard Kirsch

Strom aus der Erde 49
Reinhard Kirsch

Tiefe Erdwärmesonden zur lokalen Wärmeversorgung 53
Roland Gaschnitz

Oberflächennahe Geothermie

Was wir schon immer über Wärmepumpen wissen wollten 57
Reinhard Kirsch

Oberflächennahe Geothermieanlagen – was ist zu tun? 61
Thomas Liebsch-Dörschner

Wärme- und Kältespeicherung im Erdboden 67
Frank Kabus

Geothermisches Heizen und Kühlen von Verwaltungsgebäuden 79
Martin Hellmann

Planungskarten zur Dimensionierung von Erdwärmesonden für Schleswig-Holstein 85
Reinhard Kirsch, Gottfried Agster, Karen Bäzner, Broder Nommensen, Wolfgang Scheer

Was tut sich in Schleswig-Holstein? 91
Reinhard Kirsch, Thomas Liebsch-Dörschner

Rechtliche Aspekte und Förderung

Rechtliche Aspekte der Erdwärmenutzung 99
Thomas Liebsch-Dörschner

Fördermöglichkeiten für die Nutzung geothermischer Energie 101
Claudia Thomsen

Anschriften der Autorinnen und Autoren 109

Vorwort

Der Schutz des Klimas ist eine der vorrangigen gesellschaftlichen Aufgaben des 21. Jahrhunderts.

Das nationale Klimaziel bis 2020 erfordert von der Bundesrepublik Deutschland eine ökologisch und ökonomisch tragfähige Energieversorgung. Die Kraftwerkskapazitäten für Energieerzeugung müssen in den nächsten 15 Jahren in wesentlichen Teilen erneuert werden. Dies bietet eine historische Chance, durch den Einsatz CO_2-armer Energieträger und Kraftwerkstechnologien mit einem hohem Wirkungsgrad den Klimaschutz auch unter Kostenaspekten nachhaltig zu fördern.

Vor dem Hintergrund, dass etwa 50 % des Energieverbrauches auf die Wärmebereitstellung für Heizung und Warmwasserbereitung entfallen, wird deutlich, dass die Bereitstellung von Wärme über die Nutzung geothermischer Potenziale einen wesentlichen Beitrag zur CO_2-Verminderung und damit zum Klimaschutz erbringen kann. Das Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein hat schon in den vergangenen Jahren in der Darstellung und Bewertung der Nutzung geothermischer Potenziale in Schleswig-Holstein verstärkt fachliche Arbeit geleistet. Nachdem die Broschüre „Geothermie – eine Perspektive für Schleswig-Holstein“ vergriffen ist, soll mit der hier vorgelegten Schrift über die aktuellen und vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Geothermie informiert werden.

Das Spektrum reicht von den geologischen Grundlagen und den Anwendungsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie und der Tiefengeothermie bis hin zu Planungshilfen und der Vorstellung von Projekten, die neben der Wärmegestellung auch die Möglichkeiten der Wärme- und Kältespeicherung verdeutlichen. Daneben erfolgen Hinweise zu den rechtlichen Aspekten und zu potenziellen Fördermöglichkeiten von Einzelprojekten. Die Broschüre dient damit sowohl privaten als auch gewerblich orientierten Nutzergruppen als Möglichkeit, sich über diese regenerative Energieform zu informieren. Sie soll dazu beitragen, die Ergebnisse der Konferenz über regenerative Energie in Bonn mit konkreten Ansätzen für die Nutzung von Geothermie zu hinterfüttern.

Das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein steht in Fragen der Geothermie als Ansprechpartner und zur Beratung von Projekten allen Interessierten zur Verfügung.

Wolfgang Vogel
Direktor des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein

Geothermie für Schleswig-Holstein

➢ **Sven Christensen**

Im Untergrund der Erde ruht ein erhebliches Potenzial an Wärmeenergie. Die in Schleswig-Holstein gewinnbare geothermische Energie ist vor allem zur Bereitstellung von Raumwärme, aber auch zur Produktion von Strom, geeignet. Der Wärmemarkt ist für die Erdwärme von besonderer Bedeutung, da heute über 50 % der Primärenergie für die Wärmeproduktion eingesetzt wird.

Die Erschließung zukunftsfähiger CO_2 – freier regenerativer Energiequellen in Schleswig-Holstein stellt einen substantiellen Beitrag zum gerade begonnenen „Nachhaltigkeitsprogramm" des Landes dar und erlaubt, die Entwicklungsmöglichkeiten für das Land zu nutzen, die sich aus den gesetzlichen Rahmenvorgaben und dem Marktanreizprogramm ergeben.

Das **Erneuerbare Energie Gesetz (EEG)** wurde auf Beschluss des Deutschen Bundestages vom 2. April 2004 novelliert. Danach wird nach § 9 EEG die Erzeugung von Strom aus Geothermie mit bis zu 15 Cent pro Kilowattstunde gefördert. Zum 1. Januar 2004 sind die neuen "Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien" in Kraft. Für die tiefe Geothermie ergeben sich entscheidende Verbesserungen gegenüber dem alten **Marktanreizprogramm**. Jetzt können auch Kommunen, kommunale Betriebe oder Körperschaften öffentlichen Rechts Förderanträge stellen. Bis zu 40 % der Investitionssumme können aus Bundesmitteln gefördert werden, ohne dass eine Beteiligung der Bundesländer vorausgesetzt wird.

Das am 12. März 2004 vom Bundestag beschlossene Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen **(Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz – TEHG)** wird mittelfristig zur Kostensteigerung der Energieformen führen, deren Bereitstellung auf dem Einsatz von fossilen Brennstoffen beruht. Die nach dem **nationalen Allokationsplan (NAP)** zugeteilten Emissions- zertifikate können in dem Maße kapitalisiert werden, in dem fossile durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Die Bereitstellung von Strom und Wärme auf der Grundlage erneuerbarer Energien wird sich daher zunehmend kostengünstiger darstellen lassen.

Die unter den geologischen Gegebenheiten dieses Landes realisierbaren Möglichkeiten der Erdwärmegewinnung bestehen einerseits in der Nutzung der „**Hydrothermalen Geothermie**“, für die ein Tiefenbereich von etwa 2.000 – 3.000 Meter durch Bohrungen erschlossen werden muss; andererseits in der „**Oberflächennahen Geothermie**“ in den obersten hundert Metern, die vor allem in Verbindung mit der Speicherung von überschüssiger Wärmeenergie im Sommer wirtschaftlich möglich ist. Diese Einsatzmöglichkeiten der Geothermie bestimmen die Gliederung dieser Broschüre.

Die Marktstellung der Geothermie als erneuerbare und CO_2-freie Energie nimmt im Vergleich mit anderen konventionellen Energieträgern (vertikaler Vergleich) und bei der Gegenüberstellung zu anderen erneuerbaren Energieformen (horizontaler Vergleich) aufgrund seiner Grundlastfähigkeit eine Sonderstellung ein. Da das Aufkommen an geothermischer Energie von den jeweiligen Witterungsbedingungen und der Tageszeit unabhängig ist, ist die geothermische Energie wie keine andere erneuerbare Energieform zur Deckung der Grund- und Mittellast sowohl auf dem Wärmemarkt als auch auf dem Strommarkt geeignet. Von den erneuerbaren Energien hat, langfristig gesehen, allein die Geothermie das Potenzial, großtechnische Energiegewinnungssysteme zu ersetzen.

Diese Broschüre informiert Sie über die geologischen Voraussetzungen zur Nutzung von Erdwärme in Schleswig-Holstein, die Anwendungsmöglichkeiten von Wärme- und Kältespeicherung anhand von praktischen Beispielen auch bei unseren Nachbarn in Mecklenburg-Vorpommern, Dänemark und Schweden sowie die rechtlichen Aspekte und die Fördermöglichkeiten.

Geothermie – die Energie, die aus der Tiefe kommt

➢ **Claudia Thomsen**

Unter geothermischer Energie versteht man die in Form von Wärme gespeicherte Energie in dem mit Bohrungen (bis 7 km Tiefe) wirtschaftlich erreichbaren Teil der Erdkruste. Ihr Energieinhalt übertrifft sämtliche nichtregenerative Energiequellen um ein Vielfaches, allerdings ist davon nur ein geringer Teil gewinnbar.

Wie aus Bohrlochmessungen bekannt ist, nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu. Das bedeutet, dass die Wärme von ihren inneren Quellen stetig aus dem Erdinneren zur Erdoberfläche geleitet wird. Durch diesen Wärmestrom gelangt mehr als das 2,5-fache des menschlichen Energiebedarfs täglich an die Erdoberfläche - eine unerschöpfliche, sichere, saubere und umweltfreundliche Energiequelle.

Eine der Quellen für diesen terrestrischen Wärmefluss ist der Wärmetransport aus dem heißen Erdkern (über 4.000 °C) und Erdmantel (über 1.300 °C). Die zweite Quelle ist die natürliche Wärmeproduktion der Gesteine der Erdkruste (Abbildung 1): der radioaktive Zerfall von Uran, Thorium und Kalium. Der Zerfall solcher natürlicher und langlebiger radioaktiver Elemente in der Erde produziert somit permanent Wärme.

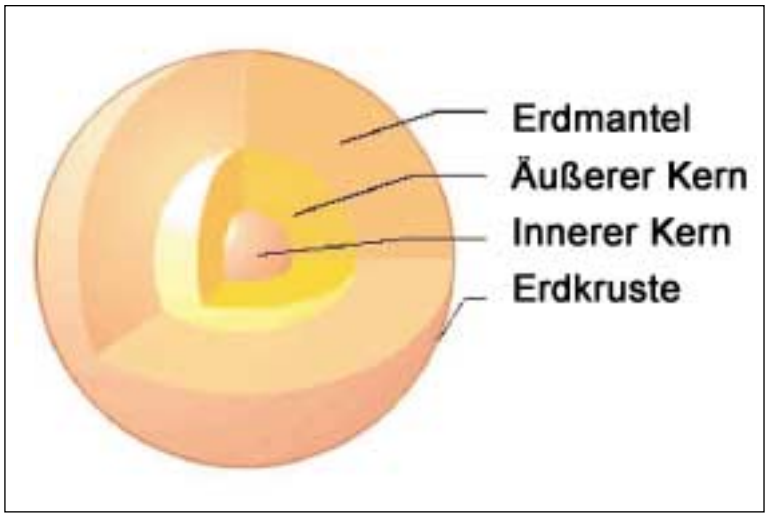


Abbildung 1: Schalenaufbau der Erde

Die Untergrundtemperaturen können in Deutschland je nach Region in weiten Bereichen streuen. In einzelnen Fällen (z.B. Landau/Pfalz) erreicht die Temperatur bereits in etwa 1.000 m Tiefe die 100 °C-Grenze. An anderen Stellen muss man mehr als 4.000 m bohren, um dieselbe Temperatur zu erreichen.

Im Norddeutschen Becken beträgt die durchschnittliche Temperaturzunahme 30 °C/1.000 m. Ausgehend von einer mittleren Jahrestemperatur von etwa 10 °C werden so in 2.000 m Tiefe circa 70 °C und in 3.000 m Tiefe etwa 100 °C erreicht (Abbildung 2).

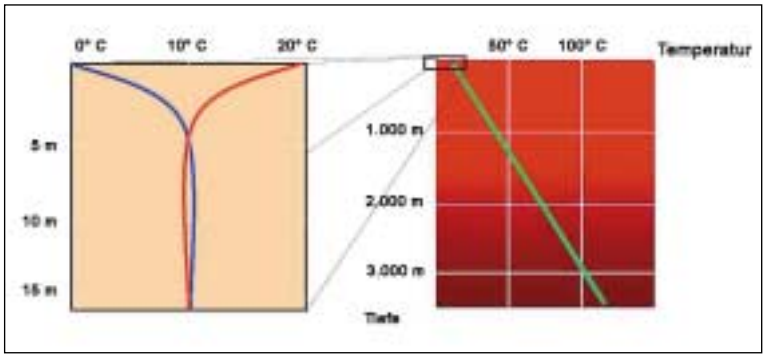


Abbildung 2: Temperatur – Tiefenverteilung: links die Verhältnisse im Tiefenbereich bis 15 m (oberflächennah); blau dargestellt der Temperaturgang im Winter und rot der Temperaturgang im Sommer; rechts: Verhältnisse für große Tiefen

Auf der Erdoberfläche beträgt die Temperatur durchschnittlich 10-13 °C. Sie wird durch ein Gleichgewicht zwischen einstrahlender Sonnenenergie, Wärmeausstrahlung ins Weltall und geothermischem Wärmefluss bestimmt. Aufgrund der meist schlechten Wärmeleitfähigkeit der Erde beeinflusst die – jahreszeitlich schwankende - Sonneneinstrahlung die Temperatur nur bis in Tiefen von 10 m bis 20 m (Jahresgang). Zusätzlich wird Oberflächen- und Grundwasser durch Sonnenenergie aufgeheizt und transportiert als Sickerwasser die aufgenommene Wärme in Erdschichten von etwa 20 m, teilweise auch tiefer. Bis zu dieser Tiefe bestimmt der Einfluss der Sonnenstrahlung die Erdtemperatur, die hier bei konstant 10 °C liegt (siehe Abbildung 2). Der Einfluss des geothermischen Wärmestromes ist in diesem Tiefenbereich vergleichsweise gering. Erst zwischen 20 m und 100 m Tiefe kann man von einem Anteil des geothermischen Wärmeflusses sprechen, der dann in größeren Tiefen die Temperatur des Untergrundes bestimmt.

Trotz dieser Effekte und damit unabhängig davon, aus welcher Quelle des regenerativen Energieangebotes die im Erdreich vorhandene Wärme letztlich stammt, wird bei deren Nutzung von „Erdwärme“ gesprochen. Allerdings ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Temperaturregime verschiedene Nutzungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Tiefe.

Nutzungsmöglichkeiten geothermischer Energie

Da der permanente Wärmestrom zur Erdoberfläche in der Regel zu gering für eine direkte energetische Nutzung ist, muss auf die in der Erde, also in der Gesteinsmatrix und im Porenwasser gespeicherte Energie zurückgegriffen werden. Außer den Möglichkeiten einer Nutzung der Energie, die aus Vulkanen und begleitenden Aktivitäten gewinnbar sind (z.B. Stromerzeugung aus Heißdampfquellen in Neuseeland) sind folgende Möglichkeiten der Erdwärmenutzung in Deutschland denkbar:

Nutzung der oberflächennahen Erdwärme

- Oberflächennahe Erdwärmesonden

  Das Wärmepotenzial im Tiefenbereich der oberen 100 m bei Temperaturen von bis zu 20 °C wird mit erdgekoppelten Wärmepumpen z.B. über Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder Grundwasserbrunnen vor allem für dezentrale Heizanlagen genutzt. Der Untergrund kann dabei sowohl als Quelle von Wärme und/oder von Kälte als auch als Speicher für Wärme/Kälte genutzt werden (siehe die Kapitel „Oberflächennahe Geothermieanlagen – was ist zu tun?“ und „Wärme- und Kältespeicherung im Erdboden“).

Nutzung der tiefen Erdwärme

- Hydrothermale Energievorkommen

  Das Warmwasservorkommen (Temperaturen zwischen 30 °C und 150 °C) ist an stark wasserführende Gesteinsschichten gebunden. Dem Grundwasserleiter wird dabei mittels eines Tiefbrunnens Wasser entnommen und nach Durchlaufen eines oberirdischen Wärmetauschers wieder zugeführt. Dessen Wärmeinhalt wird in großen zentralen Heizanlagen, aber auch zunehmend zur Verstromung genutzt (siehe Kapitel „Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein“ und „Hydrothermale Wärmeversorgung“ sowie „Strom aus der Erde“).

- Heiße, trockene Gesteine

  Hier wird in einem künstlich erzeugten Kluftsystem im Tiefengestein (Hot Dry Rock) Wasser zur Stromerzeugung erhitzt (siehe Kapitel „Strom aus der Erde“). Wissenschaftliche Pilotanlagen sind in Bau oder in Planung (z.B. Bad Urach).

- Tiefe Erdwärmesonden

  Tiefe Erdwärmesonden nutzen ähnlich wie bei der oberflächennahen Geothermie direkt die Gesteinswärme; in größerer Tiefe lassen sich aufgrund der Temperaturzunahme größere Wärmemengen gewinnen und somit größere Gebäudekomplexe mit Wärme versorgen (siehe Kapitel „Tiefe Erdwärmesonden“).

Die Möglichkeiten einer Nutzung der Erdwärme sind einerseits von den lokalen geologischen Gegebenheiten abhängig und andererseits von den technischen Möglichkeiten und Anforderungen im Bereich eines potenziellen Abnehmers. Voraussetzung für eine Projektierung von geothermischen Anlagen in Abhängigkeit des Erdwärmebedarfs am Standort ist eine Auswertung aller zur Verfügung stehenden geologischen Daten. Aus der bereits vorhandenen Erkundungsdichte und der Datenqualität lässt sich anschließend der weitere Untersuchungsbedarf abschätzen.

Die Struktur des tiefen Untergrundes von Schleswig-Holstein

➢ **Paul-Friedrich Schenck**

Einleitung
Für die Nutzung der im Untergrund anstehenden Gesteine als Wärmequelle und Wärmespeicher ist die Kenntnis über die Verteilung und Beschaffenheit der Gesteine im Untergrund von Bedeutung. Da die Sedimentation und die heutige Lagerung der Gesteine in starkem Maße von der strukturellen Situation abhängig ist, wird im Folgenden ein Überblick über den Bau des tiefen Untergrundes in Schleswig-Holstein gegeben und aufgezeigt, wie sich der heute vorhandene Bau im Laufe der viele Millionen Jahre währenden erdgeschichtlichen Entwicklung herausgebildet hat.

Der strukturelle Bau Schleswig-Holsteins
Die Erdoberfläche Schleswig-Holsteins wird durch die jüngste erdgeschichtliche Entwicklung während der Eiszeiten (Pleistozän) und der nachfolgenden Warmzeit (Holozän) bestimmt. Das Relief ist gering, die höchste Erhebung wird am Bungsberg mit +168 m NN erreicht. Unter einer im Mittel etwa 70 bis 100 m mächtigen eiszeitlichen Bedeckung verbirgt sich eine gewaltige Gebirgslandschaft mit Höhen von im Mittel etwa 6.000 m, die höchsten Erhebungen reichen bis zu etwa 9.000 m über den tief gelegenen Sockel und entsprechen damit den höchsten Gipfeln des Himalaya (Mt. Everest: 8.848 m NN).

Nur an wenigen Punkten wird die eiszeitliche Deckschicht von älteren Gesteinen des tiefen Untergrundes durchstoßen, und zwar in:

- Lieth
- Segeberg
- Helgoland
- Lägerdorf

Dass wir heute auch außerhalb dieser wenigen einsehbaren Bereiche recht gut über den tiefen Untergrund informiert sind, ist das Ergebnis von intensiven Untersuchungen, die vor allem zur Erkundung der Kohlenwasserstoffvorkommen im vergangenen Jahrhundert durchgeführt wurden. Seit 1934 wurde der Untergrund Schleswig-Holsteins durch die geophysikalische Reichsaufnahme planmäßig erkundet. Dies war möglich, nachdem in den 20er Jahren die geophysikalischen Verfahren so weit entwickelt waren, dass die Lagerungs-

verhältnisse der geologischen Schichten bis in mehrere Tausend Meter Tiefe erkannt werden konnten und damit die Aufsuchung von Erdölvorkommen im tiefen Untergrund möglich wurde. Als Ergebnis der Jahrzehnte langen Erkundungen (bis Mitte der 80er Jahre) liegen große Datensammlungen über reflexionsseismische Profillinien und über zahlreiche tiefe Erdölbohrungen vor, auf deren Grundlage Schleswig-Holstein und benachbarte Gebiete (Nordsee / Niedersachsen) strukturgeologisch kartiert wurden. Diese Ergebnisse sind im „Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland" zusammengefasst; er liegt jetzt allgemein zugänglich im Maßstab 1: 300.000 vor (BALDSCHUHN et al. 2001).

Eine Übersicht über die Strukturen des tiefen Untergrundes gibt Abbildung 1. Anhand der Verteilung der blau gekennzeichneten Salzstrukturen lässt sich sehr deutlich eine geotektonische Dreigliederung erkennen:

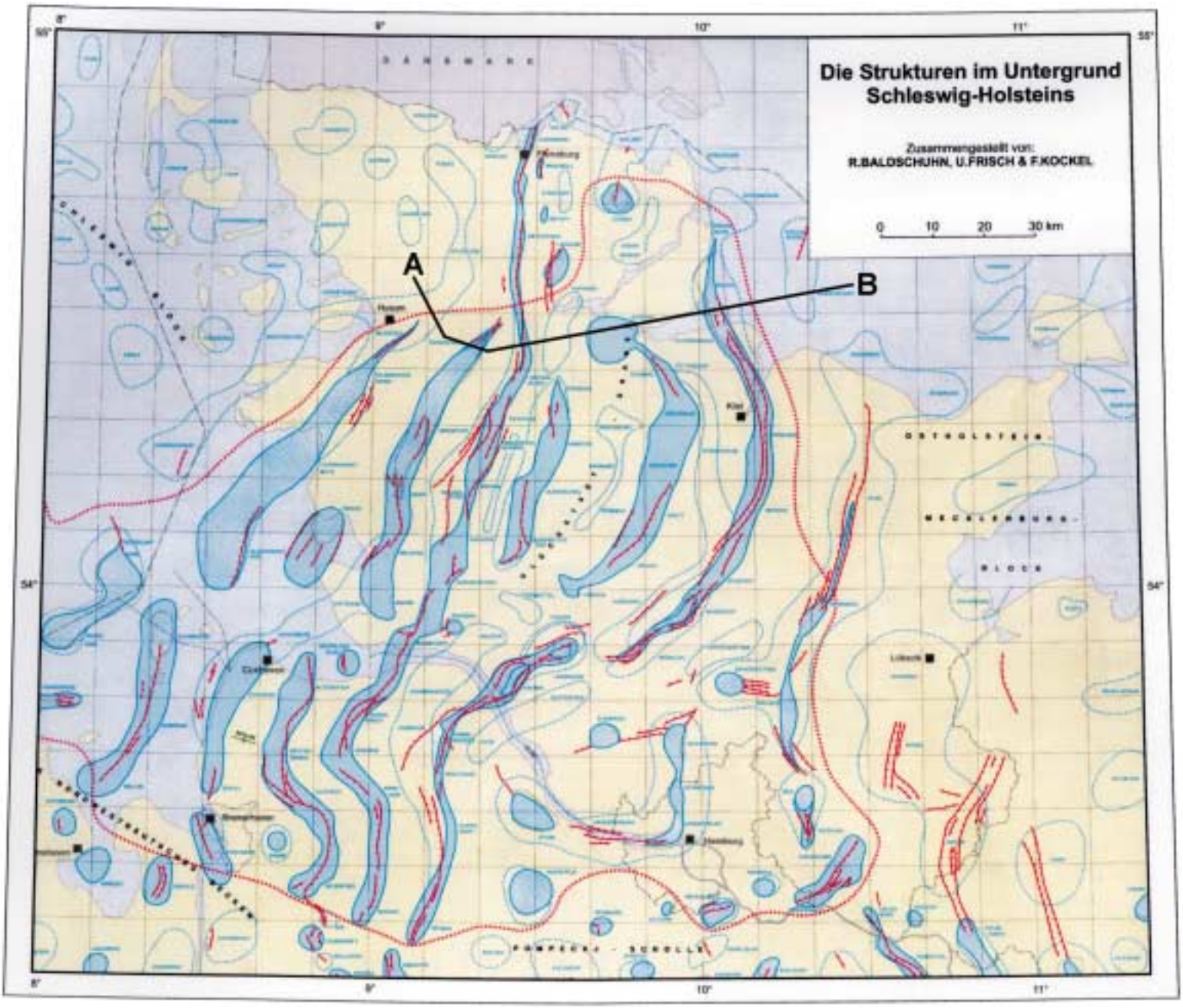


Abbildung 1: Die Strukturen im Untergrund Schleswig-Holsteins (BALDSCHUHN et al. 1999); Schnitt A - B siehe Abbildung 2

Salzkissen

Salzstock

Verbreitung der strukturbildenden Rotliegend - Salinare

Bedeutende Störungszonen

A—B Geologischer Schnitt durch den nördlichen Glückstadt - Graben (siehe Abb. 2)

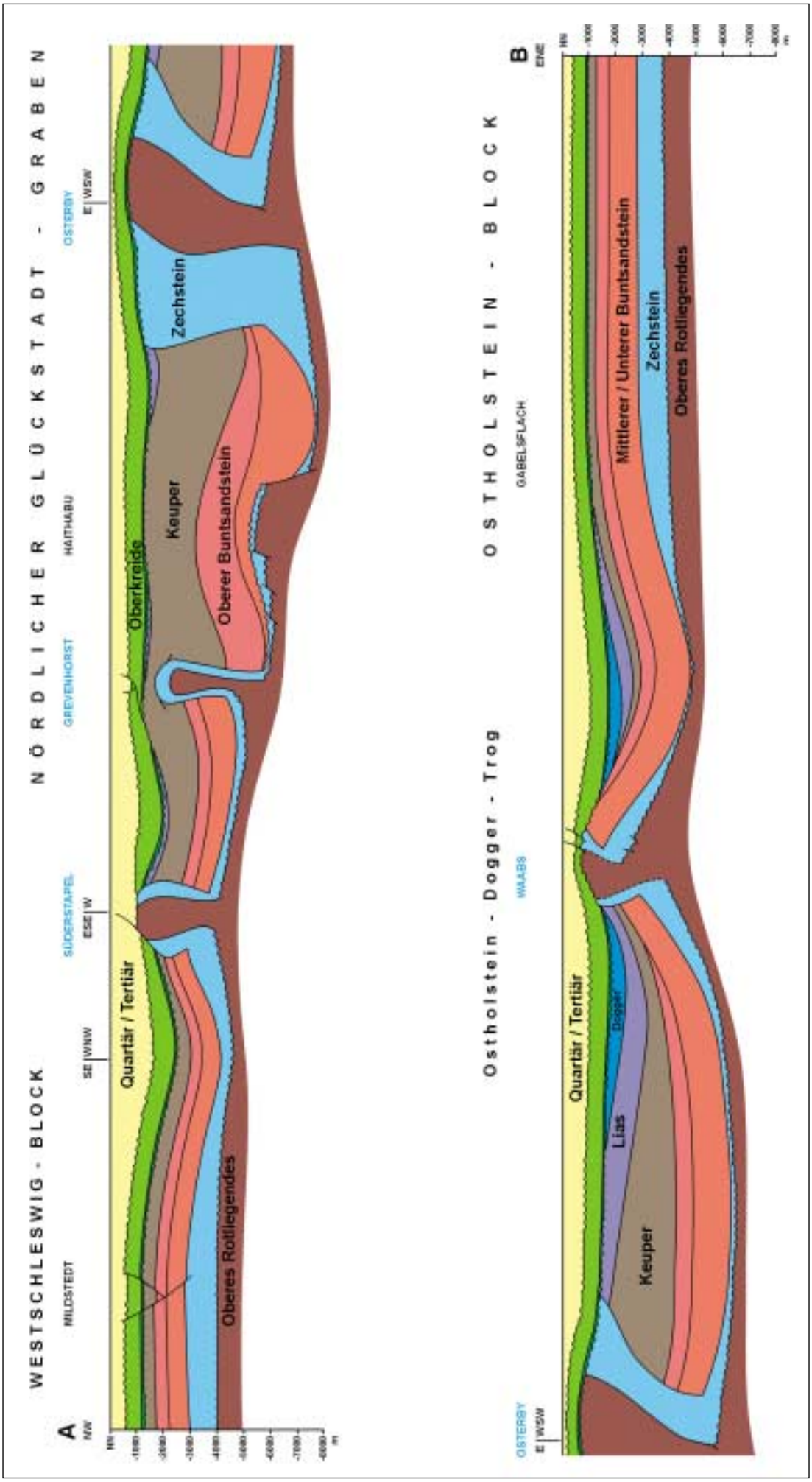


Abbildung 2:
W-E Schnitt durch Schleswig-Holstein vom Westschleswig-Block über den (nördlichen) Glückstadt-Graben zum Ostholstein-Block (BALDSCHUHN et al. 1996: Schnitt 8/1)

Beherrschendes strukturelles Element ist im Zentrum der durch Salzmauern und Salzdurchbrüche (Diapire) gekennzeichnete mobile **Glückstadt-Graben**. Es handelt sich um einen äußerst komplexen Grabenbruch, der zwischen zwei stabilen Hochschollen, dem Westschleswig- bzw. dem Ostholstein-Westmecklenburg-Block, tief abgesunken ist (Abbildung 2).

Der **Westschleswig-Block** liegt im Westen: Dieser umfasst ein Gebiet, das weit in die Nordsee hinein bis zum Horn-Graben reicht. Im Norden wird dieses durch ein altes Hochgebiet, das Ringköbing-Fünen-Hoch, begrenzt.

Im Osten befindet sich der **Ostholstein-Westmecklenburg-Block**, der große Bereiche der westlichen Ostsee und Mecklenburgs umfasst. In der Anfangsphase bis in die Kreidezeit muss auch die **Hamburger Scholle** (siehe Abbildung 5) dazu gerechnet werden, die erst seit dem Tertiär eine Sonderstellung einnimmt und dann als eine vierte Einheit auszuweisen ist. Im Übergangsbereich von der mobilen Zentralzone zu den stabilen Blöcken haben sich der **Westholstein-** bzw. der **Ostholstein-Trog** herausgebildet. Es handelt sich um erdgeschichtlich bedeutende lang gestreckte Absenkungszonen, an die die Kohlenwasserstoffvorkommen des Landes gebunden sind. Diese sind heute allerdings, mit Ausnahme des zur Zeit größten deutschen Erdölfeldes Mittelplate, ausgebeutet und stillgelegt.

Während in den stabilen Blockgebieten im Westen und Osten nur sehr wenige oder gar keine Bruchsysteme (Störungen) ausgebildet sind, wird der Glückstadt-Graben durch eine Vielzahl von großen Störungssystemen geprägt.

Dieses Abbild des tiefen Untergrundes, wie es die tektonische Übersichtskarte (Abbildung 1) und der Schnitt (Abbildung 2) zeigen, ist das Ergebnis einer rund 300 Millionen Jahre währenden Entwicklung.

Die Stratigraphische Übersicht (Abbildung 3) zeigt auf, welche vielfältigen erdgeschichtlichen Entwicklungen sich innerhalb dieses langen Zeitraumes vollzogen haben. Als Folge der Kontinentaldrift ist der Ablagerungsraum „Norddeutsches Becken einschließlich Schleswig-Holstein“ von der Südhemisphäre über den Äquator bis in die heutige Position gewandert; dabei wurden alle - vor allem aride und tropische - Klimazonen durchquert, bis unsere gemäßigten Zonen erreicht wurden.

Stratigraphische Übersicht					
Alter in Mio Jahren	Formation	Abteilung		Stufe	Geologisch - tektonische Entwicklungen
0,01	Quartär			Holozän	Nacheiszeit
2				Pleistozän	Eiszeitalter
23	Tertiär	Jungtertiär		Pliozän Miozän	
35				Oligozän	
65		Alttertiär		Eozän Paläozän Dan	
97	Kreide	Oberkreide		Maastricht Campan Santon Coniac Turon Cenoman	
145		Unterkreide			
155	Jura	Malm / Wealden			Jungkimmerische Hebung
178		Dogger		Dogger $\beta+\gamma$	
208		Lias			
231	Trias	Keuper		Rhät Schilfsandstein	
240		Muschelkalk	Oberer Muschelkalk Mittlerer Muschelkalk Unterer Muschelkalk		
		Buntsand-stein	Oberer Buntsandstein	Röt	
			Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge Hardegsen-Folge Detfurth-Folge Volpriehausen-F. Quickborn-F.	Riftphase: Bildung des Glückstadt - Grabens
250			Unterer Buntsandstein		
256	Perm	Zechstein		Mölln Friesland Ohre Aller Leine Staßfurt Werra	Mächtige Salzablagerungen im mittleren und südlichen Schleswig - Holstein
		Rot-liegendes	Ober - Rotliegendes		
280			Unter - Rotliegendes		Bildung des Nord - deutschen Beckens
315	Karbon	Ober - Karbon		Stefan Westfal	Variszische Faltung
326				Namur	
360		Unter - Karbon		Dinant	

Wanderung der Kontinente von der Südhemisphäre auf die Nordhalbkugel in die heutige Position

Abbildung 3: Stratigraphische Übersicht

Entsprechend sehen auch die währenddessen abgelagerten Sedimente aus. Es handelt sich zu einem großen Teil um Wüstenablagerungen mit ihrer charakteristischen Rotfärbung, um Salzausfällungen durch Eindampfung etc.

Insgesamt wurden vom Rotliegenden bis zum Quartär größenordnungsmäßig 10.000 m Sediment, davon im Zentrum bis zu 2.500 m mächtige Salzfolgen, abgelagert.

Diese mächtigen Sedimentfolgen bestehen vorwiegend aus Ton, Schluff, Salzen und anderen chemischen Ausfällungsprodukten; nur untergeordnet wurden die für die hydrothermale Geothermie bedeutsamen sandigen Schichtenfolgen, die in der Tiefe nutzbare Heißwasservorkommen enthalten können, sedimentiert.

Schleswig-Holstein als Teil des Norddeutschen Beckens

Schleswig-Holstein ist Teil des Norddeutschen Beckens und bildet einen Ausschnitt vom Nordrand des Beckens am Ringköbing-Fünen-Hoch bis ins Beckentiefste im Unterelberaum (Abbildung 4). Seine Entstehung geht bis ans Ende der variszischen Gebirgsbildung im höheren Karbon zurück. Nach deren Abschluss vor etwa 300 Millionen Jahren waren alle damals vorhandenen Kontinente zu einer zusammenhängenden Kontinentemasse, zur sogenannten Pangaea, vereinigt. Die heutigen Ozeane existierten noch nicht, auch nicht der Atlantik. Doch schon bald bildete sich eine permanente Schwächezone mit ständiger Absenkungstendenz zwischen dem ehemaligen Nordkontinent (Baltica / Fennoskandia) und dem ehemaligen Südkontinent (Gondwana) heraus. Hier entwickelte sich die Norddeutsche Senke als Teil eines Senkungsraumes, der von Ostengland bis nach Polen reicht.

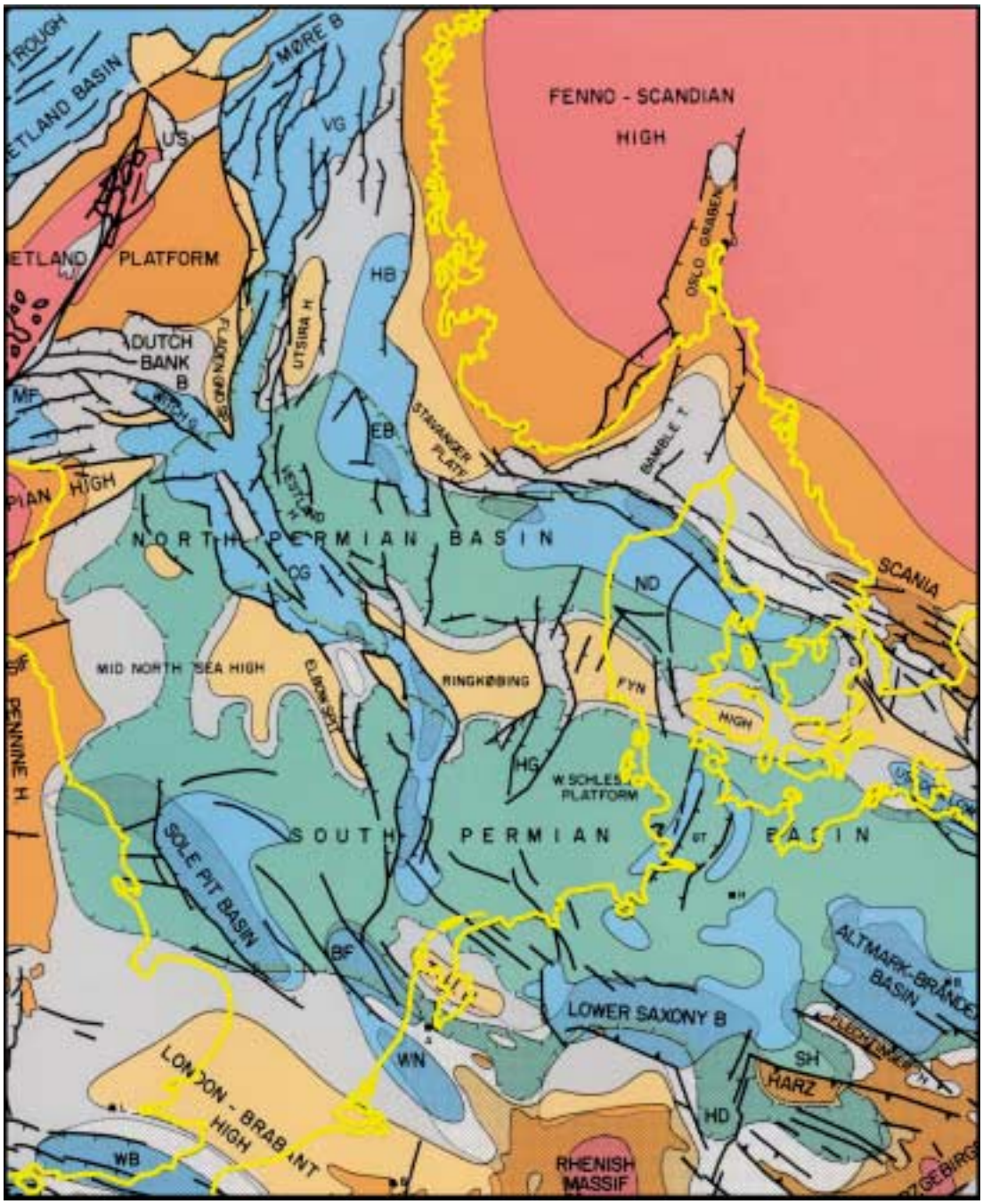
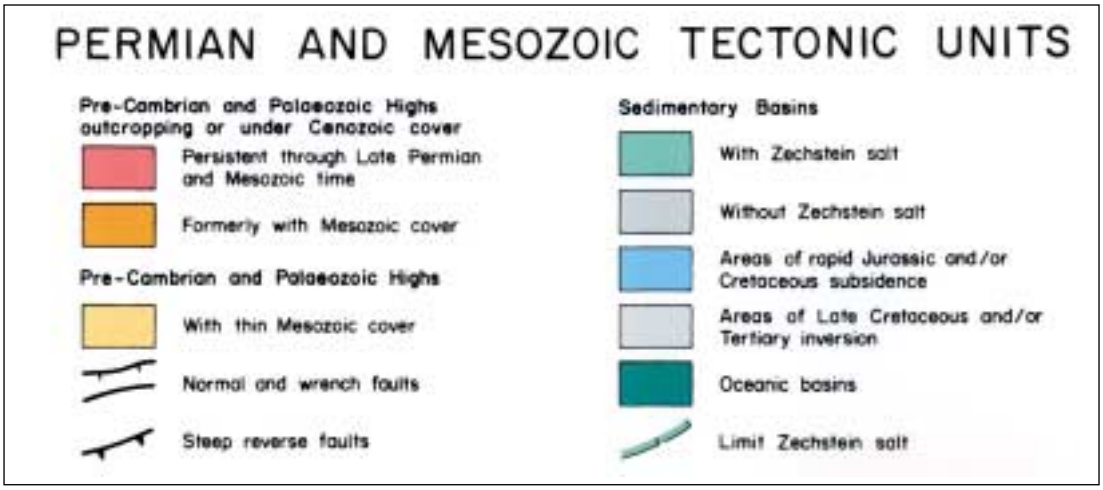


Abbildung 4: Übersichtskarte Norddeutsches Becken (Ziegler 1990): Das Norddeutsche Becken ist Teil des von Ostengland bis nach Polen reichenden „Südlichen Permbeckens“. Es wird im Norden durch das Ringköbing-Fünen-Hoch und im Süden durch verschiedene Hochgebiete begrenzt, zu denen das Rheinische Massiv und der Harz gehören.

Am Beginn der Beckenbildung stand ein allmählicher Zerfallsprozess des Kontinentblocks, denn seit der Wende Westfal / Stefan entwickelte sich im Bereich des heutigen Mitteleuropa zwischen den Blöcken im Norden und Süden ein großregionales Spannungsfeld mit maximaler Dehnung in Ost-West-Richtung. Es führte zum Aufreißen eines Schollenmosaiks, eines sogenannten Sockelstörungsmusters, das durch ein System tief reichender, meist NW-SE und NE-SW streichender Scherbrüche gekennzeichnet ist (Abbildung 5). Auf Grund anhaltender Dehnung in Ost-West-Richtung bildeten sich im älteren Ober-Rotliegenden etwa N-S streichende Gräben, wie beispielsweise der Glückstadt-Graben in Schleswig-Holstein und die Schneverdinger Gräben im nördlichen Niedersachsen. Zusätzlich entstand seit dieser Zeit in Schleswig-Holstein und Mecklenburg ein WNW-streichendes Becken, in das diese Gräben mündeten.



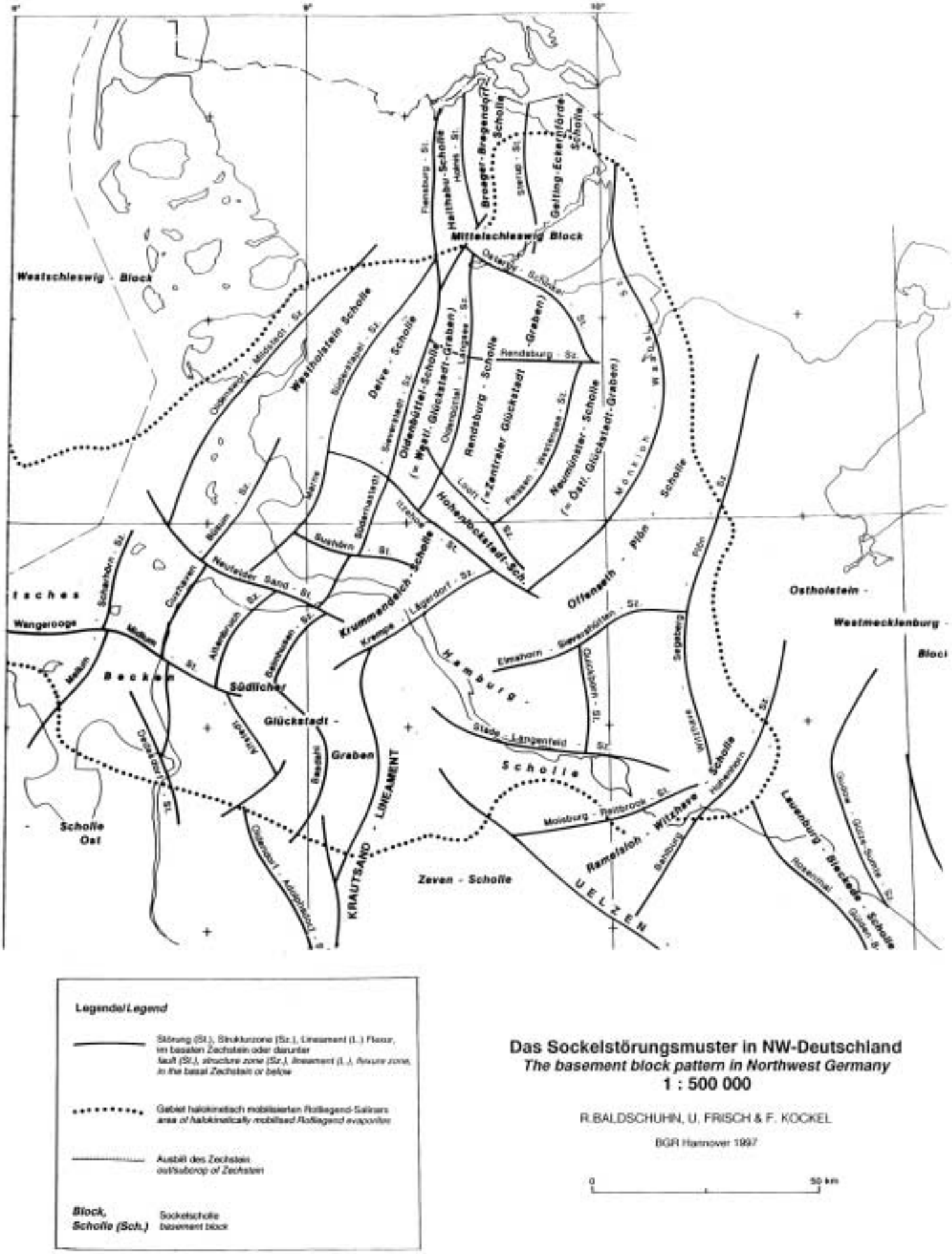


Abbildung 5: Sockelstörungsmuster in Schleswig-Holstein (nach BALDSCHUHN et al. 1997)

Dieser Absenkungsraum mit seinem Zentrum im südlichen Schleswig-Holstein und Mecklenburg ist die Keimzelle des Norddeutschen Beckens. Es ist ein typisches intrakontinentales Becken, das sich auch nach dem Rotliegenden weiter absenkte und ausdehnte (Bachmann et al. 1989).

Im tieferen Rotliegenden stiegen gewaltige Vulkanitmengen entlang der tief reichenden Störungssysteme auf und füllten den Senkungsraum aus, vor allem im Raum Mecklenburg – Brandenburg. In Schleswig-Holstein wurden Vulkanite nur im Raum Fehmarn erbohrt.

Im jüngeren Ober-Rotliegenden sank das Becken weiter stark ab, vor allem infolge der Abkühlung der aufgeheizten Kruste (Abbildung 6). Die angrenzenden Gebiete wurden in diese Subsidenz mit einbezogen. In diesem kontinentalen Becken mit abflusslosen Ebenen auf dem allmählich absinkenden Untergrund wurden in einer Größenordnung von etwa 1.500 Metern Rotliegend-Tone und -Salz abgelagert. Durch spätere intensive halotektonische Beanspruchung dieser Gesteine entwickelte sich das als Haselgebirge bekannte Salz-/Ton-Gemenge.

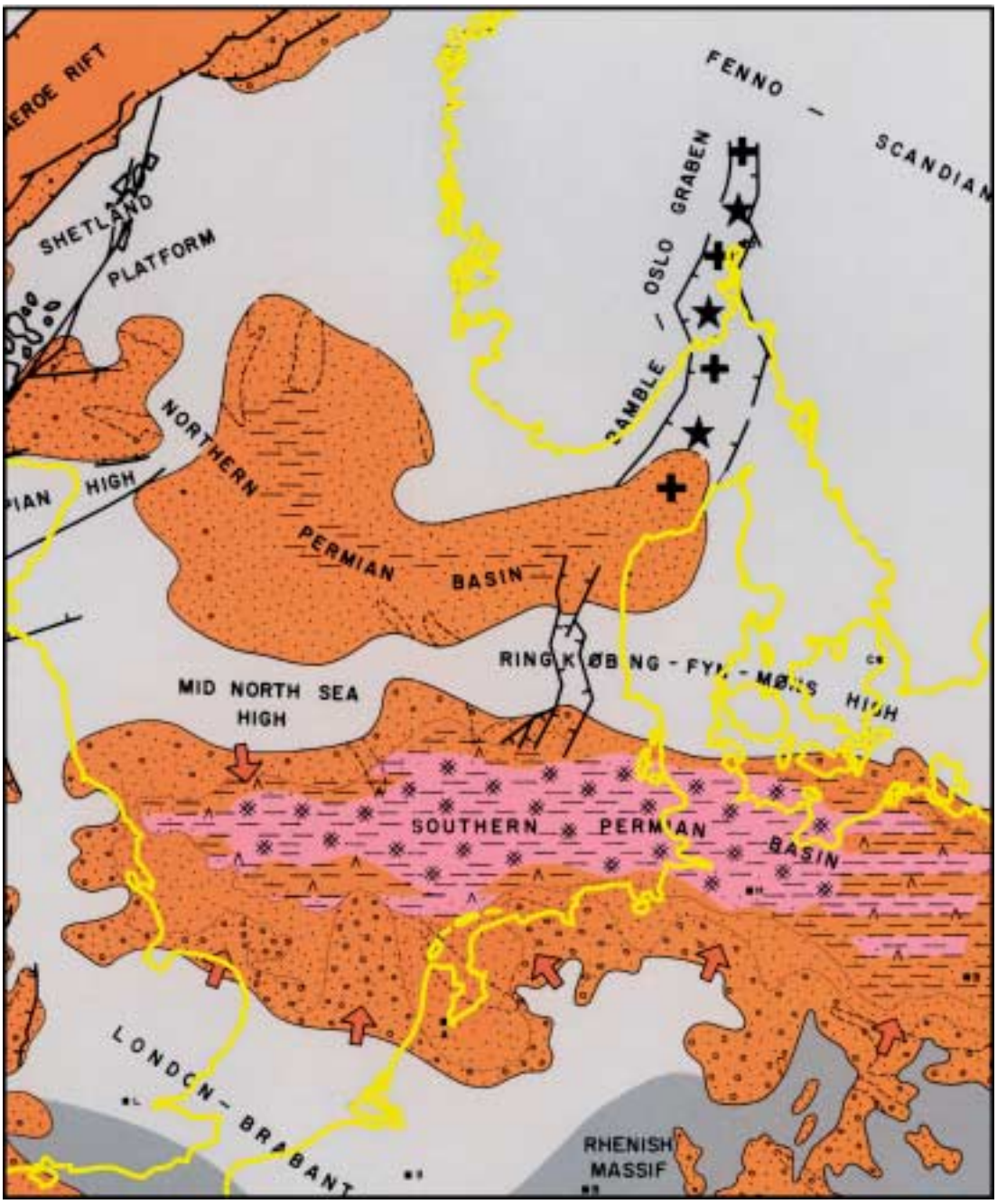


Abbildung 6: Übersichtskarte Rotliegend-Becken (Ziegler 1990): Schleswig-Holstein ist Teil des südlichen Permbeckens: abflussloses Kontinentalbecken mit Sanden und Konglomeraten an den Rändern, im Zentrum Ton- und Salzablagerungen.

Im Zechstein sank das Becken weiter ein, dies führte zu einer weiteren Vergrößerung des Beckens (Abbildung 7). Es kam dadurch zu einem zeitweiligen Anschluss an einen nördlichen, arktischen Ozean sowie an den Tethys-Ozean im Osten. So sind aus dem kontinentalen Becken marine Becken geworden. Infolge zeitweiliger Abschnürung oder Ausbildung von Schwellen, die den Zufluss aus den angeschlossenen Ozeanen behinderten, kam es infolge Eindampfung des Meerwassers in bis zu sieben Salinarzyklen zur Ablagerung von salinaren Sedimenten. Im Depozentrum sind diese vermutlich mehr als 1.500 m mächtig, zusammen mit den Rotliegend-Salz-/Ton-Ablagerungen sind es möglicherweise mehr als 3.000 m. Da diese Schichtpakete infolge der halokinetischen bzw. halotektonischen Bewegungen zum größten Teil in die Salinarstrukturen eingewandert sind und sich daher nicht mehr in ihrer ursprünglichen Lage befinden, sind die Mächtigkeitsangaben mit großen Unsicherheiten behaftet.

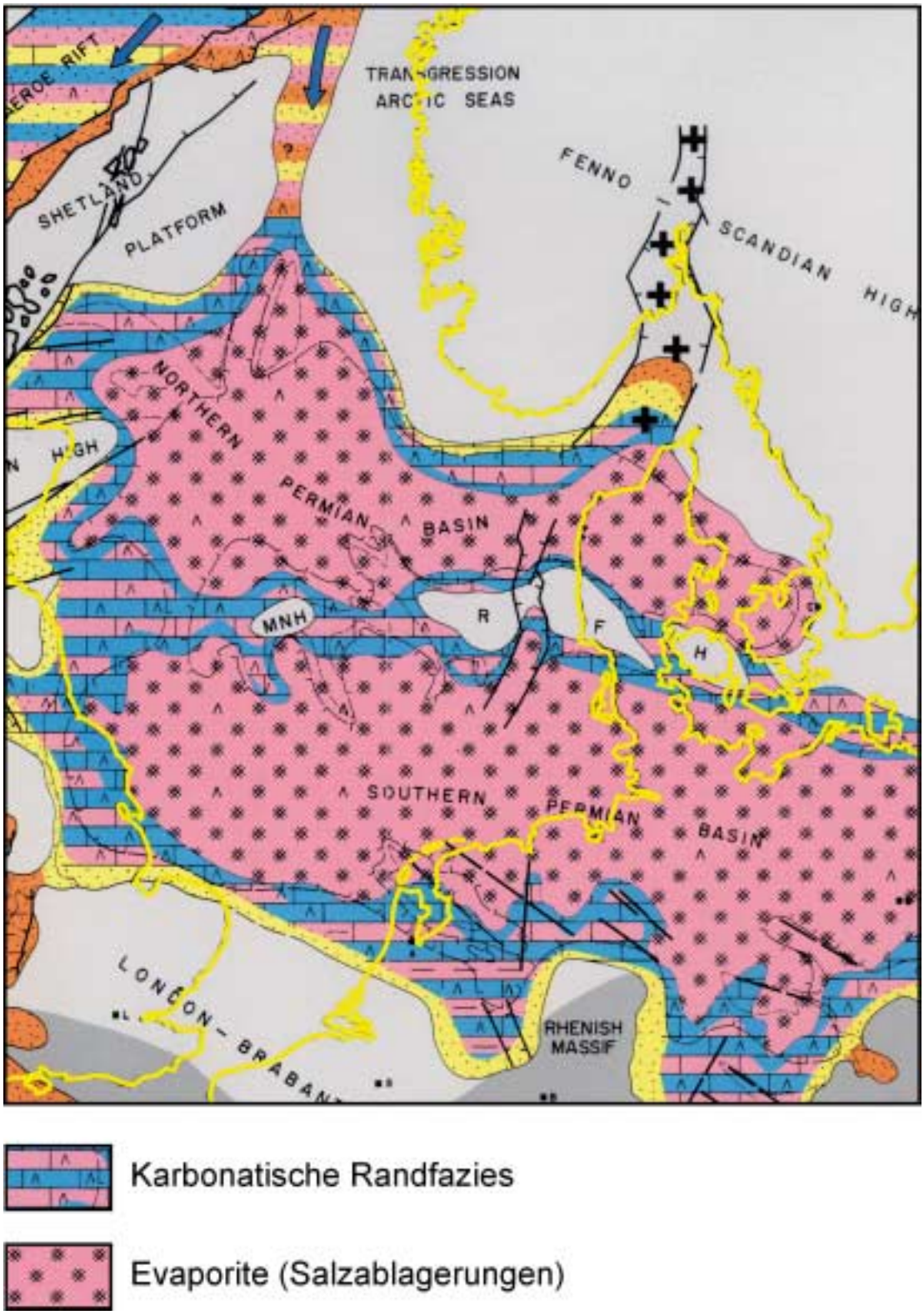


Abbildung 7: Übersichtskarte Zechstein-Becken: (Ziegler 1990): Schleswig-Holstein ist Teil des südlichen Permbeckens: dieses hat jetzt zeitweise Anschluss an die Weltmeere (im Norden zum Arktischen Ozean, im Osten außerhalb des Kartenbereichs zum Tethys-Ozean). Am Südrand des Ringköbing-Fünen-Hochs (RFH) Karbonatische Randfazies, weiter im Süden im Bekkeninneren vorwiegend Evaporite (Salzablagerungen).

Im Buntsandstein erfolgte eine weitere Vergrößerung des Beckens sowie die Ablagerung von weiteren etwa 1.500 bis 2.000 m mächtigen tonig-schluffigen Sedimenten mit gelegentlichen sandigen Einschaltungen, die nun die älteren Salzablagerungen überdeckten. Das führte zu einer gewaltigen Auflast über den in der Tiefe liegenden Salzfolgen. Welche Auswirkungen das hatte, soll im Folgenden an einem Schemabild über die „Charakteristischen Entwicklungsphasen eines Salzdiapirs“ (Abbildung 8, Sannemann in Trusheim 1957) vorgestellt werden: Infolge der gewaltigen Auflast auf den darunter liegenden Salzfolgen kam es zur Verlagerung des Salzes, und zwar über die Stadien Salzkissen (mit intaktem Deckgebirge) zum Salzstock oder Diapir (mit zerbrochenem Deckgebirge). Die Salzbewegungen wurden dadurch möglich, dass Steinsalz unter erhöhtem Druck und unter erhöhter Temperatur plastisch, vergleichbar einem zähflüssigen Honig reagiert. Auch Dichteunterschiede zwischen dem relativ leichten Salz und dem auflagernden schwereren Sediment spielen dabei eine Rolle.

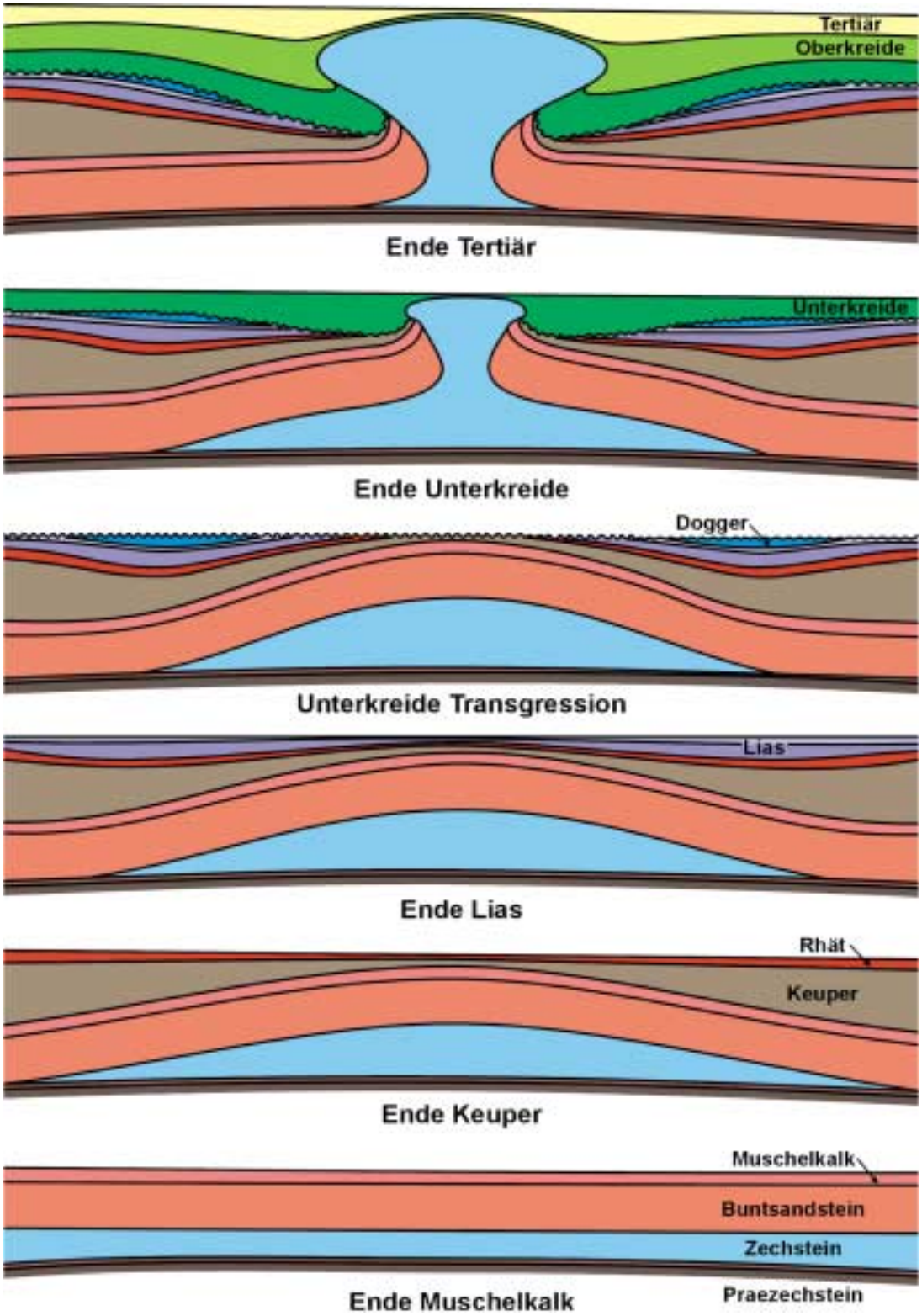


Abbildung 8: Charakteristische Entwicklungsphasen eines Salzdiapirs (Sannemann in Trusheim 1957), Zechstein-Ablagerungen vorwiegend Salz.

Der Fachbegriff für diese Salzstrukturbildung ist **Halokinese**. Nach den Vorstellungen von Sannemann und Trusheim (TRUSHEIM 1957) sowie auch nach JARITZ (1973) soll der Prozess völlig autonom allein bei Überschreitung bestimmter Salzmächtigkeiten abgelaufen sein, wenn der präsalinare Untergrund bestimmte Unregelmäßigkeiten aufwies, wie z.B. eine geringfügige Neigung. Neuere Untersuchungen (KOCKEL 1998) haben jedoch gezeigt, dass insbesondere tektonische Anstöße, vor allem in Verbindung mit Dehnungserscheinungen, wie sie in Riftphasen auftreten, derartige Salzbewegungen in Gang setzten. Es waren meist Bewegungen an den vorher gezeigten Sockelstörungen im Präsalinar (Abbildung 5), die die Salzbewegungen auslösten. Die Salzstrukturen sitzen daher in der Regel auch diesen Störungen auf und zeichnen diese entsprechend nach (Abbildung 1).

Diese Salzbewegungen hatten eine große Bedeutung für die nachsalinare Erdgeschichte, insbesondere durch die Bildung der sogenannten Randsenken, die infolge allmählicher Salzabwanderung über lange Zeiträume große Sedimentmengen aufnehmen konnten. Trotz der relativ großen Absenkungs- und Aufstiegsbeträge herrschte in der Regel ein weitgehend ausgeglichenes Relief an der jeweiligen Geländeoberfläche. Das ist nicht verwunderlich, denn die Salzaufstiegsgeschwindigkeiten pro Jahr liegen etwa im Millimeter-Bereich, meist aber noch deutlich darunter (1/10 mm/a).

Die Abbildung 9 „Salzstrukturtypen Norddeutschlands“ zeigt, wie unterschiedlich die Salzstrukturen ausgebildet sein können. Typisch für Schleswig-Holstein sind die sogenannten Salzmauern (ganz rechts im Bild). Doch wesentlich häufiger als bisher vermutet dürfte der Aufstiegsbereich zu einem relativ dünnen Stiel ausgequetscht sein. Das aufgestiegene Salz bildet vielfach große Überhänge. Ein Beispiel dafür ist die Struktur Büsum, an deren SW-Flanke das Erdölfeld Mittelplate liegt, zum Teil unter dem Salzüberhang.

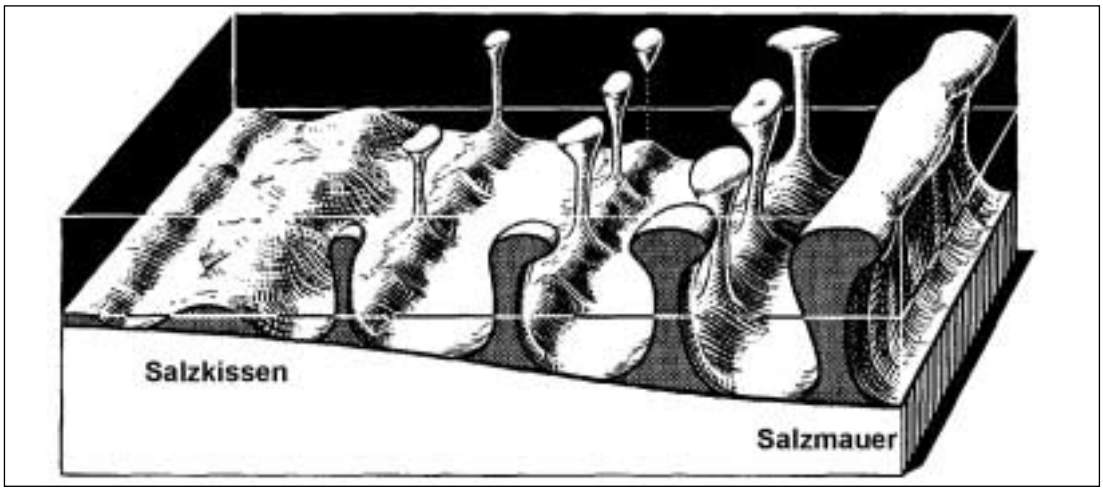


Abbildung 9: Salzstrukturtypen Norddeutschlands (TRUSHEIM 1957: 138)

Die Absenkung des Norddeutschen Beckens setzte sich auch nach dem Buntsandstein bis in den mittleren Jura hinein weiter fort. Seit Ende des Keupers, vor allem aber während des Lias, bildeten sich die beiden großen Randsenken West- und Ostholsteiner Trog heraus.

Im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung lebten die alt angelegten Sockelstörungen immer wieder auf, dabei erfolgte auch häufig ein Wechsel der Bewegungsrichtungen an den Störungen (FRISCH et al. 1997). Im Mittleren Jura kam ein großer Umbruch in der strukturellen Entwicklung, der mit der Verlagerung der Störungsaktivitäten in die Nordsee, insbesondere in den Bereich des Zentralgrabens, einherging (Abbildung 10). Grabenbrüche mit tief reichenden Störungen ermöglichten dort den Aufstieg und die Ausbildung gewaltiger Magmenkörper, die große Teile des Mittleren Nordsee-Gebietes anhoben, im dortigen Zentrum um etwa 1.500 bis 2.500 m. In Schleswig-Holstein soll die Hebung nach JARITZ (1969) noch rund 700 m betragen haben. Durch diese sogenannte jungkimmerische Hebung wurde in Schleswig-Holstein der größte Teil der damals jüngsten Schichten teilweise bis zu den älteren Keuper-Schichten hinab weitgehend abgetragen, so dass nur die in den Randsenken tiefer abgesenkten jüngeren Schichtkomplexe von der Erosion verschont blieben. Daher befinden sich die für die Geothermie bedeutsamen sandigen Schichtfolgen des oberen Keuper (Rhät-Sandstein) und des Dogger heute fast ausschließlich in den großen Trögen. Ein Schnitt durch den Ostholsteiner (Jura-) Trog soll beispielhaft für eine Randsenke vorgestellt werden (Abbildung 11).

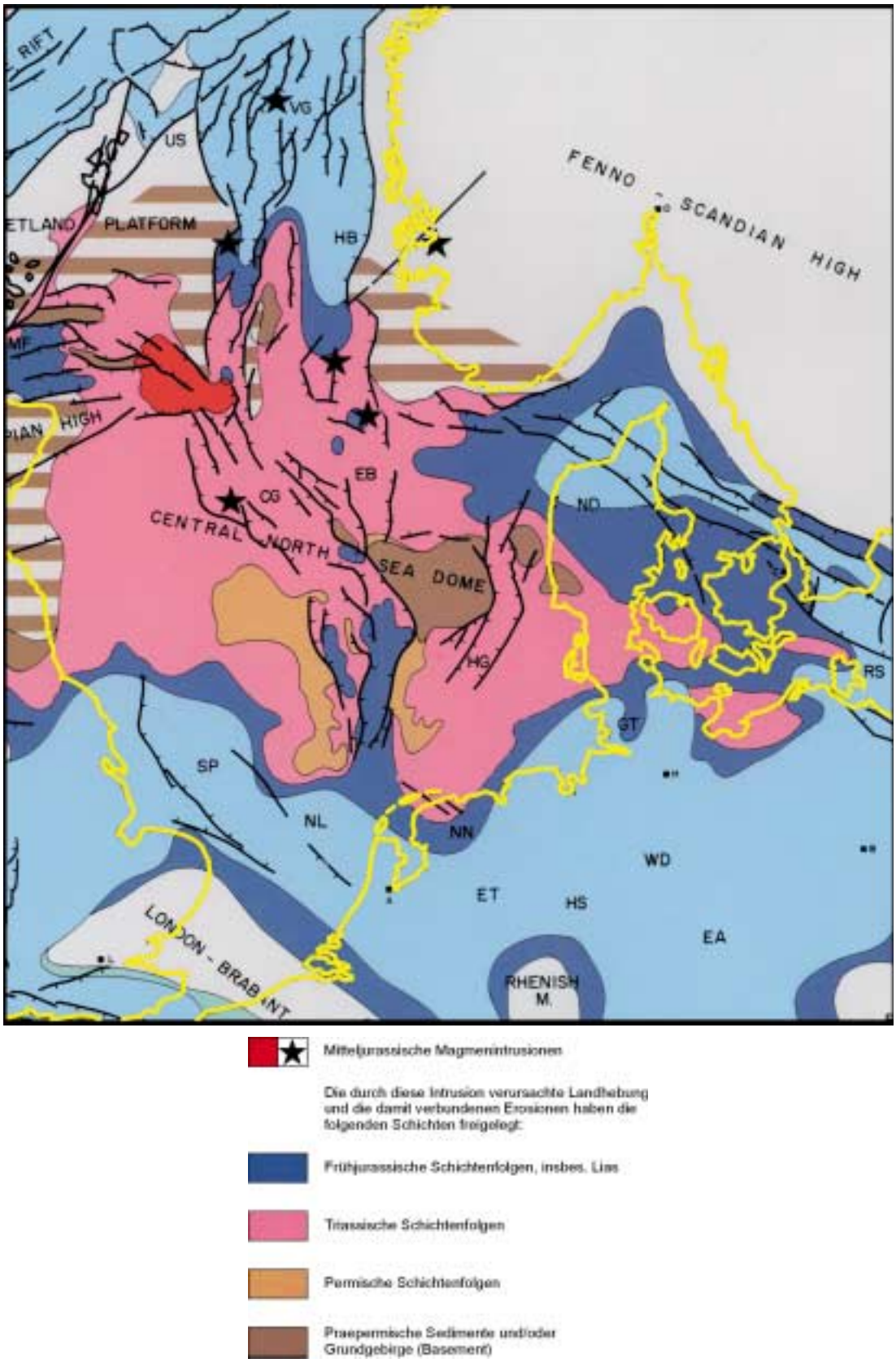


Abbildung 10: Paläotektonische Übersichtskarte des frühen Dogger (Ziegler 1990): Schleswig-Holstein als Teil des südlichen Permbeckens liegt am Südostrand des Aufwölbungsgebietes. Während im zentralen Bereich des „Central North Sea Dome“ die Schichten strukturell um ca. 2.500 m angehoben wurden, sind es in Schleswig-Holstein rund 700 m.

In der Unterkreide war das Land dann wieder soweit eingeebnet, dass das Unterkreide-Meer es überfluten und mit tonigen Meeresablagerungen überdecken konnte. Mit der Unterkreide-Transgression begann ein neuer Abschnitt der Erdgeschichte in Schleswig-Holstein, in der die mächtigen Sedimentfolgen des jüngeren Deckgebirges (Kreide, Tertiär, Quartär) abgelagert wurden. Auf die wird hier aber nicht näher eingegangen, da es in dieser Zusammenschau um den Bau des tiefen Untergrundes gehen sollte.

Die Aufstiegsbewegung zahlreicher Salzstrukturen ist in der jüngeren Erdgeschichte weiter gegangen, wie sich aus dem Schnitt (Abbildung 11) deutlich ablesen lässt, und ist auch heute noch nicht abgeschlossen: Ein Beispiel

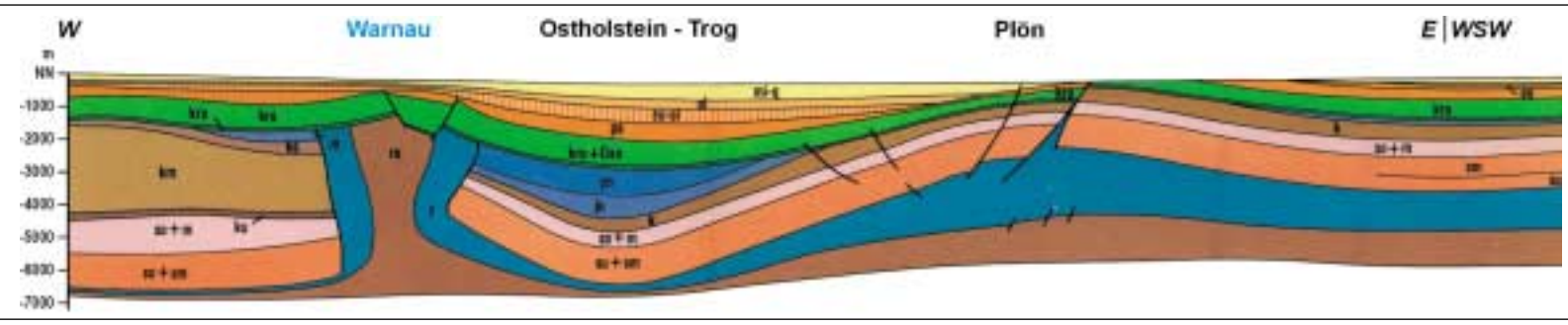


Abbildung 11: Schnitt durch den Ostholsteiner (Jura-) Trog (Deneke 1987): Ausschnitt aus Profil A – B in der Geologischen Übersichtskarte GÜK 200 CC 2326 Lübeck. Bei den hier in der östlichen Randsenke der Struktur Warnau unterhalb der grün gekennzeichneten Kreide - Schichtenfolge erhaltenen Jura-Schichten (ju, jm) sowie der höheren Keuper-Schichten (k) handelt es sich um Erosionsreste von den Schichtenfolgen, die vor der jungkimmerischen Landhebung flächendeckend das Land überzogen haben und nun außerhalb der Randsenke weitgehend abgetragen sind. Dieser Schnitt zeigt auch sehr deutlich, dass interessante, mächtige Heißwasser führende Sandstein-Horizonte (höherer Bereich von k) zum Teil sehr tief liegen und daher nicht überall wirtschaftlich erschlossen werden können.

Legende: mi – q: Miozän – Quartär, eo – ol: Eozän – Oligozän, pa: Paläozän, kro: Oberkreide, kru: Unterkreide, jm: Dogger, ju: Lias, k: Keuper, ko: Rhät (Oberer Keuper), km: Mittlerer Keuper, ku: Unterer Keuper, m: Muschelkalk, so: Röt (Oberer Buntsandstein), sm: Mittlerer Buntsandstein, su: Unterer Buntsandstein, z: Zechstein, ro: Oberes Rotliegend

dafür ist die Salzstruktur Segeberg, wo Feinnivellements des Landesvermessungsamtes Schleswig-Holstein in jüngerer Zeit noch Aufstiegsbewegungen in der Größenordnung von etwa 1 mm/a nachgewiesen haben. Auf der anderen Seite geht auch die Absenkungstendenz des Norddeutschen Beckens insgesamt weiter.

Literatur

Bachmann, G.H., Gralla, P. & Sobott, R. (1989): Rotliegend-Magmatismus und Entstehung des Norddeutschen Beckens. – Nachr. Dt. Geol. Ges., **41**: 8-9, Hannover

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1 : 300.000. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1997): Das Sockelstörungsmuster in NW-Deutschland 1 : 500.000. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1999): Die Strukturen im Untergrund NW-Deutschlands 1 : 500.000. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S. & Kockel, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor – Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. - Geol. Jb. **A 153** mit 3 CD-ROMs, Hannover

Deneke, E. (1987): Geologische Übersichtskarte 1 : 200.000, CC 2326 Lübeck, Profil A – B; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Frisch, U. & Kockel, F. (1997): Altkimmerische Bewegungen in Nordwestdeutschland. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., **4**/1: 19-29, 10 Abbildungen, 13 Lit., Kleinmachnow

Jaritz, W. (1969): Epirogenese in Nordwestdeutschland im höheren Jura und in der Unterkreide. – Geol. Rdsch., **59**: 114-124, 3 Abbildungen; Stuttgart

Jaritz, W. (1973): Zur Entstehung der Salzstrukturen Nordwestdeutschlands. – Geol. Jb. **A 10**: 1-77, 3 Abbildungen, 1 Tabelle, 2 Taf., Hannover

Kockel, F. (1992): Structural Geology of the German North Sea Sector. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (unveröff.)

Kockel, F. (1998): Geologische Probleme der Salzstrukturgenese. – Tagungsband zum 18. Mintrop-Seminar „Salzerkundung“, Münster: 13-20, DGMK

Trusheim, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. – Z. dt. geol. Ges., **109**/1: 111-158, Hannover

Ziegler, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe, 2nd and completely revised edition, SHELL Internationale Petroleum Maatschappij B.V.

Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein

➢ **Claudia Thomsen**

Die potentielle Nutzung der geothermischen Energievorkommen im Untergrund hängt von vielen Faktoren ab. Während Tiefe Erdwärmesonden aus geologischer Sicht praktisch überall einsetzbar sind, ist die Wärmegewinnung mittels hydrothermaler Tiefbrunnensysteme dagegen an das Vorhandensein eines geeigneten Grundwasserleiters im tieferen Untergrund gebunden. Im folgenden Bericht werden die potentiell geothermisch nutzbaren Horizonte beschrieben.

Die Planung der hydrothermalen Nutzung der Erdwärme setzt eine Auswertung aller vorhandenen geologischen und geophysikalischen Daten voraus, die größtenteils von der Erdöl-Erdgasindustrie in den letzten 50 Jahren erhoben worden sind. Dazu gehören eine Reihe von Tiefbohrungen und seismischen Profilen zur Kohlenwasserstoffexploration, die vor allem strukturelle Hochlagen als potentielle Fangstrukturen für Erdöl und Erdgas untersuchten (siehe Abbildung 1). Diese Daten sind im Geotektonischen Atlas von NW-Deutschland (Kockel 1996) ausgewertet und flächenhaft zusammengefasst worden.

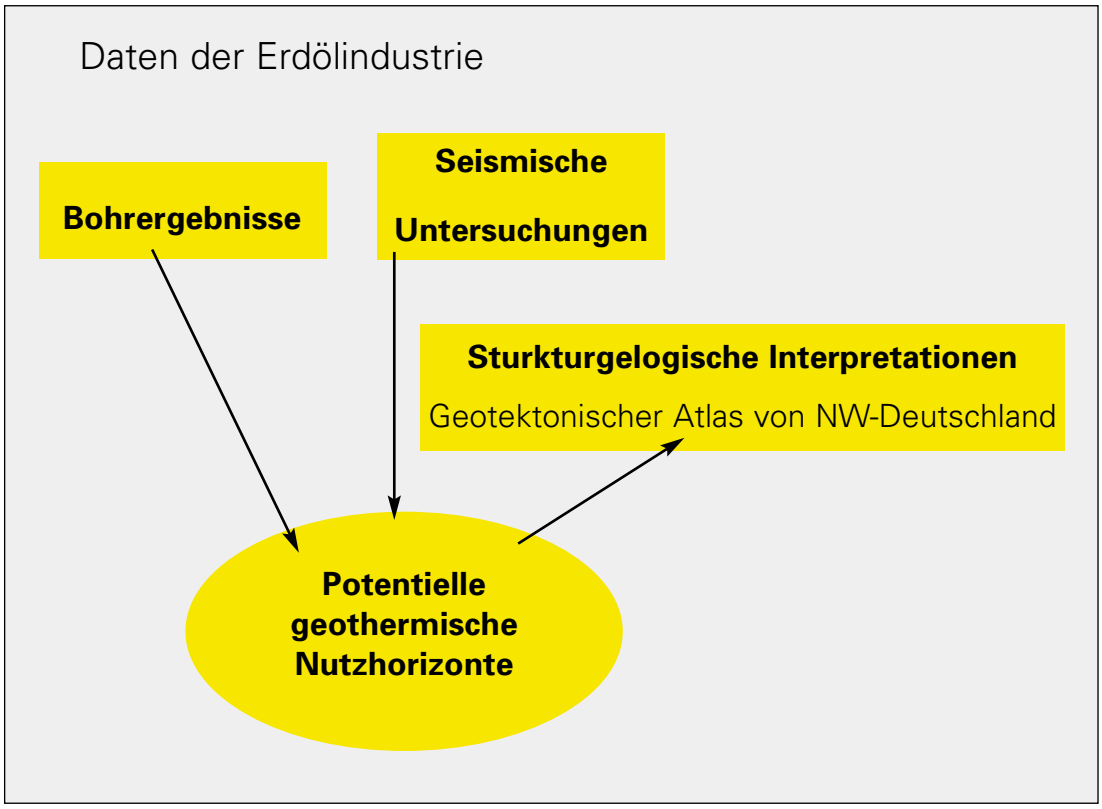


Abbildung 1: Datengrundlage für die Beurteilung geothermischer Nutzhorizonte

Geologische Voraussetzungen
Für eine effiziente Nutzung von Tiefbrunnensystemen im Dublettenbetrieb zur Förderung von Thermalwasser sind große Volumenströme von 50 bis über 100 m^3/h erforderlich. Darüber hinaus muss eine stabile Förderung und Reinjektion über einen wirtschaftlich vertretbaren Zeitraum hin gewährleistet sein. Somit ergeben sich erhebliche Anforderungen an einen für die Geothermie nutzbaren, wassererfüllten Gesteinshorizont.
Aufgrund der geologischen Entwicklungsgeschichte (siehe vorstehenden Artikel „Die Struktur des tieferen Untergrundes von Schleswig-Holstein") sind im tieferen Untergrund nur poröse Sandsteine als potentielle geothermische Nutzhorizonte von Interesse. Die Größe, Form, Sortierung und Packung der Sedimentkörner bestimmen die Dimension und Struktur des nach der Ablagerung vorliegenden Porenraumes (Abbildung 2).

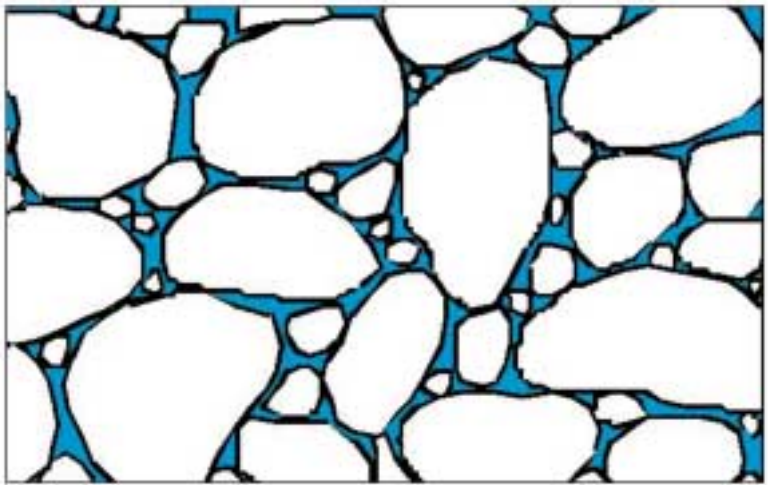


Abbildung 2: Sandkörner (weiß) und wassererfüllter Porenraum (blau); Porosität: Anteil des Porenvolumens am Gesamt-Gesteinsvolumen

Diese Faktoren bestimmen somit den Anteil des nutzbaren Porenraumes und die Durchströmbarkeit des Sandsteins (Permeabilität) mit Porenwasser. Mit zunehmender Tiefenlage der Gesteine verschlechtern sich jedoch diese Speicher- und Transporteigenschaften zunehmend. Die hydrothermale Nutzung von Sandsteinen beschränkt sich daher im allgemeinen auf einen Tiefenbereich von bis zu maximal 3.000 m. Da Angaben zur Permeabilität von den tieferen Wasserleitern meist nicht vorhanden sind, wird versucht, über die häufig ermittelte Nutzporosität (nutzbares Porenvolumen) eine Abschätzung der Ergiebigkeit vorzunehmen. Aufgrund von Betriebserfahrungen bisher realisierter Projekte in vergleichbaren geologischen Situationen lassen sich folgende Mindestanforderungen an die Sandsteine als geothermische Nutzhorizonte stellen (Rockel & Schneider 1992):

- Vorhandensein einer ergiebigen wasserführenden Sandschicht mit Nutzporositäten von mehr als 20 % bzw. Permeabilitäten von mehr als 500 mD
- Ausreichende Verbreitung bei mindestens 20 m Mächtigkeit
- Wirtschaftlich interessantes Temperaturniveau, das je nach Abnehmerstruktur und technischen Entwicklungen variieren kann
- Chemismus des Wassers (z.B. Salzgehalt) sollte hinsichtlich Korrosion und Ausfällung beherrschbar sein

Nach Schulz & Röhling (2000) sind bei einer geothermischen Nutzung (im Dublettenbetrieb) der Grundwässer sulfatische Ausfällungen und karbonatische Feststoffbildungen nur bei Entgasung und Sauerstoffzufuhr zu erwarten. Eisenhydroxidausfällungen sind nur bei Sauerstoffzutritt möglich. Daher ist im Dublettenbetrieb auf einen geschlossenen Wasserkreislauf zu achten. Die in den Thermalwässern von Schleswig-Holstein auftretenden hohen Salzgehalte bedingen bei einer geothermischen Nutzung auch eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften wie spezifische Wärmekapazität, Dichte und dynamische Viskosität. Diese Veränderungen haben einen Einfluss auf die thermische Leistung, was aber im Einzelnen noch nicht genau zu benennen ist.
Da bei Temperaturen von rund 40 °C das Optimum für die Bildung von Mikroorganismen liegt, sollte dieser Temperaturbereich bei der Nutzung wesentlich überschritten werden.

Die Auswertung der verfügbaren geologischen Daten zeigte, dass in Schleswig-Holstein die Ablagerung von Sandsteinen, die die Anforderungen an geothermische Nutzhorizonte erfüllen, eher die Ausnahme war. In der Stratigraphischen Übersicht (Abbildung 3) sind entsprechende Sandsteine, beginnend mit den ältesten, aufgeführt:

- Mittlerer Buntsandstein: Quickborn-Sandstein
- Oberer Keuper: Rhät-Sandstein
- Mittlerer Jura: Dogger-Sandsteine

Sandstein-Horizonte im Malm bzw. im Eozän sind nach Schenck & Hinsch (1991) nur sehr eingeschränkt nutzbar und daher nicht weiter beschrieben worden.

178	**Jura**	**Dogger**		**Dogger $\beta + \gamma$**
208		**Lias**		
231		**Keuper**		**Rhät** Schilfsandstein
240	**Trias**	**Muschel-kalk**	Oberer M'kalk Mittlerer M'kalk Unterer M'kalk	
		Buntsand-stein	Oberer Buntsandstein	Röt
			Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge Hardegsen-Folge Detfurth-Folge Volpriehausen-F. **Quickborn-F.**

Abbildung 3: Stratigraphische Übersicht über die geologische Schichtenfolge in Schleswig-Holstein

Quickborn-Sandstein
Der Quickborn-Sandstein an der Basis des Mittleren Buntsandsteins ist nach RÖHLING (1999; siehe Abbildung 4) in Schleswig-Holstein flächenhaft verbreitet und erreicht besonders im südlichen Landesteil Mächtigkeiten von 45 m. Es handelt sich um einen meist fein- bis mittelkörnigen Sandstein, der in einigen Bohrungen nachgewiesen und früher auch häufig als Volpriehausen-Sandstein angesprochen worden ist. Im zentralen Teil Schleswig-Holsteins – im Bereich des sogenannten Glückstadtgrabens – ist dieser Sandstein bis in Tiefen von 10.000 m abgesenkt worden. Im Westen ist er nur im südlichsten Teil des Landes noch in größeren Mächtigkeiten anzutreffen.

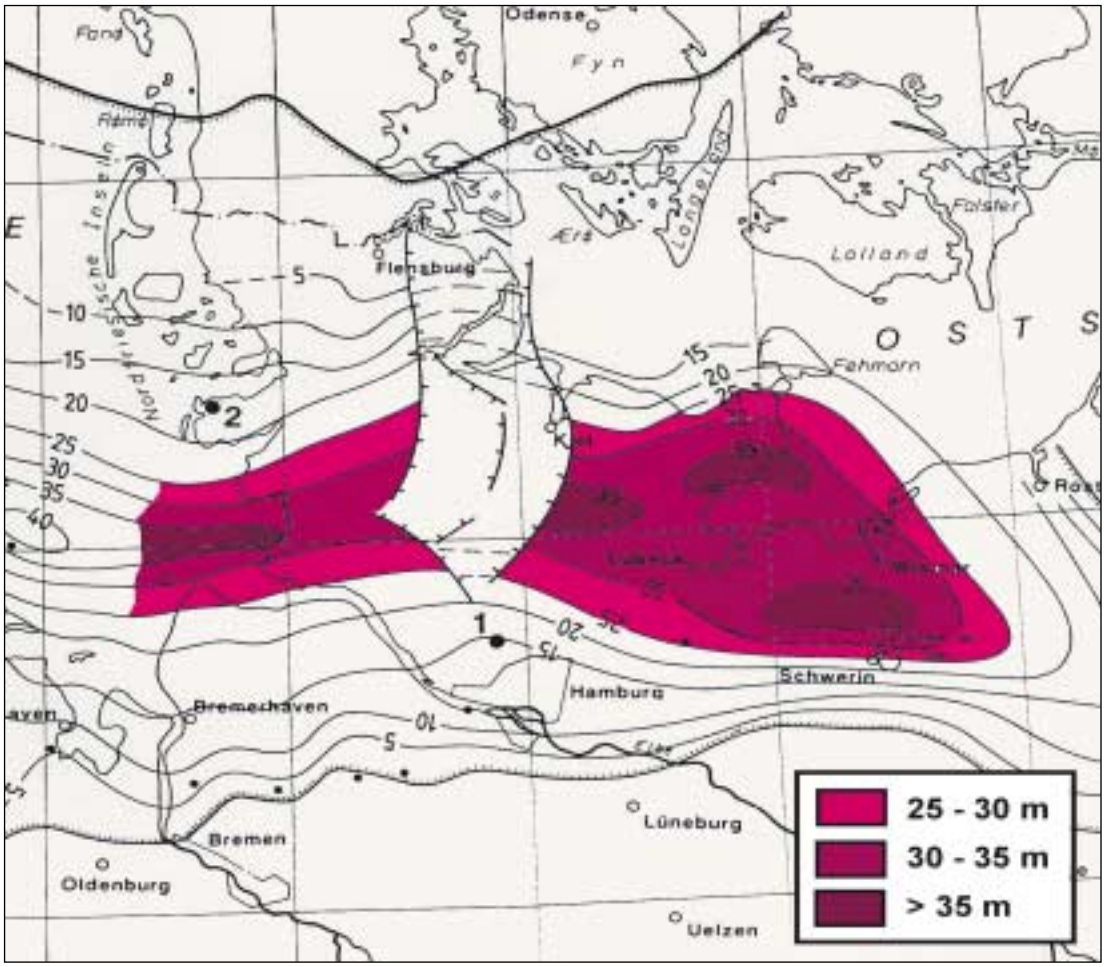


Abbildung 4: Ausschnitt der Karte zur Verbreitung und Mächtigkeit des Quickbornsandsteins im Norddeutschen Becken, (RÖHLING 1999).

Wie anhand der Abbildung 4 zu erkennen ist, erreicht dieser Sandsteinhorizont in Ostholstein weitläufig Mächtigkeiten zwischen 20 m und mehr als 35 m. Nach Abbildung 5 steht er hier allerdings nur in einem relativ kleinen Bereich in Tiefen zwischen 2.000 m und 3.000 m an. In den übrigen Gebieten Ostholsteins sind diese Schichten in Tiefen von mehr als 3.000 m zu finden.

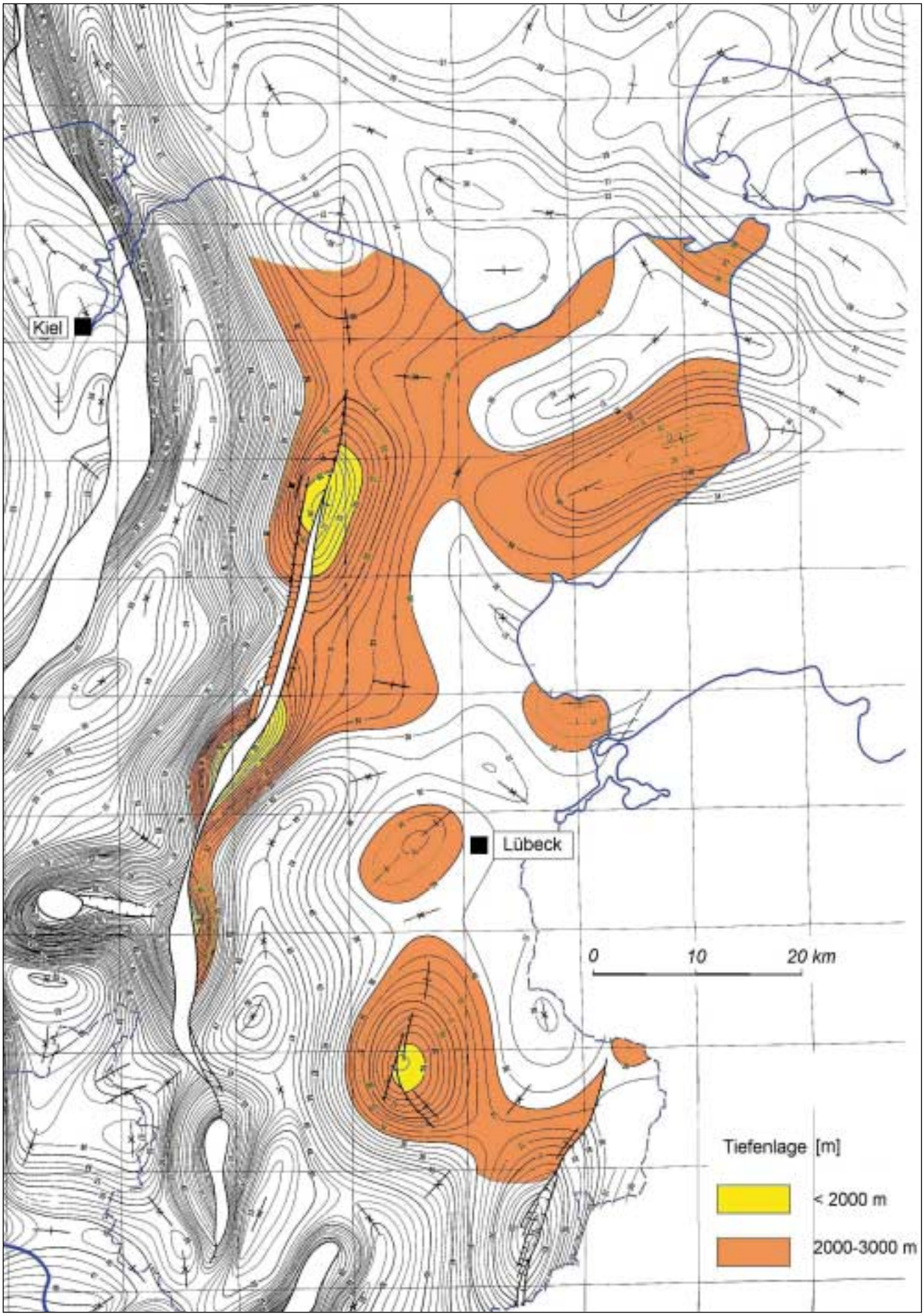


Abbildung 5: Tiefenlage des Quickbornsandstein (Basis Mittlerer Buntsandstein)
Verändert nach KOCKEL (1996); Kartengrundlage: Basis Unterer Buntsandstein

Leider haben nur wenige Bohrungen den Quickborn-Sandstein in unterschiedlichen Mächtigkeiten erfasst. Es zeigte sich, dass die ermittelten Porositäten bei rund 20 % recht niedrig sind und mit zunehmender Tiefe stark abnehmen (Abbildung 6). Bei einigen Sandsteinproben wurde festgestellt, dass Kalk, Dolomit bzw. Anhydrit den Porenraum verkittet haben.
Die förderbaren Wässer weisen sehr hohe Salzgehalte von 310-358 g/l auf und gelten somit als Solen.

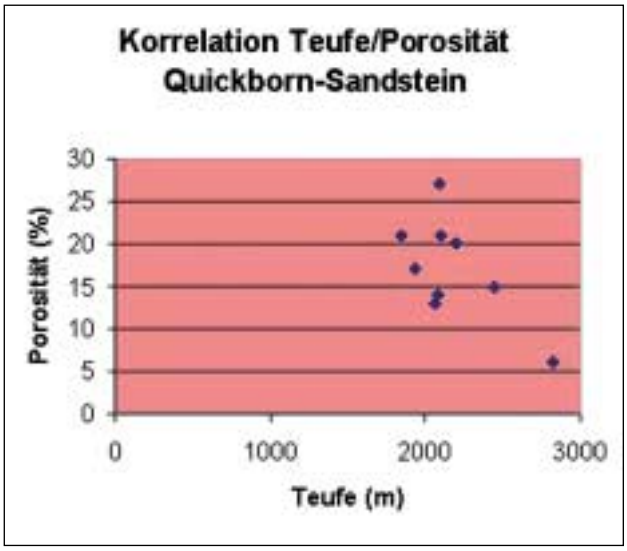


Abbildung 6: Porosität des Quickbornsandsteins in Abhängigkeit von der Tiefe

Rhät-Sandstein
Die Sandsteine des mittleren Rhät (Oberer Keuper) stammen zum überwiegenden Teil aus Nordosten, dem fennoskandinavischen Schild, und wurden in einem flachen marinen Randmeer (Deltasystem) abgelagert. Es handelt sich überwiegend um Fein- bis Mittelsande mit unterschiedlichem Verfestigungsgrad. Tonige Ablagerungen treten stellenweise in Form von Schmitzen und Schlieren auf oder als Tonlagen mit Schichtstärken im cm- bis m-Bereich. Sie können die Netto-Sandmächtigkeiten und damit die Durchlässigkeiten stark reduzieren. In westliche Richtung geht dieser Sandstein in einen marinen Tonstein über.

Aufgrund der geologischen Entwicklung sind die ehemals in ganz Schleswig-Holstein abgelagerten Schichten des Rhät teilweise wieder abgetragen worden. Abbildung 7 zeigt die heutige Verbreitung und Tiefenlage des Sandsteinhorizontes. Insbesondere im Top der im Untergrund anstehenden Salzstrukturen fehlt dieser Sandstein. Im Randbereich der Salzstrukturen sind diese Schichten dagegen in den sogenannten Randsenken tief eingesenkt worden: am tiefsten in den Randsenken der Salzstruktur Schwedeneck-Plön-Boostedt und zwar bis zu 4.200 m.

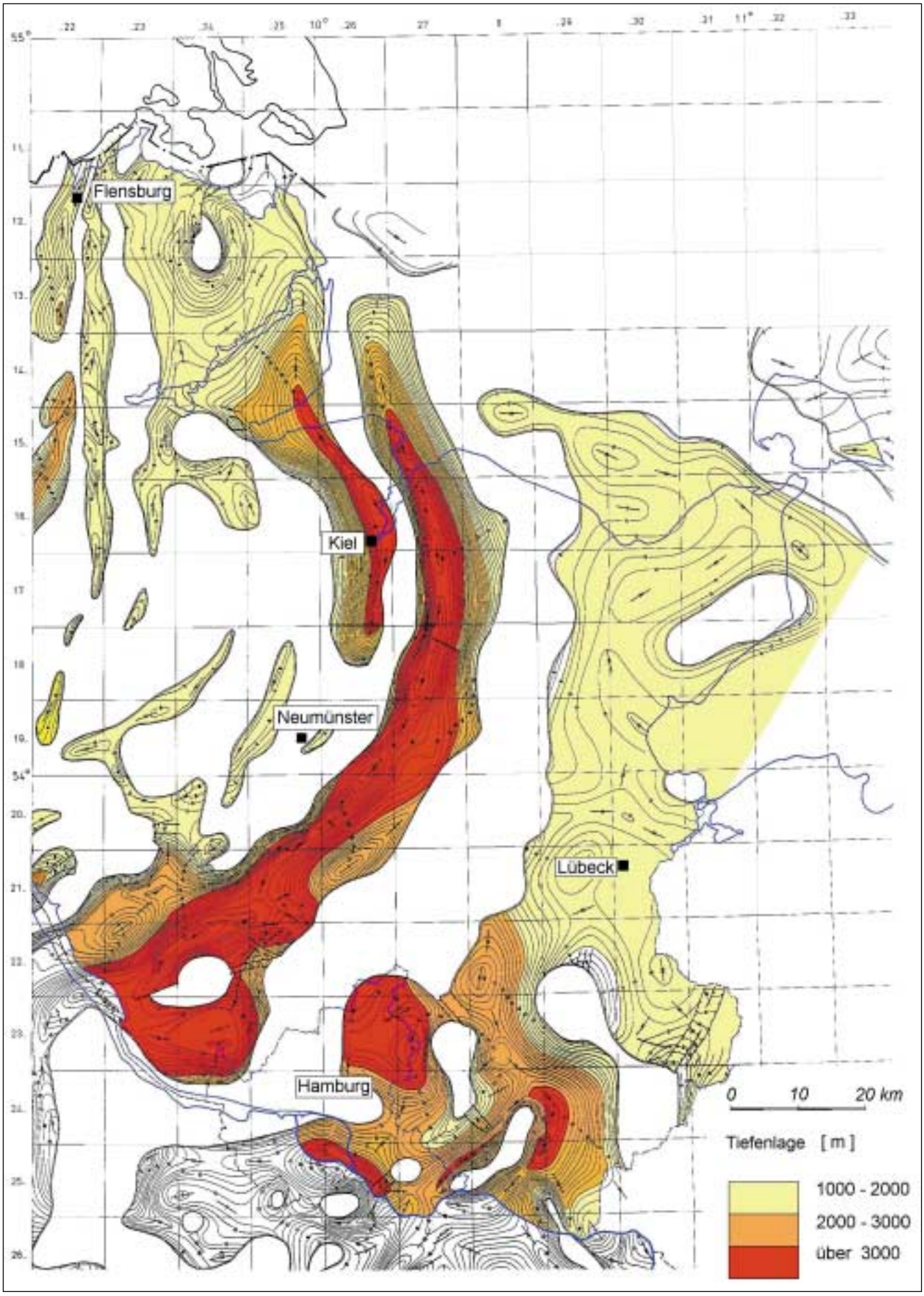


Abbildung 7: Verbreitung und Tiefenlage des Rhät-Sandsteins (SCHENCK et al. 2000)

Die Mächtigkeiten des Sandsteinhorizontes variieren sehr stark von wenigen Metern bis zu 80 m (Abbildung 8). Die höchsten Mächtigkeiten sind erwartungsgemäß in den Randsenken der Salzstrukturen anzutreffen, aber auch in einem Bereich südlich der Salzstruktur Sterup östlich von Flensburg.

Aufgrund von späteren Abtragungsvorgängen sind im zentralen Teil des Landes die Schichten des Rhät weitgehend reduziert; es ist hier aufgrund der fehlenden Daten davon auszugehen, dass der Sandstein ebenfalls nur in stark reduzierten Mächtigkeiten vorliegt oder ganz fehlt.

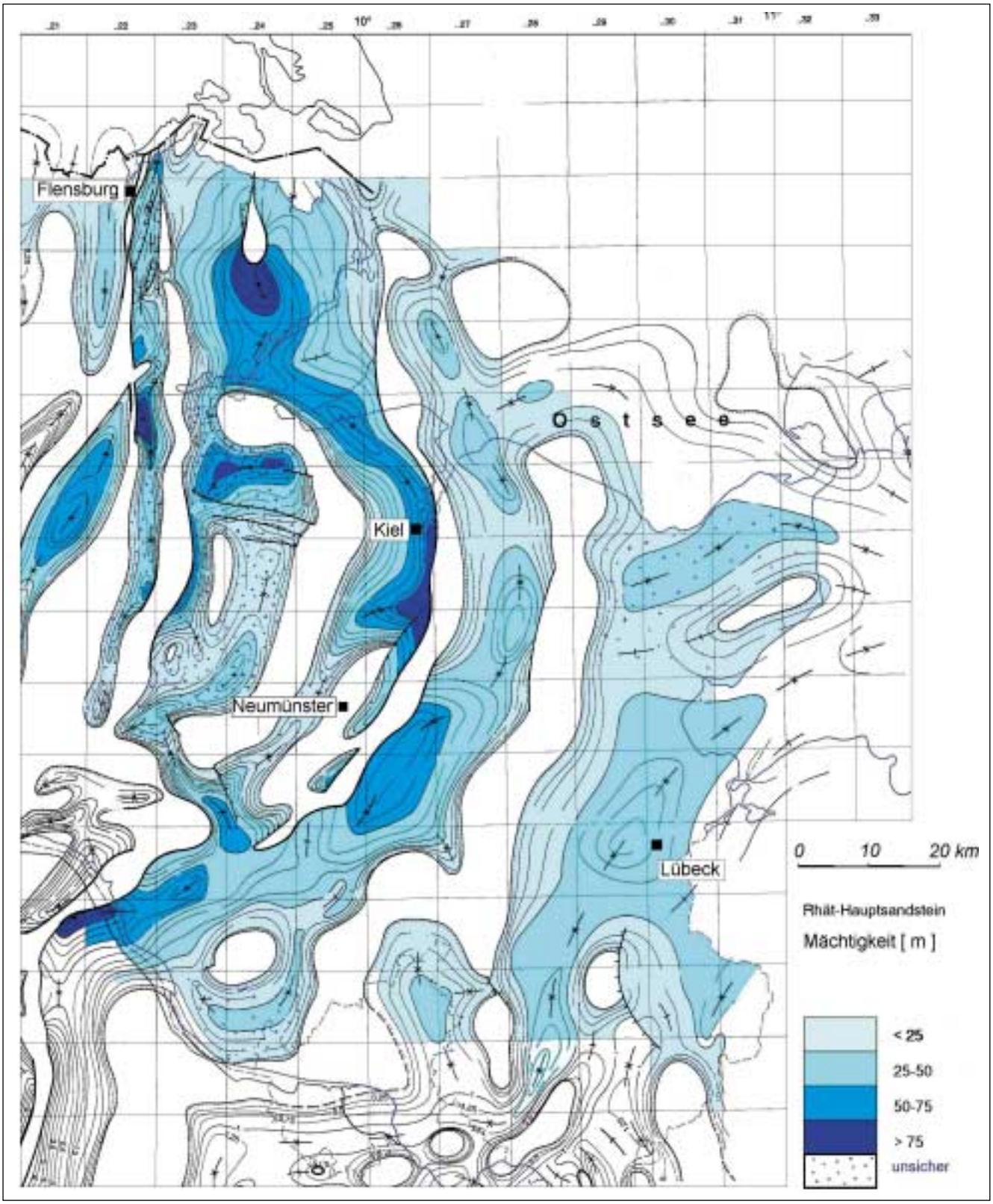


Abbildung 8: Verbreitung und Mächtigkeit des Rhät-Sandsteins, nach BALDSCHUHN et al. (2001): Kartengrundlage: Restmächtigkeiten Rhät

Die Porositätswerte schwanken zwischen 2 % und 31 %. Die meisten erbohrten Sandsteinhorizonte weisen Porositäten von 20 % - 25 % auf. Liegen die Werte unter 10 % Porosität, so ergaben Analysen, dass eine sekundäre Zementation mit Anhydrit ($CaSO_4$) zur Verkittung der Porenräume geführt hat. Bisher ist noch nicht ausreichend geklärt, woher der Anhydrit stammt und unter welchen Druck- und Temperaturbedingungen es zur Ausfällung kam. Diese Problematik führt zu Unsicherheiten bei der Einschätzung des Nutzungspotentials im Rhät-Sandstein (Christensen et al. 2002). Weiterführende Auswertungen haben gezeigt, dass die Sandstein-Porositäten mit zunehmender Tiefe stark abnehmen und zwar um so mehr, je tiefer dieser Horizont anzutreffen ist (siehe Abbildung 9). Ab einer Tiefe von etwa 2.500 m ist nur noch mit Porositäten von weniger als 20 % zu rechnen. Dies lässt sich mit der Verdichtung (Kompaktion) des Gesteins und Ausfällung verschiedener Minerale (Zementation) erklären. Für die Praxis bedeutet dies, dass das Bohrrisiko bei der Aufsuchung von geothermischen Nutzhorizonten minimiert wird, wenn Tiefen von mehr als 2.500 m gemieden werden. Damit liegt die maximale Temperatur der hydrothermal nutzbaren Tiefenwässer im Rhät-Sandstein bei etwa 80-90 °C. Die Salzgehalte des Rhät-Sandsteins liegen um 200 g/l.

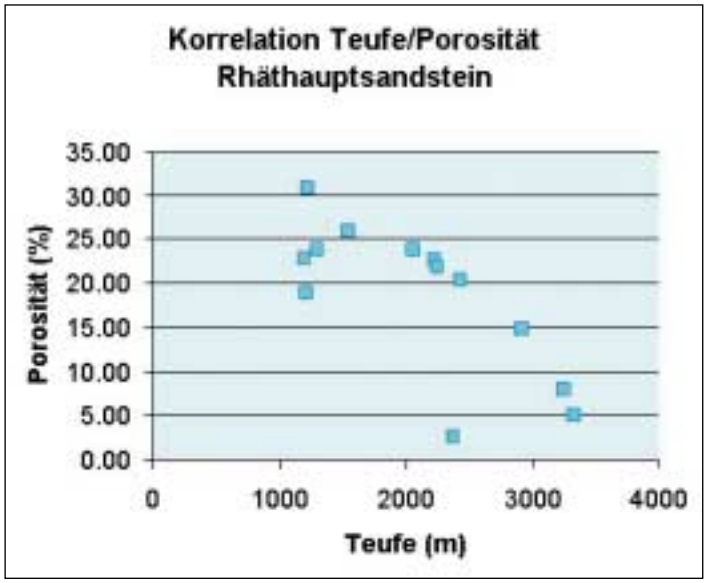


Abbildung 9: Korrelation zwischen Porosität und Teufe des Rhät-Sandsteins

Dogger-Sandsteine

Die ehemals in ganz Schleswig-Holstein verbreiteten Ablagerungen des Dogger sind in weiten Teilen des Landes wieder abgetragen worden. Nur in den Randsenken der Salzstrukturen Heide und Büsum (sogenannter Westholstein-Trog), sowie in den Randsenken der Salzstruktur Schwedeneck-Plön-Boostedt (sog. Schwedenecker Innentrog und Ostholstein-Trog) sind sie noch anzutreffen (Abbildung 10). Generell kann davon ausgegangen werden, je tiefer die Schichten in den Randsenken abgesenkt worden sind, desto mehr sind die Schichten von späteren Abtragungen verschont worden und desto vollständiger ist das Doggerprofil anzutreffen.

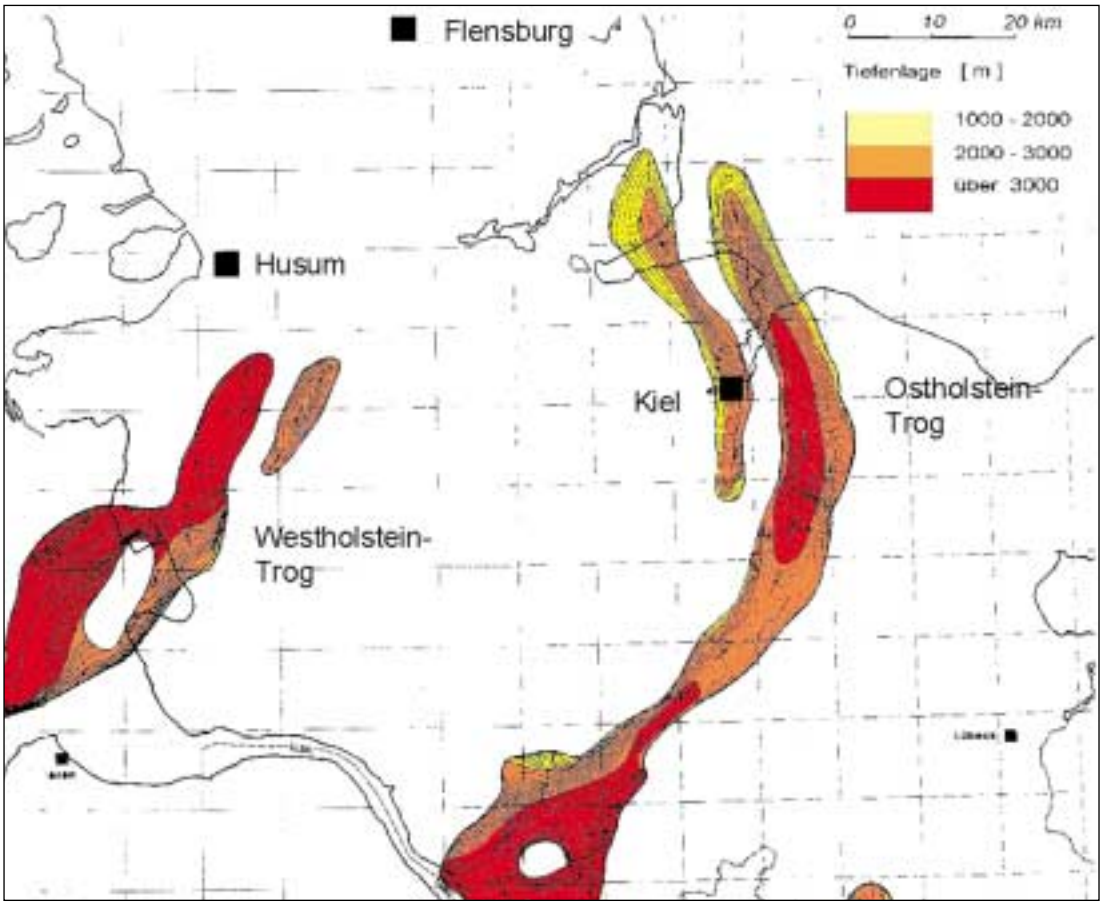


Abbildung 10: Verbreitung und Tiefenlage der Dogger-Sedimente, nach KOCKEL (1996); Kartengrundlage: Basis Dogger

Charakteristisch für den Dogger ist die Einschaltung zahlreicher Sandschüttungen mit unterschiedlichen Mächtigkeiten und Korngrößen. Dogger-Sande sind in den stratigraphischen Einheiten des Dogger beta, gamma, delta und epsilon angetroffen worden. Es handelt sich überwiegend um mürbe, mittel bis gut poröse Sandsteine mit Porositäten zwischen 15 % und 30 %.
Im Bereich des Westholstein-Troges ist die Basis des Dogger-Schichtkomplexes teilweise bis in Tiefen von mehr als 3.000 m abgesenkt. Die Sande (Dogger gamma bis epsilon) sind bei Mächtigkeiten zwischen 20 m und 70 m gekennzeichnet durch gute Porositäten zwischen 15 und 27 % mit geringen Tonbeimengungen. Sie können dabei einen geringen Grad an Verfestigung und Zementation aufweisen. Sie besitzen zum Teil ausgezeichnete Durchlässigkeiten (Permeabilität), die sogar im Oberen Dogger (delta und epsilon) auf 2-10 Darcy ansteigen (MÜLLER ET AL. 2004).

Im Ostholstein-Trog und Schwedenecker Innentrog sind nur noch die Sandsteinhorizonte vom Dogger-beta bis gamma, lokal delta, bis in Tiefen von 3.000 m erhalten geblieben. Die Verteilung der Sandmächtigkeiten lässt vermuten, dass der Trog schon in seiner ursprünglichen Anlage die heutige Konfiguration hatte (Abbildung 11). Die Mächtigkeiten der Dogger-beta-Sande nehmen zur Trogachse zu; entlang der Trogachse nehmen Mächtigkeiten und mittlere Korngrößen von N nach S generell ab (DABOUL ET AL. 1984). Die Mächtigkeiten erreichen allerdings nur selten die geforderten Mindestmächtigkeiten von 20 m.

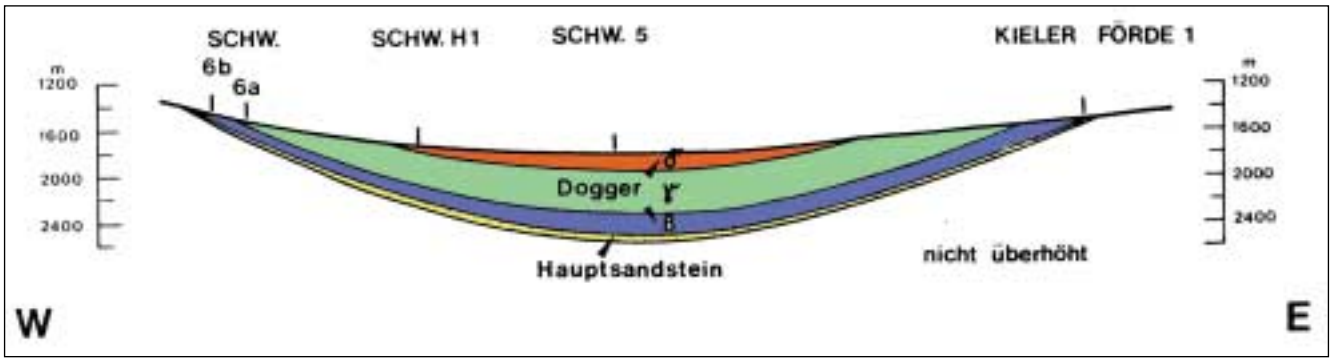


Abbildung 11: Doggerprofil durch die Kieler Förde (DABOUL et al. 1984)

Dagegen sind die Dogger-gamma-Sandsteine längs der Salzstruktur in Mächtigkeiten von bis zu 100 m nachgewiesen. Die Porosität nimmt vom unteren Bereich des Dogger gamma zum oberen häufig zu. Diese Sandsteine weisen sich durch meist gute Durchlässigkeiten aus. Während die Porenwässer der Sandsteine im Westholstein-Trog Salzgehalte von rund 220 g/l aufweisen, betragen sie im Ostholstein-Trog zwischen 100 und 150 g/l.

Literatur

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S. & Kockel, F (2001): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor – Geol. Jb., A, 153, Hannover

Christensen, S., Kirsch, R., Liebsch-Dörschner, T. & Schenck, P.-F. (2002): Nutzung hydrothermaler geothermischer Energie in Schleswig-Holstein – Möglichkeiten und Grenzen. – 7. Geothermische Fachtagung, Waren/Müritz, Tagungsband, Geothermische Vereinigung, 99-108

Daboul, B., Brandt, A., & Leitenbauer, J. (1984): Vorbereitende Lagerstättensimulation für die Entwicklung des Feldes Schwedeneck-See – Erdöl-Erdgas, 100.JG., Heft 12; 409-416

Kockel, F. (Projektleitung) (1996): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland, 1:300.000. –Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Müller, E., Brinzer, C. & Szabados, A.(2004): Geochemische Zusammensetzung der Erdöle des Feldes Mittelplate und deren Bedeutung für die Interpretation der Ölqualitäten und Lagerstättenbildung – DGMK Tagungsbericht, 2004-2:355-362

Rockel, W. & Schneider, H. (1992): Die Möglichkeiten der Nutzung geothermischer Energie in Nordostdeutschland und der Bearbeitungsstand geplanter Vorhaben; In: Schulz, Werner, Ruhland, Bußmann (Hrsg.): Geothermische Energie - Forschung und Anwendung in Deutschland, Karlsruhe, Verlag C.F. Müller; 87-98

Röhling, H.-G. (1999): The Quickborn Sandstone - a new lithostratigraphic unit in the lowermost Middle Buntsandstein (Scythian). - Zbl. Geol. Paläont., Teil I, Heft 7-8; 797 – 812; Stuttgart

Schenck, P.-F. & Hinsch, W. (1991): Übersicht über die geologischen Voraussetzungen für eine energetische Nutzung der Erdwärme in Schleswig-Holstein - Bericht des Geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein (unveröffentlicht)

Schenck, P.-F., Kirsch, R. & Christensen, S. (2000): Das Geothermische Potential in Schleswig-Holstein – Z. angew. Geol., 46/3; 130-137, Hannover

Schulz, R. & Röhling, H.-G. (2000): Geothermische Ressourcen in Nordwestdeutschland – Z. angew. Geol., 46/3; 122-129, Hannover

Hydrothermale Wärmeversorgung

➢ **Claudia Thomsen**

Die im tieferen Untergrund in Form von Wärme gespeicherte Energie wird vielerorts schon in geothermischen Heizanlagen gewonnen. In Schleswig-Holstein sind bisher noch keine derartigen Anlagen errichtet worden, aber es lassen sich hier prinzipiell folgende Möglichkeiten der Energiegewinnung aufzeigen (Abbildung 1):

1.) **Petrogeothermal**: direkte Nutzung der im Gestein vorhandenen Wärme durch **tiefe Erdwärmesonden** (siehe Kapitel „Tiefe Erdwärmesonden“)

2.) **Hydrogeothermal**: Nutzung der im Gesteinsverband beziehungsweise im Porenraum vorhandenen, erwärmten Wässer mit Hilfe von **hydrothermalen Tiefbrunnensystemen**

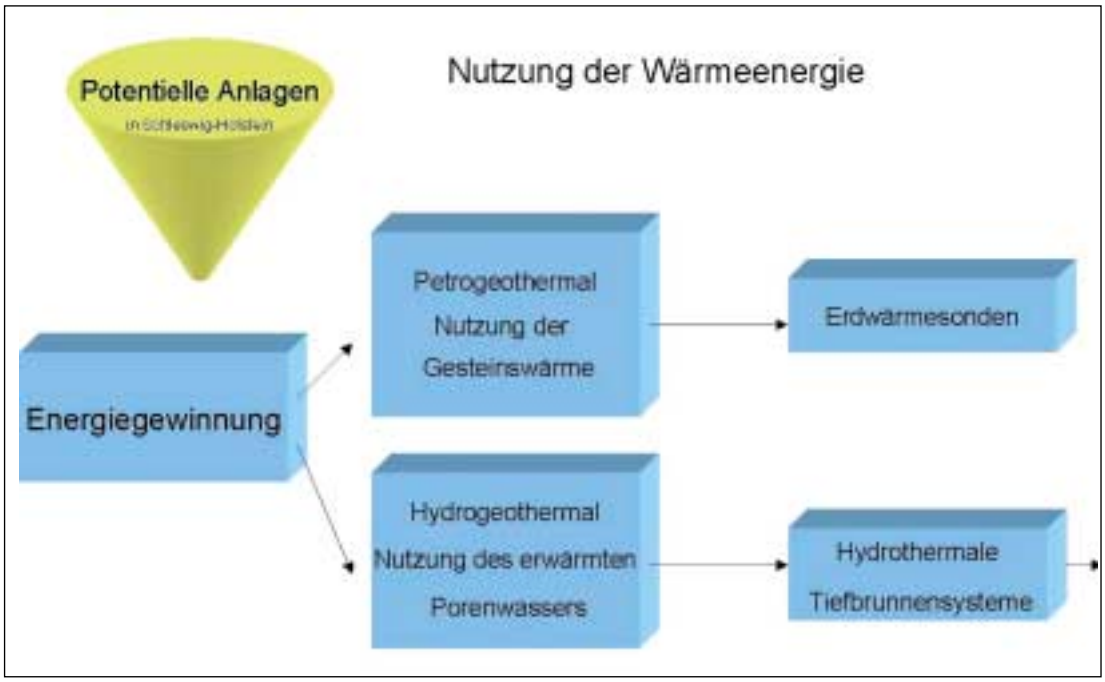


Abbildung 1: Möglichkeiten der Energiegewinnung aus dem tieferen Untergrund in Schleswig-Holstein

Hydrothermale Tiefbrunnensysteme
Der Einsatz hydrothermaler Tiefbrunnensysteme ist an tiefgelegene Grundwasserleiter gebunden. Das im Gesteinsverband oder in dessen Porenräumen vorhandene Wasser hat die gleiche Temperatur wie das umgebende Gestein. Dieses heiße Porenwasser wird mittels Tiefbrunnen an die Oberfläche gefördert. Somit ist das Wasser nicht nur Speichermedium, sondern auch gleichzeitig das Transportmedium für den Wärmetransport aus der Tiefe an die Erdoberfläche. Die Wärme der an die Oberfläche geförderten Tiefenwässer wird dort über Wärmetauscher in geothermischen Heizanlagen einem oberirdischen Heißwasserkreislauf zugeführt (Abbildung 2). Das abgekühlte Wasser wird in der Regel über eine zweite Bohrung (Injektionsbohrung) in circa 1-2 km Entfernung vom Entnahmebrunnen wieder in den wasserführenden Horizont eingeleitet (Dublettenbetrieb). Dieses ist erforderlich, da die Tiefenwässer im allgemeinen einen hohen Salzgehalt aufweisen und daher aus Gründen des Umweltschutzes wieder in den Untergrund zurückgeleitet werden müssen. Darüber hinaus ist eine Wiedereinleitung auch aus hydraulischen Gründen unbedingt erforderlich.

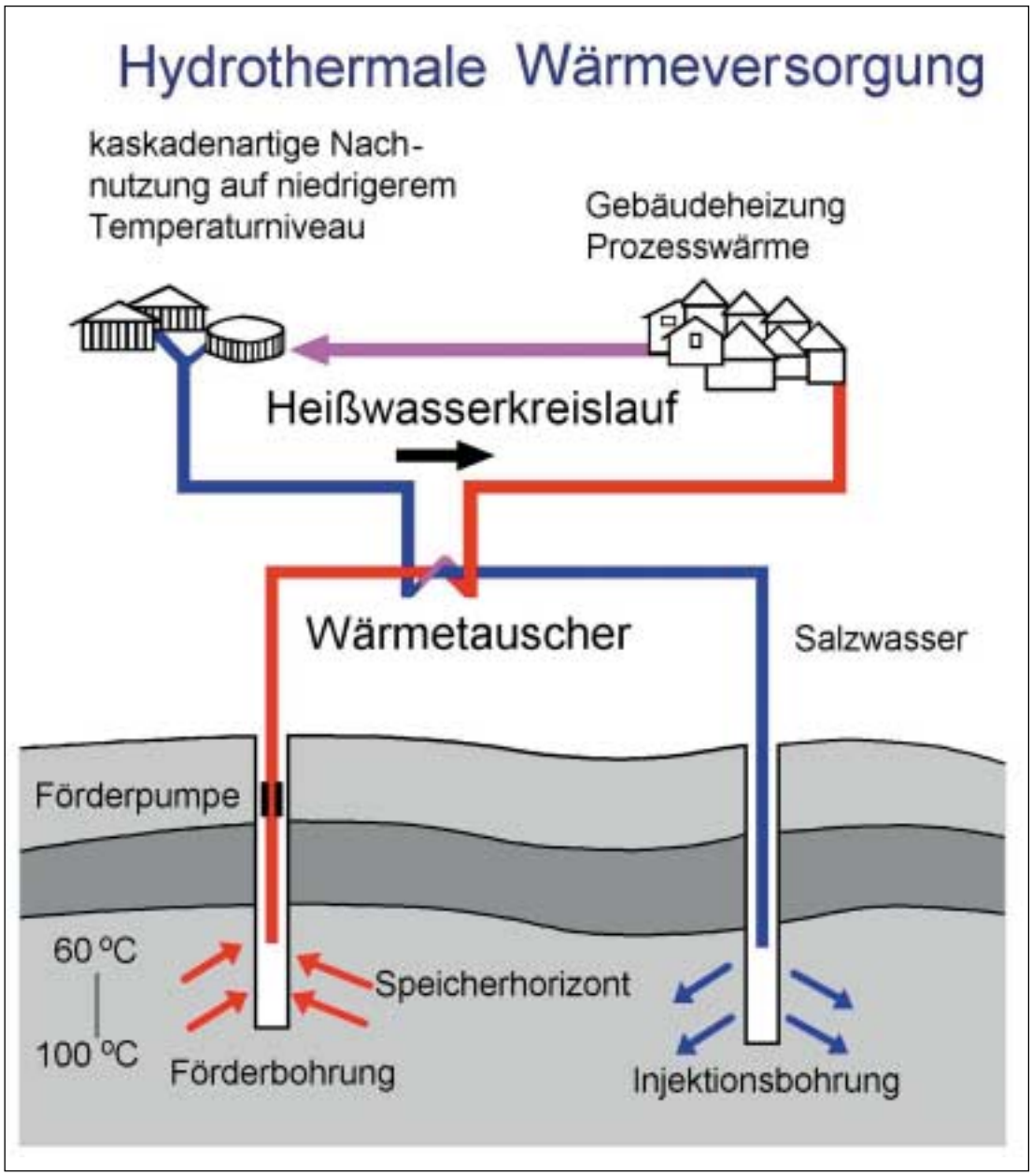


Abbildung 2: Prinzipskizze eines hydrothermalen Tiefbrunnensystems im Dublettenbetrieb

Zwar wird die entnommene Wärme durch die Wärmeproduktion der Erde langfristig wieder nachgeliefert, jedoch ist der Wärmefluss so gering, dass der Wärmeentzug (je nach Anlagenkonfiguration und Untergrundparameter) und die Wiedereinleitung des abgekühlten Wassers zu einer Abkühlung im Bereich zwischen Förder- und Injektionsbohrung führen können. Die Entfernung zwischen Förder- und Injektionsbohrung wird bei bekannter geologischer Situation daher so gewählt, dass eine Abkühlung im Bereich der Förderbohrung frühestens nach 30 Jahren erfolgt.

In Deutschland sind gegenwärtig rund 30 größere Anlagen mit einer installierten Wärmeleistung zwischen 100 kW und 20 MW in Betrieb beziehungsweise im Bau, die Thermalwasser als Energiequelle nutzen. Es handelt sich vor allem um geothermische Heizzentralen oder Thermalbäder in Kombination mit Gebäudeheizung. Die gesamte in hydrothermale Anlagen installierte thermische Leistung der deutschen Anlagen beträgt etwa 85 MWth (siehe Tabelle 1). Die beiden größten Anlagen befinden sich im bayerischen Erding (9 MW geothermische Leistung, 18 MW Gesamtleistung einschließlich Spitzenlastkessel) und Simbach am Inn (5,3 MW geothermische Leistung, max. Anschlusswert 30 MW einschließlich Spitzenlastkessel).

Tabelle 1: Hydrothermale Anlagen in Deutschland und ihre installierten Leistungen.
G = Gewächshaus, H = Hydrothermale Gebäudeheizung, S = Thermalbad, T =Trinkwasser; Stand 2004.
Quelle : **www.geothermie.de** und diverse websites der Anlagen. Werte in Klammern beziehen sich auf die Leistung des Spitzenlastkessels.

Ort	**Installierte Leistung (MWt_t)**	**Nutzung**	**T (°C)**	**Fließrate (l/s)**	**Besonderheiten**
Bad Birnbach	1,4	H,T	70	16	2 Bohrungen, Wärmepumpen
Bad Ems	0,16	H,T	43	1	
Bad Füssing	0,41	H,T	56	60	
Bad Griesbach	0,20	G,H,T	60	5	
Bad Waldsee	0,44	H,T	30	7	
Baden-Baden	0,44	H,T	70	3	
Biberach	1,17	G,T	49	40	
Bruchsal			125		ORC-Kraftwerk in Bau
Buchau	1,13	H,T	48	30	
Ehrenfriedersdorf	0,12	H,T	11-14	2,8-19,4	Nutzung von Grubenwasser
Erding	18,6	H,T,S	66	24	Direktwärmetauscher und Wärmepumpe im Parallelbetrieb; abgekühltes Thermalwasser wird in lokale Trinkwasserversorgung eingespeist
Groß Schönebek			>150		Dublette im Bau, Stimulationsexperimente
Konstanz	0,62	T	29	9	
München-Riem	6-8	H	90	50	Dublette im Bau, 2 abgelenkte Bohrungen
Neubrandenburg	10(3,5)	H	54	28	Dublette, Wärmepumpe, Tiefenspeicher für Abwärme aus GUD-Kraftwerk
Neustadt-Glewe	10,7(6,5)	H,S	97	35	Dublette, keine Wärmepumpe, ORC-Kraftwerk
Offenbach (Pfalz)			150	200	Kraftwerk in Planung, Dublette
Schrobenhausen	6-8, später 12-15	H			Dublette im Bau
Simbach - Braunau	30		80,5	74	Dublette, versorgt die Städte Simbach und Braunau
Speyer			150		ORC-Kraftwerk in Bau, 9 Bohrungen
Staffelstein	1,70	H,T	54	4	
Straubing	ca.6	H,W	38	45	Abgelenkte Dublette und Wärmepumpe
Templin		S	67	14	Thermalsole für Thermalsolebad
Unterhaching	16	H,S	100-120	ca.150	Dublette im Bau, Kraftwerk
Unterschleißheim	12		90		Dublette, Wärmepumpe
Waren (Müritz)	8,3	H	60	17	Dublette, Wärmepumpe
Weiden i.d. Pf	0,20	H,T	26	2	
Weinheim	2,3		65		Dublette im Bau, Erlebnisbad
Wiesbaden	1,76	H,T	69	13	

Zunehmend gewinnt die geothermische Stromerzeugung aus Thermalwasser an Bedeutung. So ist im Jahre 2003 in **Neustadt – Glewe** das erste deutsche geothermische Heizkraftwerk in Betrieb gegangen. Mit der Errichtung einer **ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle)** mit maximal 230 kW elektrischer Leistung wird die ausschließliche Wärmeversorgung zur gekoppelten Wärme- und Stromversorgung ausgebaut (siehe Abbildung 3). Hier wird das 97 °C heiße Wasser aus einer Sandsteinschicht in 2.200 m Tiefe gefördert (GTN). Weitere Anlagen zur geothermischen Stromerzeugung sind in Planung oder im Bau (siehe Tabelle 1).

In **Bruchsal** (siehe Abbildung 3) wurde bereits in den 80er Jahren ein funktionierendes Dublettensystem errichtet, aber wegen der niedrigen Energiekosten bei fossilen Energieträgern nicht weitergeführt. Seit 2001 erfolgt der Ausbau der geothermischen Anlage mit Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Aufgrund einer Havarie musste die Fernwärmeleitung ersetzt werden, so dass erst im Frühjahr 2004 ein Pumpversuch die Funktionstüchtigkeit des hydraulischen Systems nachweisen wird. Anschließend wird in der Nähe der Förderbohrung ein ORC-Kraftwerk zur geothermischen Stromerzeugung errichtet, das 2005 mit einer beabsichtigten Leistung von 240 kW in Betrieb genommen wird. Das genutzte Tiefenwasser ist eine bis zu 125 °C heiße Thermalsole aus dem Buntsandstein und enthält 130 g/l gelöste Salze.

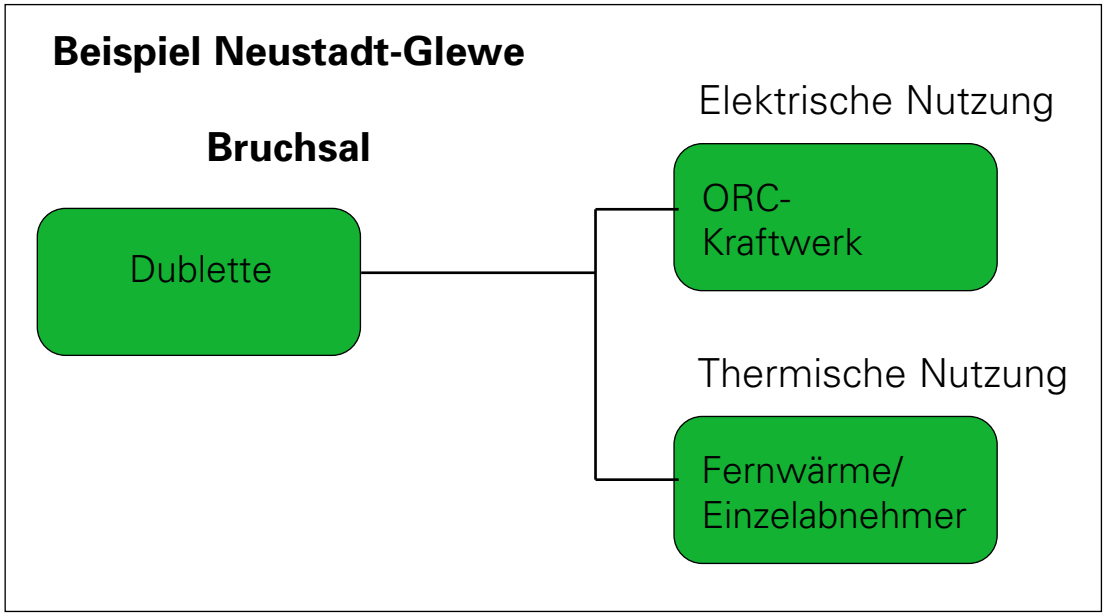


Abbildung 3: Schema der Nutzung hydrothermaler Energie am Beispiel Neustadt-Glewe und Bruchsal

In **Groß Schönebek** werden Stimulationsexperimente an ursprünglich gering durchlässigen Rotliegend-Sandsteinen durchgeführt mit dem Ziel, Thermalwasser für den Betrieb einer geothermischen Stromerzeugungsanlage in ausreichender Menge aus der Tiefe fördern zu können (Kaltschmitt et al. 2003).

Die großtechnische Nutzung der hydrothermalen Erdwärme zu Heizzwecken begann 1984 mit dem ersten geothermischen Heizwerk in **Waren/Müritz** (siehe Abbildung 4). Ursprünglich wurde diese Anlage im ausschließlichen direkten Wärmetausch betrieben; später wurde die Geothermische Heizzentrale um zwei gasmotorisch angetriebene Kompressionswärmepumpen mit einer Heizleistung von jeweils 650 kW (Heizzahl: 1,6) ergänzt und versorgt 1.715 Wohnungseinheiten mit einer Gesamtanschlussleistung von 8,3 MW. Der Anteil geothermischer Energie beträgt knapp 40 % an der Wärmelieferung. Eine Verbesserung der Ressourcenausnutzung ist hier allerdings noch möglich (Jäntsch et al. 2002). Aufgrund der relativ hohen Mineralisation von 158 g/l des Thermalwassers ist eine stoffliche Nutzung vorgesehen: die kleintechnische Produktion von Badesalz ist aufgenommen worden.

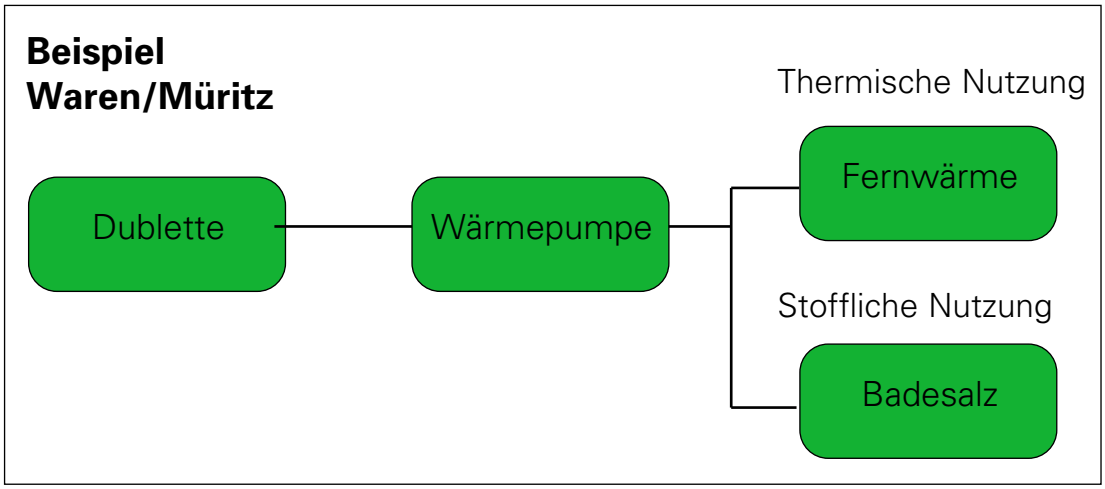


Abbildung 4: Schema der Nutzung hydrothermaler Energie am Beispiel Waren/Müritz

Im **Erdinger Geoheizwerk** wird aus Geowärme Fernwärme (siehe Abbildung 5). Das Geoheizwerk verfügt über eine Gesamtwärmeleistung von 18 MW und besteht im wesentlichen aus einer Direktwärmetauscheranlage mit 2 MW Heizleistung, einer Absorptionswärmepumpe mit rund 7 MW sowie aus zwei Heißwasserkesselanlagen mit je 5 MW Wärmeleistung. Angetrieben wird die Wärmepumpe über Heizwärme aus einem Dampfkessel. Nach der Abkühlung des niedrig mineralisierten Thermalwassers durch die Wärmepumpe erfolgt seine Aufbereitung zu Trinkwasser und zur Versorgung der THERME ERDING mit Thermalwasser.

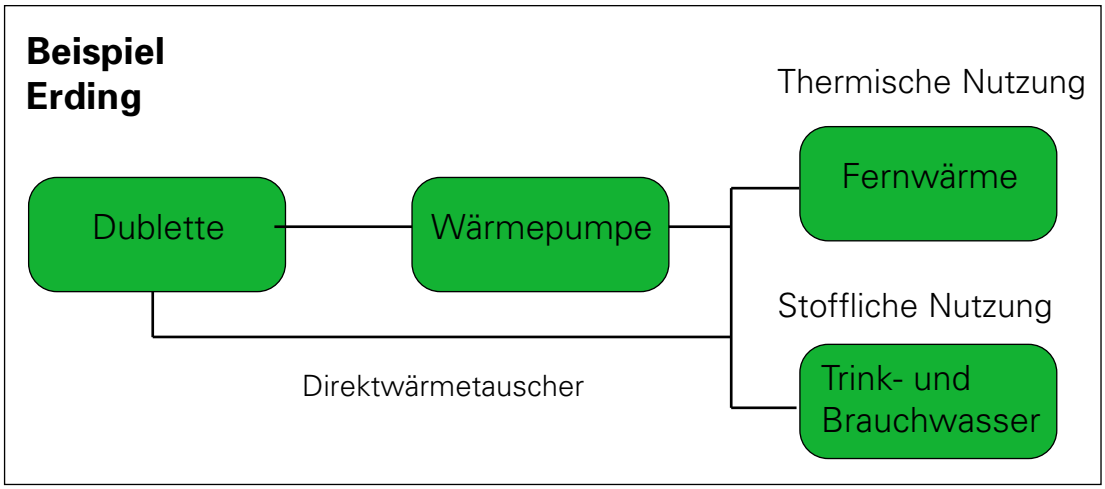
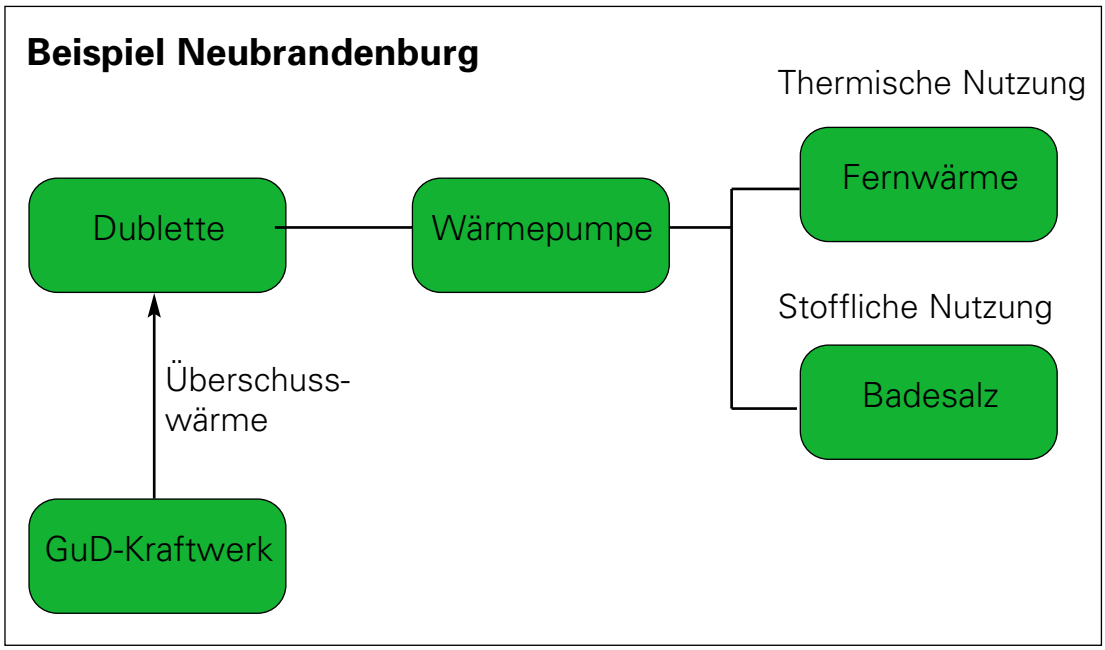


Abbildung 5: Schema der Nutzung hydrothermaler Energie am Beispiel Erding

Eine andere Art der Nutzung von Thermalwasser ist in **Neubrandenburg** (Abbildung 6) vorgesehen. Dort besteht seit 1987 eine Geothermische Heizzentrale, die aus 1.200 – 1.300 m Tiefe Thermalwasser von etwa 53 °C fördert. Ein benachbartes Gas- und Dampfturbinenkraftwerk arbeitet in der Grundlast dieses Netzes. Es ist vorgesehen, die sommerliche Überschusswärme des GuD-Kraftwerkes in dem bisher hydrothermal genutzten Sandsteinhorizont unterhalb der Geothermischen Heizzentrale zu speichern (GTN 2003). Damit wird gleichzeitig das Temperaturniveau des Thermalwassers von 53 °C auf etwa 80 °C angehoben. Im Winter arbeitet die Geothermische Heizzentrale wie bisher; die Fördertemperatur des Thermalwassers beträgt jetzt etwa 70 °C bis 80 °C. Nach einer Energiebilanz wird etwa 2/3 der eingespeisten Wärmemenge im Winter wieder zurückgewonnen (siehe Kapitel „Wärme- und Kältespeicherung im Erdboden“).

Abbildung 6: Schema der Nutzung hydrothermaler Energie am Beispiel Neubrandenburg



Wie die ausgewählten Beispiele zeigen, werden die Thermalwässer – je nach geologischer Situation (Temperaturen, Durchlässigkeiten, Mineralisation) und Abnehmerstruktur - zunehmend mehrfach genutzt: elektrisch, thermisch und stofflich. Bei einer kombinierten Nutzung (elektrisch/thermisch oder thermisch/stofflich) steht die bestmögliche Ausnutzung der im Untergrund vorhandenen thermalen Tiefenwässer im Vordergrund. Hinzu kommt bei der Einspeisung von geothermisch erzeugtem Strom in das öffentliche Netz nach dem Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG) die zusätzliche Einspeisevergütung. Ziel dieses Gesetzes ist es, den Beitrag Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung deutlich zu erhöhen beziehungsweise in Deutschland den Anteil Erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 mindestens zu verdoppeln.

Die stoffliche Nach-Nutzung der Thermalwässer für balneologische Zwecke ergibt wiederum eine weitere kommerzielle Nutzung. Während in Norddeutschland die Tiefenwässer aufgrund der hohen Salzgehalte als Heilsole oder für Solebäder eingesetzt werden können, besteht in Süddeutschland – im Bereich der Molassebecken – die Möglichkeit, die schwächer mineralisierten Wässer als Thermal-, Heil- oder Trinkwasser zu nutzen.

Durch den Trend der kombinierten Nutzung hydrothermaler Wässer wird die Effizienz der Energiegewinnung und damit auch die Wirtschaftlichkeit gesteigert.

Beispiele aus Schleswig-Holstein sind bis jetzt nicht vorhanden. Dabei können, wie im Kapitel „Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein“ dargestellt wurde, die geologischen Verhältnisse für eine hydrothermale Erdwärmenutzung für einige Regionen durchaus als günstig eingeschätzt werden. Gerade im Raum Kiel haben wir einen geothermischen Speicherhorizont in geeigneter Tiefe und Abnehmer in Form eines gut ausgebauten Fernwärmenetzes aufzuweisen.

Literatur

GTN (2003): Firmenbroschüre der “Geothermie Neubrandenburg GmbH“, Ausgabe November 2003

Jäntsch, E., Seibt, P. & Kabus, F.(2002): Tagungsband der 7. Geothermischen Fachtagung in Waren/Müritz; 94-98

Kaltschmitt, M., Nill, M. & Schröder, G. (2003): Tagungsband des 1. Fachkongresses Geothermischer Strom in Neustadt-Glewe: 30-45

Vorbilder im Norden – Geothermieprojekte in Dänemark und Schweden

➢ **Sven Christensen, Reinhard Kirsch, Thomas Liebsch-Dörschner**

Skandinavien versteht sich als klassischer europäischer Pionierbereich für die Entwicklung regenerativer Energien. Insbesondere in Schweden ist der Einsatz geothermischer Energie bei der Einzelhausversorgung mit flachen Erdwärmesonden besonders ausgeprägt. Statistisch werden hier circa 4,4 Wärmepumpen auf 1.000 Einwohner verzeichnet. Neue Projekte in Dänemark und Schweden eröffnen aber auch Einblicke in die Nutzung tieferer geothermischer Potenziale.

Dänemark

Die bislang einzige größere geothermische Heizanlage Dänemarks steht in Thistedt im Norden Jütlands (Mahler 2000). Diese Anlage wurde 1984 errichtet und 2000 erweitert. Geothermischer Nutzhorizont in Thistedt ist der Gassum Sandstein, der in 1.200 m Tiefe erbohrt wurde. Der Abstand von der Förder- zur Injektionsbohrung beträgt 1.500 m. Es werden 200 m^3/h Thermalwasser bei einer Temperatur von 45 °C gefördert. Durch den Einsatz von 2 Absorptionswärmepumpen kann das Thermalwasser bis auf 10 °C abgekühlt werden. Die Wärmepumpen werden mit der Abwärme eines Kraft-Wärme-Kopplung Kraftwerks bei 140 – 160 °C betrieben. Die zum Betrieb der Wärmepumpen benötigte Wärme geht dabei nicht verloren, sondern wird wieder in das Wärmeversorgungsnetz eingespeist. Die geothermische Leistung der Anlage beträgt bis zu 7 MW, für den Betrieb (z.B. Pumpen) werden 350 kW elektrische Leistung benötigt.

In der Öresund Region entstehen zur Zeit zwei ehrgeizige geothermische Großprojekte. In Kopenhagen soll das Fernwärmenetz durch eine geothermische Komponente erweitert werden. Dabei sollen ca. 5.000 Haushalte beziehungsweise 1 % des Wärmenetzes geothermisch versorgt werden. Die Bohrtiefe beträgt in Kopenhagen 2.700 m (Buntsandstein, Detfurth-Serie) mit einer Thermalwassertemperatur von 73 °C. Das Konzept beruht, wie auch in Thistedt, auf dem Einsatz von Wärmepumpen. Hauptgrund ist, neben der Temperaturanpassung an das Fernwärmenetz, eine bessere Energieausnutzung des Thermal-

wassers durch größere Abkühlung. In Kopenhagen werden hierfür Absorptionswärmepumpen eingesetzt. die durch Dampf aus einem benachbarten Bioenergie-Kraftwerk betrieben werden.

Im Kopenhagener Konsortium HGS (Hovedstadsområdets Geotermiske Samarbejde) arbeiten die Netzbetreiber CTR, KE, VEKS und ENERGI E2 mit dem staatlichen Energieunternehmen DONG A/S (Dansk Olie og Naturgas) zusammen. Als Eckdaten liegt folgendes vor:

Geothermische Produktionsrate	270 m^3/h
Geothermische Leistung	ca. 16 MW
Gesamtkosten	182 Mio DKK

Das Energieunternehmen DONG hat bei der Konfiguration der geothermischen Heizzentrale als kombinierte Kraft-Wärmeanlage (combined heat and power plant) ein geothermisches Konzept und ein Computermodell für die Auslegung der Anlage, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und zur Optimierung der Strategien zur Anlagensteuerung zugrunde gelegt, das im Laufe von 20 Jahren in dem Unternehmen entwickelt wurde.

Der Einsatz von LiBr-Wasser Absorptionswärmepumpen, die Nutzung von Abwärme zum Beispiel aus der Stromerzeugung, hohe Durchflussmengen von Thermalwasser von bis zu 270 m^3/h, hohe Temperaturdifferenzen zwischen Förderstrom und Injektionsstrom sowie niedrige Vorlauftemperaturen im Nahwärmenetz von etwa 85 °C bilden die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb dieser Anlage. Eine derart konzipierte Kraft-Wärme-Anlage produziert 5 – 20 mal mehr Energie in Form von Wärme als diejenige Energiemenge in Form von Strom, die hierfür eingesetzt werden musste. Die Arbeitszahl ist wesentlich höher als bei normalen Wärmepumpen mit einer Arbeitszahl 4.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist aber auch die in Dänemark hohe Besteuerung der Energiebereitstellung mit Kohle als Primärenergieträger, während sich keine steuerlichen Belastungen aus der Bereitstellung aus geothermischer Energie ergeben.

Schweden

Ebenfalls in der Öresund-Region und in Kooperation mit dem dänischen Projekt wird in Malmö im Stadtteil Hamnen ein geothermisches Pilotprojekt vom Energieunternehmen Sydkraft durchgeführt. Auch hier soll eine Einspeisung ins Fernwärmenetz zur Versorgung von circa 8.000 Wohnungen beziehungsweise 4.000 Häusern erfolgen. Das Projekt ist in 3 Phasen gegliedert und verfolgt ebenfalls das Konzept, mit einem Dublettensystem die Energieausnutzung des Thermalwassers mittels Adsorptionswärmepumpen zu optimieren. Folgende Kerndaten werden erwartet:

Geothermische Produktionsrate	300 – 350 m^3/h
Geothermische Leistung	ca. 20 MW
Geothermische Jahresproduktion	100-130 GWh/a
Gesamtkosten	180 – 200 Mio SEK

In der Phase 1 wurden in Verbindung mit dem Staatlichen Geologischen Dienst geologische und seismische Voruntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in einer Machbarkeitsstudie in 2000 präsentiert wurden. Nach einer positiven Bewertung wurde in der zweiten Phase zunächst eine Bohrung projektiert und umgesetzt. Die Bohrung endete bei etwa 2.180 m und ergab eine Temperatur von 63 °C in den Formationswässern des Buntsandstein. In der dritten Phase wurde im Herbst 2003 die Injektionsbohrung fertiggestellt.

Ähnlich wie in Thisted, Dänemark, wurde in Lund in Zusammenarbeit mit dem Energieunternehmen Lunds energi AB und der technischen Universität schon zum Jahreswechsel 1984/85 ein geothermisches Heizwerk in Betrieb genommen. Hier wird aus circa 700 m Tiefe Thermalwasser entnommen und mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die Wärme wird ins Netz eingespeist.

Abbildung 1: Geothermiebohrung Lund, © Dept. of Engineering Geology, LTH, Lund/Schweden

Insbesondere die Abteilung Ingenieurgeologie der Technischen Universität Lund arbeitete seitdem verstärkt an weiteren Erschließungsmöglichkeiten geothermischer Potenziale in Südschweden. Im Forschungsprojekt Tiefengeothermie in Lund, das von Lunds energi AB hauptverantwortlich durchgeführt wurde, konnte nach geologischen und seismischen Voruntersuchungen in den Jahren 2002 und 2003 eine Bohrung auf circa 3.700 m abgeteuft werden (Abbildung 1 und 2).

Abbildung 2: Stratigraphie der Bohrung, © Dept. of Engineering Geology, LTH, Lund/Schweden

LAGERFÖLJDSBESKRIVNING

GEOLOGISK ÖVERSIKT FÖR BRUNN DGE#1 INOM PROJEKT DJUPGEOTERMI I LUND

Geological summary of DGE-1/1B

DGE-1/1b

CHRONOSTRATIGRAPHY				LITHOSTRATIGRAPHY/ LITHOLOGY	
SYSTEM	SERIES/STAGE	Depth m	Thickness m	FORMATION	MEMBER
Quaternary		47	47		
UPPER CRETACEOUS	Campanian - Santonian	211	164	HÖLLVIKEN	Lund
	faulted zone	223	12		
LOWER JURASSIC	Pliensbachian	286	63	RYA	Rydebäck
	Sinemurian	390	140		Katslösa
		448	58		Pankarp
	Hettangian	525	77		Döshult
		1060	535		Helsingborg
UPPER TRIASSIC	Rhaetian	1117	57	HÖGANÄS	Bjuv
		1200	83		Vallåkra
	Norian - Carnian	1310	110	KÅGERÖD	
	Rhaetian	1425	115	HÖGANÄS	Helsingborg
CRETACEOUS U	Campanian - Santonian	1531	106	HÖLLVIKEN	Granwik
CRETACEOUS L	Valanginian - Ryazanian		415	Unnamed formations	
				ANNERO	Vitabäck
	faulted zone	1946	104	Gneiss with zones of L. Cretc. rocks	
PRE CAMBRIAN with PERMO-CARBONIFEROUS DYKES		2050	715	Gneiss, metabasite and NW dolerite	
		2765	389	Banded gneiss, gneiss granite, metabasite and NW dolerite	
		3154	28	Quartz-rich granitoid	
		3182	20	"Quartzite "Charnokite?"	
		3202	375	Granite, metabasite, gneiss-granite and NW dolerite	
		3577	125	Banded gneiss, gneiss-granite, metabasite and NW-dolerite	
		TD 3701.8			

Das Ziel der Bohrung und der Untersuchungen war es, mögliche geothermische Wärmepotenziale in den geologischen Störungssystemen, die für den Untergrund in Südschweden kennzeichnend sind, zu erfassen und zu nutzen. Das Forschungsprojekt wurde finanziell von der Delegation für Energieversorgung in Südschweden (DESS) und von der staatlichen schwedischen Energiebehörde unterstützt. Insbesondere durch die finanzielle Unterstützung der Energiebehörde wurde das Bohrrisiko um 50 % gesenkt.

Nach intensiven Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die erwartete Temperatur ausreicht. In einem Tiefenbereich von 1.400 bis 1.900 m in den Formationen triassischer Sandsteine konnte eine Produktionsrate von etwa 360 m^3/h erfasst werden. In tieferen Bereichen wurde allerdings eine zu niedrige Ergiebigkeit gemessen.

Zur Zeit plant Lunds energi AB den Bau einer weiteren geothermischen Anlage mit einem Dublettensystem. Auf Grund der Testergebnisse der Forschungsbohrung soll im Frühjahr 2004 eine weitere Bohrung bis circa 1.900 m abgeteuft werden. Mit der Einspeisung der Wärme dieses zweiten geothermischen Kraftwerks erwartet Lund energi AB eine Verminderung der CO_2-Emission um 25 %.

Mit den aufgezeigten Projekten konnte nachgewiesen werden, dass die Nutzung geothermischer Potenziale durchaus wirtschaftliche Aspekte aufweist. Mittlerweile haben dänischen Firmen bereits an der Realisierung einer Reihe von Geothermie-Projekten im Ausland mitgewirkt, zum Beispiel in Russland, Polen, Litauen, der tschechischen Republik und der Slowakei. Gut gemachte Geothermie kann also durchaus eine Exporttechnologie sein, wie bei uns die Windkraft. Schleswig-Holstein ist mit der Öresund-Region in der EU-Initiative STRING verbunden. Vielleicht führen die traditionell guten Beziehungen unseres Landes zu den Nachbarn im Norden auch einmal dazu, dass gemeinsam Geothermie-Projekte realisiert werden können.

Literatur

MAHLER, A. (2000): Geothermal plant with efficient absorption heat pumps driven by incineration CHP plant. – Proc. World Geothermal Congress, verfügbar über **www.dong.dk**

Strom aus der Erde

➢ **Reinhard Kirsch**

Der Gedanke ist attraktiv - das scheinbar unerschöpfliche Wärmepotential des Untergrundes zur Stromerzeugung zu nutzen. Anders als bei Solar- oder Windenergie ist die geothermale Stromerzeugung nicht von der Witterung abhängig; geothermale Kraftwerke könnten also zur Deckung der Grundlast an elektrischer Energie beitragen. Das technisch nutzbare Erdwärmepotential für die Stromerzeugung wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gemeinsam mit dem Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (beide Hannover) im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag abgeschätzt – es beträgt etwa das 600-fache des jährlichen Strombedarfs (Jung et al. 2002)!

Der größte Teil des Energiepotentials steckt im heißen kristallinen Tiefengestein, das mit der **„hot dry rock" (HDR)- Technik** erschlossen werden kann. Hierzu wird zwischen 2 Bohrungen durch „fracturing" mit Wasserdruck ein Risssystem erzeugt, in dem anschließend Wasser wie in einem Durchlauferhitzer auf über 100 °C erwärmt und somit verdampft wird (Abbildung 1). Die obertägige Stromerzeugung erfolgt wie in einem normalen Kraftwerk durch Turbinen.

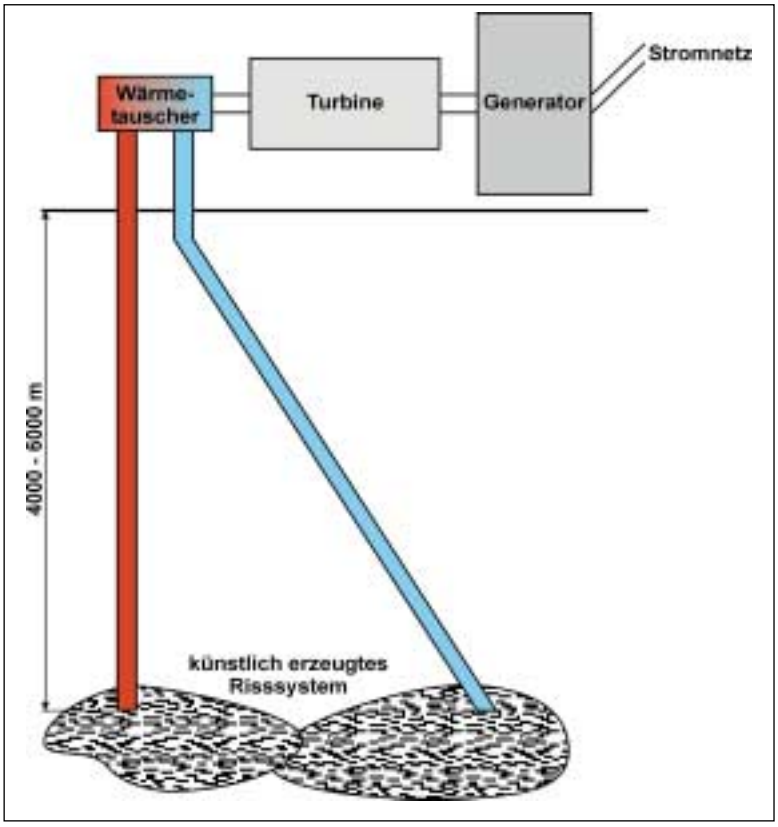


Abbildung 1: Hot-dry-rock Kraftwerk zur Stromerzeugung

Das mittlerweile klassische Pilotvorhaben hierfür ist das deutsch-französische Gemeinschaftsprojekt Soultz-sous-Forêts am westlichen Rand des Oberrheingrabens, bei dem in Tiefen von 5.084 m Temperaturen von circa 200 °C erschlossen und genutzt werden. Es handelt sich hierbei um ein Forschungsvorhaben, in dem weniger die Stromerzeugung als vielmehr die Entwicklung neuer Fracturing-Techniken im Vordergrund steht.

In Bad Urach, wo wie im Oberrheingraben eine lokale Wärmeanomalie vorliegt, wird zur Zeit ein weiteres HDR-Projekt realisiert. Das heiße Gestein soll mit 3 Bohrungen bis in Tiefen von 4.500 m bei einer Temperatur von etwa 170 °C erschlossen werden, es wird eine geothermische Leistung von 6–10 MW und eine elektrische Leistung von 1 MW erwartet.

Kristallines Gestein, in dem durch Wasserdruck ein Risssystem als „Durchlauferhitzer" erzeugt werden kann, ist in Schleswig-Holstein nur in sehr großen Tiefen vorhanden. Größtenteils betragen die Tiefen 8-10 km, lediglich im Raum Ostholstein können Tiefen von 6–7 km, auf Fehmarn auch lediglich 5 km erwartet werden. Die Datenlage über diese Gesteine ist aber schlecht. Die HDR-Technik wird also in Schleswig-Holstein regional nur stark eingeschränkt nutzbar sein.

Anders ist es mit der **hydrothermalen Geothermie**, deren Nutzhorizonte im Kapitel „Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein" vorgestellt werden. Die Energie der Heißwasserreservoire kann nicht nur für die Wärmeversorgung, sondern auch zur Stromerzeugung genutzt werden (Abbildung 2). Die niedrigen Temperaturen des geförderten Thermalwassers, die meistens nur knapp 100 °C betragen, machen den Einsatz eines speziellen Turbinensystems erforderlich, den ORC (organic rankine cycle) Turbinen. Diese werden in einem geschlossen Kreislauf mit einer Arbeitsflüssigkeit mit geringem Siedepunkt wie zum Beispiel Perflourpentan (Kondensationstemperatur 30 °C, Siedepunkt 75 °C) betrieben, neuere technische Entwicklungen lassen aber auch hier Wasser als Arbeitsmedium zu (Paul 2001).

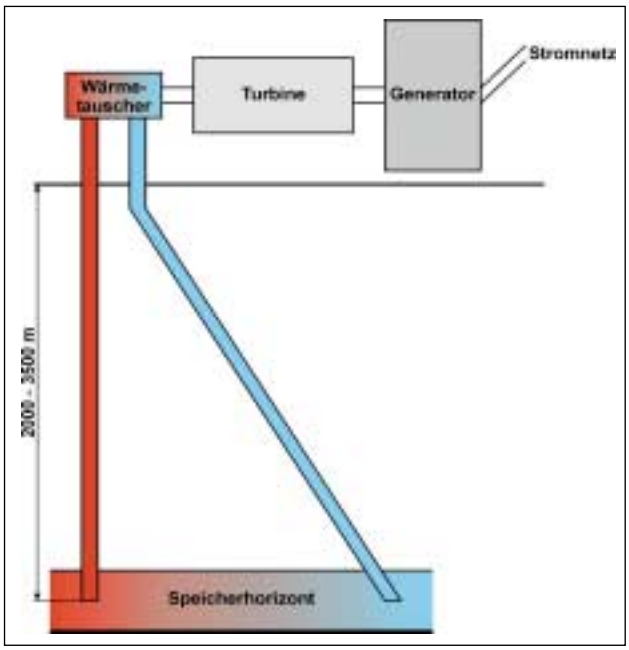


Abbildung 2: Hydrothermales Kraftwerk zur Stromerzeugung

Eine Steigerung des Wirkungsgrades bei der Stromerzeugung mit niedrigen Arbeitstemperaturen ist mit dem Kalina-Prozess möglich, der wie bei der Absorptionswärmepumpe mit einem Ammoniak-Wasser Gemisch arbeitet. Zur Zeit ist weltweit eine Kalina-Anlage in Husavik in Island in Betrieb (seit 2001), ein Einsatz dieser Technik ist eventuell für das geplante Geothermiekraftwerk Unterhaching vorgesehen.

Eine Reihe von Projekten zur geothermischen Stromerzeugung auf hydrothermaler Basis sind zur Zeit am Entstehen. Dabei werden teilweise sehr ergiebige tiefgelagerte Wasserleiter ausgenutzt, wie zum Beispiel Malmkarst in Unterhaching oder Muschelkalk in Landau/Pfalz, wobei thermische Leistungen von etwa 30 MW erreicht werden können. Ähnliche geologische Verhältnisse wie in Schleswig-Holstein herrschen in Neustadt/Glewe, wo eine bestehende geothermische Heizzentrale zur Stromerzeugung außerhalb der Heizperiode erweitert wird. Die thermische Leistung bei Abkühlung des geförderten Thermalwassers von 98 °C auf eine Rücklauftemperatur von 72 °C beträgt circa 3.000 kW, die erzeugte elektrische Leistung liegt bei bis zu 230 kW (Broßmann et al. 2003).

Hauptproblem der geothermischen Stromerzeugung ist neben den hohen Investitionskosten der geringe Wirkungsgrad. Wie bei jeder Wärmekraftmaschine hängt der Wirkungsgrad einer ORC-Turbine und damit der Stromerzeugung von der Temperatur des Arbeitsmediums ab (Abbildung 3). Bei den realisierbaren Thermalwassertemperaturen um 100 °C liegt der Wirkungsgrad bei mageren 10 %. Das wird aus den publizierten Leistungsangaben für das Projekt Neustadt/Glewe deutlich: einer thermischen Leistung von 3.000 kW steht eine elektrische Leistung von 230 kW gegenüber. Die jährliche Stromerzeugung soll 1.500 MWh/a betragen, das ist etwa die Hälfte der Stromproduktion einer großen Windkraftanlage. Berücksichtigt man weiter, dass die Leistung der Förderpumpen für den Thermalwasserkreislauf 140 kW beträgt, so ergibt sich für die Stromerzeugung eine Nettoleistung von etwa 100 kW, was einem Wirkungsgrad von weniger als 4 % entspricht.

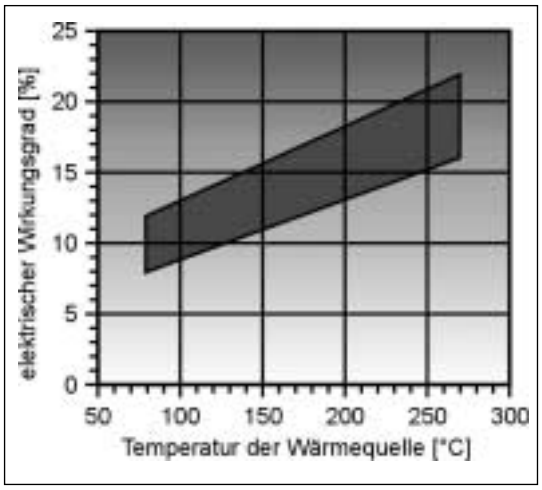


Abbildung 3: Wirkungsgrad der Stromerzeugung beim ORC-Prozess in Abhängigkeit von der Temperatur des Thermalwassers (nach Paul 2001)

Eine geothermische Stromerzeugung ist also nur dann ökonomisch und ökologisch sinnvoll, wenn eine ganzjährige Nutzung der Abwärme der Geothermieanlage sichergestellt ist (Geothermische Kraft-Wärme-Kopplung). So etwas kann realisiert werden, wenn das Geothermiekraftwerk in ein Fernwärmenetz integriert ist, in dem auch im Sommer ein Wärmebedarf besteht, zum Beispiel für Brauchwasser. Die geothermisch erzeugte elektrische Energie ist dann lediglich ein erfreuliches Nebenprodukt und kann am sinnvollsten zur Deckung des Eigenstrombedarfs der Gesamtanlage eingesetzt werden.

Aus Kostengründen kann leider zur Zeit ein Projekt nicht realisiert werden, das aber für Schleswig-Holstein Modellcharakter haben könnte. Für die Strom- und Wärmeversorgung des Alfred-Wegener-Instituts für Polarforschung in Bremerhaven war eine Tiefe Erdwärmesonde geplant, die bis in 5.400 m Tiefe in einen nahegelegenen Salzstock gebohrt werden sollte. Die hohe Wärmeleitfähigkeit des Salzes führt zu einer hohen Ergiebigkeit der Erdwärmesonde. Zusätzlich war als Arbeitsmedium Ammoniak mit niedrigem Siedepunkt vorgesehen, wodurch die Wärmeausbeute weiter verbessert werden könnte. Durch die Kondensation des verdampften Ammoniaks nach Durchgang durch eine Turbine wäre auch keine Umwälzpumpe erforderlich gewesen. Die Kondensationswärme wird als Heizenergie genutzt. Es wurden eine elektrische Leistung von 70 kW und eine thermische Leistung von 500 kW veranschlagt

Literatur

Broßmann, E., Eckert, F., Möllmann, G. (2003): Technisches Konzept des geothermischen Kraftwerks Neustadt/Glewe. – In: Start in eine neue Energiezukunft. Tagungsband: 1. Fachkongress Geothermischer Strom, Hrg. Geothermische Vereinigung, Geeste

Jung, R., Röhling, S., Ochmann, N., Rogge, S., Schellschmidt, R., Schulz, R., Thielemann, T. (2002): Abschätzung des technischen Potentials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärme-kopplung (KWK) in Deutschland. - Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Hannover

Paul, J. (2001): Nutzung geothermischer Energie zur Stromerzeugung mittels ORC-Anlagen. – In: Geothermie, eine Perspektive für Schleswig-Holstein, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek, 38-45

Tiefe Erdwärmesonden zur lokalen Wärmeversorgung

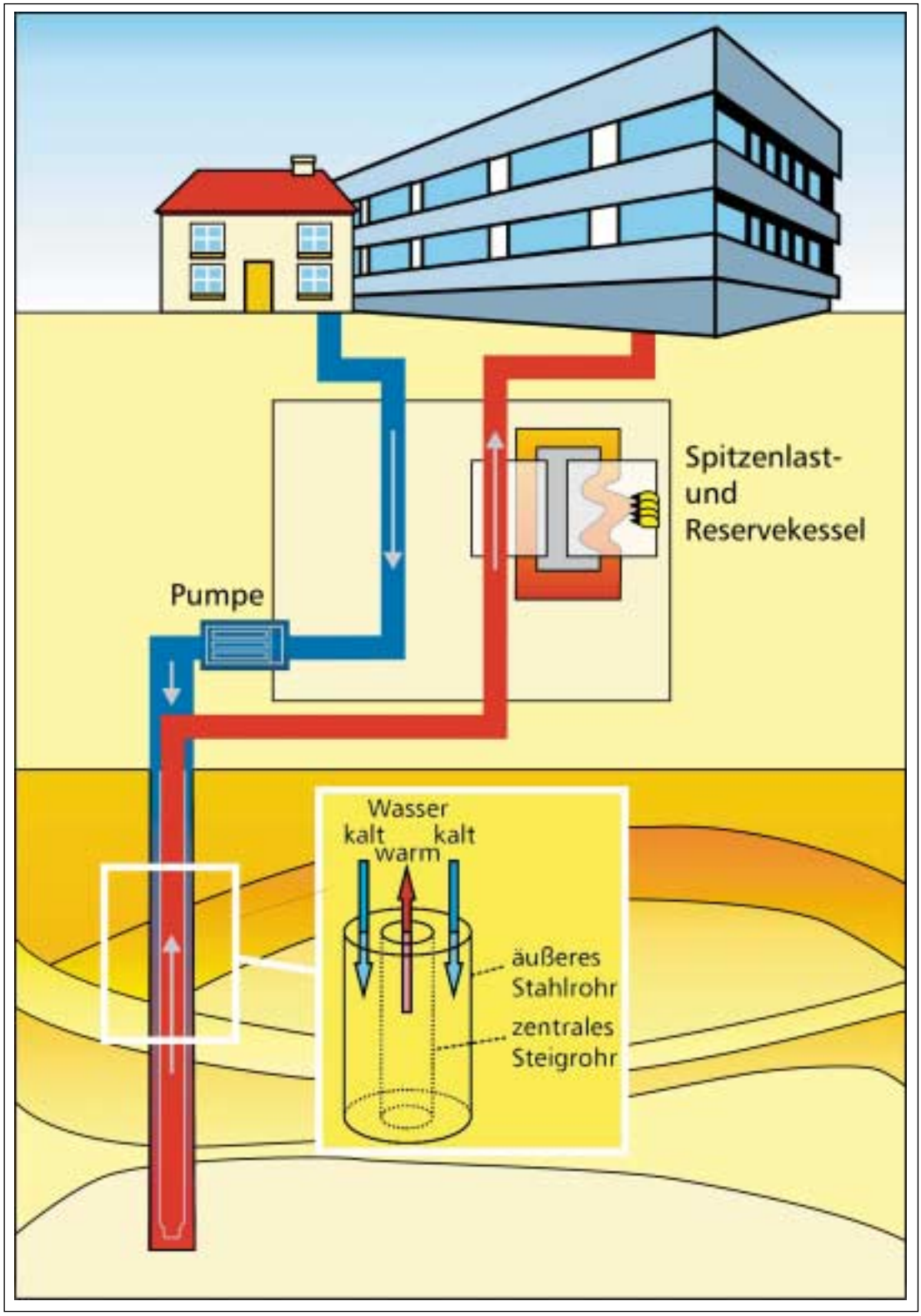
➢ **Roland Gaschnitz**

Einleitung
Aus hunderten Erdöl- und Erdgasbohrungen, die in den vergangenen Jahrzehnten in Niedersachen und Schleswig-Holstein mit Tiefen von bis zu 7.000 m erstellt wurden, und aus dem Bergbau ist bekannt, dass die Gesteinstemperatur mit der Tiefe um durchschnittlich 30 °C/km zunimmt. Diese Wärmeenergie kann unabhängig vom geologischen Bau des Untergrundes ganzjährig und dauerhaft durch **Tiefe Erdwärmesonden (EWS)** genutzt werden.

EWS - Technisches Prinzip
Tiefe Erdwärmesonden arbeiten nach dem Prinzip eines Wärmetauschers, bei dem das Gestein im Untergrund das (Heizungs-)Wasser in der Bohrung erhitzt. Die Bohrung selbst besteht aus einem Stahlrohr (Casing), das durch einen hoch wärmeleitenden Zement mit dem umgebenden Gestein verbunden ist. Mittig in diesem Casing befindet sich ein isoliertes Förderrohr. Über den Spalt zwischen Stahlrohr und Förderrohr strömt kaltes Wasser in die Tiefe und erwärmt sich durch das Stahlrohr hindurch am Gestein. Sobald es am tiefsten Punkt der Bohrung angekommen ist, kehrt sich die Fließrichtung um, so dass das nun heiße Wasser durch das Förderrohr an die Oberfläche zurückkehrt. Eine Erdwärmesonde besitzt demnach einen geschlossenen Wasserkreislauf, aus dem weder Wasser in das umgebende Gestein austritt noch umgekehrt Wasser in die Bohrung eindringen kann. In der Bohrung selbst befinden sich keine mechanischen Teile; eine kleine Umwälzpumpe wird im Technikraum des zu versorgenden Gebäudes wartungsfreundlich installiert.

Dieses sehr einfache Prinzip wurde bereits in den 20-er Jahren des vorigen Jahrhunderts beschrieben. In den 80-er Jahren wurden erste Zirkulationsversuche in Bohrungen unternommen und 1996 gehörte die Bohrung Prenzlau zu einer der ersten tiefen Erdwärmesonden. Gegenwärtig wird im Rahmen des SuperC-Projektes der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen eine etwa 2.500 m tiefe Erdwärmesonde im Zentrum der Stadt erstellt.

Abbildung 1:
Prinzip einer Tiefen Erdwärmesonde



Vergleich mit Dubletten

- **Wärmegewinnung:** Anders als Dubletten- und HDR-Systeme besitzen Erdwärmesonden einen geschlossenen Wasserkreislauf, so dass zum Betrieb kein tiefer Grundwasserleiter (Aquifer) erbohrt werden muss. Das Investitionsrisiko ist also geringer, und da lediglich eine einzige Bohrung erforderlich ist, verringern sich auch die Investitionskosten beträchtlich. Da der Wasserkreislauf einer Erdwärmesonde nur einen thermischen Kontakt zum umgebenden Gestein hat, kann kein salzhaltiges und damit hochgradig korrosives Formationswasser des tieferen Untergrundes in die Bohrung eindringen und diese sowie deren übertägige Aggregate durch Korrosion, Mineralausfällungen etc. beschädigen. Auch eine Schutzgasatmosphäre, wie sie zum Teil bei Dublettensystemen erforderlich ist, entfällt bei Erdwärmesonden. Der Wasserkreislauf

innerhalb der Sonde wird im wesentlichen durch den Dichtekontrast von warmem und kaltem Wasser aufrecht erhalten. Auf teure, energieintensive und reparaturanfällige Tiefpumpen kann also verzichtet werden. Alle mechanischen Anlagenkomponenten sind wartungsfreundlich im Technikraum des zu versorgenden Gebäudes installiert.

- **Wärmeverteilung:** Ein wesentlicher Unterschied zwischen Erdwärmesonden und der Thermalwassergeothermie besteht auch im Leistungsspektrum: Erdwärmesonden können gegenwärtig bis etwa 750 kW ausgelegt werden, während Dubletten eine um den Faktor 10 höhere Leistung erbringen können.

Wärmeleistung einer EWS
Die thermische Leistung einer Erdwärmesonde wird von geologischen Randbedingungen wie dem regionalen Wärmefluss sowie dem konvektiven und konduktiven Wärmetransport beeinflusst. Im Gegensatz zu diesen, für einen Nutzungsstandort unveränderlichen Faktoren, kann durch die technische Ausführung der EWS und das Nutzungskonzept Einfluss auf die maximale Leistung und die jährlich gewinnbare Wärmemenge genommen werden.

Die Entzugsleistung wächst quasi linear mit der Vergrößerung des Bohrungsquerschnittes, jedoch sind auch die allseitige Ankopplung der Sonde an das Gebirge und das nichtlaminare Fließen des Wärmeträgermediums in der EWS leistungsbestimmend. Die Bedeutung des haustechnischen Nutzungskonzepts wurde bisher weitgehend unterschätzt; auf Betriebsdaten basierende Planungskonzepte werden gegenwärtig im Rahmen des SuperC-Geothermieprojektes der RWTH Aachen erarbeitet. Die Leistung einer EWS wächst mit sinkender Vorlauftemperatur und steigendem Volumenstrom. Durch die Kombinationen aus EWS mit niedertemperierten Betonkernaktivierungen und Flächenheizsystemen lässt sich die Leistung ebenso steigern wie durch den Einsatz von Großwärmepumpen (z.B. Prenzlau). Je nach dem gewählten haustechnischen Konzept kann die Leistung auch durch eine diskontinuierliche Nutzung mit kurzen Regenerierungsphasen oder durch den Einsatz von Wärmespeichern gesteigert werden. Die durchschnittliche Entzugsleistung im Teufenbereich der (positiv) wirksamen Wärmetauscherfläche variiert in Abhängigkeit der Endteufe und den obigen Faktoren zwischen 150 und 250 W/m Bohrteufe.

Investitionskosten einer EWS
Die Kosten einer EWS werden weitestgehend durch den erforderlichen Aufwand zur Erstellung der Tiefbohrung bestimmt. Dabei spielt die Intensität bisheriger Erkundungen zum Beispiel für die Erdöl-/Erdgasindustrie ebenso eine Rolle wie die petrophysikalischen Gesteinsparameter, die tektonische Beanspruchung und die Bohrteufe. Ein weiterer Kostenfaktor sind bei EWS-Systemen die Aufwendungen für den Emissionsschutz in urbanen Räumen, weil solche Systeme typischerweise abnehmernah zu installieren sind. Diese Kosten sind stark vom Umfeld der Bohrung und von der verwendeten Bohranlage abhängig und kaum zu pauschalieren. Im Falle einer geplanten 3.500 m tiefen EWS variieren die Gesamtinvestitionskosten mit +/- 20 % um einen Mittelwert von 4.6 Mio. EUR. Pilotprojekte mit Bohrungen bis zu einer Teufe von 2.500 m sind je nach Standort, Auftraggeber und Bieterkreis für 2,4 - 3,0 Mio. EUR realisierbar. Eine Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) geht für die Bohrungskosten von einem Einsparpotential von 30 – 40 % aus. Voraussetzung dafür sind die Steigerung der Anzahl realisierter Projekte, sowie eine Systematisierung der Planungsprozesse und der Projektrealisierung.

Das SuperC-Projekt der RWTH Aachen
Im Rahmen eines von der Europäischen Union und des Landes Nordrhein-Westfalen als Demonstrationsprojekt geförderten Vorhabens erstellt die RWTH Aachen erstmals ein EWS-System zur Beheizung und Kühlung eines universitären Bürogebäudes. Große Bedeutung wird der Entwicklung integrativer Planungsverfahren unter Beteiligung von Geowissenschaftlern, Bohringenieuren, Architekten, Haustechnikern und Betriebswirtschaftlern beigemessen, um die Wiederholbarkeit dieses Konzeptes zu verbessern. Die während des Bohrens und des Betriebs der Anlage gewonnenen Daten dienen den beteiligten Unternehmen als Grundlage zur Kalibrierung von Modellen und zur Planung nachfolgender Projekte. Die voraussichtlich 2.500 m tiefe Bohrung wird ab Juni 2004 im Stadtzentrum von Aachen erstellt. Das zu versorgende Gebäude wird im Anschluss an das Bohrvorhaben an selber Stelle errichtet und dient der technischen Hochschule als Service- und Tagungszentrum. Die Herausforderungen des Projektes liegen einerseits in dem kaum erkundeten Untergrund und dem strikten Schutz von Thermal- und Grundwässern. Andererseits stellen die räumliche Enge, die organisatorische und konstruktive Abstimmung mit dem Hochbauprojekt und die Nähe von mehreren hundert Anwohnern für die Bohrtechnik eine besondere Herausforderung dar.

Abbildung 2: Das Projekt SuperC der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Weiterführende Literatur

BRENNI, R. (2000): Modellsimulationen von Tiefenerdwärmesonden-Anlagen an den Fallbeispielen Weggis und Medyaguino. – Diplomarbeit, ETH, Zürich, 93 S.

Gaschnitz, R. (2002): SuperC – Geothermie-Projekt der RWTH Aachen, Glückauf 138, 341 – 345, Glückaufverlag, Essen.

GASCHNITZ, R. & PREUßE, A. (2002): Deep geothermal heat exchangers: heating and cooling of large buildings. - World Renewable Energy Congress, 29.6. – 5.7.2002 Cologne, Proceedings.

PAPE, E.M., FRITZER,S. & GASCHNITZ, R.(2002) Energy Concept of the student's Service Centre of Aachen University. - World Renewable Energy Congress, 29.6. – 5.7.2002 Cologne, Proceedings.

RHYBACH, L., ROHNER,E., HOPKIRK, R.J. & LEU, W. (1998): Geothermie – Praktische Nutzung von Erdwärme, Leitfaden für Planer, Bauherrenschaften, Investoren und Entscheidungsträger. - Bundesamt für Energie, Bern, CH, 23 S.

SPITZLI, E. (1998): Demonstrationsprojekt Erdwärme-Tiefensonde Weissbad/A1. – Bundesamt für Energie, Bern, CH, 26 S.

Was wir schon immer über Wärmepumpen wissen wollten

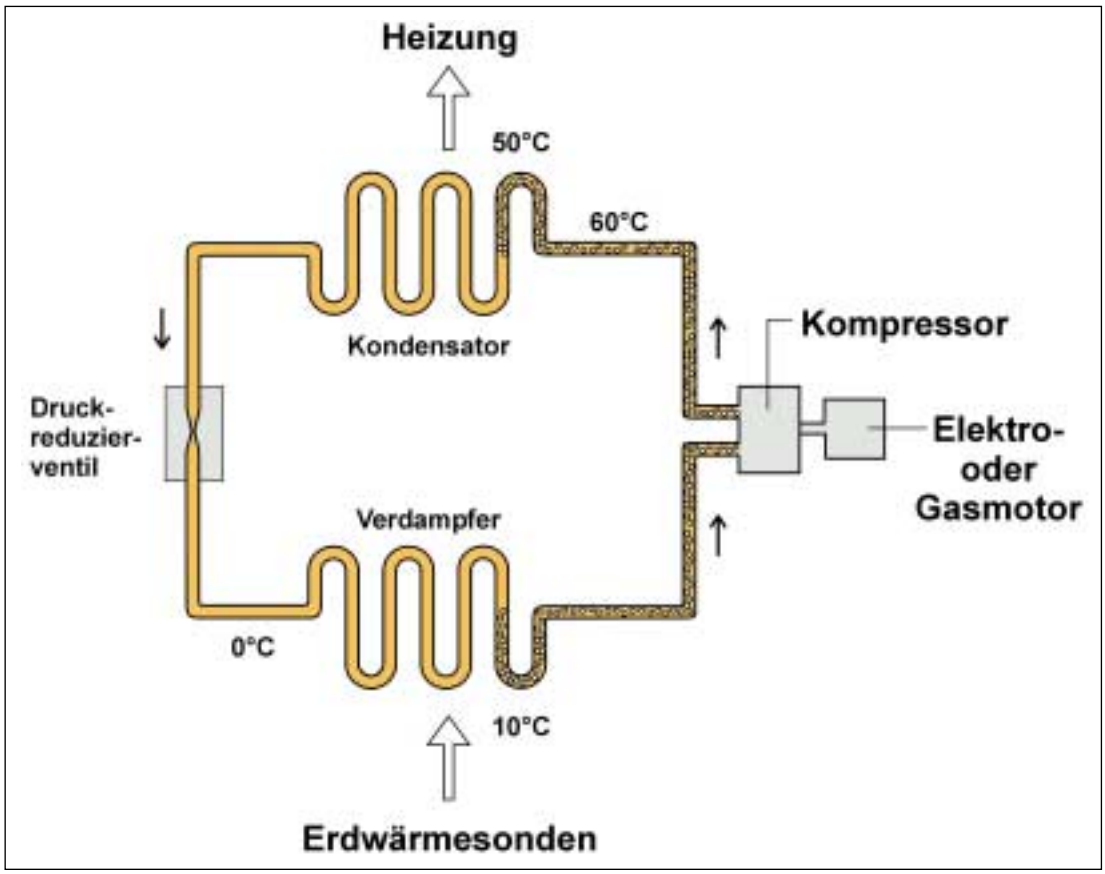
➢ **Reinhard Kirsch**

„Und jetzt kommen wir zu der Dampfmaschin – und da stellen wir uns mal ganz dumm...“ Diesen Satz aus der Physikstunde bei der *Feuerzangenbowle* hat jeder von uns schon mindestens einmal gehört. Kann man sich das Pumpen von Wärme genauso leicht vorstellen wie die Energieumwandlung bei einer Dampfmaschine? Man kann.

Komprimierte Luft erwärmt sich (das klassische Beispiel – wieder aus dem Physikunterricht - ist die Luftpumpe), bei Druckentlastung kühlt sie sich wieder auf die ursprüngliche Temperatur ab. Wartet man allerdings, bis die komprimierte Luft ihre Wärme an die Umgebung abgegeben hat, bevor man den Druck wieder absenkt, dann wird die entspannte Luft deutlich kälter sein als die Umgebung. Wenn man jetzt dafür sorgt, dass die komprimierte Luft ihre Wärme an das Heizungssystem abgibt und die abgekühlte, entspannte Luft außerhalb des Hauses die Umgebungswärme aufnimmt (bevor sie wieder komprimiert wird), dann hat man erfolgreich Wärme von draußen nach drinnen gepumpt.

Effektiver wird dieses Verfahren, wenn statt Luft ein Arbeitsmedium mit niedrigem Siedepunkt verwendet wird, das sich bei Wärmeabgabe im **Kondensator** verflüssigt und bei nachfolgender Erwärmung im **Verdampfer** wieder verdampft und dabei zusätzlich Wärmeenergie aufnimmt (Abbildung 1). Dieses Verfahren hat sich seit über hundert Jahren in Kühlschränken bewährt, bei denen Wärme aus dem Inneren abgepumpt und im Verdampfer auf der Rückseite (der dabei ordentlich warm wird) an die Raumluft abgegeben wird.

Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Kompressionswärmepumpe



Bei einer Gebäudeheizung mit Erdwärmesonden wird die am Kondensator anfallende Wärme in das Heizungssystem eingespeist, und die von den Erdwärmesonden bereitgestellte Wärme heizt das Arbeitsmedium am Verdampfer wieder auf, zumindest bis zum Siedepunkt. Die Wärmepumpe kann elektrisch oder - bei größeren Anlagen - mit einem Gasmotor betrieben werden. Diese Variante ist besonders energiegünstig, weil die Abwärme des Gasmotors zusätzlich für die Heizung verwendet werden kann.

Eine interessante Alternative zur **Kompressionswärmepumpe**, die mit einem Motor angetrieben wird, ist die extern beheizte **Absorptionswärmepumpe** (Abbildung 2). Hier wird ein wasserlösliches Arbeitsmedium eingesetzt, zum Beispiel Ammoniak (NH_3). Auch hier ist das Ammoniak im Kreislauf teils gasförmig, teils flüssig. Im Verdampfer nimmt das Ammoniak Wärme auf, die von den Erdwärmesonden geliefert wird, und verdampft, gelangt dann in den Absorber und löst sich im Wasser. Das mit Ammoniak gesättigte Wasser wird beheizt, wobei das Ammoniak wieder unter Druck freigesetzt wird und die aufgenommene Wärme – wie bei der Kompressionswärmepumpe - im Kondensator abgibt.

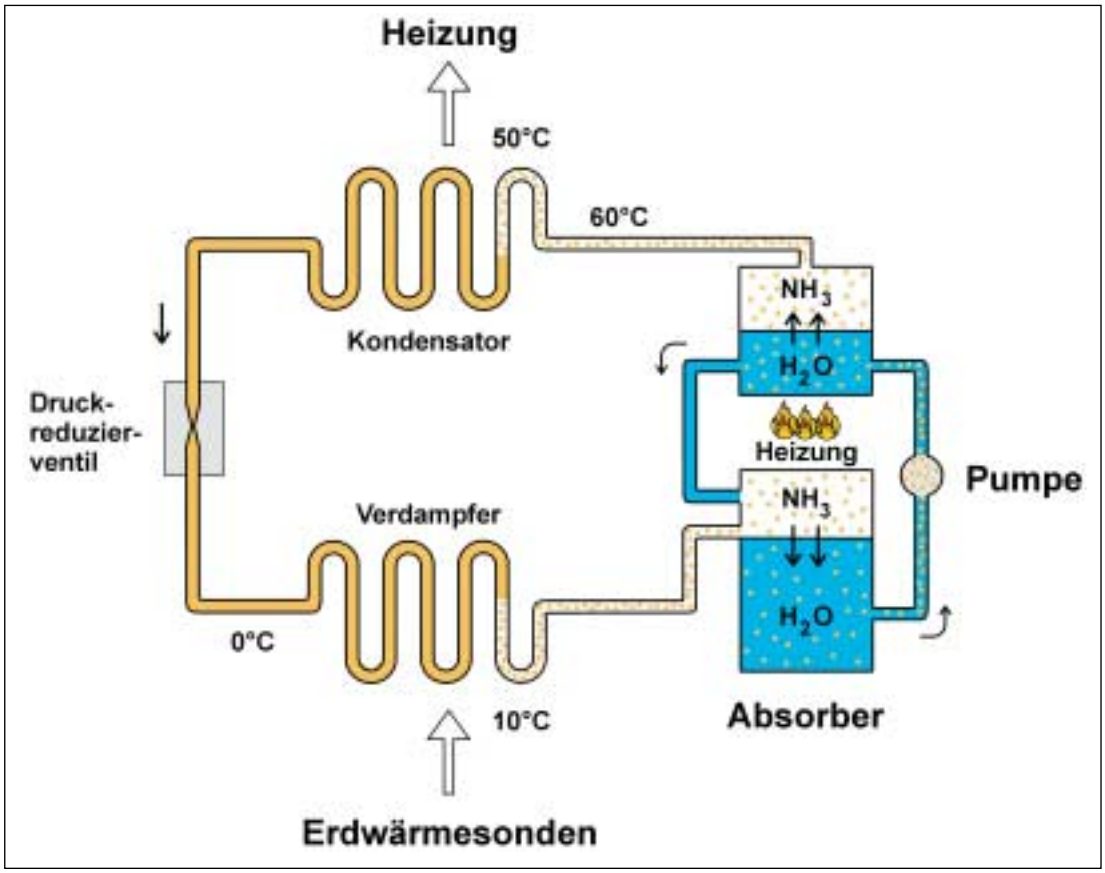


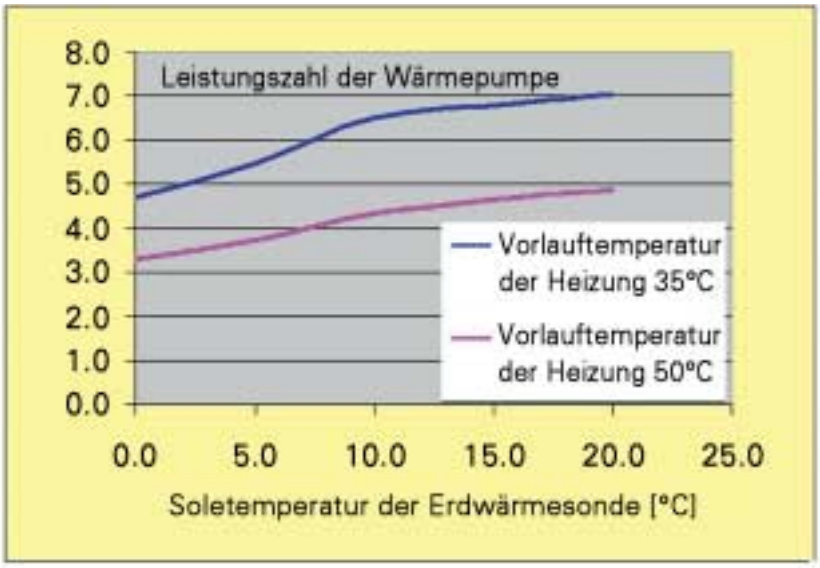
Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Absorptionswärmepumpe

Der Vorteil der Absorptionswärmepumpe ist, neben dem unkomplizierten Aufbau nahezu ohne bewegliche Teile, die externe Heizung. Sie kann durch Erdgas, aber auch durch Biogas oder durch Abwärme erfolgen. Auch hier gibt es die Anwendung als Kühlschrank – bei den gasbetriebenen Campingkühlschränken.

Egal, nach welchem Verfahren die Wärmepumpe arbeitet, es wird Energie benötigt. Die Leistungszahl als Maß für die **Effizienz der Wärmepumpe** gibt das Verhältnis von abgegebener Heizleistung zur Antriebsleistung der Wärmepumpe an. Sie hängt von der gewünschten Heizungstemperatur und der von den Erdwärmesonden bereitgestellten Temperatur ab, normalerweise beträgt sie 3 bis 4. Es wird also das 3–4 -fache der für den Betrieb der Wärmepumpe erforderlichen Leistung an Heizleistung gewonnen, 66 – 75 % der Heizleistung liefert also die Erdwärme.

Auch der Bauherr kann die Leistungszahl durch eine günstige Heizungskonfiguration beeinflussen. Abbildung 3 zeigt den Einfluss von Soletemperatur der Erdwärmesonde und Vorlauftemperatur der Heizung auf die Leistungszahl. Wird von der Erdwärmesonde eine Soletemperatur von 5 °C bereitgestellt, dann beträgt die Leistungszahl 3,8 bei einer Vorlauftemperatur von 50 °C, während bei einer Vorlauftemperatur von 35 °C eine Leistungszahl von 5,5 zu erreichen ist.

Abbildung 3: Leistungszahl einer 7 kW Wärmepumpe in Abhängigkeit von Soletemperatur und Vorlauftemperatur der Heizung (Quelle: Nibe Systemtechnik, Celle)



Da der größte Teil der Heizenergie dem Untergrund entnommen wird, sieht die **CO_2-Bilanz** günstig aus: im Vergleich zu einer Erdgas-Brennwert-Heizung reduziert sich die CO_2-Emission bei einer Stromwärmepumpe auf 77 %, bei einer Absorptionswärmepumpe auf 74 % und bei einer Gasmotorwärmepumpe auf 61%. Bei Einsatz von Biogas oder industrieller Abwärme zur Beheizung der Absorptionswärmepumpe fällt die CO_2-Bilanz noch umweltfreundlicher aus.

Oberflächennahe Geothermieanlagen – was ist zu tun?

➢ **Thomas Liebsch-Dörschner**

Die Nutzung oberflächennaher Energiepotenziale beziehungsweise des oberflächennahen Untergrundes zu energetischen Zwecken ist vielfältig. In erster Linie liegt der Schwerpunkt auf der **Wärmeversorgung von Privathaushalten** (Einzelhäuser). Neben der Kombination mit weiteren regenerativen Energieressourcen, hier vorwiegend Solarthermie und Photovoltaik, wird zunehmend die Möglichkeit der **Kühlung insbesondere bei Industriebauten** oder Verwaltungsgebäuden diskutiert und umgesetzt. Dabei könnte zukünftig auch verstärkt die saisonale Speicherung von Wärmeenergie im Untergrund eine Rolle spielen (Abbildung 1). In den nachfolgenden Artikeln werden beispielhaft die entsprechenden Möglichkeiten vorgestellt und diskutiert.

Da das Spektrum der Nutzung sehr breit angelegt ist, beschränkt sich das Folgende auf einzelne Kernpunkte bei der Planung und dem Bau einer Anlage mit Erdwärmesonde.

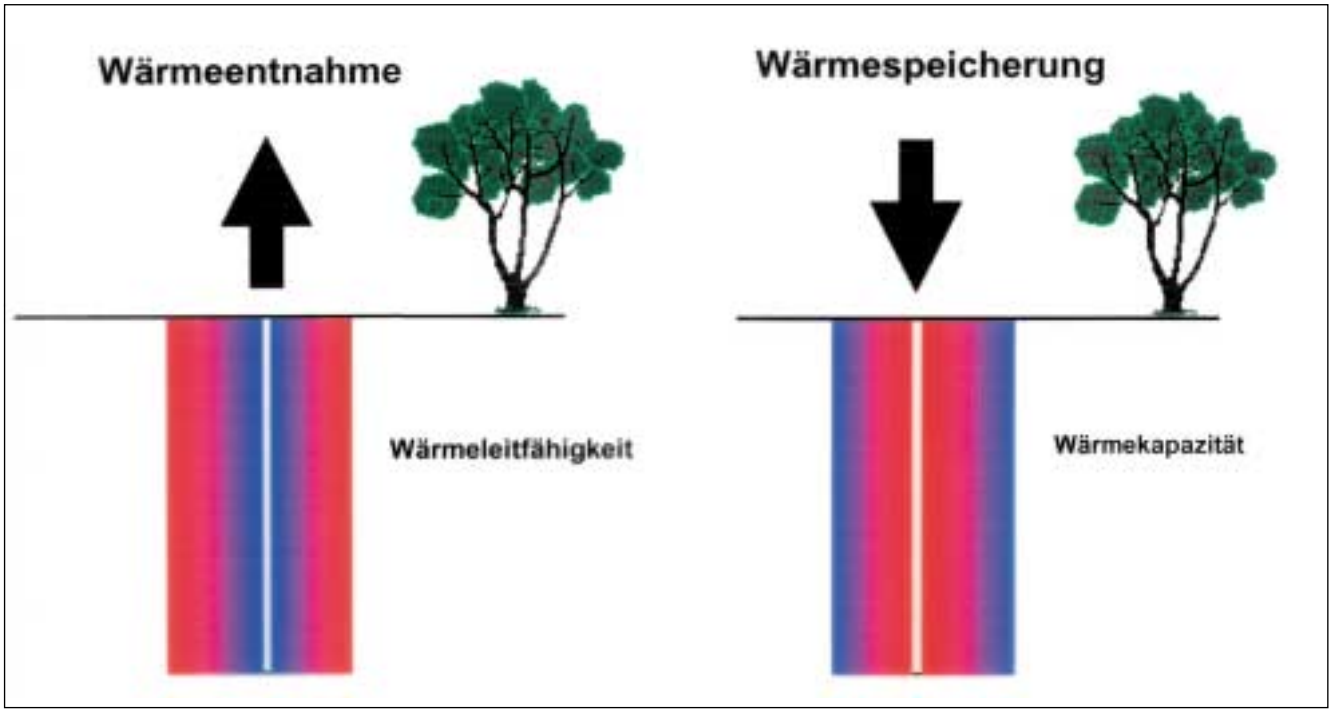


Abbildung 1: Schematische Beispiele der Nutzung von Erdwärmepotenzialen

Bei der effizienten Nutzung der oberflächennahen Erdwärme kommt es entscheidend auf die Rahmenbedingungen, die technische Durchführung und die Auswahl der Materialien an. Diese Komponenten bestimmen die Laufzeit und damit direkt die Wirtschaftlichkeit der Anlagen. Deshalb sollen im Folgenden wichtige Aspekte bei der Planung und dem Bau von Anlagen für die oberflächennahe Erdwärmenutzung angesprochen werden.

Rahmenbedingungen

Wie bei jeder Entscheidung zur Festlegung eines Heizungssystems bestimmen die jeweiligen wirtschaftlichen Bedingungen des Bauherrn maßgeblich die Art und Auswahl. Grundsätzlich muss als Bemessungsgröße der Wärmebedarf als Wärmeleistung benannt werden. Dabei müssen bei einem Neubau die neuesten Wärmeschutzrichtlinien nach dem Stand der Technik zu Grunde gelegt werden. Je besser ein Gebäude isoliert ist, desto geringer ist der Wärmebedarf. Bei Altbauten gilt dieser Grundsatz entsprechend. Der Wärmeschutz am Gebäude ist eine primär zu betrachtende Schlüsselfunktion zum erfolgreichen wirtschaftlichen Betrieb einer Heizanlage.

Die Bemessung des benötigten Wärmebedarfs erfolgt über das beauftragte Architekturbüro beziehungsweise durch ein Fachbüro für Haustechnik. Es ist sinnvoll, im Rahmen der Vorplanung mehrere Varianten zur Haus- und Heiztechnik zu prüfen oder prüfen zu lassen. Mit den Ergebnissen und der Entscheidung zu einer geothermischen Heizanlage wird die Ausführungsplanung sinnvollerweise unter Beteiligung eines Bohrunternehmens beziehungsweise eines Wärmepumpenherstellers umgesetzt.

Vor der Durchführung der einzelnen Gewerke sind klare Verantwortlichkeiten festzulegen. Beim Bau der Anlage sind mehrere Bereiche aus dem Installations- und Baugewerbe beteiligt. Um den reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, empfiehlt es sich, einen Generalunternehmer (Heizungsfachbetrieb oder Bohrunternehmen) mit klaren Leistungsbeschreibungen zu beauftragen. Der Generalunternehmer verteilt die einzelnen Aufgaben an die Subunternehmer und gewährleistet die fachgerechte Ausführung gegenüber dem Bauherrn.

Vor Beginn der Bohrarbeiten sind die genehmigungsrechtlichen Aspekte mit der zuständigen Wasserbehörde des Kreises beziehungsweise bei Bohrungen tiefer 100 m mit dem Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld, das auch für Schleswig-Holstein zuständig ist, zu klären. Darüber hinaus ist eine Anzeige über die Bohrungen mit Schichtenverzeichnis und Lageplan auch dem Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein vorzulegen. Grundsätzlich können alle genannten Behörden zudem beratend Hilfestellung geben.

Technische Durchführung

Bei der Entscheidung zum Bau einer Erdwärmeanlage sind mehrere Komponenten zu berücksichtigen. Eine Erdwärmeanlage besteht aus den erdverlegten horizontalen Kollektoren oder vertikalen Sonden (Erdsonden), einer Verteilereinheit (Sammelbalken) und der Wärmepumpeneinheit, die die eigentliche Heizanlage darstellt. Die Wärmepumpeneinheit ist mit dem Heizverteilersystem gekoppelt. Dadurch ergeben sich drei Kreislaufsysteme, die miteinander gekoppelt sind.

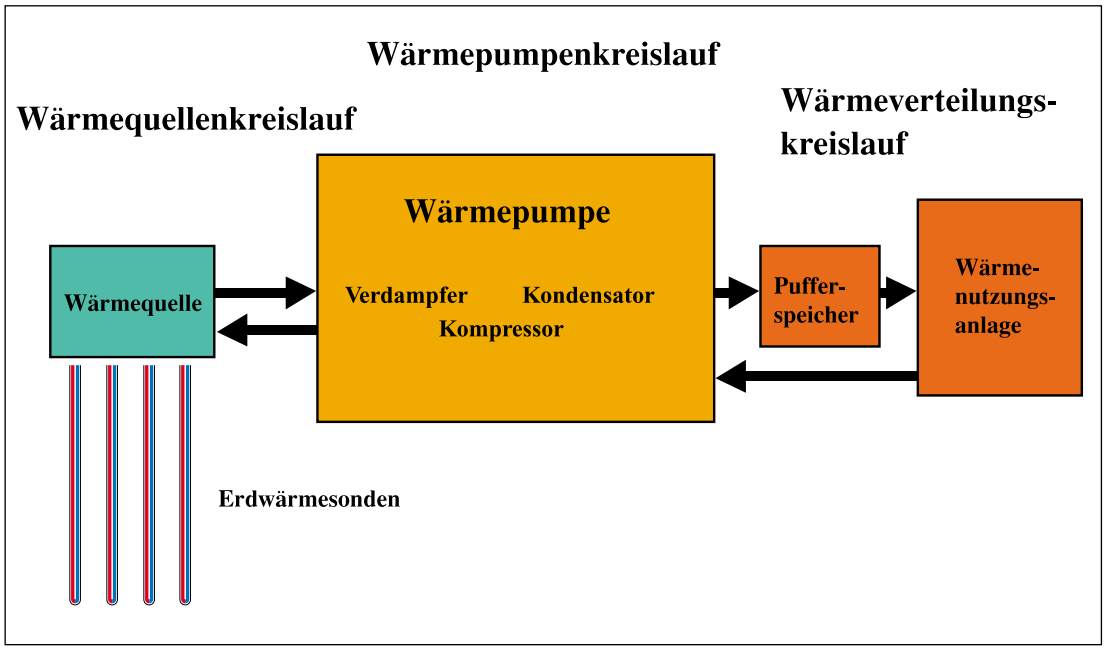


Abbildung 2: Wärmekreislauf

Die Bemessung nach Anzahl und Tiefe der erdverlegten horizontalen Kollektoren oder vertikalen Sonden erfolgen nach einer Berechnung auf der Basis der DIN 4701 beziehungsweise nach VDI-Richtlinie 4640. Als Kenngrößen müssen folgende Daten vorliegen:

- Haustyp
- beheizte Gesamtfläche
- spezifischer Wärmebedarf (Heizung / Brauchwasser)
- Leistung und Arbeitszahl der Wärmepumpe
- Wärmeschutz
- Wärmeverteilersystem im Gebäude (Fußbodenheizung / Radiatoren)

Aus den Grunddaten ergibt sich die benötigte Entzugsleistung der Kollektorfläche beziehungsweise der Sondenanlage.

Wärmequellenkreislauf (Flächenkollektor)
Die Auslegung von Flächenkollektoren bedarf einer hinreichend genauen Bemessung. Hier gibt die VDI-Richtlinie 4640 einige Hilfestellung. In der späteren Ausführung muss darauf geachtet werden, dass die Kollektorfläche in einer optimalen Konfiguration erstellt wird. Die Verlegetiefe sollte zwischen 1,00 m und maximal 1,50 m Tiefe liegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Fläche nicht überbaut und nicht mit tief wurzelnden Pflanzen und Sträuchern belegt wird. Entscheidend für eine gute Entzugsleistung ist der Ausbau in mindestens feuchten, besser in wassergesättigten Böden. Sie liegt in der Regel zwischen 20 und 40 W/m^2. Die Bandbreite von Flächenkollektoren reicht von Polyethylenrohren bis hin zu speziellen Polyproylenmatten mit eingebundenen Kapillaren. Bei Letzteren wird auf Grund der flächenhaften Kapillarrohrwirkung eine höhere Entzugsleistung erwartet. Dies würde bei gleicher Leistung zu einer Reduzierung des Flächenbedarfs führen. Als Wärmeträgermedium wird ein Sole/Wasser-Gemisch mit Anteilen von Frostschutzmittel eingesetzt. Vor Inbetriebnahme muss das Gesamtsystem einer Druckprüfung mit dem 1,5-fachen Betriebsdruck unterzogen werden.

Wärmequellenkreislauf (Erdwärmesonden)
Gemäß VDI-Richtlinie 4640 ist die Entzugsleistung direkt abhängig von den im Untergrund anstehenden Schichten und deren Wärmeleitfähigkeit. Dabei wird bei der Bemessung grundsätzlich immer von wassergesättigten Schichten ausgegangen. Der oberflächennahe Untergrund in Schleswig-Holstein ist komplex aufgebaut. Um die Planung von Erdwärmesondenanlagen weiter zu optimieren, bearbeitet das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein geothermische Planungskarten, die im Kapitel „Planungskarten zur Dimensionierung von Erdwärmesonden für Schleswig-Holstein“ näher vorgestellt werden.

Dieser überschlägige Ansatz kann mittels eines **thermal response test** noch differenziert werden. Bei diesem Test, der von Fachunternehmen durchgeführt wird und bei größeren Anlagen zur Anwendung kommt, wird die spezifische summarische Entzugsleistung über die erbohrte Schichtenfolge (Probebohrung) direkt über eine Sonde ermittelt. Auf der Basis dieser Daten kann dann eine differenzierte Bemessung der benötigten Sonden erfolgen. Bei einer Vielzahl von kleineren installierten Erdwärmeanlagen für Einfamilienhäuser in Schleswig-Holstein wurde von einer mittleren Entzugsleistung von 50 W/m ausgegangen.

Die Bohrungen und die Installation von Erdwärmesonden sollten durch ein anerkanntes Fachunternehmen durchgeführt werden. Dies sichert den Qualitätsstandard. Bei den Bohrungen sollte auf folgende Eckpunkte geachtet werden:

- leistungsfähiges Bohrgerät
- erfahrenes Bohrpersonal
- teufengerechtes Schichtprofil
- qualitativ hochwertiges und langlebiges Sondenmaterial (hochdichtes Polyethylen)
- Bohrlochverpressung mit geeigneter Ton-Zement-Suspension
- Befüllung der Anlage mit einem Frostschutzmittel (Wassergefährdungsklasse 1)
- Systemkontrolle

Diese Eckpunkte sind zwingend in einer Leistungsbeschreibung zu berücksichtigen.

Abbildung 3: Bohrgerät (Foto: Thomas Liebsch-Dörschner)

Im Einzelnen erfolgt beispielhaft folgender vereinfachter Ablauf für eine Einzelsonde:
Mittels eines leistungsgerechten Bohrgerätes wird eine Druckspülbohrung bis zur geplanten Endteufe niedergebracht. Dabei bestimmt der Spüldruck, die Meißelart und die Spülungszusammensetzung die Art der zutage geförderten Sedimentproben beziehungsweise die Sedimentansprache, um ein qualitativ ausreichendes Schichtenprofil festzulegen.

Als Erdwärmesondenmaterial ist hochwertiges und nachweislich langlebiges PE-HD-Material aus Erst-Granulat einzusetzen. Die Sonden bestehen aus einem Sondenfuß und den Sondenrohren ohne weitere Schweißmuffen im Vertikalstrang. Der Sondeneinbau erfolgt in der Regel als Doppel-U-Rohr.

Abbildung 4: Sondenfuß (Foto: Paul-Friedrich Schenck)

Abbildung 5: Einbau der Erdwärmesonden (Foto: Thomas Liebsch-Dörschner)

Abbildung 6: Anschluss Sondenkopf (Foto: Thomas Liebsch-Dörschner)

Nach Einbau der Sonden muss das Bohrloch beziehungsweise der Bohrringraum mit einer Ton-Zement-Suspension verpresst werden, wenn mehrere Grundwasserleiter erbohrt werden. Auch bei größeren Teufen mit erbohrten Grundwasserstrennchichten (Geschiebemergel, Beckensedimente, Tone) bietet sich eine vollkommene Verpressung an. Hierzu stehen mehrere Produkte zur Verfügung. Die vollkommene Verpressung gewährleistet, dass verschiedene angetroffene Grundwasserleiter nicht über den Ringraum miteinander in Verbindung stehen (Vertikaldrainagen). Die Ton-Zement-Suspension vermindert nicht die Wärmeübertragung zur Sonde. Mittlerweile bieten einzelne Hersteller spezielle Ton-Zement-Suspensionen an, die verbesserte Wärmeübertragungen vom umgebenden Erdreich zur Sonde ermöglichen sollen. Technisch erfolgt das Verpressen der Verfüllsuspension über ein Injektionsrohr in Anlehnung an das Merkblatt W 121 (2001) von unten nach oben. Dementsprechend muss die Bohrung mindestens einen Durchmesser von 180 mm aufweisen.

Nachfolgend zum Sondeneinbau erfolgt die Verlegung und Anbindung an ein horizontales Verteilersystem mit dem gebäudeseitigen Anschluss an die Wärmepumpeneinheit.
Im erdverlegten Wärmekreislauf wird in der Regel als Betriebsmittel ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel oder eine Salzlösung eingesetzt. Bei den Frostschutzmitteln handelt es sich meistens um Glykole, die biologisch gut abbaubar sind. Entsprechend den wasserrechtlichen Bestimmungen in Schleswig-Holstein dürfen nur Stoffe oder Stoffgemische mit einer geringen Wassergefährdungsklasse (WGK 1) und einer festgesetzten Maximalmenge eingesetzt werden.

Abschließend ist zur Feststellung der Dichtigkeit das Gesamtsystem einer Druckprüfung zu unterziehen. Die Ergebnisse sind zur Abnahme des Gewerks Wärmequellenkreislauf zu dokumentieren. Im späteren Betrieb überwacht eine Druckwächtereinheit im Steuerungssystem eventuelle Schäden über gegebenenfalls auftretende Druckverluste.

Vor Inbetriebnahme der Anlage sollten mit dem Energieversorgungsunternehmen die Tarife für Strom festgelegt werden. Die Gesamtenergiekosten der Anlage können bei günstiger Auswahl der Tarife noch reduziert werden.

Insgesamt bieten oberflächennahe Geothermieanlagen als eine mögliche regenerative Energiebereitstellung im Bereich des Wärmemarktes deutliche Vorteile. Durch die festzustellende Nullemission am Standort erfolgen deutliche CO_2-Einsparungen und die Umwelt wird entlastet.

Literatur

Deutsches Institut für Normung e.V. (2003): Energetische Bewertung Heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, DIN 4701 Teil 10, 12 inkl. Beiblätter

Deutsches Institut für Normung e.V. (2002): Kälteanlagen und Wärmepumpen – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderung und Prüfung, DIN 8901

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (2001): Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen, Arbeitsblatt W 121

Verein Deutscher Ingenieure (2000): Thermische Nutzung des Untergrundes (Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte), VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1

Verein Deutscher Ingenieure (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes (Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen), VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2

Wärme- und Kältespeicherung im Erdboden

➢ **Frank Kabus**

Einleitung
Schon seit Urzeiten ist dem Menschen das thermische Speichervermögen des Erdbodens bekannt und wird von ihm genutzt. In der Regel basierten diese Anwendungen auf der sich natürlich einstellenden, gleichmäßigen Temperatur im Untergrund. Die bewusste technische Anwendung, bei der Wärme oder Kälte in den Untergrund eingeleitet und zu späteren Zeiten für übertägige Nutzungen wieder entnommen wird, begann etwa 1960 in China. Hier wurden, ausgehend von Brunnen zur Kühlung von Produktionsstätten in Shanghai, große Aquiferspeicher entwickelt, die die thermische Bewirtschaftung des Grundwassers ermöglichten.

Speichervolumen, Temperaturniveau, bauliche und geologische Bedingungen und die Umweltverträglichkeit des Systems bestimmen die Auswahl des konkret geeigneten Verfahrens. Da man bei der unterirdischen Speicherung entweder das in natürlichen Hohlräumen (Poren, Kavernen, Klüften) vorhandene Wasser als Energieträger verwendet, bei günstigen geologischen Gegebenheiten Hohlräume mit spezifisch geringem Aufwand erstellt oder ausschließlich den festen Boden als Speichermedium nutzt, können große Speichervolumina deutlich kostengünstiger als übertage hergestellt werden.

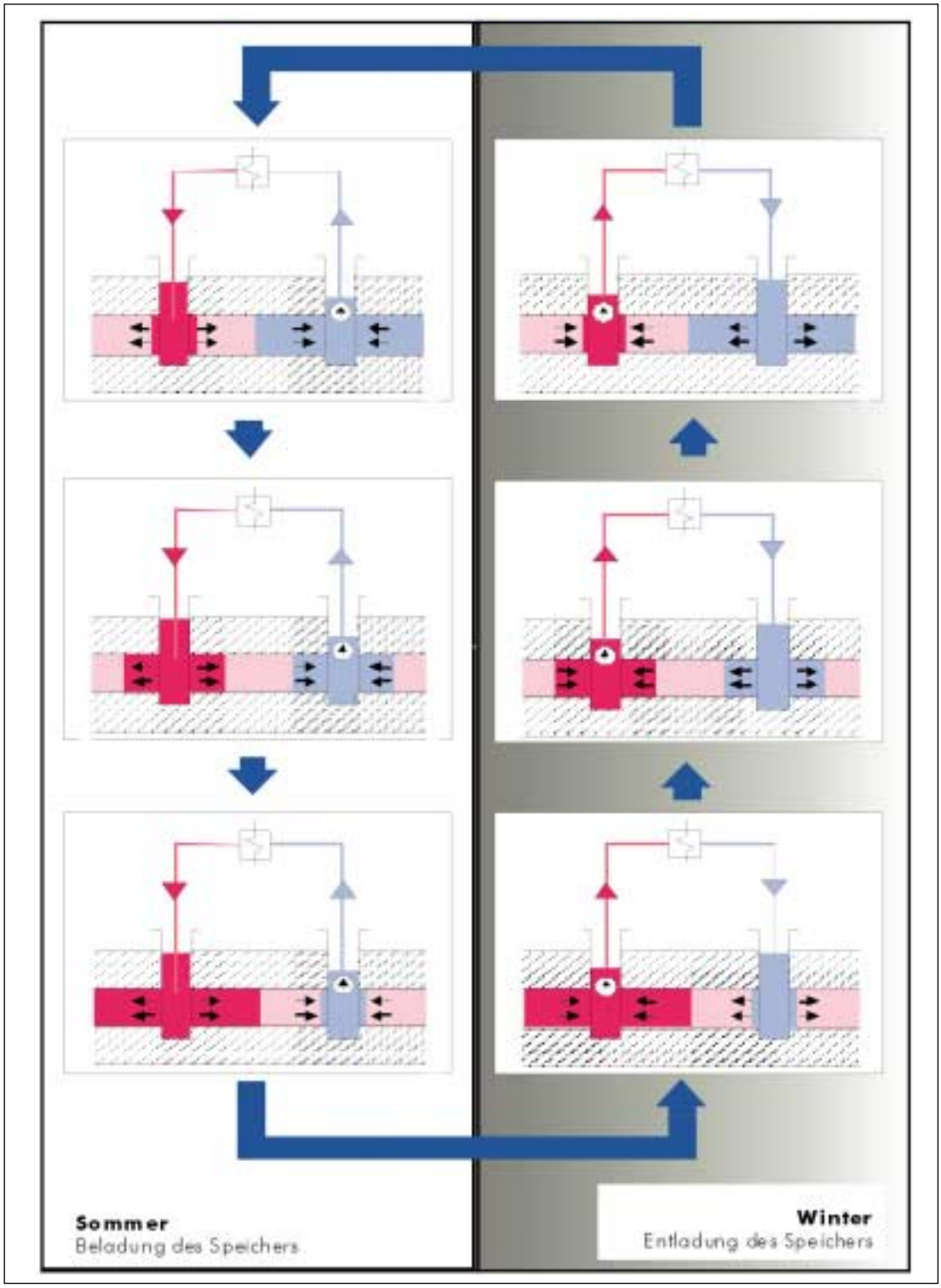
Länder mit der größten Verbreitung von untertägigen Energiespeichern sind die Niederlande, wo Aquifer-Kältespeicher heute fast schon zum Standard größerer Bauvorhaben gehören, und Schweden. Daneben sind derartige Anlagen auch in Belgien, Finnland, Japan, Kanada, der Schweiz und neuerdings in der Türkei im Einsatz.

Dieser Beitrag geht auf **drei konkrete Projekte in Deutschland** ein und beschränkt sich auf die Gruppe der **Aquiferspeicher**.

Derartige Speicher bestehen in der Regel aus zwei Bohrungen beziehungsweise Bohrungsgruppen, die den gleichen Grundwasserleiter (Aquifer) erschließen. Sie werden in einem Abstand von 50 - 300 m angeordnet, um die gegenseitige thermische Beeinflussung auszuschließen. Beide Bohrungen sind mit Pumpen sowie einem Injektionsstrang ausgestattet, die

das Durchströmen der Anlage in beiden Richtungen erlauben. Wärmetauscher, die in das die Bohrungen verbindende übertägige Rohrleitungssystem integriert sind, ermöglichen das Einlagern und die Entnahme von Energie (Abbildung 1).

Abbildung 1: Funktionsprinzip der Energiespeicherung im Aquifer



Das aus der kalten Bohrung entnommene Wasser wird im Sommer mit Abwärme (aus Kühlprozessen, Solaranlagen, der Kraft-Wärme-Kopplung, etc.) erwärmt und in die warme Bohrung injiziert, wo sich im Aquifer eine sogenannte Wärmeblase bildet. Im Winter wird diese Wärmeblase dann mit umgekehrter Strömungsrichtung abgefördert.

Bei günstigen geologischen Verhältnissen kann das System dahingehend modifiziert werden, dass die Bohrungen zwei übereinander vorhandene Aquifere erschließen, also ohne Abstand abgeteuft werden, oder dass die Temperaturschichtung in einem sehr mächtigen Aquifer genutzt wird.

Projektbeispiele

1. Speicherung von Solarwärme in Rostock-Brinckmanshöhe

Energiebedarf
In Rostock-Brinckmanshöhe wurde ein Gebäudekomplex mit 108 Wohnungen und einer beheizbaren Fläche von etwa 7.000 m^2 errichtet. Insgesamt werden 319 MWh/a für die Heizung und zusätzlich 144 MWh/a sowie 34 MWh/a für die Warmwasserbereitung und Zirkulation benötigt. Das Planungsziel bestand darin, deutlich mehr als 50 % des Gesamt-Wärmebedarfes aus Solarenergie zu beziehen.

Energiekonzept
Auf den 11 Einzeldächern des Gebäudes sind mit Südausrichtung und einer Steigung von 38° Solarkollektoren als sogenanntes „Solar Roof" mit einer Absorberfläche von 1.000 m^2 installiert. Im Sommer liefern die Kollektoren 400 MWh/a Solarwärme. Unter dem Standort befindet sich in der Tiefe von etwa 15 - 25 m ein Grundwasserleiter (Aquifer). Er ist nach oben von Geschiebelehm und Geschiebemergel mit einer Mächtigkeit von 12 - 17 m abgedeckt. Unterlagert wird der Grundwasserleiter wiederum von 2,5 m Geschiebemergel.

Der Aquifer wird durch zwei Bohrungen mit einem Abstand von circa 55 m erschlossen. Beide Bohrungen sind mit Pumpe und Injektionsstrang ausgerüstet, so dass jeweils die Förderung und die Injektion von maximal 15 m^3/h möglich ist. In das beide Bohrungen verbindende übertägige Rohrleitungssystem sind Wärmetauscher für die Be- und Entladung integriert.

Das aus der kalten Bohrung mit einer Temperatur von 10 °C entnommene Wasser wird im Sommer durch Solarenergie erwärmt und in die warme Bohrung injiziert. Im Winter wird die Strömungsrichtung umgekehrt. Anfangs beträgt die Fördertemperatur dann 45 °C. Im Verlauf der Heizperiode sinkt sie bis nahe an die natürliche Grundwassertemperatur ab.

Im Anschluss an einen Direkt-Wärmetauscher zur Vorheizung des Heizungs-Rücklaufwassers (Niedertemperatursystem mit 45 °C / 30 °C, außentemperaturgeführt) und des Warmwassers ist eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe mit 100 kW Heizleistung integriert, die die Grundwassertemperatur auf ein nutzbares Niveau transformiert. Die Maschine produziert durch die apparative Trennung von Kondensator und Enthitzer Wärme auf zwei Temperaturniveaus. Nach einer Einlaufzeit von etwa 3 Jahren wird ein Rückgewinnungskoeffizient der eingelagerten Wärme von circa 60 % erwartet.

Ein 30 m^3 großer Pufferspeicher dient dem Ausgleich der kurzzeitigen Schwankungen der solaren Einstrahlung und darüber hinaus der Vergleichsmäßigung des Betriebes des empfindlichen saisonalen Speichers. Er ist mit einer Schichtenladevorrichtung bestückt und seine umfangreiche Sensorik liefert die zentralen Kriterien der Regelung des Gesamtsystems.

An wenigen Tagen des Jahres (bei Außentemperaturen unter 5 °C), wenn die Leistung des solaren Teilsystems nicht ausreicht, und zur Beherrschung von Anlagenausfällen tritt ein gasgefeuerter Brennwertkessel von 250 kW Leistung in Aktion.

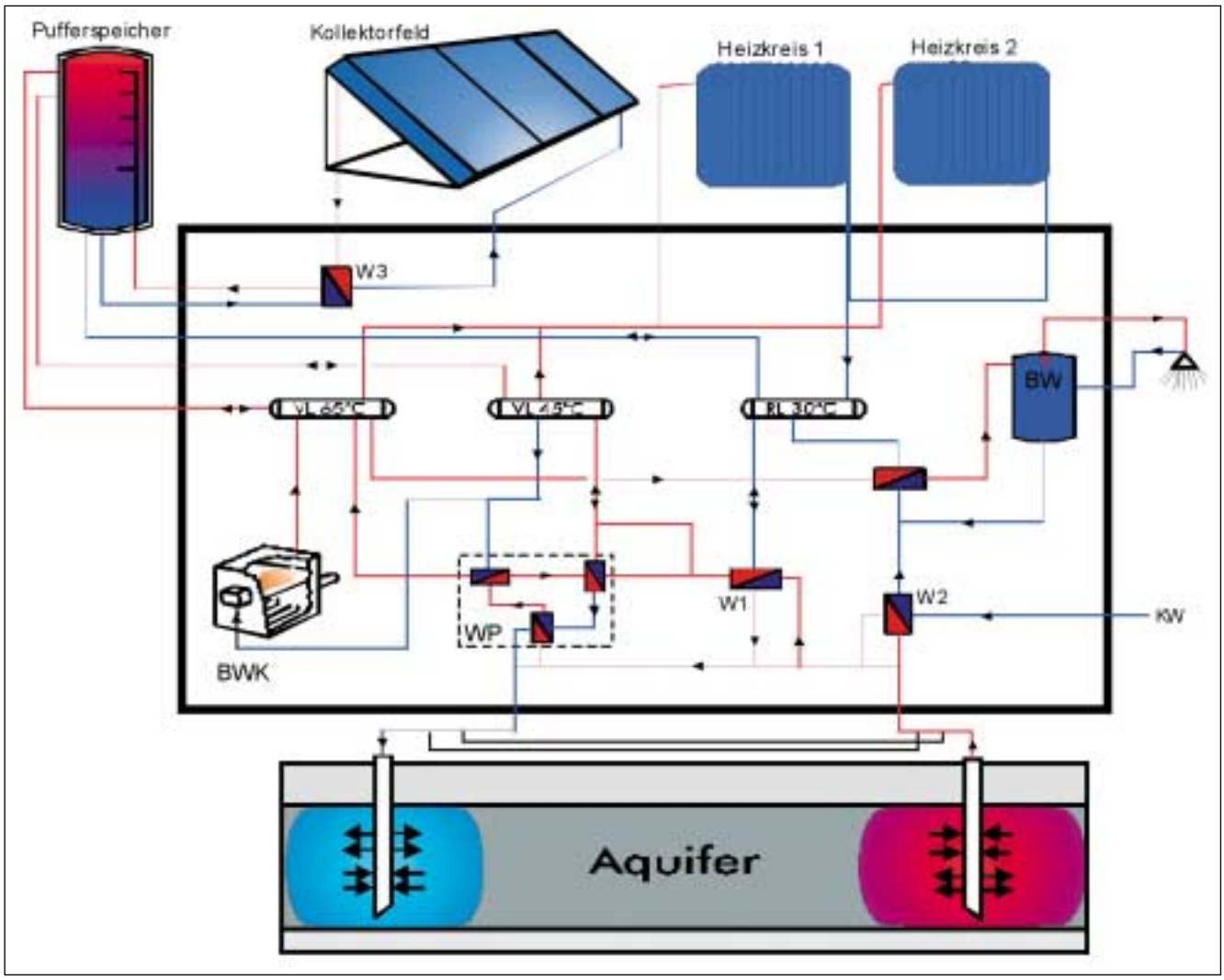


Abbildung 2: Schema des Wärmeversorgungssystems (Bildquelle ITW, Universität Stuttgart)

Energetische Effekte

Wegen der zeitlichen Diskrepanz zwischen dem Energiebedarf des Gebäudes und den solaren Energiegewinnen können nur 159 MWh/a der insgesamt von den Kollektoren gelieferten 400 MWh/a direkt genutzt werden. Entsprechend beträgt der Anteil dieser direkten Nutzung 32 %.

Solarwärme im Umfang von 234 MWh/a wird in den Aquiferspeicher geleitet. Wärmeverluste von 28 MWh/a treten auf. In der Entnahmephase werden 148 MWh/a aus dem Speicher bei Temperaturen oberhalb 10 °C für Heizzwecke gewonnen. Diese können in vollem Umfang dem Anteil solarer Deckung des Wärmebedarfes zugerechnet werden, der sich damit von 32 % auf insgesamt 62 % erhöht.

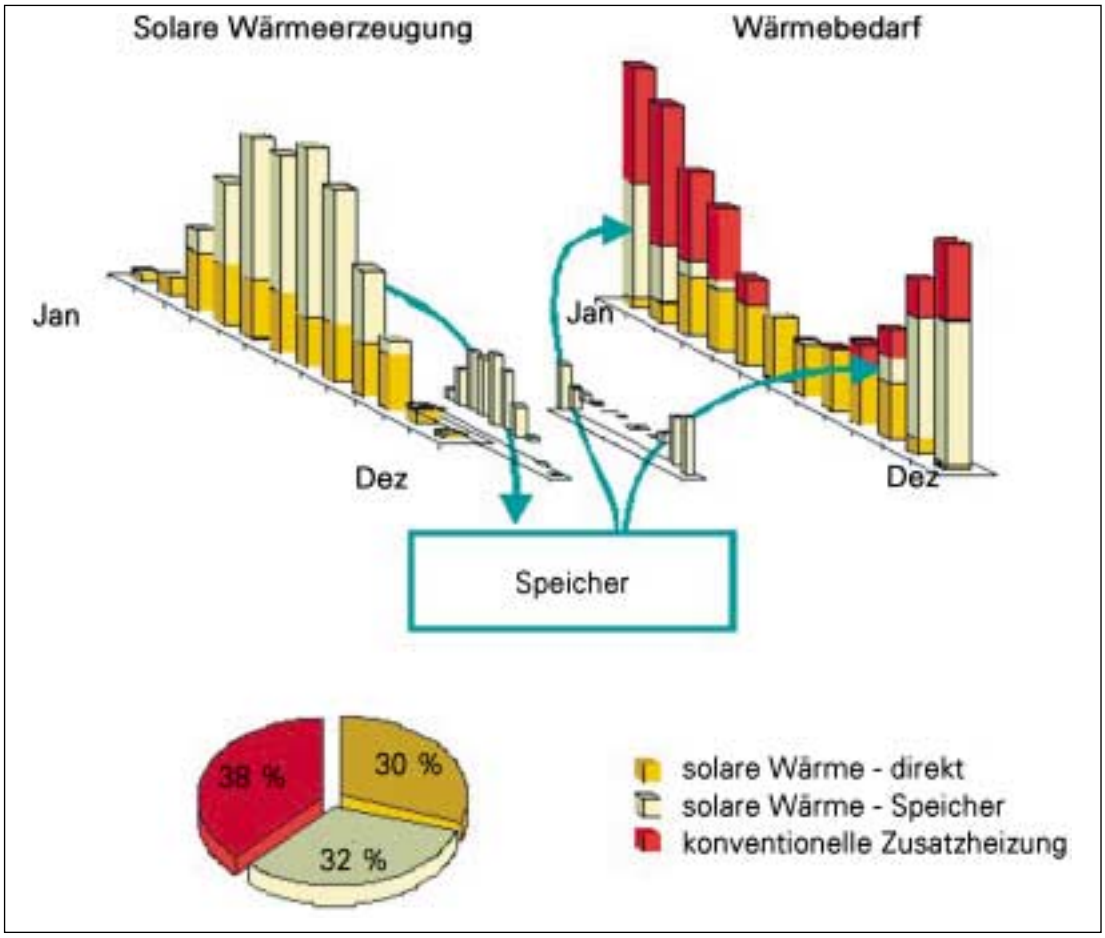


Abbildung 3: Wirkung des Aquiferspeichers beim Ausgleich von Wärmeanfall und -bedarf

Aktueller Status

Das Gesamtsystem wird seit März 2001 regulär betrieben. Im Jahre 2001 wurde ein Solarertrag von 350 MWh erzielt. Von diesem Betrag wurden Überschüsse im Umfang von 214 MWh bei 50 °C in den Aquifer geleitet. In der zweiten Oktoberhälfte begann die erstmalige Entnahme aus dem Speicher bei Temperaturen von über 35 °C. Insgesamt wurden dem Speicher bis in den Dezember 77 MWh Wärme entnommen, was den Erwartungen für einen noch nicht aufgepufferten Speicher entsprach. Im Jahre 2002 verbesserte sich die Speicherbilanz. Einer Einspeicherung von 245 MWh/a standen 160 MWh an rückgewonnener Wärme gegenüber.

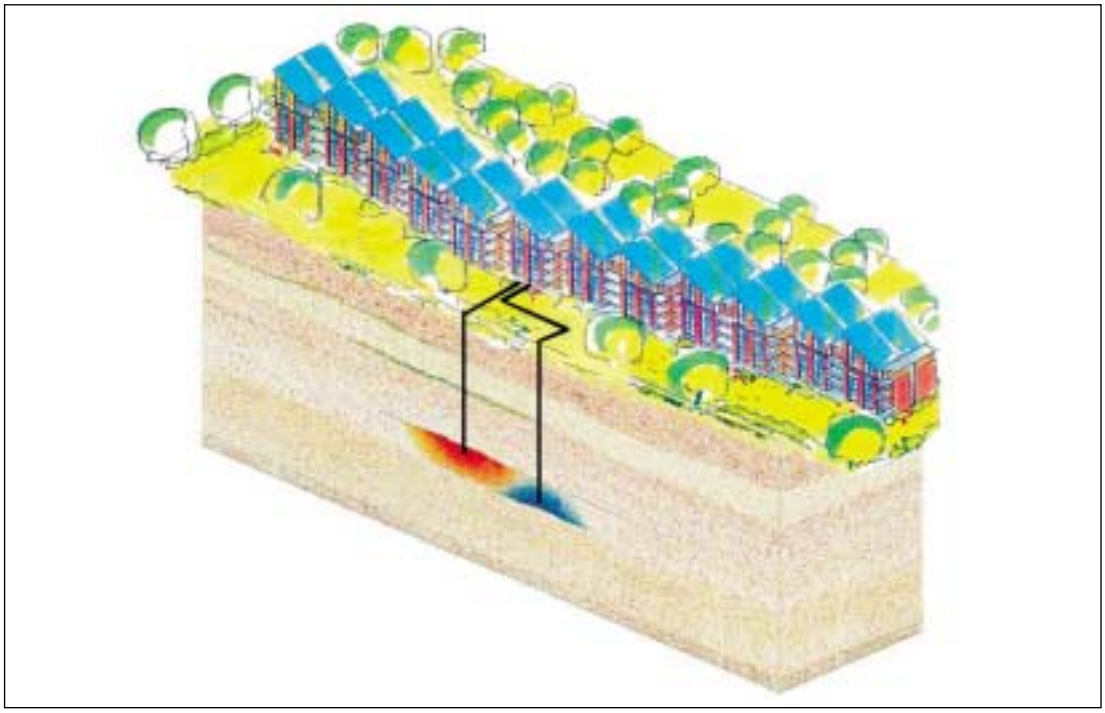
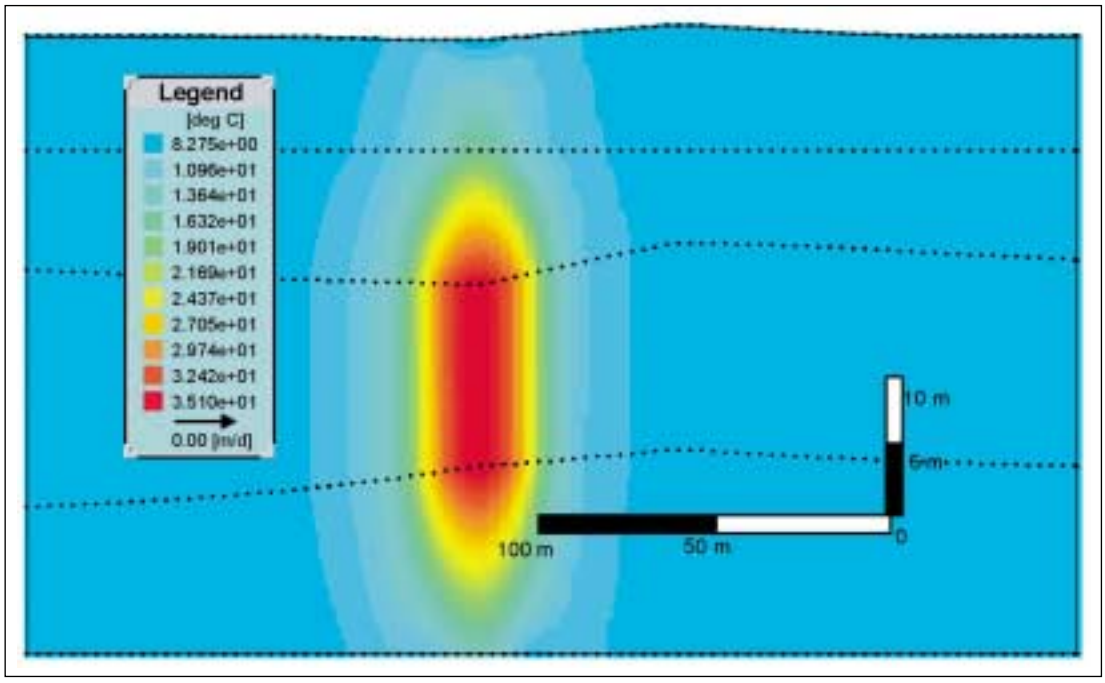


Abbildung 4: Modell der Solar-/Wärmespeicheranlage Rostock-Brinckmanshöhe

Abbildung 5: Ausgeführte Solar-/ Wärmespeicheranlage Rostock-Brinckmanshöhe

Abbildung 6: Rostock-Brinkkmanshöhe: Vertikale Temperaturverteilung im Aquifer und in den Dekkschichten entlang einer Schnittlinie durch beide Bohrungen zum Ende der ersten Wärmeeinspeisung



2. Energieversorgung der Parlamentsbauten im Berliner Spreebogen

Energiebedarf

Für die vier wesentlichen Gebäude des Energieverbundes der Parlamentsbauten mit dem Reichstagsgebäude im Zentrum mit folgendem Energiebedarf

- Strom 8.600 kW 19.500 MWh/a
- Wärme 12.500 kW 16.000 MWh/a
- Kälte 6.200 kW 2.800 MWh/a

wurde ein Energiekonzept geplant und im wesentlichen bereits realisiert, dessen Zielstellung in der gekoppelten Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte mit maximal möglicher Primärenergie-Effizienz bestand.

Energiekonzept

Im Zentrum des Energiekonzeptes steht die Eigenerzeugung von Strom auf der Basis von Blockheizkraftwerken. Die an zwei Betriebsstandorten konzentrierten BHKW mit einer elektrischen Gesamtleistung von 3.200 kW werden mit Pflanzenöl angetrieben und arbeiten stromgeführt. Die dabei auf einem Temperaturniveau von 110 °C produzierte Wärme wird direkt zur Versorgung von Hochtemperatur-Heiznetzen (90 °C / 60 °C) und teilweise von Niedertemperatur-Heiznetzen (45 °C / 30 °C) genutzt. Darüber hinaus dient sie dem Antrieb von Absorptionskältemaschinen oder –wärmepumpen.

Da die Bedarfskurven von Strom und Wärme nicht synchron verlaufen, wird zeitweise – speziell im Sommer – Überschusswärme produziert, zu anderen Zeiten – speziell im Winter

– besteht eine Deckungslücke für Wärme. Aus diesem Grunde wird überschüssige Wärme saisonal in einem soleführenden Aquifer gespeichert. Die Sandsteinschicht befindet sich in einer Tiefe von etwa 285 bis 315 m. Sie ist durch mächtige Abdeckungen (Rupelton, etwa 70 m dick) von den darüber liegenden Schichten abgetrennt. Die natürliche Aquifertemperatur beträgt etwa 19 °C. Die hydraulischen Eigenschaften des Aquifer (30 % Porosität) gestatten es, aus einer Tiefbohrung im Maximum 100 m^3/h Sole abzupumpen oder eine gleiche Menge zu verpressen.

Der Speicher wird mit 70 °C beladen und zu einem späteren Zeitpunkt bei Temperaturen im Bereich von 65 °C bis 25 °C entladen. Ein Großteil der rückgewonnenen Wärme versorgt den Niedertemperatur-Bereich der Heizungssysteme im direkten Wärmetausch. Eine weitere Auskühlung wird durch Absorptionswärmepumpen vorgenommen, die im Umfang von circa 2 MW Kälteleistung installiert sind.

In einer deutlich geringeren Tiefe (circa 50 m) ist unter dem Spreebogen ein weiterer Aquiferspeicher angeordnet. Er dient primär der Gebäudekühlung. Süßes Grundwasser (max. 300 m^3/h aus 5 Bohrungen) wird dazu im Winter auf 5° C abgekühlt. Auf der einen Seite geschieht dies in Trockenkühltürmen durch Umgebungskälte. Auf der anderen Seite ist der Kältespeicher in gleicher Weise wie der Wärmespeicher Quelle für Wärmepumpen.

Die im Winter in den Erdboden eingelagerte Kälte versorgt im Sommer Hochtemperatur-Kühlsysteme (16 °C / 19 °C) über direkten Wärmetausch. Absorptionskältemaschinen, die mit der Abwärme der Blockheizkraftwerke betrieben werden, bedienen die Niedertemperatur-Kältenetze. Der Rückkühlungsbedarf dieser Maschinen wird durch die oben genannten Kühltürme und wiederum den Kältespeicher gedeckt, der so auf maximal 28 °C erwärmt wird. Auf diesem Wege bildet sich erneut die Wärmequelle der Wärmepumpen für den nächsten Winter.

Zur Wärmespeicherung wird Wasser aus den jeweiligen kalten Bohrungen entnommen, mit Abwärme beladen (Wärmespeicher: BHKW-Abwärme, Kältespeicher: Kühlungsabwärme) und in die warmen Bohrungen injiziert, die sich in 300 m Entfernung befinden. Für die Entladung wird die Strömungsrichtung umgekehrt.

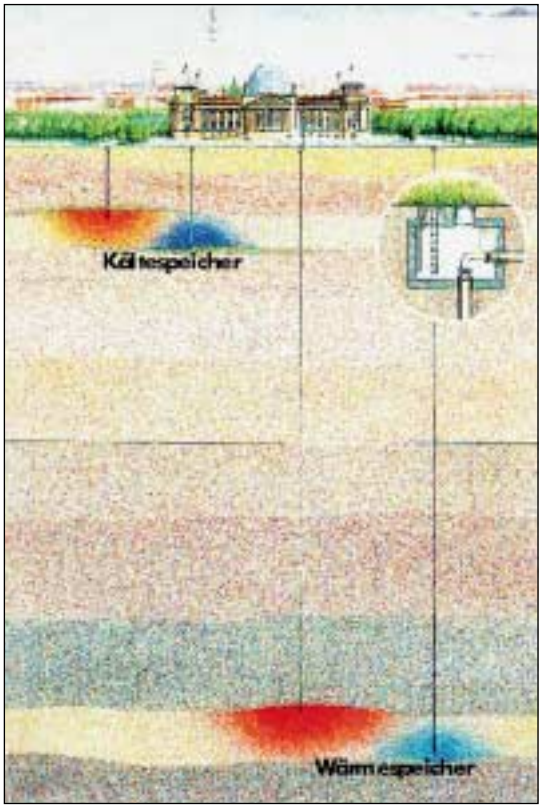


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Speicheranordnung des Energieverbundes der Parlamentsbauten im Berliner Spreebogen

Abbildung 8: Energieverbund der Parlamentsbauten in Berlin: Winterbetrieb

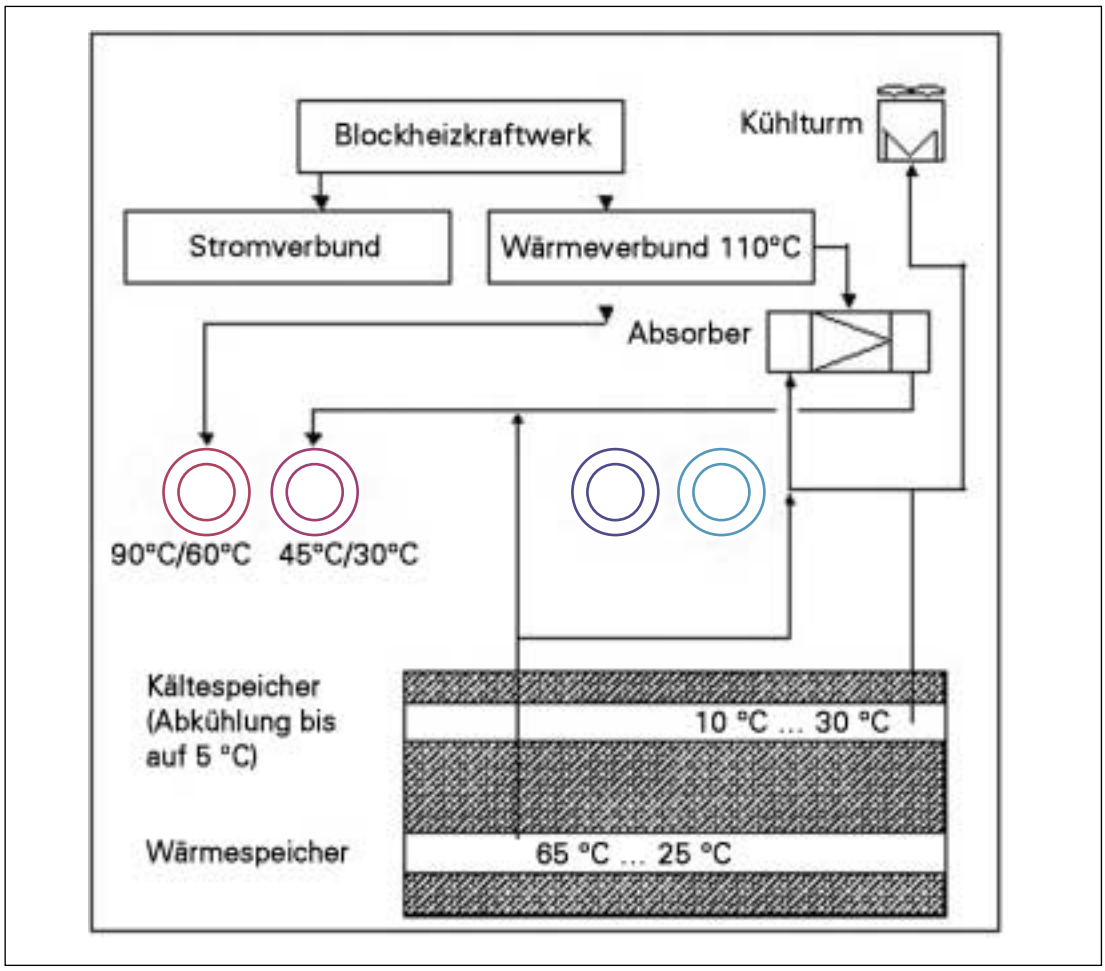
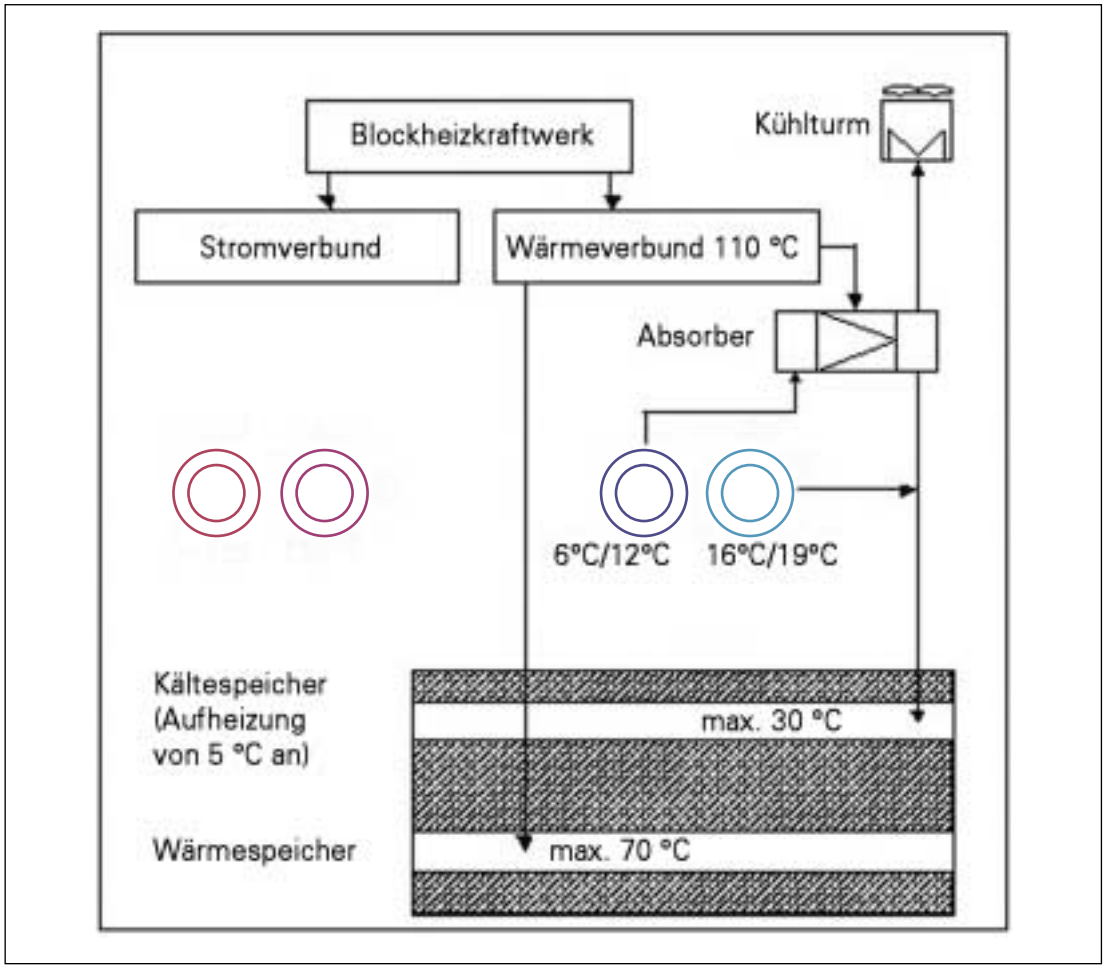


Abbildung 9: Energieverbund der Parlamentsbauten in Berlin: Sommerbetrieb



Folgende Betriebsparameter der Aquiferspeicher werden erwartet:

Wärmespeicher:		
Sommer (Beladung)	mittlere Fördertemperatur	25°C
	Injektionstemperatur	70°C
	eingelagerte Wärme	2.650 MWh/a
Winter (Entladung)	Fördertemperatur	65 … 25°C
	mittlere Injektionstemperatur	30°C
	entnommene Wärme	2.050 MWh/a
Kältespeicher:		
Sommer (Entladung)	Fördertemperatur	6 - 10°C
	Injektionstemperatur	15 …28°C
	entnommene Kälte	3.950 MWh/a
Winter (Beladung)	mittlere Fördertemperatur	22°C
	Injektionstemperatur	5°C
	eingelagerte Kälte	4.250 MWh/a

Energetische Effekte
Durch die Umsetzung des beschriebenen Energiekonzeptes wird es möglich sein, 82 % des benötigten Stromes und etwa 90 % der jährlich benötigten Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung mit Blockheizkraftwerken zu erzeugen, die etwa 37 % der elektrischen Spitzenleistung abdecken. Aus dem Kältespeicher und damit im Wesentlichen aus der winterlichen Umgebungskälte werden 60 % des sommerlichen Bedarfes der Gebäudekühlung gedeckt.

Aktueller Status
Die technischen Installationen der einzelnen Teilsysteme der Erzeugeranlagen sind abgeschlossen und die Anlage ist in vollem Umfang in Betrieb. So sichert zum Beispiel der Kältespeicher seit Übergabe des Reichstagsgebäudes dessen Kühlung und der Wärmespeicher dient der Abführung der Wärmeüberschüsse der mit einer Spitzenleistung von 3.200 kW stromgeführt betriebenen BHKWs.

3. Speicherung von Abwärme eines Gas- und Dampfturbinenkraftwerkes in Neubrandenburg

Ausgangssituation und Problemstellung
In einem gekoppelten Gas- und Dampfturbinenprozess werden in Neubrandenburg sowohl Strom (77 MW) als auch Wärme (90 MW) für das zentrale Hochtemperatur-Fernwärmenetz (200 MW, 130 °C / 65 °C) bereitgestellt. Dieses Verfahren erlaubt es, den Energieinhalt des eingesetzten Erdgases mit einem Wirkungsgrad von nahezu 90 % auszunutzen.

Letzteres wird allerdings nur voll wirksam, wenn beide Energiearten zum Zeitpunkt der Erzeugung auch einer Nutzung zugeführt werden können. Im Winter mit seinem gleichermaßen hohen Strom- und Wärmebedarf bestehen hierfür keine Probleme. Im Sommer allerdings ist der Wärmebedarf in Neubrandenburg wesentlich zu klein.

Für den **Betrieb des Kraftwerkes im Sommer** bestanden bisher zwei Optionen:

- Strom wird in unveränderter Menge erzeugt und die überschüssige Abwärme wird über Kühltürme vernichtet. Dies hat zum einen negative ökologische Aspekte und zum anderen verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit, da bei unverändertem Gaseinsatz die Einnahmen aus dem Wärmeverkauf ausfallen.
- Die Stromproduktion des GuD-Kraftwerkes wird gedrosselt, so dass die anfallende Abwärme gerade verkauft werden kann. Zusätzliche CO_2-Emissionen werden so zwar in Neubrandenburg vermieden, aber der nicht erzeugte Strom muss teuer eingekauft werden.

Neben dem GuD-Kraftwerk versorgt die Geothermische Heizzentrale Neubrandenburg über ein Niedertemperatur-Fernwärmenetz (80 °C / 45 °C) ein Wohngebiet von etwa 12 MW Anschlussleistung. Die Grundlastwärme entstammt direkt dem Thermalwasser. Darüber hinaus sind eine Absorptionswärmepumpe von 9 MW und konventionell befeuerte Kesselanlagen in Betrieb.

Zur Förderung und Injektion des benötigten warmen Thermalwassers stehen vier Bohrungen zur Verfügung, die bis in Tiefen zwischen 1.200 m und 1.300 m reichen. Die unter

Neubrandenburg angetroffenen Wässer haben einen Salzgehalt von 120 bis 130 g/l und werden mit Temperaturen von 53 bis 55 °C gefördert.

Neben dem Umstand, dass die Bohrungen - vor allem wegen der 1986 nur einsetzbaren Materialien - dringend sanierungsbedürftig sind, leidet die Effizienz der Geothermischen Heizzentrale ebenso an den relativ geringen Thermalwassertemperaturen wie am geringen sommerlichen Wärmeabsatz.

Energiekonzept

- Das GuD-Kraftwerk benötigt einen sehr großen Wärmespeicher, um die augenblicklich im Sommer über die Kühltürme abgeführte Überschusswärme in den Winter verschieben und dort sinnvoll nutzen zu können.
  Lösung: Speicherung der Überschusswärme in den tiefen Erdschichten der Geothermischen Heizzentrale, die speziell im Sommer nicht ausgelastet ist.

- Wegen der niedrigen Thermalwassertemperaturen ist in der Geothermischen Heizzentrale das permanente Nachheizen mit ökologisch ungünstigeren gasgetriebenen Anlagen (Absorptionswärmepumpe, Kessel) vonnöten.
  Lösung: Mit der Abwärme des GuD-Kraftwerkes wird in der Sommerzeit das Temperaturniveau der geothermischen Lagerstätte angehoben.

Durch die Kopplung beider Erzeugeranlagen profitiert jede in einer spezifischen Weise, die letztlich zur Steigerung der Energieeffizienz und der Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugung der Neubrandenburger Stadtwerke im Ganzen führt.

Die Anlagenfunktion ist durch die folgenden Betriebsweisen gekennzeichnet:

- Die bisher über den Kühlturm abgeführte sommerliche Überschusswärme des GuD-Kraftwerkes wird in das zentrale Primär-Fernwärmenetz eingespeist und bis in die Geothermische Heizzentrale geleitet. Hier dient sie der direkten Versorgung des angeschlossenen Heiznetzes und wird darüber hinaus mit einer Leistung von 4 MW in den Erdboden eingelagert. Dies geschieht, indem Thermalwasser mit circa 45 °C und 100 m^3/h entnommen, erwärmt und in die „warme Bohrung" mit etwa 80 °C injiziert wird.
- Im Winter arbeitet der Wärmespeicher wie bisher die Geothermische Heizzentrale. Die Strömungsrichtung ist gegenüber dem Sommer umgekehrt. Warmes Thermalwasser wird nun aus der „warmen" Bohrung gefördert, heizt das Wohngebiet Rostocker Straße und wird anschließend in die „kalte" Bohrung injiziert.

Der Unterschied zum bisherigen Betrieb besteht darin, dass die Fördertemperatur des Thermalwassers nicht mehr reichlich 50 °C sondern bis zu 80 °C beträgt. Die höheren Temperaturen treten am Anfang der Entnahmeperiode auf. Im Laufe der Entnahme sinkt die Thermalwassertemperatur. Nach einer etwa fünfjährigen Einlaufphase unterschreitet sie allerdings in der gesamten Heizperiode den Wert von 67 °C nicht mehr.

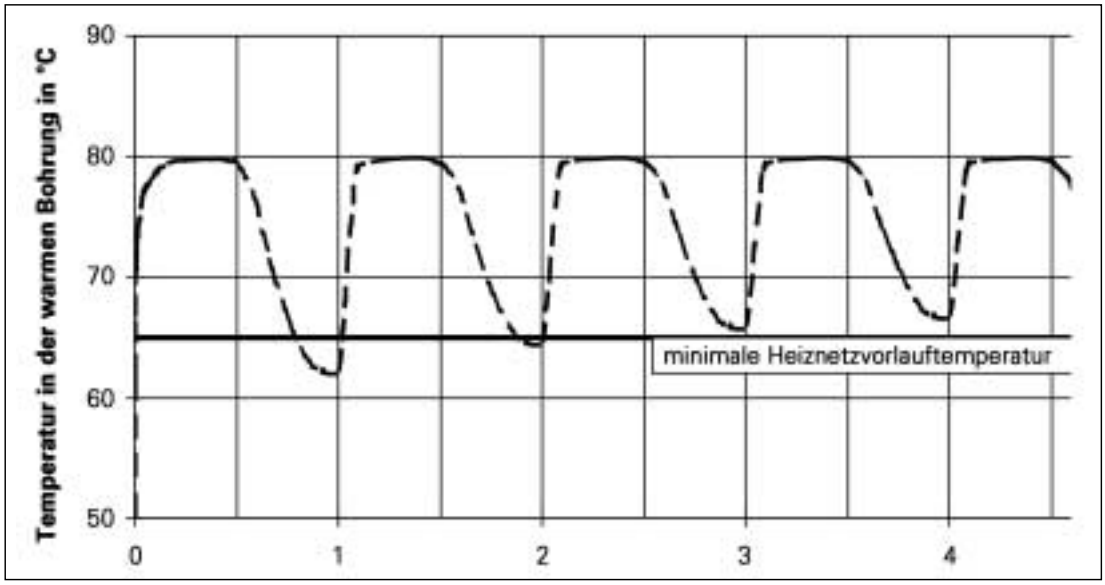


Abbildung 10: Modellierung der Entladetemperatur des Speichers des GuD-Kraftwerkes in Neubrandenburg über volle 4 Jahreszyklen

Energetische Effekte		
Sommer (Beladung)	mittlere Fördertemperatur	45°C
	Injektionstemperatur	80°C
	eingelagerte Wärme	12.000 MWh/a
Winter (Entladung)	Fördertemperatur	77 … 67°C
	mittlere Injektionstemperatur	40°C
	entnommene Wärme	8.600 MWh/a

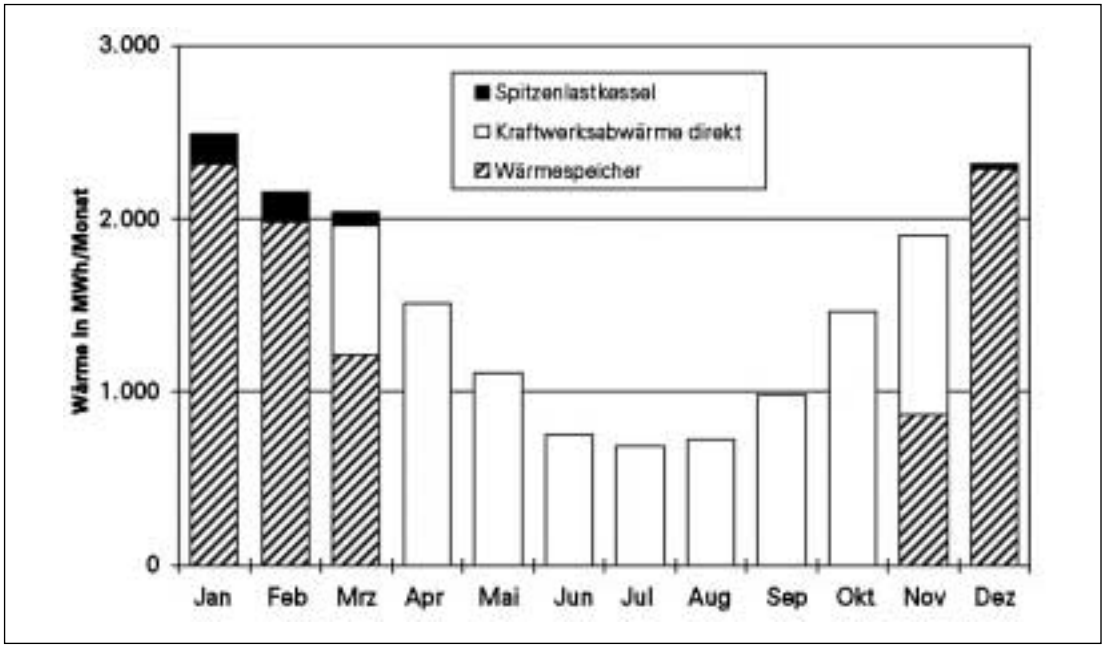


Abbildung 11: GuD-Kraftwerk in Neubrandenburg: Wärmequellen des Niedertemperatur-Fernwärmenetzes

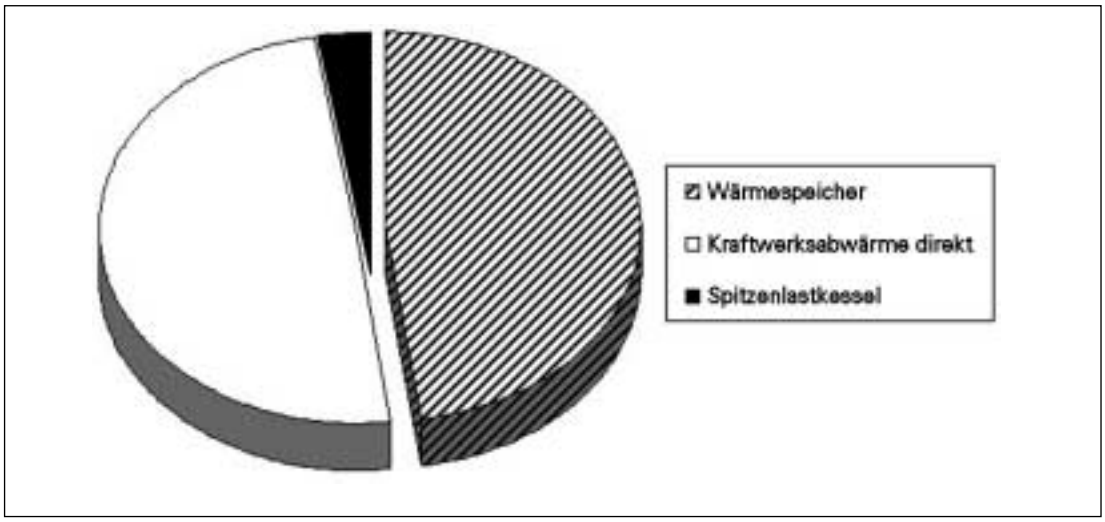


Abbildung 12: GuD-Kraftwerk in Neubrandenburg: Anteil des Wärmespeichers an der Deckung des Wärmebedarfes

Aktueller Status

Die Realisierungsarbeiten für das beschriebene Konzept, vor allem die Uminstallation von zwei der vier Bohrungen der gegenwärtigen Geothermischen Heizzentrale derart, dass jeweils sowohl Förderung als auch Injektion möglich ist, sind abgeschlossen. Die Anlage ist seit Januar 2004 in Betrieb.

Zusammenfassung

Die Anstrengungen zur Verringerung des Primärenergieeinsatzes in der Energieerzeugung durch Kopplung verschiedener Prozesse der Energiewandlung werden häufig durch ein jahreszeitliches Auseinanderklaffen von Energieangebot und Energienachfrage behindert. So sind zum Beispiel im Sommer hohe Erträge aus thermischen Solaranlagen beziehungsweise Abwärmeüberschüsse aus KWK-Anlagen zu verzeichnen, während der Schwerpunkt des Wärmebedarfes im Winter auftritt. Oder aber dem hohen Kältebedarf im Sommer stehen niedrige Außentemperaturen erst im Winter gegenüber.

Effiziente und kostengünstige Langzeit-Speichertechnologien, wie sie im Erdreich realisierbar sind, können in nennenswertem Maße zur Lösung des beschriebenen Problems beitragen. Unter günstigen geologischen Konditionen, bei entsprechend angepassten Abnehmersystemen und für Speichervolumina ab einer Größenordnung von circa 20.000 m^3 Wasseräquivalent ist die direkte Nutzung des Grundwassers zur Wärme- und Kältespeicherung sinnvoll einsetzbar.

Geothermisches Heizen und Kühlen von Verwaltungsgebäuden

➢ **Hans-Martin Hellmann**

Einleitung

In der Gebäudetechnik werden immer häufiger Heiz- und Kühlsysteme mit einem sehr niedrigen Temperaturniveau eingesetzt. Begünstigt wird dieser Trend durch einen verbesserten Wärmeschutz der Gebäudehülle und die stärkere Technisierung der Büroinfrastruktur mit Computern, Druckern und Telekommunikationseinrichtungen. Dadurch wird bereits ein Großteil des Heizwärmebedarfs durch die innere Wärmebelastung abgedeckt. Dies bewirkt einen stetigen Rückgang der eigentlichen Heizzeit und eine Ausweitung der Kühlperiode.

Pilotprojekte haben gezeigt, dass unter vielen Gebäuden ein hohes geothermisches Energiepotenzial brachliegt, das direkt oder mit Hilfe einer Wärmepumpe für Heiz- und Kühlzwecke genutzt werden kann. Voraussetzung für ein funktionierendes geothermisches Energiesystem ist eine genaue Analyse des Untergrundes, eine optimierte Abstimmung von Heiz- und Kühltemperaturen und der Einsatz erprobter Systemkomponenten zur Minimierung des anlagentechnischen Aufwandes.

Bei der Klimatisierung von Gebäuden hat sich in den letzten Jahren ein teilweise spektakulärer Systemwandel vollzogen. Nur-Luft-Raumklimasysteme treten in den Hintergrund, wassergeführte Raumkühlsysteme, wie beispielsweise Kühldecken, werden dagegen mehr nachgefragt. Hinzu kommt eine wesentliche bauphysikalische Verbesserung der Gebäudehülle, die dazu führt, dass der Transmissionswärmebedarf von Bürogebäuden überproportional zurückgeht.

Da durch die Technisierung der Bürowelt die innere Wärmelast weiter zunimmt, heizen sich viele moderne Bürogebäude während eines Großteils der Heizperiode quasi von selbst. Oft bedarf es nur noch einer Anschubheizung am Morgen oder nach längeren Betriebspausen. Nicht selten muss dagegen bereits in der Übergangszeit gekühlt werden. Der nur noch geringe Wärmebedarf in neuen Bürogebäuden führt dazu, dass mit Kühldecken und anderen „Stillen Kühlern“ ohne Komforteinbuße auch geheizt werden kann. Umgekehrt werden Fußboden- und Wandheizflächen heute auch gezielt zum Kühlen eingesetzt. Ein besonders

preisgünstiges und deshalb vermehrt nachgefragtes Heiz-/Kühlsystem ist die Betonkerntemperierung, bei der die Speicherwirkung von Decken und Wänden mit Hilfe wasserdurchflossener Rohre aktiviert wird.

Systemtemperatur bestimmt Leistungszahl der Wärmepumpe

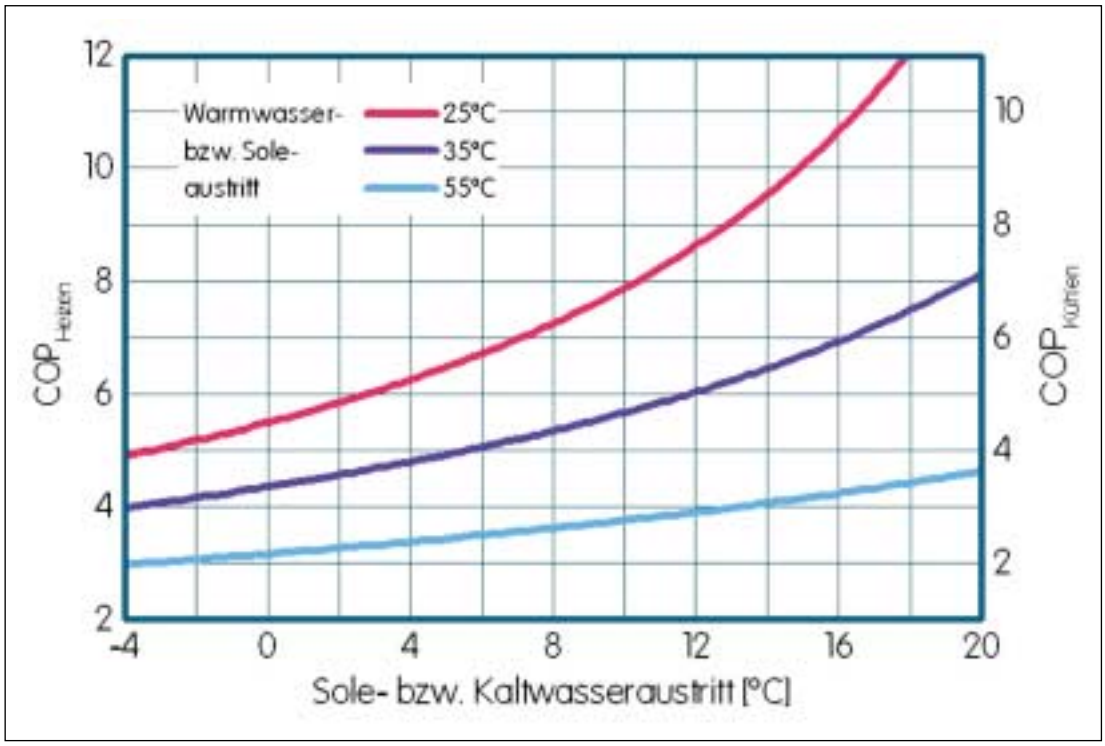
Die neuen Flächenheiz-/Kühlsysteme haben den Vorteil, dass sie mit sehr moderaten Heiz-/Kühltemperaturen auskommen (Tabelle 1). Dies eröffnet Alternativen zur konventionellen Wärme- oder Kälteerzeugung, zum Beispiel über regenerative Energiequellen mit Hilfe einer Wärmepumpe. In der Praxis ist jedoch häufig zu beobachten, dass auch bei Gebäuden mit Flächensystemen die Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen auf relativ hohe Betriebstemperaturen ausgelegt werden, die dem bisherigen Standard bei konventionellen Nur-Luft-Klimaanlagen und Radiatorenheizungen entsprechen. Damit wird eine einfache und wirksame Möglichkeit vergeben, den Primärenergieverbrauch beziehungsweise die CO_2-Emission wesentlich zu reduzieren.

Tabelle 1: Typische Betriebstemperaturen unterschiedlicher Kühl- und Heizsysteme

	Kühlen	**Heizen**
Luftklimaanlagen/Radiatorheizung	6°/12°C	55°/45°C
Kühl-/Heizdecken	16°/19°C	35°/32°C
Betonkerntemperierung	19°/21°C	25°/23°C

Wird beispielsweise die in Nur-Luft-Klimasystemen übliche Kaltwassertemperatur von 6 °C auf die für Kühldecken ausreichenden 16 °C oder 19 °C angehoben, sinkt der elektrische Strombedarf einer Kältemaschine um 40 bis 50 Prozent. Umgekehrt kann bei einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe durch die Absenkung der Heizwasser-Vorlauftemperatur von 55 °C auf 35 °C oder die bei der Betonkerntemperierung möglichen 25 °C der Stromverbrauch um 30 beziehungsweise 50 Prozent gesenkt werden. Abbildung 1 zeigt die Abhängigkeit des Strombedarfs von der Auslegungstemperatur des Heiz-/Kühlsystems beziehungsweise von der Wärmequelle oder Wärmesenke der Wärmepumpe / der Kältemaschine.

Abbildung 1: Erreichbare Heiz- und Kühlzahlen (COP) von elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen



Die **Leistungszahl** (auch **COP,** coeffizient of performance) einer Wärmepumpe beziehungsweise einer Kältemaschine ist wie folgt definiert:

$$COP_{Heizen} = \frac{\text{Nutzleistung Heizung}}{\text{Elektrische Leistungsaufnahme}}$$

$$COP_{Kühlen} = \frac{\text{Nutzleistung Kühlen}}{\text{Elektrische Leistungsaufnahme}}$$

Elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen gelten dann als primärenergiesparend, wenn sie mit einer Leistungszahl von mindestens 3,5 betrieben werden. Nur dann kann davon ausgegangen werden, dass der von der Wärmepumpe verbrauchte Strom mit weniger Primärenergieeinsatz in fossilen Kraftwerken erzeugt wird, als eine Brennwertkesselanlage zur Bereitstellung derselben Heizwärme benötigt. Nach Abbildung 1 erfordert dies für Radiatorheizungen mit 55 °C Vorlauftemperatur eine Wärmequellentemperatur von über 8 °C, während für Heizdecken beziehungsweise Betonkerntemperierung mit Vorlauftemperaturen zwischen 25 und 35 °C eine Wärmequellentemperatur von über -10 °C ausreichend ist.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Umgebungsluft als Wärmequelle für die Gebäudeheizung nur bedingt zu empfehlen ist. Auch die freie Kühlung ist nur bedingt nutzbar und beschränkt sich bei beim Einsatz von Kühldecken auf nur wenige Tage im Jahr. Nur die Betonkerntemperierung lässt aufgrund ihres thermischen Speichervermögens eine ausgedehnte nächtliche freie Kühlung eines Gebäudes mittels Kältegewinnung aus der Umgebungsluft zu. Oft geht man auch den direkten Weg und kühlt das Gebäude nachts über automatisierte Fenster aus.

Besser geeignet zur Einbindung in ein regeneratives Heiz-/Kühlsystem ist das Erdreich unter oder neben dem zu temperierenden Gebäude. Dessen Temperatur liegt je nach Tiefe und Beschaffenheit ganzjährig bei 8 bis 12 °C. Für die Beheizung und Kühlung eines Gebäudes mittels Wärmepumpentechnik ist dieses Temperaturniveau ideal. Selbst bei einer Grädigkeit des Wärmeaustausches zwischen Untergrund und Wärmepumpe von etwa 10 K sind – in Verbindung mit Flächenheizsystemen – Leistungszahlen von über 4 gut erreichbar. Im Kühlfall reicht das Temperaturniveau im Untergrund häufig zur direkten Kühlung über Flächenkühlsysteme aus. Nur bei hohem Kühlleistungsbedarf oder wenn im Verlauf der Kühlperiode die Ergiebigkeit der Kältequelle im Erdreich nachlässt, muss unter Umständen auf einen Betrieb mit Kältemaschine übergegangen werden.

Eine optimale Nutzung des Untergrundes ergibt sich für Gebäude, die nicht nur beheizt, sondern im Sommer auch gekühlt werden müssen. Dann dient der Untergrund bei entsprechender Beschaffenheit als saisonaler Speicher, der die im Sommer aufgenommene Gebäudeabwärme aufnimmt und zu einem großen Teil als Wärmequelle für den winterlichen Heizbetrieb bewahrt. Bei einer derartigen bidirektionalen Betriebsweise regeneriert sich der Untergrund schneller als bei ausschließlichem Heiz- oder Kühleinsatz, wodurch ein höherer jährlicher Wärme- und Kälteentzug möglich wird. Je ausgeglichener die Energieentzugsbilanz zwischen Winter- und Sommerbetrieb ist, umso nachhaltiger steht die natürliche Energiequelle zur Verfügung (Abbildung 2).

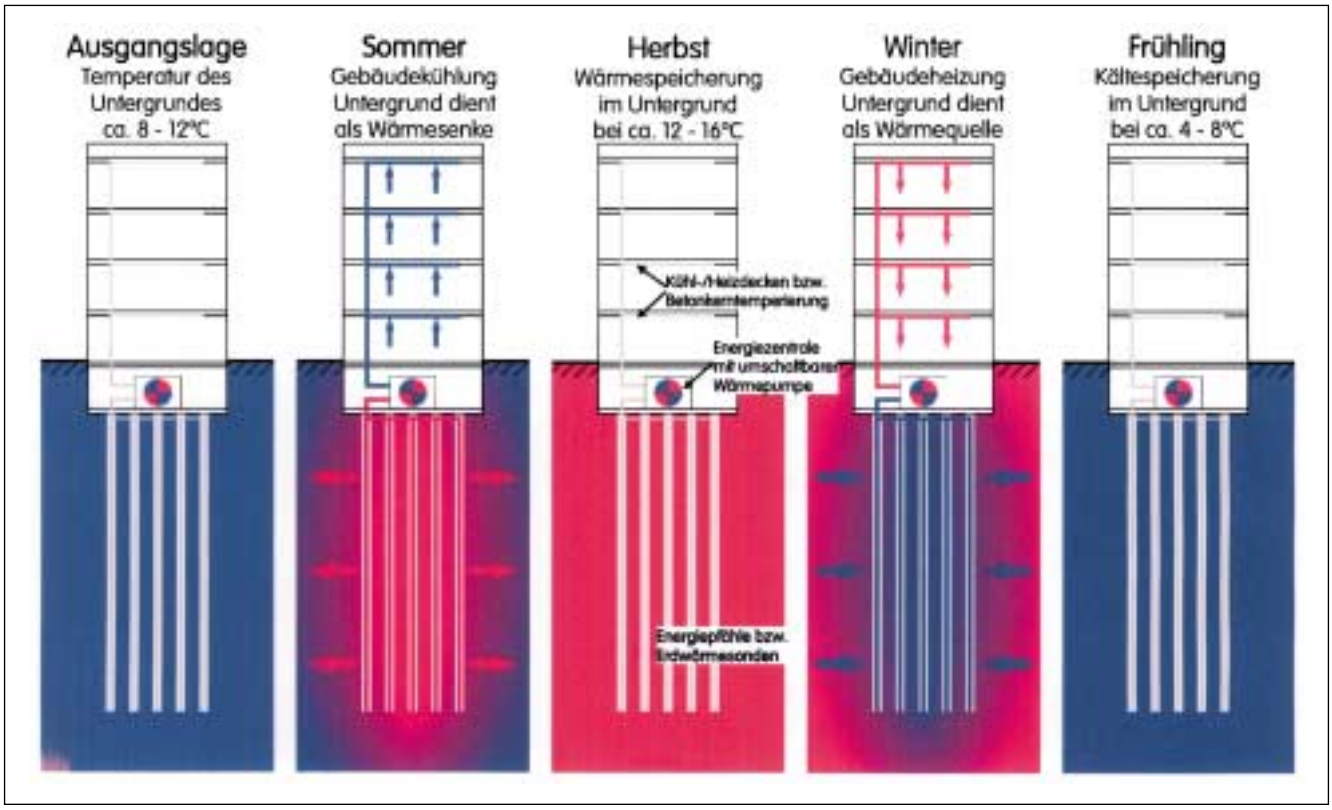


Abbildung 2: Saisonale Entwicklung eines geothermischen Energiespeichers

Erdwärmetauscher für Geothermiesysteme
Viele Wärmepumpen haben in der Vergangenheit durch mangelhafte Koordinierung von Gewerkeschnittstellen ihre Leistungszahl und damit ihre Leistung nicht erreicht. Umso größere Sorgfalt muss deshalb der Einbindung geothermischer Energiequellen in ein Gesamtsystem zur Gebäudetemperierung bereits im Planungsprozess beigemessen werden. Dazu zählt die thermische Simulation des Untergrundes mit dem Ziel, Geothermieanlage, Wärmepumpe, Freikühleinrichtungen und Heiz-/Kühlsystem exakt aufeinander abzustimmen.

Je nach Untergrund bieten sich folgende Erdwärmetauscheranlagen an:

a) Grundwassernutzung
Die direkte Grundwassernutzung beschränkt sich auf Gebiete, in denen natürliche Aquifere vorkommen, die durch eine entsprechende Anordnung von Förder- und Schluckbrunnen als saisonale Speicher für Wärme und Kälte genutzt werden können. Der Aufwand für die Erstellung dieser Brunnenanlagen ist verhältnismäßig gering. Die Instandhaltung und der Betrieb können hingegen, je nach lokalen Verhältnissen, Wasserqualität und behördlichen Vorschriften bezüglich einer Wasseraufbereitung, recht aufwändig sein.

Ein bekanntes Objekt, bei dem Grundwasser aus 35 m Tiefe für die direkte Kühlung eines Verwaltungsgebäudes (ohne zusätzliche Kältemaschine) genutzt wird, ist das **Düsseldorfer Stadttor**. Dort werden seit 1998 ca. 20.000 m^2 Bürofläche über abgehängte Kühldecken geothermisch gekühlt. Primärseitig werden bis zu maximal 340 m^3/h Grundwasser von 11 bis 13 °C über zwei Saugbrunnen in unmittelbarer Umgebung des Gebäudes gewonnen und über drei Sickerbrunnen wieder dem Untergrund zugeführt.

b) Erdwärmetauscher
Die Energiequelle im Untergrund kann über Erdwärmetauscheranlagen erschlossen werden. Diese bestehen aus Kunststoffrohren, die entweder horizontal wenige Meter unter der Erdoberfläche verlegt oder senkrecht in Bohrlöcher eingebracht werden. Durch diese Kunststoffrohre strömt in einem geschlossenen Kreislauf ein Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch als Wärmeträgermedium, das dem Erdreich Wärme beziehungsweise Kälte entzieht.

Je tiefer die Rohre verlegt werden, desto unabhängiger ist der Wärme- und Kälteertrag von den klimatischen Bedingungen an der Erdoberfläche. Wesentlich für die dauerhafte Funktion der Anlagen sind die thermischen Eigenschaften des Untergrundes sowie die Grundwasserverhältnisse (siehe Kapitel „Planungskarten zur Dimensionierung von Erdwärmesonden"). Ungünstig sind trockene sandige Böden aufgrund ihrer geringen Wär-

meleitfähigkeit. Besser geeignet sind feuchte Böden und Fels. Starker Grundwasserfluss erlaubt die höchsten Entzugsleistungen.

c) Energiefundamente

Eine besonders wirtschaftliche Methode zur Gewinnung von Wärme und Kälte aus dem Untergrund ist die Ausbildung der Fundamente eines Bauwerks als Wärmetauscher. In Frage kommen Gründungspfähle und Fundamentplatten sowie Schlitzwände oder Pfahlwände zur Baugrubensicherung. Da diese Bauteile aus statischen beziehungsweise bautechnischen Gründen sowieso zu erstellen sind, beschränkt sich der Zusatzaufwand auf die Installation eines Kunststoffrohrsystems. Die Bemessung der Energiepfähle sollte sich aus wirtschaftlichen Gründen ausschließlich nach den Erfordernissen der Statik richten. Es wurden bereits Längen bis zu 50 m und Durchmesser bis zu 1,50 m realisiert. Ein Beispiel für die Umsetzung dieser Technologie in die Praxis ist ein Büro- und Wohngebäude der Wohnungsgenossenschaft **Duisburg** Mitte. Dort werden rund 500 m^2 Bürofläche mit abgehängten, fugenlosen Gipskartondecken beheizt und gekühlt. Die Versorgung der Kühl-/Heizdecken sowie der Fußbodenheizungen in den Mietwohnungen übernimmt eine geothermische Energiezentrale mit umschaltbarer Wärmepumpe, die von 16 Energiepfählen mit Kälte und Wärme aus dem Untergrund gespeist wird.

In Ausführung befindet sich das Bauvorhaben Entory Home der LVM Lebensversicherung AG in **Karlsruhe**. Hier versorgen 130 Energiepfähle über eine geothermische Energiezentrale eine rund 5.000 m^2 große betonkerntemperierte Bürofläche.

Kann aus statischen Gründen auf Gründungspfähle verzichtet werden, so bietet sich die Fläche unter der Bodenplatte eines Gebäudes als geothermischer Wärmetauscher an. Dazu werden Kunststoffrohre, ähnlich wie bei einer Fußbodenheizung, vor dem Betonieren der Bodenplatte auf der Sauberkeitsschicht verlegt. Wichtig ist, dass die Bodenplatte zu den Kellerräumen hin ausreichend gedämmt wird, da sonst ein thermischer Kurzschluss zum Gebäude entsteht. Allerdings ist die Leistung beziehungsweise Ergiebigkeit von **thermisch aktivierten Bodenplatten** beschränkt. Eine dauerhafte direkte Kühlung des Gebäudes ist deshalb nur in wenigen Fällen möglich.

Ein Beispiel für die Anwendung dieser Technik ist das Bürogebäude Kronen Carré in **Stuttgart** mit einer 1.900 m^2 großen thermisch aktivierten Bodenplatte.

d) Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren

Der Aufwand für die Installation von vertikalen Erdwärmesonden und horizontal verlegten Erdwärmekollektoren ist deutlich höher als der für Energiefundamente. Dafür ist das Erdreich bis zu einer Tiefe von maximal 2 m abzutragen und nach Installation der Erdwärmekollektoren wieder aufzufüllen. Bei einer erforderlichen Fläche von circa 3 m^2 pro m^2 beheizter Gebäudefläche ist dies meist nur bei kleineren Bauvorhaben sinnvoll. Erdwärmesonden werden in eigens für diesen Zweck erstellte Bohrungen von 15 bis 25 cm Durchmesser und bis zu 100 m Tiefe eingebracht. Der Bohraufwand macht sich wirtschaftlich besonders dann bezahlt, wenn die mit Hilfe der Sonden direkt ohne zusätzliche Kältemaschine gekühlt werden kann. Ein Beispiel dafür ist das Gebäude der DS-Grundstücksgesellschaft in **Stuttgart-Vaihingen**. Die geothermische Energiezentrale bezieht ihre Kälte / Wärme aus 18 Erdwärmesonden. Sie versorgen 1.600 m^2 betonkerntemperierte Bürofläche und 400 m^2 bauteilintegrierte oder abgehängte Kühl-/Heizdecken.

Systemtechnik statt Einzelanlagen

Anders als bei konventionellen Heizungs-, Raumkühl- oder Raumklimasystemen, die relativ fehlertolerant gegenüber Ungenauigkeiten bei der Auslegung sind, wird bei der geothermischen Gebäudetemperierung ein integriertes Gesamtsystem aus einer Hand empfohlen (Abbildung 2). Nur so lassen sich die drei Systemkomponenten Umweltwärme/Kältequelle, Wärmepumpe/Kältemaschine und Gebäudetemperierung optimal aufeinander abstimmen.

Während Heiz-/Kühldecken beziehungsweise Betonkerntemperiersysteme einen hohen Entwicklungsstand erreicht haben, fehlte es bisher an einer für den geothermischen Einsatz optimierten Wärmepumpe mit Umschaltmöglichkeit von Heizen auf Kühlen. Besonderes Know-how ist hier bei der hydraulischen Kopplung von Gebäudeverteilsystem und Geothermieanlage gefragt.

Die Zent-Frenger GmbH, Heppenheim, Hersteller von Kühl-/Heizdecken sowie Betonkerntemperiersystemen, hat den Bedarf an einer integrierten Lösung erkannt und zusammen mit dem Kälte- und Wärmepumpenspezialisten Hafner Kälte- und Klimatechnik, Balingen, die modular aufgebaute **geothermische Energiezentrale Geozent®** zur Marktreife entwickelt. Ihr Funktionsprinzip ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Anlage erlaubt gebäudeseitig die Versorgung von bis zu vier getrennten

Zwei-Leiter-Netzen, über die unterschiedliche Verbraucher in den drei Betriebsarten „Heizen im Wärmepumpenbetrieb“, „Kühlen im Wärmepumpenbetrieb“ und „direktes geothermisches Kühlen“ bedient werden können. Das Sonderheiznetz wird für Heizsysteme bereitgestellt, die ein etwas höheres Temperaturniveau benötigen, beispielsweise Radiatoren oder Unterflurkonvektoren. Die Zusatzwärme zur Temperaturanhebung wird über einen Enthitzer gewonnen, der das Kältemittel vor Eintritt in den Verflüssiger zusätzlich abkühlt. Die WP-Systemeinheit ist so geschaltet, dass eine gleichzeitige Versorgung mit Heiz- und Kühlenergie möglich ist.

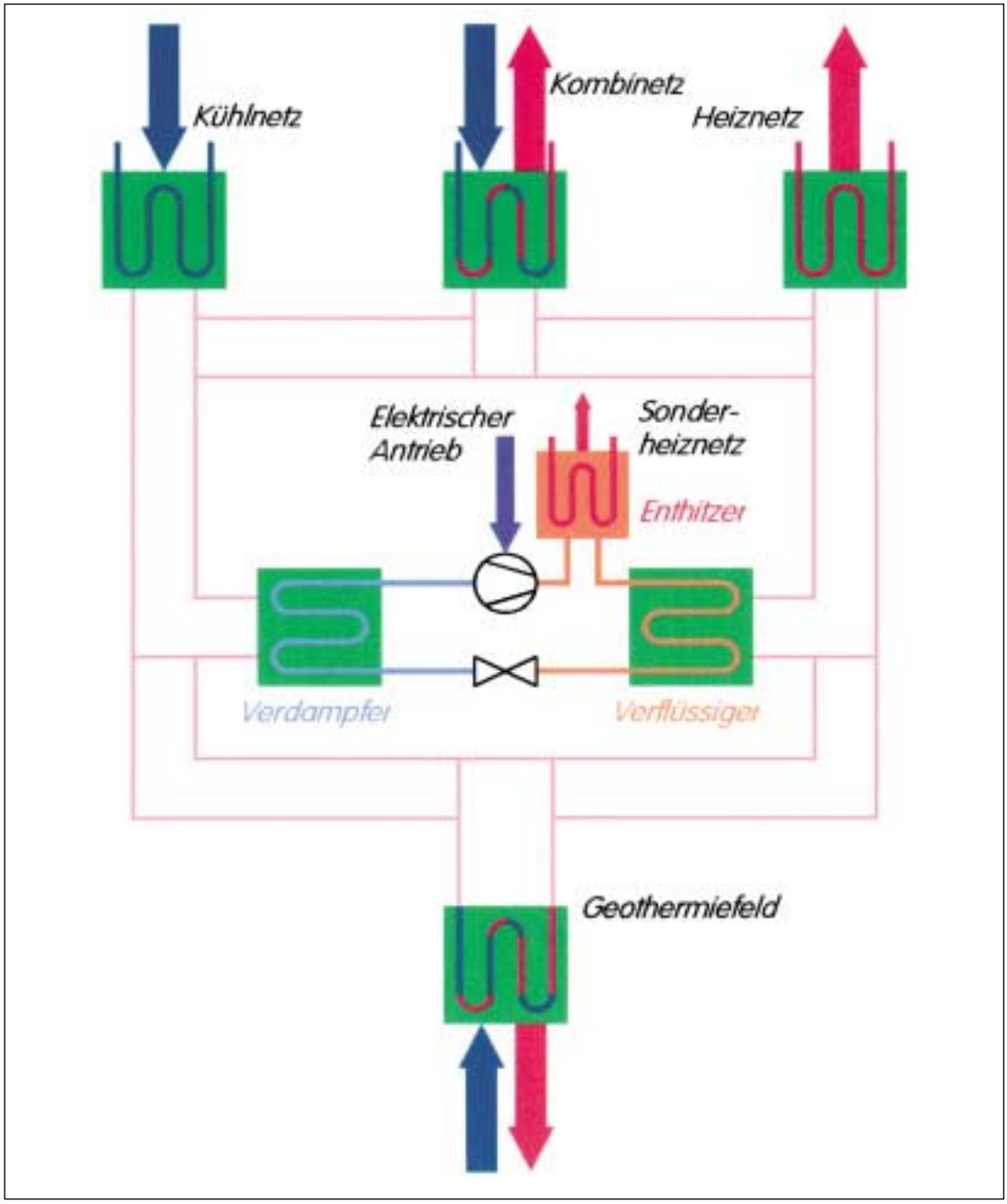


Abbildung 3: Funktionsprinzip der geothermischen Energiezentrale Geozent®

Die Geozent®-Energiezentrale verfügt über eine vorgefertigte hydraulische Einheit, mit der sich die Wärme-/Kälteströme zwischen Wärmepumpe, geothermischer Quelle und den verschiedenen Rohrnetzen nahezu verlustfrei zuordnen lassen. Die gesamte Regelung erfolgt über eine Gebäudeautomation.

Die vorgefertigte Energiezentrale wurde bereits erfolgreich in sechs Projekten im Leistungsbereich zwischen 25 kW und 180 kW Heiz- beziehungsweise Kühlleistung verwirklicht. Gebäudeseitig reichte das Spektrum der angeschlossenen Heiz- und Kühlsysteme von der Betonkerntemperierung über abgehängte oder bauteilintegrierte Kühl-/Heizdecken bis zur Fußbodenheizung. Die Auslegungsbedingungen variierten dabei zwischen 26 und 44 °C Vorlauftemperatur im Heizfall und zwischen 11 und 16 °C im Kühlfall. Als geothermische Quellen kamen sowohl Energiepfähle als auch Erdwärmesonden zum Einsatz.

Planungskarten zur Dimensionierung von Erdwärmesonden

➢ **Reinhard Kirsch, Gottfried Agster, Karen Bäzner, Broder Nommensen, Wolfgang Scheer**

Ein dauerhafter Betrieb von Erdwärmesonden ist nur möglich, wenn die von der Sonde dem Untergrund entzogene Wärmeenergie wieder aus dem umgebenden Erdreich nachgeliefert wird. Die Wärmequellen hierzu sind der Wärmestrom aus dem Erdinneren sowie die mit dem versickernden Regenwasser in den Untergrund transportierte Sonnenenergie (Abbildung 1). Jahreszeitliche Änderungen der Sonneneinstrahlung können sich bis in eine Tiefe von 10 – 20 m auswirken. Der Transport der Wärmeenergie in Richtung auf die Erdwärmesonden erfolgt sowohl durch das strömende Grundwasser (das bei Strömungsgeschwindigkeiten von Zentimetern bis Dezimetern pro Tag einen effektiven Wärmetransport gewährleisten kann) als auch durch die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes.

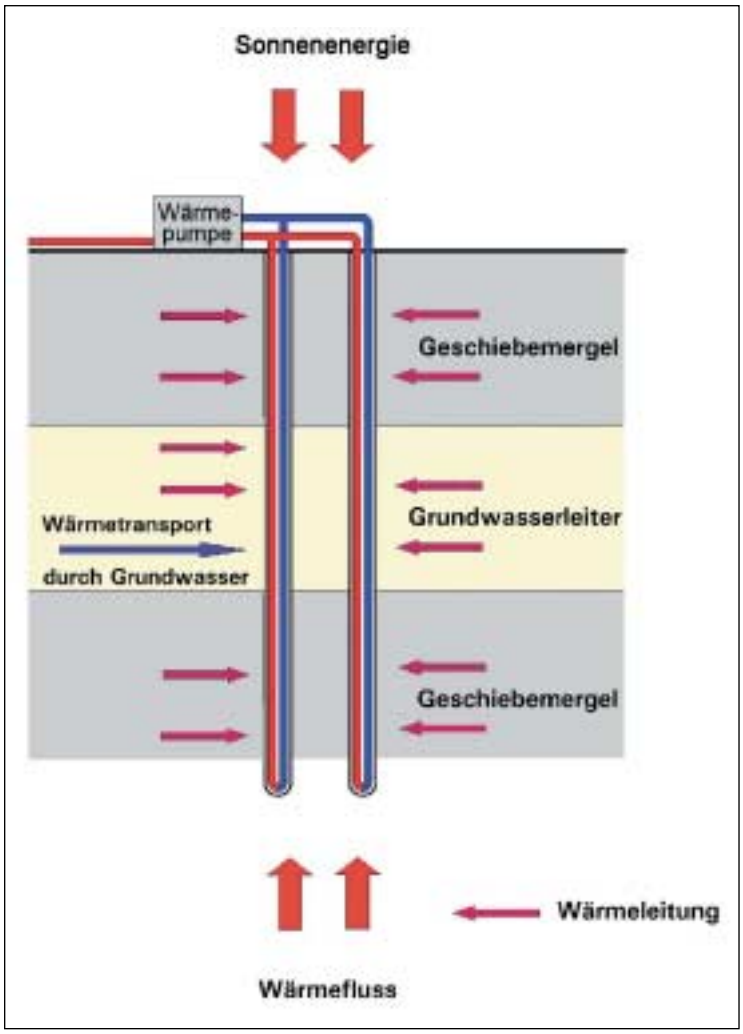


Abbildung 1: Wärmequellen der oberflächennahen Geothermie: Wärmestrom aus dem Erdinneren und Sonnenenergie, die durch Grund- und Niederschlagswasser transportiert wird

Die Untergrundtemperatur im Einsatzbereich von Erdwärmesonden beträgt 10 – 15 °C. Für Heizzwecke ist diese Temperatur nicht ausreichend, es ist daher der Einsatz einer Wärmepumpe erforderlich. In Abhängigkeit von der erforderlichen Heiztemperatur und der Temperatur des Arbeitsmediums der Erdwärmesonden beträgt die Leistungszahl der Wärmepumpe 3-4, das heißt am Ausgang der Wärmepumpe wird eine Wärmeleistung bereitgestellt, die dem 3 – 4 -fachen der Antriebsleistung der Wärmepumpe entspricht (siehe Kapitel „Was wir schon immer über Wärmepumpen wissen wollten"). Es müssen also etwa 80 % der benötigten Heizleistung über die Erdwärmesonden dem Untergrund entzogen werden.

Die erforderliche **Länge der Erdwärmesonden** richtet sich nach der benötigten Heizleistung und der Beschaffenheit des Untergrundes. Häufig wird überschlägig, ohne Berücksichtigung der Untergrundverhältnisse, eine dem Untergrund dauerhaft entziehbare Sondenleistung von 50 W/m angenommen. Dieser Wert liegt zwischen den Sondenleistungen, die einem sandigen Untergrund (55 – 65 W/m) oder einem aus Geschiebemergeln oder Tonen aufgebauten Untergrund (30 - 40 W/m) entnommen werden können (siehe unten). Da die Struktur des Untergrundes meistens nicht bekannt ist, wird aus Sicherheitsgründen die Sonde so dimensioniert, dass die gesamte benötigte Heizleistung, also einschließlich des Beitrags der Wärmepumpe, aus dem Untergrund gewonnen werden kann.

Diese Abschätzung hat sich, zumindest für die Einzelhausversorgung, bewährt. Es soll hier trotzdem der Versuch gemacht werden, Basisdaten über den Untergrund bereitzustellen, die eine Dimensionierung von Erdwärmesonden ermöglichen. Die Berücksichtigung der Untergrundverhältnisse ist vor allem für die Dimensionierung von Sondenfeldern zur Versorgung von Siedlungen oder größeren Gebäuden erforderlich.

Zur Ableitung der Effizienz von Erdwärmesonden dient die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundmaterials als Basis, wie es auch in der VDI-Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes" (VDI 1998 a,b) vorgesehen ist.

Ein möglicher Wärmetransport durch fließendes Grundwasser wird also nicht berücksichtigt, da der Grundwasserfluss in den jeweils von der Erdwärmesonde durchteuften Grundwasserleitern für eine konkrete Lokation höchstens im Einzelfall bekannt ist. Beschränkt man sich bei der Effizienzabschätzung auf den Wärmetransport durch Wärmeleitung, so befindet man sich in jedem Fall auf der sicheren Seite. Einer derartigen Beschränkung unterliegen auch die verfügbaren Modellierungsprogramme zur Berechnung des Temperaturfeldes im Untergrund (Huber & Pahud 1999), die für die Auslegung von Sondengalerien bei Großanlagen eingesetzt werden sollten.

Die Effizienz von Erdwärmesonden

Die Effizienz von Erdwärmesonden, das heißt die pro Meter Sondenlänge dem Untergrund entnehmbare Wärmeleistung, wird von der **Wärmeleitfähigkeit des Untergrundmaterials** bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit gibt den Wärmefluss (in Watt pro Meter) durch das Material bei einem vorgegebenen Temperaturgefälle (in Grad Kelvin, K) an. In dem bei uns von Erdwärmesonden erfassten Tiefenbereich sind Sand, Kies, Geschiebemergel (ein Gemisch aus Sand, Schluff und Ton) und Ton die vorherrschenden Untergrundmaterialien. Typische Werte für Wärmeleitfähigkeiten nach VDI (1998 a) sind 2,4 W/(mK) für wassergesättigte Sande, 2,0 W/(mK) für Geschiebemergel und 1,7 W/(mK) für wassergesättigte Tone. Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von trockenen Gesteinen ist die dem Untergrund entziehbare Wärmeleistung in der ungesättigten Zone oberhalb des Grundwasserspiegels deutlich vermindert.

Aus der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes kann für Erdwärmesonden (Tabelle 1) die mögliche **Wärmeleistung einer Erdwärmesonde** (in Watt pro Meter Sondenlänge) berechnet werden. Nach VDI (1998 b) beträgt diese Wärmeleistung bei wassergesättigten Sanden 55 – 65 W/m und bei Ton oder Lehm 30 - 40 W/m. Trockene Sande, also das Material oberhalb des Grundwasserspiegels, ermöglichen nur eine Wärmeleistung von maximal 20 W/m, was mit der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Luft im Porenraum erklärt werden kann.

Tabelle 1 Konfiguration von Erdwärmesonden zur Berechnung der Wärmeleistung aus der spezifischen Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds (VDI 1998 b):

• maximal 1.800 Jahresbetriebsstunden
• nur Wärmeentzug (Heizung einschließlich Heißwasserbereitung)
• Länge der einzelnen Erdwärmesonden zwischen 40 und 100 m
• kleinster Abstand zwischen 2 Erdwärmesonden: mindestens 5 m bei Erdwärmesondenlängen von 40 bis 50 m mindestens 6 m bei Erdwärmesondenlängen von > 50 bis 100 m

Ist also für den Bauplatz der Aufbau des Untergrundes (das heißt die Mächtigkeit der Schichten, die aus Sand oder Geschiebemergel bestehen) bekannt, so kann die effektive Wärmeleitfähigkeit sowie die effektive Wärmeleistung für Erdwärmesonden abgeleitet werden.

Planungskarten zur Dimensionierung von Erdwärmesonden

Der Untergrund Schleswig-Holsteins in dem von Erdwärmesonden genutzten Tiefenbereich ist durch die drei Eiszeiten (Elster-, Saale- und Weichseleiszeit) geprägt. Beim Abtauen der Gletscher wurden mächtige Sand- oder Geschiebemergelpakete abgelagert, die beim nächsten Gletschervorstoß teilweise wieder umgelagert oder aufgestaucht wurden. Als Konsequenz ist der Untergrund sehr uneinheitlich aufgebaut, wie der schematisierte geologische Schnitt in Abbildung 2 zeigt. Bohrungen an unterschiedlichen Lokationen entlang dieses Schnittes würden unterschiedliche Mächtigkeiten von Sanden und Geschiebemergeln und damit unterschiedliche Wärmeleistungen für Erdwärmesonden ergeben.

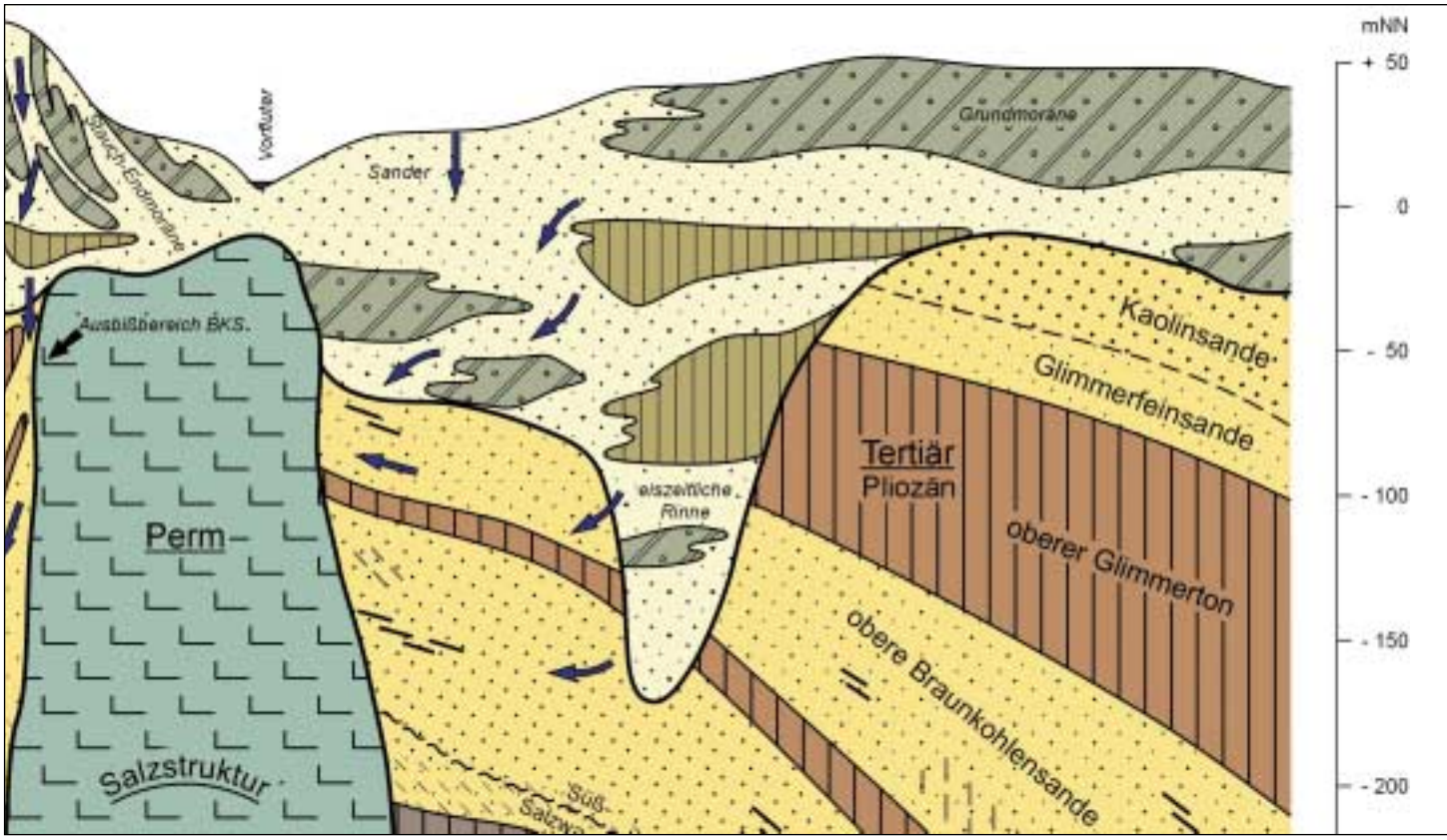


Abbildung 2: Schematisierter geologischer Schnitt

Für die Umsetzung der EG Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein wurden vom Landesamt für Natur und Umwelt, Abteilung Geologie/Boden, sämtliche verfügbaren Grundwasserbohrungen neu ausgewertet und die Ergebnisse in einer Datenbank zusammengefasst. Der Gesamtdatenbestand beträgt 30.000 Bohrungen. Diese Bohrungen sind allerdings ungleichmäßig verteilt, einer größeren Bohrungsdichte in den Ballungsräumen steht nur eine geringere Anzahl von Bohrungen zum Beispiel in Teilen der Westküste gegenüber (Abbildung 3).

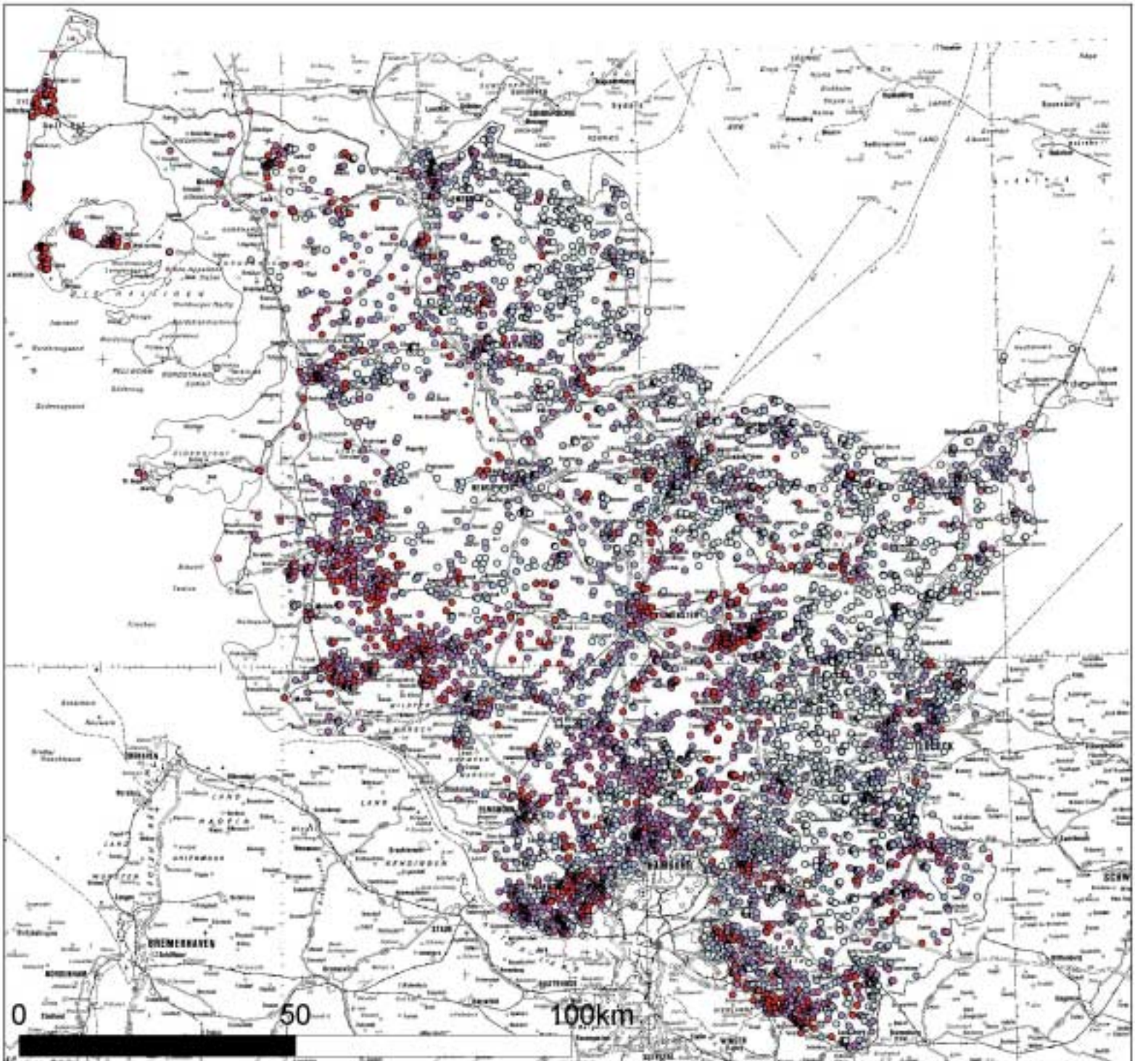


Abbildung 3: Wasserbohrungen mit Teufen von über 50 m in Schleswig-Holstein, Kartengrundlage: Rasterdaten TÜK200, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Die Farbskalierung spiegelt die relative Sandmächtigkeit wider.

Aus diesem Datenbestand sind 2 Planungskarten für die Dimensionierung von Erdwärmesonden abgeleitet worden. Dargestellt ist, auf 2 Blättern jeweils für die Tiefenbereiche 0 – 50 m und 0 – 100 m, der prozentuale Anteil der Sandlagen bis zur Maximaltiefe. Als Ausschnitt hieraus ist in Abbildung 4 der Raum Eckernförde – Kiel – Neumünster gezeigt.

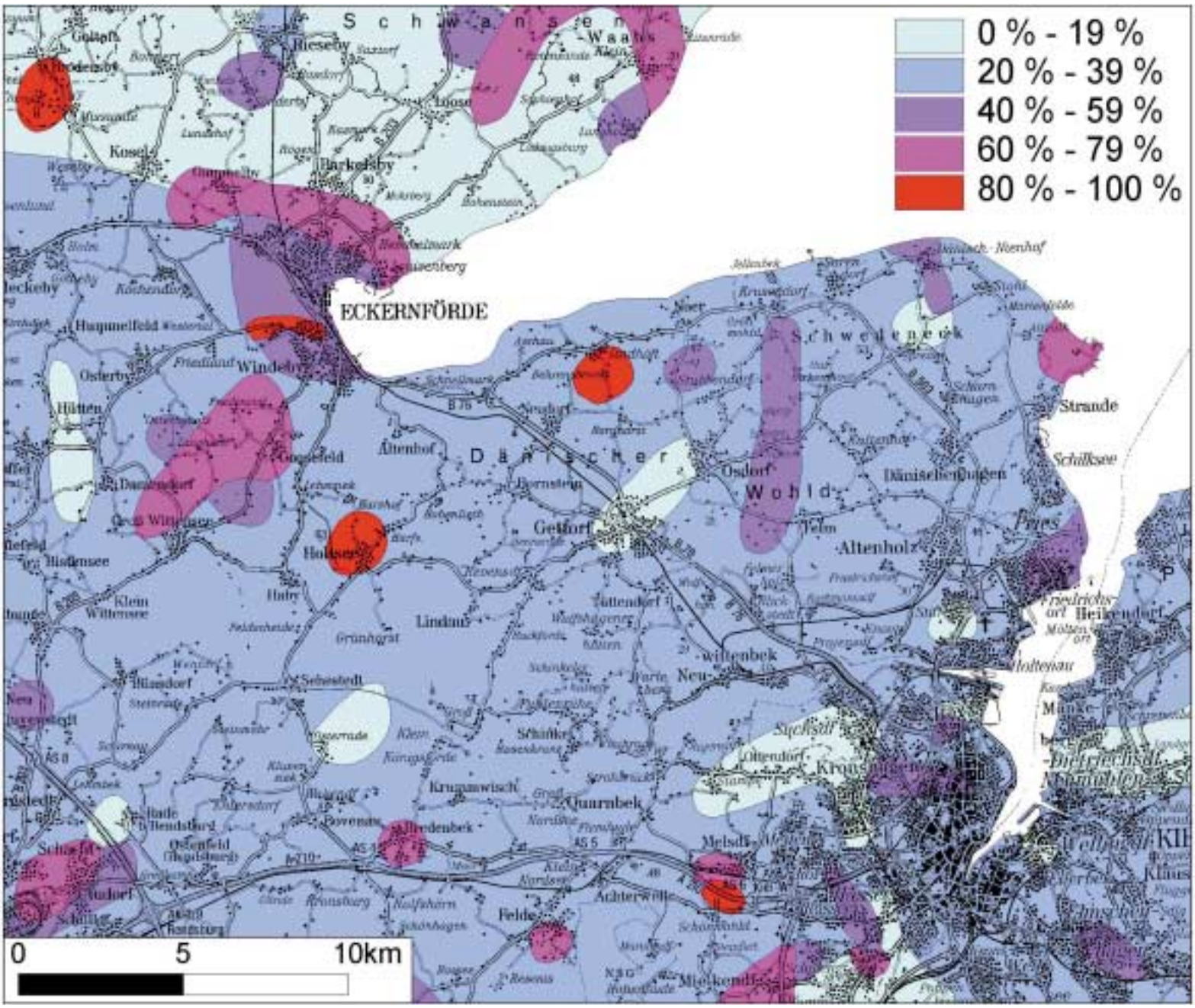
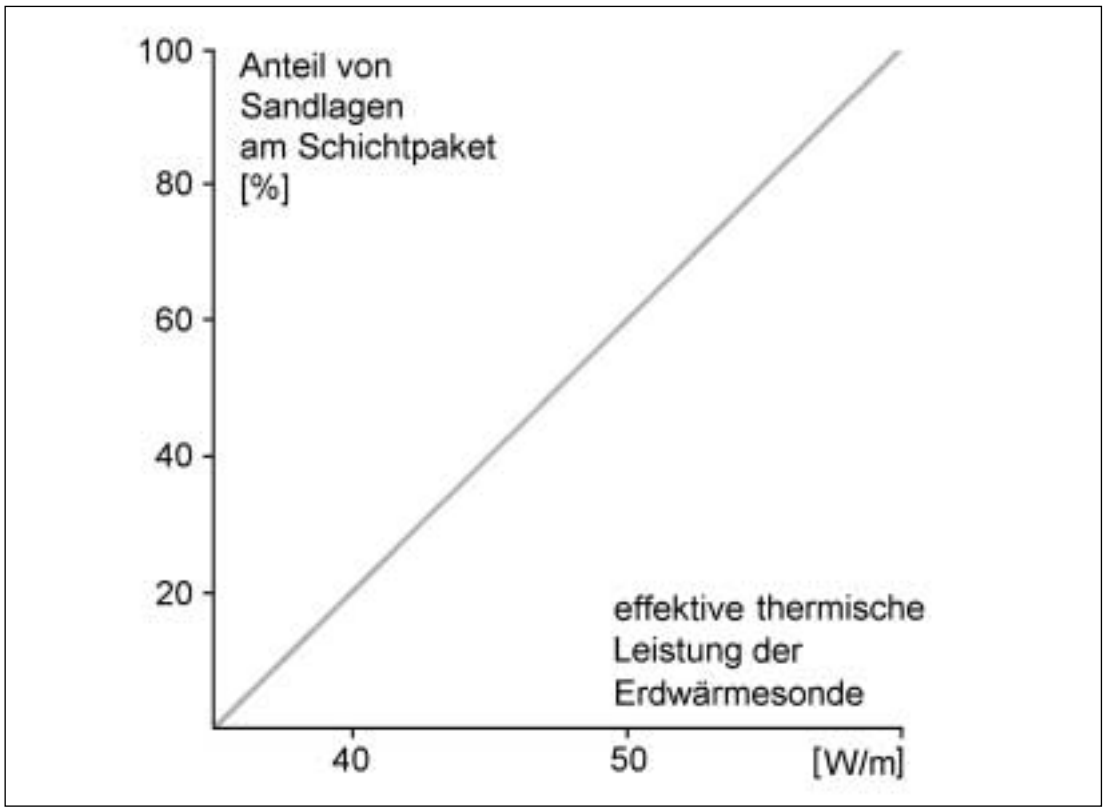


Abbildung 4: Ausschnitt aus der Planungskarte für oberflächennahe Geothermie, dargestellt ist die prozentuale Sandmächtigkeit der obersten 100 m, Kartengrundlage: Rasterdaten TÜK200, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Die Anwendungsmöglichkeit der Planungskarte soll am **Beispiel** einer geothermischen Versorgung eines Einfamilienhauses in **Dänisch-Nienhof**, Kreis Rendsburg-Eckernförde, gezeigt werden. Als erforderliche Heizleistung werden 6 kW angenommen. Bei Einsatz einer Wärmepumpe (Leistungszahl 3) müssen hiervon 67 %, also 4.0 kW, vom Untergrund geliefert werden. Die prozentuale Sandmächtigkeit bis zur Tiefe von 100 m beträgt in Teilen von Dänisch-Nienhof 40 – 60 %, wobei aus Sicherheitsgründen 40 % angenommen werden. Nach Abbildung 5 lässt sich eine effektive Wärmeleistung von 45 W/m ableiten. Für die Erdwärmesonde ist also eine Gesamtlänge von 90 m erforderlich.

Abbildung 5: Wärmeleistung einer Erdwärmesonde in Abhängigkeit von der prozentualen Sandmächtigkeit des Untergrundes



Es muss aber berücksichtigt werden, dass der Tiefenbereich oberhalb des Grundwasserspiegels aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit nur einen geringen Beitrag zum Wärmegewinn liefert. Die Geländehöhe in Dänisch-Nienhof beträgt circa 30 m, so dass von einem **Grundwasserflurabstand** von etwa 10 m ausgegangen werden kann. Um diesen Betrag sollte die Sondenlänge erhöht werden.

Der Grundwasserflurabstand kann im allgemeinen aus der Geländehöhe abgeschätzt werde, als Näherungswert wird angenommen: ein Grundwasserflurabstand von 10 m bei Geländehöhen von 10 - 40 m, von 15 m bei Geländehöhen von 40 - 60 m sowie von 20 m bei Geländehöhen von über 60 m. Den exakten Wert erhält man, wenn in der Nähe Bohrungen (zum Beispiel für Haus- oder Feuerlöschbrunnen) vorhanden sind und dort der Grundwasserflurabstand gemessen wurde.

Ergibt sich aus der Planungskarte für den Tiefenbereich von 0 – 50 m eine günstigere effektive Wärmeleistung, so heißt das, dass sich Sandlagen hauptsächlich im oberflächennahen Bereich befinden und in größeren Tiefen Geschiebemergel oder Ton vorherrscht. In einem solchen Fall kann es günstiger sein, die erforderliche Sondenlänge auf 2 oder mehr flachere Bohrungen zu verteilen, wobei aber der jetzt doppelt oder mehrfach anfallende Abstand zum Grundwasserspiegel berücksichtigt werden muss.

Die Planungskarten im Maßstab 1: 250 000 sind im Internet auf der LANU-Homepage **www.lanu-sh.de** verfügbar. Für weitere Fragen zur Dimensionierung von Erdwärmesonden stehen Ihnen die Autoren gerne zur Verfügung.

Literatur

Huber, A., Pahud, D. (1999): Untiefe Geothermie: Woher kommt die Energie? – Bundesamt für Energie, Programm Geothermie, Bern

Verein Deutscher Ingenieure (1998a): Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. – VDI Richtlinie 4640, Düsseldorf

Verein Deutscher Ingenieure (1998b): Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. – VDI Richtlinie 4640, Düsseldorf

Was tut sich in Schleswig-Holstein?

➢ **Reinhard Kirsch, Thomas Liebsch-Dörschner**

Projekte zur Hydrothermalen Energieversorgung konnten trotz teilweise günstiger Rahmenbedingungen bis jetzt in Schleswig-Holstein leider noch nicht realisiert werden. Anders sieht es bei der **Oberflächennahen Geothermie** aus. Bereits seit der „Ölkrise“ 1973 wurden erdgekoppelte Wärmepumpen für die Einzelhausversorgung installiert, die zum Teil immer noch störungsfrei in Betrieb sind. Bohr- und Installationsarbeiten für Erdwärmesonden gehören mittlerweile zum Standardgeschäft für Brunnenbauer bei uns im Lande.

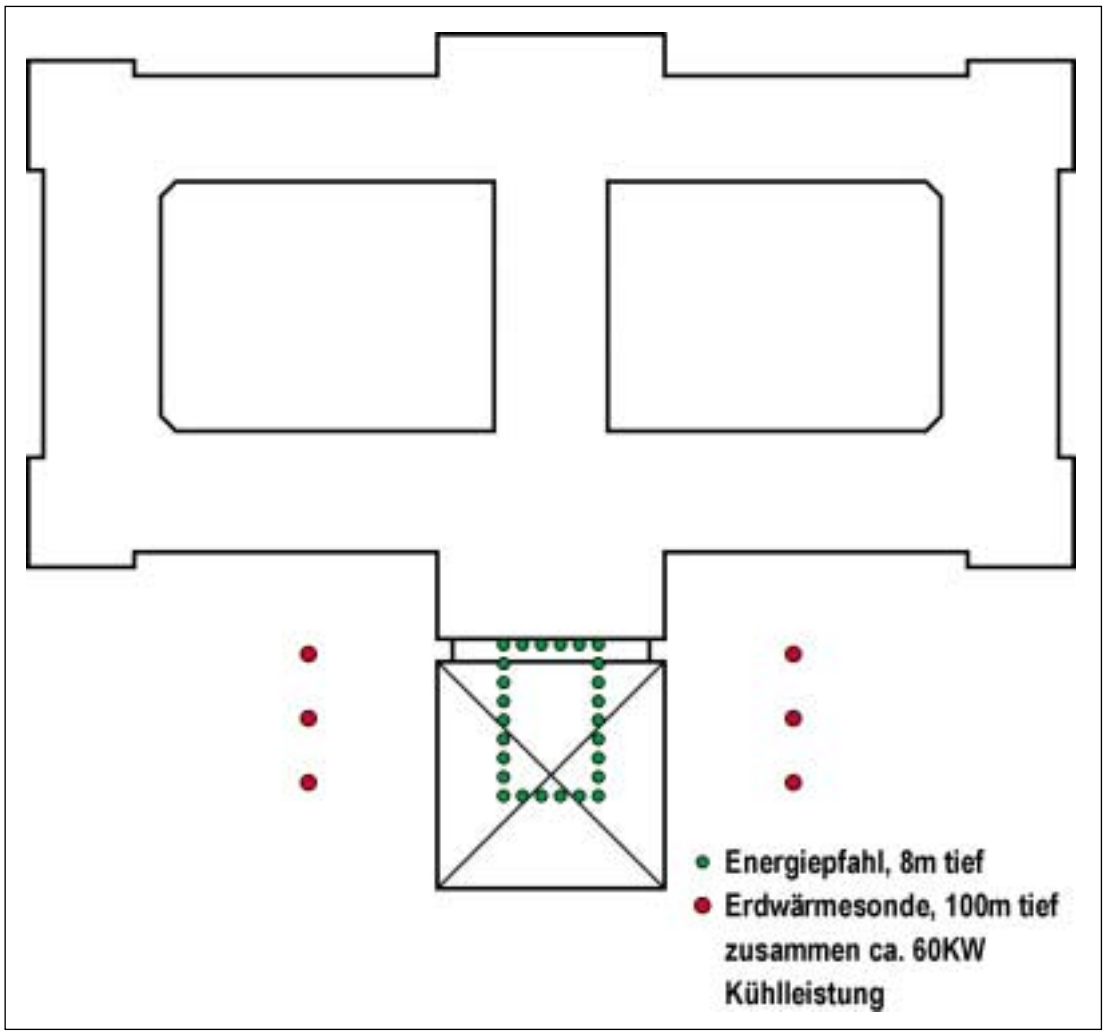
Im Folgenden sollen einige Projekte zur geothermischen Wärme- oder Kälteversorgung größerer Gebäude vorgestellt werden. Diese Projekte sind zum Teil noch in der Planungsphase, zum Teil aber auch seit einigen Jahren erfolgreich in Betrieb.

1. Kiel – Plenarsaal des Schleswig-Holsteinischen Landtags

Der neue Plenarsaal des schleswig-holsteinischen Landtags ist mit einer vollverglasten Fassade (Abbildung 1) versehen, was eine Kühlung im Sommer erforderlich macht. Diese erfolgt geothermisch. Dazu wurden 31 Gründungspfähle von jeweils 8 m Tiefe mit Wärmetauschern versehen, zusätzlich wurden 8 Erdwärmesonden mit jeweils 100 m Länge installiert (Abbildung 2). Die erreichbare Kühlleistung beträgt 60 kW.

Abbildung 1: Neuer Plenarsaal des Schleswig-Holsteinischen Landtags (Foto: GMSH)

Abbildung 2: Anordnung der Erdwärmesonden beim Plenarsaal des Schleswig-Holsteinischen Landtags (Richter und Roggensack VDI, Kiel)



2. Rendsburg - Zentrum für Energie und Technik (ZET)

Die Beheizung des ZET in Rendsburg erfolgt über erdgekoppelte Wärmepumpen. Dazu wurde ein System von 24 Erdwärmesonden mit jeweils 100 m Länge gebohrt (Abbildung 3), die jeweils um 6 Meter versetzt angeordnet sind. Die Heizleistung von 108 kW wird durch 4 Wärmepumpen mit insgesamt 28 kW elektrischer Antriebsleistung bereitgestellt (Abbildung 4), die Leistungszahl der Wärmepumpen beträgt also 3,8. Durch die Wärmepumpen wird die durch die Erdwärmesonden zirkulierende Sole von 4 °C auf 0 °C abgekühlt. Die Heizwassertemperatur beträgt 35 °C. Das gesamte Wärmeversorgungssystem ist von der E.ON Hanse (Quickborn) errichtet worden.

Abbildung 3: Erdwärmesondenfeld am Zentrum für Energie und Technik ZET in Rendsburg (Foto: E.ON Hanse, Quickborn)

Abbildung 4: Wärmepumpenanlage zur Versorgung des Zentrums für Energie und Technik (Foto: E.ON Hanse, Quickborn)

3. Kiel – Neubau der Industrie- und Handelskammer

Für den Neubau der Industrie- und Handelskammer zu Kiel, der zur Zeit fertig gestellt wird, ist eine geothermische Raumkühlung (siehe Kapitel „Geothermisches Heizen und Kühlen von Verwaltungsgebäuden") vorgesehen. Die Wärmeabgabe an das Erdreich erfolgt durch einen Flächenkollektor unterhalb des Gebäudes (Abbildung 5) sowie durch Wärmetauscherrohre, die in die Bohrpfähle einer Bohrpfahlwand integriert sind (Abbildung 6). Die Bohrpfahlwand, die aufgrund der Hanglage des Grundstücks erforderlich ist, besteht aus 97 Einzelpfählen von 9 – 18 m Länge, von denen 47 mit Wärmetauschern bestückt sind. Zur Dimensionierung des Kühlsystems wurden Simulationsrechnungen von der Firma Transsolar Energietechnik GmbH (Stuttgart) durchgeführt. Es kann eine Kühlleistung von 60 kW erreicht werden.

Abbildung 5: Flächenkollektor und Bohrpfahlwand beim Neubau der IHK Kiel (Foto: Dr.-Ing. Bernd Kriegel Ingenieure GmbH, Kiel)

Abbildung 6: Sammelleitungen zu den Wärmetauschern in der Bohrpfahlwand bei der IHK Kiel (Foto: Dr.-Ing. Bernd Kriegel Ingenieure GmbH, Kiel)

4. Selent – Projekt Blomenburg, Technologiezentrum und Wohnbebauung

In Selent (Kreis Plön) entsteht im Bereich der historischen Blomenburg ein in 4 Einzelgebiete gegliedertes Siedlungsprojekt (Abbildung 7), bei dem eine geothermische Einzelhausversorgung vom Betreiber verbindlich vorgegeben ist. Für jedes der 208 geplanten Einfamilienhäuser wird eine 100 m tiefe Erdwärmesonde unterhalb des Gebäudes installiert. Die Wärmeleistung beträgt jeweils 9,9 kW, optional ist eine Kühlung im Sommer über die etwa 10 °C kalte Sole mit 7,6 kW Kälteleistung. Für den Hausbesitzer ist ein Wärmecontracting möglich, das heißt Installation und Betrieb von Erdwärmesonde und Wärmepumpe erfolgt durch den Projektbetreiber, der Hausbesitzer zahlt für die abgenommene Wärmeenergie.

Abbildung 7: geplante Wohnsiedlung Blomenburg mit Technologiezentrum in der Burganlage und Schmetterlingsgarten (Blomenburg GmbH, Selent)

Innerhalb der Blomenburg (Abbildung 8) ist ein Technologiezentrum geplant. Für die eigentliche Burganlage ist eine Wärmeleistung von 520 kW vorgesehen mit 54 Erdwärmesonden von jeweils 100 m Länge sowie weitere 180 kW für einen Anbau mit 26 Erdwärmesonden.

Abbildung 8: Blomenburg (Foto: Thomas Liebsch-Dörschner)

Zusätzlich wird im Burgpark der Schmetterlingsgarten „Farfalla“ entstehen. Aufgrund der dort erforderlichen tropischen Temperaturen ist eine Heizleistung von 80 kW erforderlich, wofür 12 Erdwärmesonden abgeteuft werden.

An einer Probebohrung wurde ein „thermal response test“ zur Bestimmung der thermischen Ergiebigkeit durchgeführt. Dabei ergab sich, dass für die Erdwärmesonden eine Entzugsleistung von 50 W/m dauerhaft realisiert werden kann.

Rechtliche Aspekte der Erdwärmenutzung

➢ **Thomas Liebsch-Dörschner**

Die Nutzung der Erdwärme unterliegt in Schleswig-Holstein, wie in anderen Ländern auch, den **wasserrechtlichen, bergrechtlichen und lagerstättenrechtlichen Anforderungen** und Vorschriften. Grundsätzlich sollten sich potenzielle Nutzer von Erdwärme rechtzeitig vor Beginn der Maßnahmen mit den zuständigen Wasserbehörden der Kreise beziehungsweise kreisfreien Städte oder dem Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld in Verbindung setzen und sich dort beraten lassen. Darüber hinaus kann bei grundsätzlichen Fragen auch das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein Hilfestellung geben.

Im Folgenden werden kurz die Kernpunkte der jeweiligen Rechtsbereiche dargestellt.

Wasserrecht
Grundsätzlich ist Jedermann nach § 1a Abs. 2 **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** dazu verpflichtet, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten. Bei der wasserrechtlichen Behandlung der Erdwärmenutzung wird zwischen Anlagen mit Erdwärmesonden und Anlagen mit Grundwasserwärmepumpen unterschieden.

Anlagen mit Erdwärmesonden bestehen aus einem geschlossenen Kreislauf mit vertikalen Bohrungen bis 100 m Tiefe und einer Wärmepumpeneinheit. Beim Betrieb wird Grundwasser weder entnommen noch eingeleitet. Auf Grund derzeitiger Erkenntnisse stellt generell der Betrieb von Erdwärmesonden keine Gewässerbenutzung dar. Jedoch kann auf Grund der jeweiligen Anlagenkonfiguration im Einzelfall eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich werden.

Unabhängig von der Frage der Gewässerbenutzung liegt mit jeder Bohrung ein Erdaufschluss vor. Die Bohrungen sind der zuständigen Unteren Wasserbehörde gemäß § 7 Abs. 2 **Landeswassergesetz (LWG)** rechtzeitig vor Beginn der Bauarbeiten mit Lageplan, Zieltiefe und der Anlagenkonfiguration anzuzeigen. Nach Beurteilung der Anzeige durch die Wasserbehörde können im Einzelfall, insbesondere wenn mehrere Grundwasserstockwerke

erbohrt werden, die Arbeiten untersagt oder ein wasserrechtliches Verfahren durchgeführt werden.

Hinsichtlich des Betriebes der Anlage sind mehrere Maßnahmen zur Gefahrenabwehr gemäß § 110 Abs. 1 Landeswassergesetz (LWG) erforderlich. Einwandige Anlagen oder Anlagenteile im Boden oder Grundwasser dürfen nur nicht wassergefährdende Stoffe oder wassergefährdende Stoffe der Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) als Wärmeträgermittel mit einem maßgebenden Volumen von bis zu 450 Litern enthalten. Die Anlage ist mit einer zu überwachenden Leckageüberwachungseinrichtung zu versehen. Bei Undichtigkeiten ist die Wärmeträgerflüssigkeit unverzüglich aus dem System zu entfernen. Größere Anlagen bedürfen der wasserrechtlichen Zulassung.

Anlagen mit Grundwasserwärmepumpen entnehmen Grundwasser über einen Förderbrunnen und leiten dies nach Wärmeentzug wieder ein. Der Betrieb dieser Anlagen bedarf einer wasserrechtlichen Erlaubnis. Zusätzlich sind die jeweiligen Erdaufschlüsse anzuzeigen.

Sofern mehrere Grundwasserstockwerke durchteuft werden, muss das Bohrloch komplett von unten nach oben mit einer Ton-Zement Suspension, die dauerhaft dicht und beständig ist, verpresst werden. Dabei sollen zum Schutz des Grundwassers nur Zemente mit Chromatreduzierung eingesetzt werden.

Inwieweit in Wasserschutzgebieten eine Erdwärmenutzung zugelassen wird, ergibt sich aus den jeweiligen Wasserschutzgebietsverordnungen. In Abhängigkeit von den definierten Schutzzonen können weitere Anforderungen an die Anlage und an die Bohrungen gestellt werden, sofern eine Erdwärmenutzung nicht ohnehin untersagt ist.

Bergrecht
Nach § 3 Abs. 3 Satz 2 **Bundesberggesetz (BBergG)** gilt Erdwärme (im engeren Sinne) und die im Zusammenhang mit ihrer Gewinnung auftretenden anderen Energien als bergfreier Bodenschatz. Der bergrechtliche Begriff „Erdwärme“ orientiert sich dabei an der Definition des synonymen Begriffs „Geothermische Energie“ in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1. **Bergfrei** bedeutet, dass sich das Eigentum an einem Grundstück nicht auf dort eventuell vorhandene Bodenschätze erstreckt. Grundsätzlich bedarf also derjenige, der Erdwärme aufsuchen und gewinnen will, einer Bergbauberechtigung (Erlaubnis, Bewilligung, Bergwerkseigentum). Diese Berechtigung muss beim für Schleswig-Holstein zuständigen Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld beantragt werden.

Lediglich in zwei **Ausnahmefällen** ist das Bergrecht und damit die Zuständigkeit des Landesbergamtes nicht gegeben:

- Betriebe, die bei Inkraftsetzen des Bundesberggesetzes bereits Erdwärme gewonnen haben und diese Wärme zu Bade- und Heilzwecken nutzen.
- Nicht-gewerbliches Lösen und Freisetzen von Erdwärme in einem Grundstück aus Anlass oder im Zusammenhang mit dessen baulicher Nutzung (zum Beispiel Einsatz von Wärmepumpen zur Beheizung eines Einfamilienhauses).

„Mehr als 100 m tief“
Unabhängig von dem Verfahren zur Erlangung einer Bergbauberechtigung ist gemäß § 127 Abs. 1 Bundesberggesetz jede Bohrung, die tiefer als 100 m in den Untergrund eindringen soll, dem Landesbergamt anzuzeigen. Das Landesbergamt entscheidet dann über die Notwendigkeit weitergehender bergrechtlicher Verfahren (Betriebsplanverfahren) zur Bohrung.

Im Zusammenhang mit der oben genannten Ausnahmeregelung ist davon auszugehen, dass die „private“ Nutzung von Erdwärme mit Bohrungen, die bis zu 100 m tief sind, auf dem eigenen Grundstück nicht dem Bergrecht unterliegt. Voraussetzung ist allerdings, dass keine gewerbliche Nutzung der Erdwärme über das Grundstück hinaus erfolgt und benachbarte Grundstücke von der Nutzung nicht betroffen sind. Spezielle Konstellationen von nicht-gewerblicher Nutzung der Erdwärme mit Bohrungen tiefer 100 m bleiben der Einzelfallprüfung vorbehalten. Sollte keine bergrechtliche Relevanz vorliegen, sind auf jeden Fall die wasserrechtlichen Bestimmungen zu berücksichtigen.

Begrenzung der Erlaubnis- und Bewilligungsfelder
Zur weiteren Differenzierung im Zusammenhang mit der Nutzung von Erdwärme hat der Bund-Länder-Ausschuss Bergbau (Schulz 2003) in einem Bericht „Kriterien für die Bemessung von Bergbauberechtigungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme“ erarbeitet. Die Kriterienzusammenstellung soll ein bundesweit einheitliches Vorgehen gewährleisten und bietet sowohl für den potenziellen Antragsteller als auch für die bergbehördliche Prüfung und Bearbeitung eine

Hilfestellung. In dem Bericht werden die Kriterien für die verschiedenen geothermischen Anlagensysteme zusammengestellt. Deshalb soll hier nur kurz auf einige Details hingewiesen werden.

Zur Erlangung einer Aufsuchungserlaubnis für ein Geothermie-Projekt muss der Antragsteller der Bergbehörde ein ausreichendes Arbeitsprogramm, nach dem das Erlaubnisfeld zu bemessen ist, darlegen. Als Abgrenzungskriterien für das Feld können zum Beispiel die Lage seismischer Profile, Lokationen für geplante Bohrungen inklusive Alternativstandorten oder Gebiete geowissenschaftlicher Untersuchungen dienen.

Für die Bemessung des Bewilligungsfeldes sind als hauptsächliche Kriterien der zu erwartende Abkühlungsbereich und hydraulische Absenktrichter zu benennen. Gerade bei Systemen mit Dublettenbetrieb (Produktions- und Injektionsbrunnen) hat der Betreiber selbst das Interesse, die Langlebigkeit der Anlage und damit die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Deshalb sind Prognosen (Modelle) des zeitlichen und räumlichen Verlaufs des Abkühlungskörpers beziehungsweise zum räumlichen Verlauf des Absenktrichters unerlässlich.

Geothermische Mehrfachnutzung in einem Feld?

Die Erdwärmenutzung kann mit verschiedenen Techniken in unterschiedlichen Tiefen erfolgen. Vorstellbar ist eine Konstellation, in der in einem Stadtteilgebiet eine Einfamilienhaussiedlung durch eine oberflächennahe geothermische Anlage mit Erdwärmesonden bis 250 m versorgt wird und gleichzeitig ein Erdwärmekraftwerk mittels des Hot-Dry-Rock Prinzips mit Tiefen von 4.000 m Strom produziert. Die beiden Projekte könnten bei entsprechenden geologischen und technischen Voraussetzungen gleichzeitig und ohne gegenseitige Beeinflussung betrieben werden.

Nach Bergrecht ist mit der Erteilung der Bewilligung auf die Gewinnung von Erdwärme eine Erschließung von Erdwärme durch Dritte im selben Bewilligungsfeld ausgeschlossen. Das heißt, dass derjenige, der zuerst ein Bewilligungsfeld zuerkannt bekommt, das alleinige Recht der Erdwärmegewinnung besitzt. Ein Ausweg aus dieser Situation könnte eine privatrechtliche Einigung der verschiedenen Nutzungsinteressenten oder Antragsteller sein. Eine gleichzeitige Gewinnung aus unterschiedlichen Horizonten wäre dann mit Zustimmung des sogenannten Berechtigungsinhabers möglich.

Anzeige nach Lagerstättengesetz

Nach dem Lagerstättengesetz sind alle maschinenbetriebenen Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen der zuständigen geologischen Landesanstalt anzuzeigen. Für Schleswig-Holstein ist die zuständige geologische Landesanstalt das Landesamt für Natur und Umwelt. Die Anzeige bei Bohrungen beinhaltet den Lageplan und die geologischen Schichtenverzeichnisse beziehungsweise sonstige Untersuchungsergebnisse, die im Zusammenhang mit der Bohrung stehen. Die Anzeige bei geophysikalischen Untersuchungen beinhaltet die Gebietsangabe (Lageplan), das Verfahren und den Umfang der Messungen sowie deren Ergebnisse.

Literaturhinweise

BUNDESBERGGESETZ (BBergG) vom 13. August 1980 (BGBL. I S. 1310) – zuletzt geändert durch das Gesetz vom 13. Mai 2002 (BGBL. I S. 1582)

GESETZ ZUR DURCHFORSCHUNG DES REICHSGEBIETES NACH NUTZBAREN LAGERSTÄTTEN (Lagerstättengesetz) vom 4. Dezember 1934, zuletzt geändert am 10.11.2001

GESETZ ZUR ORDNUNG DES WASSERHAUSHALTS (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 19. August 2002 (BGBL. I S. 3246)

LANDESWASSERGESETZ - Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein in der Fassung vom 6. Januar 2004. GVOBl. Schl.-H. 2004, S. 8

SCHULZ, R. (2003): Bergrecht und Erdwärme - Gesichtspunkte zur Bemessung von Erlaubnis- und Bewilligungsfeldern. - Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung, 40/2003, S. 9-16

Fördermöglichkeiten für die Nutzung geothermischer Energie

➢ **Claudia Thomsen**

Für die Markteinführung von geothermischen Anlagen sind verschiedene finanzielle Fördermöglichkeiten vorhanden, die den Kostenunterschied zu den konventionellen Formen der Energiebereitstellung verringern helfen. Hierzu kommen in erster Linie öffentliche Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene sowie gesetzliche Regelungen wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Betracht.
Folgende Instrumente zur Förderung stehen hierbei zur Verfügung:

- Investitionskostenzuschüsse
- Verbilligte Darlehen
- Betriebskostenzuschüsse beziehungsweise Einspeisevergütungen

Im **Internet** können die Förderprogramme mit ihren Richtlinien eingesehen werden. Dazu bieten die Förderdatenbanken von folgenden Webseiten einen umfassenden Überblick und zumeist auch Antragsformulare zum Downloaden an:

www.bmwi.de
www.kfw.de
www.bine.info
www.ib-sh.de

Für jeden Antragsteller sind einige wichtige Aspekte vor der Antragstellung zu beachten:

- **Rechtzeitige Antragstellung vor Beginn des Vorhabens**
  Die öffentliche Förderung soll eine Anreizwirkung haben. Daher werden Nachfinanzierungen, Umschuldungen usw. nicht gefördert.
  Die Haushaltsmittel sind in der Regel begrenzt und können bei starker Nachfrage vorzeitig erschöpft sein. Die Bearbeitungszeit von Förderanträgen ist zu berücksichtigen.

- **Information über aktuelle Konditionen und Förderbestimmungen der Programme**
  Häufig sind Förderprogramme befristet oder werden aktuellen Begebenheiten angepasst. Bei einigen Programmen besteht die Möglichkeit der Kumulierbarkeit der Fördermittel. In den Tabellen zu den einzelnen Förderprogrammen sind die Kontakt- und Ansprechpartner angegeben, die hierzu nähere Auskünfte geben können.

- **Angemessene Eigenfinanzierung des Vorhabens**
  Die öffentliche Förderung dient der Hilfe zur Selbsthilfe. Die Gesamtfinanzierung des Vorhabens muss nachweislich gesichert sein. Da grundsätzlich kein Rechtsanspruch auf Gewährung von öffentlichen Fördermitteln besteht, sollte einkalkuliert werden, dass unter Umständen keine Fördermittel fließen.

- **Exakte Einhaltung der Förderbedingungen**
  Die einzelnen Bestimmungen der Förderrichtlinien sind zu erfüllen.

- **Nachweis über die Verwendung der Fördermittel**
  Öffentliche Fördermittel dürfen nur für den festgelegten Zweck verwendet werden. Nach Abschluss der Maßnahme ist ein Verwendungsnachweis der Fördermittel zu erbringen.

Literatur

Industrie- und Handelskammer zu Kiel (2004): Finanzierungshilfen für das produzierende Gewerbe, Kiel

Förder-programm	**Förderrichtlinie Energieeinsparung** Schleswig-Holstein	**Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen im Energiebereich im Rahmen des Zukunftsinvestitions-Programms (ZIP)** Schleswig-Holstein
Fördergegenstand	Maßnahmen zur Energieeinsparung sowie zur **Anwendung und Nutzung erneuerbarer Energien,** sowie zur Anwendung innovativer Energie-technologien. Gefördert werden Pilot- und Demonstrationsvorhaben, sowie Programme, die primär die Einsparung von Energie zum Ziel haben (investive und nicht-investive Maßnahmen)	Förderfähig sind nach Ziffer 12 z.B. Maßnahmen aus dem Bereich **Geothermie** oder mit Wasserstoff betriebene Anlagen, soweit sie Entwicklungs-, Pilot- oder Demonstrationscharakter haben.
Art der Förderung	Anteilsfinanzierung durch nicht rückzahlbare **Zuschüsse**. Förderfähig sind sämtliche Ausgaben, die durch das geförderte Vorhaben verursacht werden und zur Erreichung des angestrebten Ziels erforderlich sind. Planungsmaßnahmen sowie Evaluationsdokumentationen und Verbreitung von Ergebnissen können mit bis zu 49%, in Ausnahmefällen mit bis zu 80% der Planungs- und Evaluierungskosten gefördert werden.	Die **Anteilfinanzierung** beträgt bis zu 30% der zuwendungsfähigen Ausgaben. Der max. Förderbetrag beträgt 100.000 € je Vorhaben; Ausnahmen sind in begründeten Fällen möglich. Bei Fördermöglichkeiten durch Dritte für die gleiche Maßnahme sind diese vorrangig in Anspruch zu nehmen. Die Kumulation mit Mitteln aus anderen Förderprogrammen des Landes oder der Energiestiftung SH ist nicht möglich.
Zielgruppe	Natürliche und juristische Personen des privaten Rechts und Träger öffentlicher Verwaltung	Natürliche und juristische Personen
Kontakt	Innovationsstiftung Schleswig-Holstein Dänische Straße 3-9 24103 Kiel E-Mail: **info@essh.de**	Investitionsbank Schleswig-Holstein Fleethörn 29/31 24103 Kiel E-Mail: **info@ib-sh.de** Maßnahmen nach Ziffer 12 sind mit dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr vor Bewilligung abzustimmen. E-Mail: **pressestelle@wimi.landsh.de** Die Richtlinie ist befristet bis zum 31.12.2006

Förder-programm	Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) Bund	Geowissenschaften – Sonderprogramm „Geotechnologien“ (Fachprogramm) Bund	Energieforschung und Energietechnik (Fachprogramm) Bund
Fördergegen-stand	Ziel des Marktanreizprogrammes ist es, die Marktdurchdringung von Technologien zur Erzeugung und Nutzung **erneuerbarer Energien** zu stärken und zur Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit beizutragen. Förderfähig ist die Errichtung von Anlagen zur Nutzung der **Tiefengeothermie** ohne Übernahme des Bohrrisikos	Forschungsgegenstand ist das „System Erde“, d.h. die ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse sowie deren Wechselwirkung zwischen den Teilsystemen Geosphäre, Kryosphäre und Hydrosphäre sowie Atmosphäre und Biosphäre. Für den Forschungsbereich Ressourcen und Geotechnologie werden u. a. **Alternative Energien (Geothermie)** gefördert	Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, die dazu beitragen, den Energiebedarf weiter zu senken, die Effizienz bei der Energieumwandlung zu erhöhen und rechtzeitig innovative technische Optionen – insbesondere **erneuerbare Energiequellen** – für eine zukunftsfähige Energieversorgung zu erschließen. Gefördert werden erneuerbare Energiequellen mit den Technologien u. a. der **Geothermie,** die bei der Nutzung von thermalem Tiefenwasser auf Grund langjähriger Förderung vielfach bereits nahezu wirtschaftlich eingesetzt wird, im Bereich der Hot-Dry-Rock-Technologie aber noch eine langfristige Forschungsaufgabe darstellt
Art der Förderung	Maßnahmen zur Errichtung von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie werden durch **Darlehen** aus Eigenmitteln der KfW und **Teilschulderlasse** gefördert. Nach Abschluss der Investition kann der Darlehensnehmer einen Schulderlass in Höhe eines Festbetrages erhalten: 103 €/kW errichteter Nennwertleistung, höchstens jedoch 1 Mio € je Anlage. Zusätzlicher Schulderlass bei Errichtung eines Wärmenetzes	Die Förderung erfolgt durch einen **nicht rückzahlbaren Zuschuss:** Bei der Förderung von Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft wird eine angemessene Eigenbeteiligung des Zuwendungsempfängers von i.d.R. mindestens 50% vorausgesetzt. Die tatsächliche Höhe der Förderung richtet sich nach der Höhe der entstandenen Kosten. Die Höhe des Zuschusses bei Vorhaben von Hochschulen oder außeruniversitären Forschungseinrichtungen richtet sich nach der Höhe der entstehenden Ausgaben	Die Förderung erfolgt durch einen **nicht rückzahlbaren Zuschuss.** Bei der Förderung von Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft wird eine angemessene Eigenbeteiligung des Zuwendungsempfängers von i.d.R. mindestens 50% vorausgesetzt. Die tatsächliche Höhe der Förderung richtet sich nach der Höhe der entstandenen Kosten. Die Höhe des Zuschusses bei Vorhaben von Hochschulen oder außeruniversitären Forschungseinrichtungen richtet sich nach der Höhe der entstehenden Ausgaben
Zielgruppe	Privatpersonen, Freiberufler, kleine und mittlere Unternehmen, Bildlungsein-richtungen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Verbände und Vereinigungen	Unternehmen, Hochschulen und außer-universitäre Forschungseinrichtungen. Die Antragsteller müssen über die notwendige fachliche Qualifikation und eine ausreichende Kapazität zur Durchführung ihres Vorhabens verfügen	Unternehmen, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Die Antragsteller müssen über die notwendige fachliche Qualifikation und eine ausreichende Kapazität zur Durchführung ihres Vorhabens verfügen
Kontakt	Bei Zuschüssen: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Frankfurter Straße 29-35 65760 Eschborn E-Mail: poststelle@bafa.de. Richtlinie ist befristet bis zum 31.12.2006	Projektträger Jülich (PTJ) Außenstelle Rostock-Warnemünde Seestraße 15 18119 Rostock-Warnemünde E-Mail: ptj.mgs@fz-juelich.de	Projektträger Jülich (PTJ) Außenstelle Rostock-Warnemünde Seestraße 15 18119 Rostock-Warnemünde E-Mail: ptj.mgs@fz-juelich.de

Förder-Programm	**KfW-Programm der Mittelstandsbank** Bund	**Erneuerbare Energiengesetz (EEG)** Bund	**BMU-Programm Demonstrationsvorhaben** Bund	**ERP-Umwelt – und Energiesparprogramm** Bund
Fördergegen-stand	Gefördert werden u.a. Investitionen zur effizienten Energieerzeugung und Nutzung **regenerativer Energiequellen**	Dieses Gesetz regelt die Abnahme und die Vergütung von Strom, der ausschließlich aus Wasserkraft, Windkraft, solarer Strahlungsenergie, **Geothermie,** Deponiegas, Klärgas, Grubengas oder aus Biomasse im Geltungsbereich dieses Gesetzes oder in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) gewonnen wird	Demonstrationsvorhaben in großtechnischem Maßstab, die aufzeigen, in welcher Weise fortschrittliche Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Verminderung von Umwelt-belastungen verwirklicht werden. Umweltschonende Produktions-verfahren (Integrierter Umweltschutz) werden mit Vorrang gefördert; u.a.: Energieeinsparung, rationelle Energieverwendung und **Nutzung erneuerbarer Energien** Umweltfreundliche Energie-versorgung und -verteilung	Das Programm dient der langfristigen Finanzierung von Umweltschutzmaßnahmen in Deutschland zu einem günstigen Festzinssatz. Insbesondere werden auch solche Investitionen gefördert, mit denen bereits die Entstehung von Umwelt-belastungen vermieden oder wesentlich vermindert wird. Hierzu zählen Maßnahmen zum Einsatz **regenerativer Energie-quellen**
Art der Förderung	**Darlehen**: Der Finanzierungsanteil beträgt i.d.R. bis zu 75% der förderfähigen Investitionskosten. Der Kreditbetrag beläuft sich i.d.R. auf 5 Mio €. Auszahlung 96%. Ausgeschlossen ist eine Kombination mit den KfW-Infrastrukturprogrammen	Für Strom aus Geothermie beträgt die **Vergütung:** bis einschließlich einer installierten elektrischen Leistung von 20 MW mind. 8,95 Cent/kWh Ab einer installierten elektrischen Leistung von 20 MW mind. 7,16 Cent/kWh. Auf Beschluss des Deutschen Bundestages (02.04.2004): Förderung von bis zu 15 Cent/kWh	**KfW-Darlehen mit Zinszuschuss** des BMU: bis zu 70 % der förderfähigen Kosten, ohne Höchstbetrag Das BMU verbilligt den Zinssatz i.d.R. in den ersten 5 Jahren um 5 Prozentpunkte. **Investitionszuschuss** bis zu 30 % der förderfähigen Kosten. Es muss begründet werden, warum der Zinszuschuss nicht ausreicht	Gewährt wird ein **Darlehen** • I.d.R. bis zu 50% der förderfähigen Investitionskosten • Bei kleinen und mittleren Unternehmen bis zu 75% der Investitionskosten. Höchstbetrag: in den alten Bundesländern max. 500.000 €; in den neuen Ländern u. Berlin max. 1 Mio €
Zielgruppe	In- und ausländische Unternehmen der gewerbl. Wirtschaft, Freiberufler, Betreiber- und Kooperationsmodelle und Unternehmen, an denen die öffentl. Hand, Kirchen oder karitative Organisationen beteiligt sind	Kommunen, öffentliche Einrichtungen, Privatpersonen, Unternehmen	Unternehmen, Kommunen, öffentliche Einrichtungen, sonstige natürliche und juristische Personen des privaten Rechts	In- und Ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sowie freiberuflich Tätige
Kontakt	Kreditanstalt für Wiederaufbau Postfach 111141 60046 Frankfurt E-Mail: **infocenter@kfw-mittelstandsbank.de**	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) E-Mail: **poststelle@bafa.de**	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) E-Mail: **presse@bmu.bund.de**	KfW Förderbank KfW Bankengruppe Palmengartenstraße 5-9 60325 Frankfurt am Main E-Mail: **iz@kfw.de**

Förder-programm	**KfW-Programm zur CO_2 Minderung** Bund	**KfW-CO2-Gebäudesanierungsprogramm** Bund	**KfW-Umweltprogramm** Bund
Fördergegen-stand	Maßnahmen an bestehenden und neuen Wohngebäuden zur Nutzung Erneuerbarer Energien einschließlich der unmittelbar durch die Nutzung der Anlage veranlassten Maßnahmen, und zwar die Installation von u.a. **Wärmepumpen und geothermischen Anlagen**	• Austausch von Standardöl- und Gaskesseln, die vor dem 1. Juni 1982 eingebaut wurden, durch Öl- oder Gas-Brennwertkessel in Kombination mit Solarkollektoranlagen oder durch Anlagen zur Nutzung von **Erneuerbaren Energien** (z. B. Biomasse und Umweltwärme) • Maßnahmen zur CO_2-Minderung	Gefördert werden Investitionen, die die **Umweltsituation** wesentlich **verbessern.** Zum 15. Juli 2003 wurden das DtA-Umweltprogramm u. das KfW-Umweltprogramm gebündelt. Alle bisherigen Finanzierungsmöglichkeiten bleiben dabei in vollem Umfang erhalten. Der maximale Finanzierungsanteil wurde unabhängig von der Umsatzgröße des antragstellenden Unternehmens einheitlich auf 75% der förderfähigen Kosten erhöht
Art der Förderung	Langfristige, zinsgünstige **Darlehen** mit Festzinssätzen und tilgungsfreien Anlaufjahren Förderung bis zu 100 % des Investitionsbetrages Bei gemeinsamer Finanzierung mit der Investitionsbank: weitere Zinsverbilligung um 0,15% p.a.	Förderung als **Darlehen** • Förderung maximal 80 € pro qm Wohnfläche • Im Maßnahmenpaket 4 werden bei einer CO_2-Einsparung von mindestens 35 kg pro qm Gebäudenutzfläche und Jahr maximal 200 € pro qm Wohnfl‰che und bei einer CO_2-Einsparung von mindestens 30 kg pro qm Gebäudenutzfläche und Jahr maximal 150 € pro qm Wohnfläche gefördert. Bei gemeinsamer Finanzierung mit der Investitions-bank: weitere Zinsverbilligung um 0,15% p.a .(bei max. Darlehensrate von 125.000 €)	Die Förderung wird als zinsgünstiges **Darlehen** gewährt. Der Finanzierungsanteil beträgt i.d.R. bis zu 75 % der förderfähigen Investitionskosten. Der Darlehens-höchstbetrag liegt i.d.R. bei max. 5 Mio. €. Die Kreditlaufzeit beträgt i.d.R. bis zu 10 Jahre bei höchstens zwei tilgungsfreien Anlaufjahren. Die Einräumung eines endfälligen Darlehens mit einer max. Laufzeit von 12 Jahren ist möglich
Zielgruppe	Privatpersonen, Wohnungsunternehmen, Wohnungsgenossenschaften, Gemeinden, Kreise, Gemeindeverbände, Sonstige Körperschaften	Privatpersonen, Wohnungsunternehmen, Wohnungsgenossenschaften, Gemeinden, Kreise, Gemeindeverbände, Sonstige Körperschaften	Antragsberechtigt sind in- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, freiberuflich T‰tige, Betreiber- und Kooperations-modelle (Public-Private-Partnerships) und Unternehmen, an denen die öffentliche Hand, Kirchen oder karitative Organisationen beteiligt sind
Kontakt	KfW Förderbank Palmengartenstraße 5-9 60325 Frankfurt am Main E-Mail: **iz@kfw.de**	KfW Förderbank Palmengartenstraße 5-9 60325 Frankfurt am Main E-Mail: **iz@kfw.de**	KfW Förderbank Palmengartenstraße 5-9 60325 Frankfurt am Main E-Mail: **iz@kfw.de**

Förder-programm	**KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“** Bund	**Nachhaltige Energiesysteme im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms** Europäische Union	**Intelligente Energien – Europa** Europäische Union
Fördergegen-stand	Infrastrukturmaßnahmen, die der Aufgaben-erfüllung von Gebietskörperschaften dienen. Bei Vorhaben, bei denen sowohl der Erwerb von Immobilien oder Anlagen als auch Neuinvestitionen anfallen, sind nur die Neuinvestitionen oder Sanierungs-maßnahmen förderfähig. Dazu gehören unter anderem **Energieeinsparung** und Umstellung auf **umweltfreundliche Energieträger**	Gefördert werden u.a. nachhaltige Energiesysteme Strategische Programmziele: • Reduzierung von Treibhaus- und Schadstoffgasen • Sicherung der Energieversorgung • verstärkter Einsatz **Erneuerbarer Energien**	Das Programm ist als Hauptinstrument der Gemeinschaft für die nichttechnologische Förderung im Energiebereich konzipiert. • Verbesserung der Energieeffizienz und rationelle Energieverwendung (SAVE) • Förderung neuer und **Erneuerbarer Energien** (ALTENER) • Unterstützung von Initiativen, die sämtliche energiespezifische Aspekte des Verkehrswesens betreffen (STEER) • Unterstützung von Initiativen zur Förderung **erneuerbarer Energien** und der Energieeffizienz (COOPENER)
Art der Förderung	• **Direktkredit:** Finanzierungsanteil bis zu 50 % der sonstigen Fremdmittel • **Bankdurchgeleiteter Kredit**: Finanzierungsanteil bis zu 75% der Gesamtinvestitionskosten. Kredithöchstbetrag i.d.R. 5 Mio € Kumulation ist möglich, aber keine Kombination mit KfW-Umweltprogramm sowie KfW-Mittelstandsprogramm	**Zuschüsse** unterschiedlich, je nach Forschungsprojekt	**Zuschüsse** bis zu 50 % der Gesamtkosten einer Maßnahme, in bestimmten Fällen wie bei Studien und sonstigen Aktionen, die Auswirkungen der Strategie und der politischen Maßnahmen der Gemeinschaft betreffen, bis zu 100% der anfallenden Kosten. Budget: 200 Mio €
Zielgruppe	Antragsberechtigt ist jeder, der in die kommunale Infrastruktur investiert.	Unternehmen, Institutionen, öffentliche Körperschaften und Forschungseinrichtungen	Öffentliche und private Rechtspersonen aus der EU
Kontakt	KfW Förderbank KfW Bankengruppe Palmengartenstraße 5-9 60325 Frankfurt am Main E-Mail: **iz@kfw.de** Befristet bis zum 31.12.2004	Forschungszentrum Jülich GmbH Projektträger Jülich (PTJ) Postfach 1913 52425 Jülich E-Mail: **d.peisker@fz-juelich.de** **j.ehlers@fz-juelich.de** Befristet bis zum 31.12.2006	Europäische Kommission Generaldirektion Energie und Verkehr 200, Rue de la Loi B-1049 Brüssel Befristet bis zum 31.12.2006 Informationen: Investitionsbank SH E-Mail: **info@ib-sh.de**

Autorinnen und Autoren

➢ **Dr. Gottfried Agster**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-527 (Fax: -502)
Email: **gagster@lanu.landsh.de**

➢ **Karen Bäzner**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 1, Allgemeine Dienste
Tel: 0 43 47 / 704-124 (Fax: -702)
Email: **kbaezner@lanu.landsh.de**

➢ **Dr. Sven Christensen**
Stellvertretender Direktor
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-501 (Fax: -502)
Email: **schriste@lanu.landsh.de**

➢ **Dr. Roland Gaschnitz**
Aix-o-therm GmbH
Beginenstr. 5, 52062 Aachen
Tel: 02 41 / 809-5690
Email: **gaschnitz@aixotherm.de**

➢ **Dr. Martin Hellmann**
Zent-Frenger
Gesellschaft für Gebäudetechnik mbH
Schwarzwaldstr. 2, 64646 Heppenheim
Tel: 0 62 52 / 7907-44 (Fax: -31)
Email: **martin.hellmann@zent-frenger.de**

➢ **Dr. Frank Kabus**
Geothermie Neubrandenburg GmbH
Lindenstr. 63, 17033 Neubrandenburg
Tel: 03 95 / 3677-40 (Fax: -411)
Email: **gtn@gtn-online.de**

➢ **Dr. Reinhard Kirsch**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-534 (Fax: -502)
Email: **rkirsch@lanu.landsh.de**

➢ **Dr. Thomas Liebsch-Dörschner**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-559 (Fax: -502)
Email: **tliebsch@lanu.landsh.de**

➢ **Dr. Broder Nommensen**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-528 (Fax: -502)
Email: **bnommens@lanu.landsh.de**

➢ **Wolfgang Scheer**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-525 (Fax: -502)
Email: **wscheer@lanu.landsh.de**

➢ **Dr. Paul-Friedrich Schenck**
ehemals Landesamt für Natur und Umwelt
des Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden

➢ **Claudia Thomsen**
Landesamt für Natur und Umwelt des
Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Abteilung 5, Geologie/Boden
Tel: 0 43 47 / 704-563 (Fax: -502)
Email: **cthomsen@lanu.landsh.de**