

Forschung für die Wärmewende in Hamburg Wilhelmsburg

Ein Artikel von Inga Moeck, Carsten Hansen, Herbert Achilles, Matthias Franz und Thomas-Tim Sävecke.

Hamburg ist nach München die nächste Millionenstadt in Deutschland, die zum Erreichen ihrer Klimaschutzziele auf die Wärmewende mit Geothermie setzen möchte. Dabei müssen innovative Energiekonzepte integriert werden, um langfristig eine vorwiegend regenerative und CO₂-neutrale Wärmeversorgung zu sozial verträglichen Preisen sicherzustellen. Ein Konsortium unter Führung des städtischen Energieversorgers Hamburg Energie beginnt mit der Umsetzung einer völlig neu konzipierten Wärmewende durch das Reallabor IW³ in Hamburg Wilhelmsburg, wo eine tiefe Geothermiebohrung abgeteuft werden soll. Die Bohrung wird von dem Forschungsprojekt mesoTherm flankiert. IW³ und mesoTherm werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

Schlüsselprojekte für die geothermische Entwicklung im Norddeutschen Becken:

Das Reallabor IW³ und mesoTherm

Das Reallabor IW³

IW³ ist ein „Reallabor der Energiewende“, das mit insgesamt rund 22,5 Millionen Euro vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) gefördert wird. Die Reallabore sind Teil des 7. Energieforschungsprogramms, mit dem die Bundesregierung Forschung und Entwicklung im Bereich zukunftsweisender Energietechnologien unterstützt. Sie sollen innovative Technologien und deren Zusammenspiel erproben, und das ganz konkret, im industriellen Maßstab und unter realen Bedingungen (www.iw3.de).

Ziel und zentraler Bestandteil des Reallabors „IW³ - Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg“ ist die Transformation des Hamburger Stadtteils Wilhelmsburg hin zu einer regenerativen Wärmeversorgung. (Abb. 1) Mit seinem starken Bevölkerungswachstum auf zukünftig ca. 70.000 Einwohner steht das Gebiet stellvertretend für die Entwicklung erfolgreicher Metropolregionen in Deutschland.

Neben bereits vorhandenen Erzeugern wie Solarthermie oder Industrieabwärme basiert das neue Konzept auf der Erschließung und Nutzung von natürlicher Energie aus der Tiefe: Erdwärme. Dazu wird im Wilhelmsburger Hafengebiet eine tiefe Geothermieanlage errichtet, die in das Wärmeverbundsystem von Wilhelmsburg einspeisen soll. Darüber hinaus ist ein saisonaler Speicher, ein sogenannter Aquifer-Wärmespeicher geplant. Ein digitaler Wärme-Marktplatz soll alle lokalen Energieerzeuger und Verbraucher bündeln und so eine kosteneffiziente wie klimafreundliche Versorgung von Gebäuden ermöglichen (Abb.1).

Daneben verfolgt das Projekt-Konsortium das übergeordnete Ziel, Grundlagen für den weiteren Ausbau der Geothermie in Norddeutschland zu schaffen. Dazu dient die enge Kooperation mit dem ebenfalls geförderten Verbundprojekt mesoTherm.

Hamburg Wilhelmsburg kann mit seinem integrierten Gesamtkonzept zur Wärmewende dabei als Pilotstandort zur einer modernen geothermischen Entwicklung in Großstädten Norddeutschlands angesehen werden. Mit dem Forschungsvorhaben innerhalb des IW³-Projektes werden im Zuge der ersten von zwei Geothermie-Bohrungen mehrere geologische Horizonte auf ihre Eignung überprüft, geothermische Wärme zu gewinnen oder zu speichern. Die wissenschaftliche Begleitung und die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf das Norddeutsche Becken sind Ziele des Forschungsvorhabens mesoTherm.

Übergeordnetes Ziel ist es, damit Grundlagen und Entwicklungsperspektiven für die Geothermie als integraler Bestandteil der Wärmewende in Norddeutschland bereitzustellen. Neue Erkundungsmethoden sollen entwickelt und das Fündigkeitsrisiko für hydrothermale Reservoirre reduziert werden.

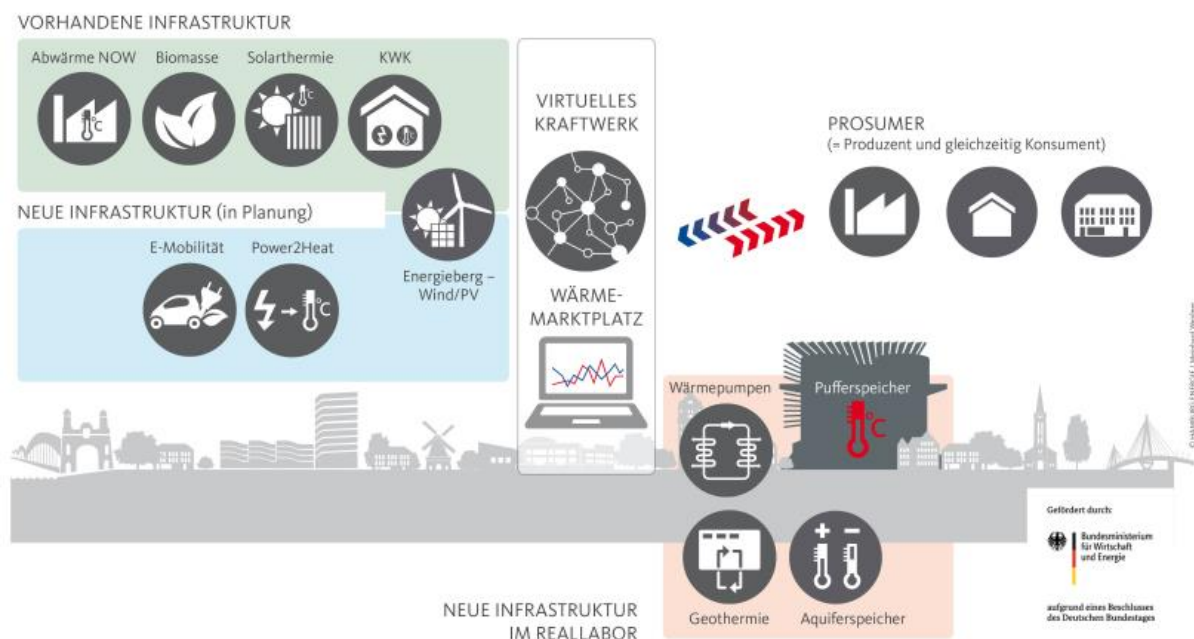


Abbildung 1: Gesamtkonzept des Reallabors Integrierte Wärmewende in Hamburg.

Das Verbundprojekt mesoTherm

Wie hoch ist das geothermische Potential im Norddeutschen Becken? Darauf haben die Forschungsprojekte Sandsteinfazies und GeoPoNND besonders für den östlichen Teil der norddeutschen Tiefebene eine Antwort gegeben. In diesen Projekten wurden einige der geothermischen Hauptreservoirre durch Neubewertung von Bestandsdaten so detailliert

charakterisiert und kartiert (Abb. 2), dass sich daraus Projekte wie Schwerin entwickeln konnten. Diese Art der Vorlaufforschung mit Bereitstellung der Ergebnisse im Geothermischen Informationssystem Deutschlands GeotIS (www.geotis.de) ist für die geothermische Entwicklung in Deutschland also ein großer Unterstützungsfaktor.

Für den westlichen Bereich des Norddeutschen Beckens ist diese Art der Reservoirbewertung allerdings noch nicht so vollzogen worden, dass sich daraus einzelne geothermische Standorte entwickeln können. Das will das Forschungsprojekt mesoTherm in Kooperation mit dem Hamburger Reallabor „IW³ - Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg“ ändern, beide Projekte sind dazu einen Forschungsverbund eingegangen, um Synergien in Forschung und Entwicklung zu nutzen.

Zentrales wissenschaftliches Ziel des Verbundprojekts mesoTherm ist die weitere Minimierung des Fündigkeitsrisikos der hydrothermalen Reservoirs in mittleren Tiefenlagen Norddeutschlands. Hierfür werden bislang noch nicht untersuchte geothermische Hauptreservoirs analysiert und in das bestehende Kartenwerk „Geothermische Reservoirs Norddeutschlands“ integriert (Abb. 2). Geologische Bestandsdaten aus dem tiefen Untergrund Norddeutschlands werden neu interpretiert, gerade im Hinblick auf die sogenannte Mitteltiefe Geothermie, daher der Name mesoTherm. Bei der Mitteltiefen Geothermie geht es darum, die energetische Nutzung mitteltiefer Reservoirs mit einer Hochleistungswärmepumpe zu ergänzen. Die Ergebnisse werden für die Öffentlichkeit im Geothermischen Informationssystem GeotIS bereitgestellt.

Im Zuge der Projektarbeiten werden neue Erkundungsmethoden getestet, bei denen seismische Daten durch maschinelles Lernen bearbeitet werden. Dabei geht es um Auswahl und Anwendung geeigneter Algorithmen des maschinellen Lernens in der Mustererkennung und Interpretation seismischer Attribute zur Detektion höffiger Rinnensysteme. Damit sollen fossile Flussrinnen in Bestandsdaten der 3D Seismik in bis zu 2.000 m Tiefe detektiert werden, um dann die automatisierte Mustererkennung an 2D Seismik zu testen. In diesen Flussrinnen lagern vorzugsweise Sandsteine, die ideale Reservoirs für die geothermische Nutzung darstellen können. Ob diese Reservoirs auch eine gute Aussicht auf Fündigkeit, also ausreichende Mengen an Thermalwasser enthalten, sollen Fündigkeitsprognosen klären, die speziell für diesen Reservoirtyp entwickelt werden sollen. Dazu werden geologische Daten neu bewertet und skalenübergreifend miteinander verrechnet.

Die Reservoircharakteristik und Fündigkeitsprognose sollen dann durch den direkten Reservoiraufschluss und das wissenschaftliche Begleitprogramm an der ersten Tiefbohrung in Hamburg-Wilhelmsburg validiert werden. Der Zusammenschluss der beiden Verbundprojekte zu einem Großverbund hat daher auch ein übergeordnetes Ziel, das mit den weißen Flecken im Kartenwerk geothermischer Reservoirs im GeotIS nur zu offensichtlich ist: Hamburg Energie teuft genau dort eine Bohrung ab, wo es keine oder unvollständige Bestandsdatensätze aus der

Kohlenwasserstoffindustrie gibt. Diese Datenlücken zu füllen und damit die Reservoirprognose für der Norddeutsche Becken verbessern, ist der Plan von IW³ und mesoTherm.

Das Verbundvorhaben mesoTherm wird federführend von der Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, zusammen mit der Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN) und dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) als assoziiertem Partner durchgeführt (www.sandsteinfazies.de).

Mesozoische Hauptreservoirre

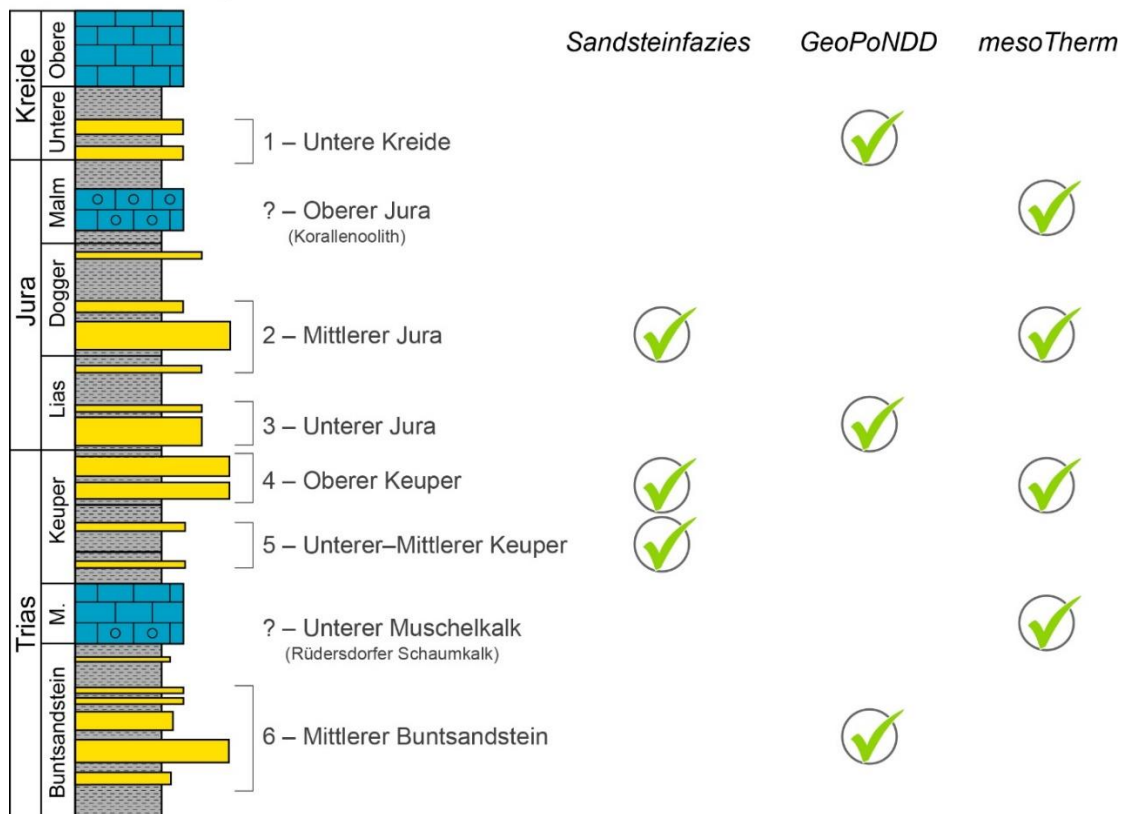


Abbildung 2: Bearbeitung der mesozoischen Hauptreservoirre in den vorangegangenen Forschungsprojekten Sandsteinfazies und GeoPoNDD und im aktuellen Forschungsprojekt mesoTherm.

Die Geothermiebohrung in Hamburg Wilhelmsburg

Das Abteufen der geothermischen Dublette ist ein zentraler Bestandteil von IW³ (Teilvorhaben IWu – geothermische Nutzung des urbanen Untergrunds). Die Schnittstelle zwischen IW³ und mesoTherm ist die erste Bohrung in Hamburg-Wilhelmsburg. Diese wird als Vertikalbohrung bis in das in ca. 3.400 m Tiefe erwartete Zielreservoir (Rhät-Sandsteine) abgeteuft. An dieser Bohrung werden im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung durch das Forschungskonsortium mesoTherm/Arbeitspaket 6 wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt. Nach Feststellung der Fündigkeit der ersten Bohrung soll im direkten Anschluss die zweite Bohrung abgeteuft

werden, die ab 2.000 m Teufe in Richtung Südost abgelenkt wird und bei Erreichen des Speicherhorizontes einen Abstand zur ersten von ca. 1.200 m erreichen soll.

Die Bohrlokation befindet sich im Randbereich einer ca. 190 m tiefen, elsterzeitlich entstandenen quartären Rinne (Wilhelmsburger Rinne). Die Rinne ist überwiegend mit quartären Sanden, sowie Beckenschluffen und Geschiebemergelschichten gefüllt. Unterhalb der Rinnen-/Quartärbasis folgen tertiäre Lockergesteine. Zunächst die für die Trinkwassergewinnung in Hamburg wichtigen Oberen und Unteren Braunkohlesande, die durch sogenannten Hamburger Ton getrennt sind. Unterhalb der Braunkohlesande folgen mächtige Tone und Schluffe des tieferen Miozäns und des Oligozäns, in die nahe der Basis des Oligozäns auch Tonmergel auftreten können. An der Basis des Oligozäns folgt mit den Neuengammer Gassand eine gering verfestigte Sandsteinschicht, deren Eigenschaften als potenziell geothermisch nutzbare Schicht untersucht werden sollen. Hierzu ist ein geophysikalisches Logging sowie ein Fluidlogging vorgesehen. Auf gleiche Weise sollen die innerhalb der eozänen Tonmergel- und Tonsteinserien liegenden Feinsandsteine der Glinde-Formation erkundet werden.

Die Tertiärbasis wird ca. 1.900 m TVD erwartet. Unterhalb folgen bis zu 600 m mächtige Kalksteine, Kalkmergel und Tonmergel der Kreide. Unterhalb der diskordant auflagernden Unterkreide folgen Tonsteine und Tonmergelsteinserien, in denen mit den Doggersandsteinen (Staufensis-Sandstein, oberes Lager; Sinon-Sandstein, unteres Lager) weitere potenziell geothermisch nutzbare Reservoirs erwartet werden. Neben einer ca. 100 m langen Kernstrecke sind hier ein umfassendes geophysikalisches Logging und ein Fluidlogging vorgesehen.

Unterhalb des Doggers folgen mächtige Tonsteine des Lias. Ausgehend von der Basis des Lias sollen Kernstrecken bis unterhalb des Zielhorizonts der Bohrung, den Rhät-Sandsteine gewonnen werden, um die Faziesentwicklung dieser für das Norddeutsche Becken so wichtigen Reservoirs optimal untersuchen zu können. Zusammenhänge zwischen der Reservoirgeologie und der Produktivität einer Bohrung werden durch einen umfangreichen hydraulischen Test erfasst, um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit zu treffen.

Die Bohrungsdaten dienen zudem der Verifizierung neuer seismischer Erkundungsmethoden mittels Künstlicher Intelligenz, die durch die Universität Göttingen durchgeführt werden. Die speziell für fluviale Rinnensysteme entwickelte Fündigkeitsprognose soll dann mit der Reservoircharakterisierung durch den direkten Reservoiraufschluss und das wissenschaftliche Begleitprogramm an der ersten Tiefbohrung in Hamburg-Wilhelmsburg validiert werden.

Ein neues Ampelsystem für Tiefbohrungen

Im Zuge der Bohrplanung wurde durch die Projektpartner ein geologisches Vorprofil erstellt. Nur so ist ein auf die geologische Prognose passfähiger bohrtechnischer Ausbauplan der Bohrung möglich. Für das Kernbohren wie für alle anderen operativen Arbeiten muss das geologisch-

technische Risiko eingeschätzt werden, um dann abzuwägen, in welcher Tiefe welche Maßnahmen mit welchen bohrtechnischen Parametern durchgeführt werden. Oberste Priorität hat die Standsicherheit der Bohrung, allerdings müssen die Forschungsziele ebenso erreicht werden können.

Insbesondere das Kernbohren ist verbunden mit bohrtechnischen Risiken wie Nachfall und Festwerden. Allein das Ziehen der Kerngarnitur kann einen Unterdruck in der Bohrlochsäule verursachen, der Bohrlochrandausbrüche, Nachfall und letztlich Festwerden bedeuten kann. Nach Forschungsplan soll eine kleinere Kernstrecke von etwa 100 m im Dogger gezogen werden, eine größere Kernstrecke von etwa 200 m soll im Rhätkeuper gezogen werden.

Um dieses und weitere operative Maßnahmen während des Bohrens vom geologisch-technischen Risiko richtig einschätzen zu können, wurden mehr als 20 Altbohrungen aus dem weiteren Umfeld Hamburg auf bohrtechnische Schwierigkeiten hin untersucht (Abb. 3).

Bei der Analyse der Bohrberichte stellten sich einige Formationen als besonders schwierig heraus. Obwohl die Bohrtechnik in den letzten 100 Jahren große Fortschritte gemacht hat, sind wenig konsolidierte Formationen häufig der Auslöser bohrtechnischer Schwierigkeiten. Um die geologisch bedingten bohrtechnischen Schwierigkeiten zusammenfassen und für die Bohrtechnik verwertbar zu machen, wurde ein Ampelsystem entwickelt, nach dem rote Farben besonders häufige bohrtechnische Schwierigkeiten bedeuten während grüne Farben keine bohrtechnischen Schwierigkeiten darstellen (Abb. 4).

Bohrtechnische Schwierigkeiten können Nachfall, Washouts, geringer Bohrfortschritt (ROP, d.h. Rate OF Penetration), Abrasivität oder quellende Tone sein. Mit der geologischen Zuordnung dieser Schwierigkeiten und Überführung in ein allgemein verständliches Ampelsystem kann das Bohrregime entsprechend eingestellt werden, um Havarien zu vermeiden.

Für das Kernbohren im Dogger wurde entschieden, die Mergel und Kreidekalke der Kreide zuerst durch Linereinbau zu stabilisieren um den sehr wahrscheinlichen Nachfall bei Kernbohren im Dogger zu umgehen. Für das Kernbohren im Rhätkeuper wird im unteren Lias abgesetzt, um die ebenfalls zu Nachfall neigenden Tonsteine des oberen Lias durch Linereinbau zu stabilisieren. So können ohne signifikantes Risiko die Forschungsziele erreicht werden, ohne die spätere wirtschaftliche Nutzung der Bohrung zu gefährden.

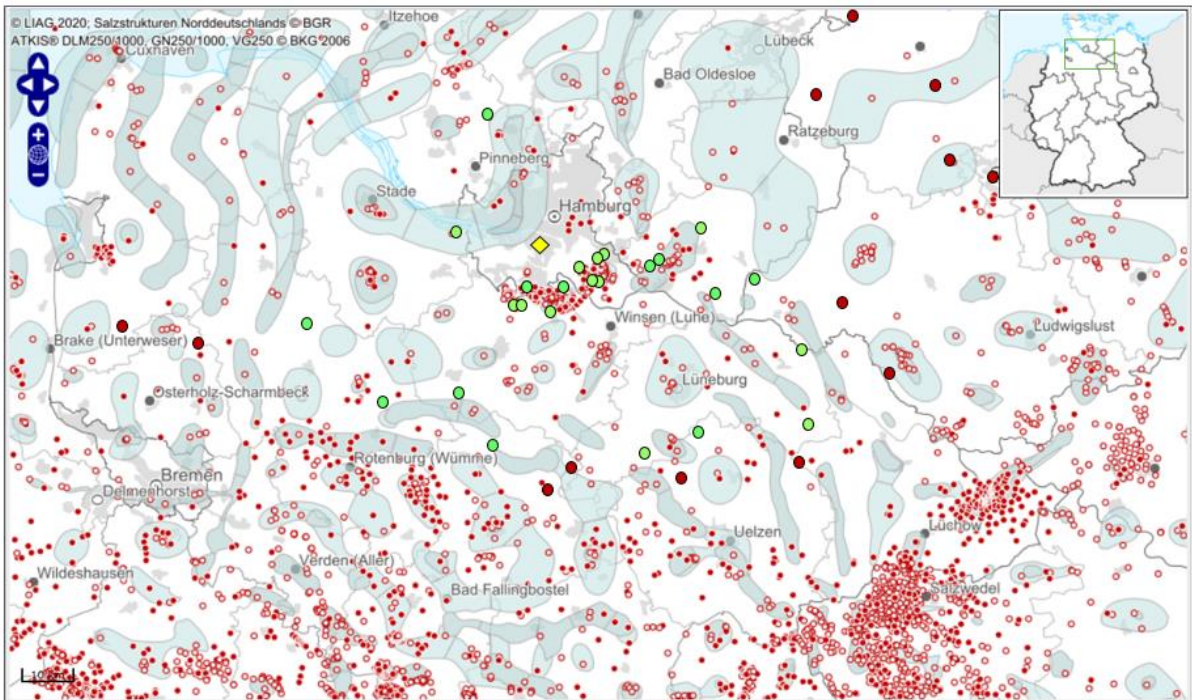


Abbildung 3: Karte der ausgewerteten Altbohrungen (grüne Punkte) vor dem Hintergrund der verfügbaren Altbohrungen (rote Punkte). Gelbe Raute: Standort der Bohrung Hamburg Wilhelmsburg, Hintergrundkarte aus GeotIS.

Bohrphasen	Petrograph. Bezeichnung & Beschaffenheit	Stratigraph. Stellung	Stratigraph. Stufe	Reservoir-horizonte	Stratigraphie Mächtigkeit in TVD m	Geologisch bedeutsame Bereiche	Beprobungs-frequenz, Kernstrecken
1. 220 m	Klei, Sand, Geschiebemergel	QUARTÄR	Pleistozän		192		↑ alle 10 m
2. 1150 m	Glimmerreicher humoser Sand Ton, Schluff Feinsand, Mergel Schluff, z.T. kohlig Braunkohlenton möglich	NEOGEN	Miozän		643	Harte Konkretionen	
3. 2500 m	Ton Septarienton Tonmergel Feinsandstein	PALÄOGEN	Oligozän		405	Drückende Tone (Septarienton)	
	Feinstandstein, Tonstein glaukonitisch, fetter Ton Tonmergel, Kalksandstein, pyritisch fetter Ton		Eozän	<i>Neuengammer Gassande</i>	560	Nachfall KW Führung	
	Tonstein Ton, Tonmergel Feinsandstein		Paläozän	<i>Glinde Formation</i>	100	Nachfall Washouts	
4. 3170 m	Kreidekalk, Feuersteinbänke Tonmergelstein, Kalkmergel Kreidekalk, Tonstein Kreidekalk, Tonmergel, Mergelstein Kreidekalk Kalkmergel Mergel, Tonmergelstein (Flammmergel, rote Mergel), Brauneisenoide, Tonmergelstein, Quarzsandstein	KREIDE	Maastricht Campan Santon Turon Ober-Kreide Cenoman Alb Unter-Kreide	<i>Reitbrooker Schichten</i>	550	Nachfall Ölprägning geringer ROP wenn Feuersteinbänke quellende Tone, zäh geringer ROP Nachfall häufiges Nachfahren notwendig, Gebirge entspannen lassen Nachfall	
	Tonmergelstein, Feinsandstein, untergeordnet Sandstein, mergliger Tonstein Tonstein Toneisenknollen mergeliger Ton pyriischer Tonstein Tonstein feinsandiger Tonstein		Dogger Zeta Epsilon Delta Lias Gamma Beta Alpha		165	35	Spülungsverluste
5. 3400 m	Tonstein <i>Rhät Sandsteine</i> Schluffstein	TRIAS	Keuper Basis Rhät	<i>Contorta Sandstein</i> <i>Postera Sandstein</i>	205 (Rhät)	Washouts Abrasive Sandsteine drückende Tone	↓ alle 5 m 1. Kern ↑ alle 10 m ↓ alle 5 m 2. Kern

Bohrlochende,
nicht Formationsende

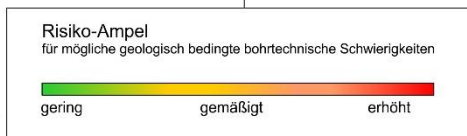


Abbildung 4: Stratigraphie aus dem geologischen Vorprofil der Bohrung Hamburg Wilhelmsburg mit geologisch-technischer Risiko Ampel

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Nutzung des tieferen Untergrunds für die Gewinnung aber auch die saisonale Speicherung von Wärme stellt eine der wesentlichen Handlungsoptionen für ein Gelingen der Wärmewende und das Erreichen der Klimaschutzziele dar. Gerade für die Transformation urbaner Fernwärmenetze hin zu einer regenerativen Wärmeversorgung bieten Mitteltiefe und Tiefe Geothermie hohe Potenziale. Einer Projektentwicklung stehen aber häufig (noch) geologische, technische und wirtschaftliche Risiken und Unwägbarkeiten gegenüber.

Durch die Kooperation der Vorhaben mesoTherm und IW³ soll mit dem Projekt in Hamburg-Wilhelmsburg ein wichtiger Beitrag zur weiteren Etablierung der Geothermie im Norddeutschen Becken und in urbanen Räumen geleistet werden. Potenzielle Risiken sollen durch die Erkundung und Charakterisierung aussichtsreicher Reservoirs und die optimale Entwicklung der geothermischen Dublette minimiert werden. Gerade eine verbesserte Fündigkeitsprognose wäre ein Fortschritt für den Ausbau der Mitteltiefen und Tiefen Geothermie in Norddeutschland. Die Auswertung der Bohrberichte von Altbohrungen kann wichtige Hinweise für die Bohrplanung liefern und zeigen, wo bei der Bohrung besonderes Augenmerk und besondere Sorgfalt erforderlich sind.

Damit können Folgeprojekte mit verbesserter Wirtschaftlichkeit und geringerem Risiko (Fündigkeit, bohrtechnische Erschließung, Betrieb) in Norddeutschland ermöglicht und die Potenziale des Untergrunds zügiger entwickelt werden. Folgeprojekte können künftig zuverlässiger geplant, schneller gebohrt und sicherer umgesetzt werden. Diese übergeordneten Ziele möchte der Projektverbund „mesoTherm“ und „IW³-IWu“ durch eine enge Kooperation erreichen.

Die Projektkooperation zeigt aber auch, wie eine Exploration im Zeitalter der Digitalisierung aussehen kann: Im Vordergrund der Erkundung steht im Projektverbund die Neubewertung von Bestandsdaten aus der Kohlenwasserstoffindustrie. Mit modernen Methoden wie dem maschinellen Lernen und mit einem neuen Blickwinkel auf Reservoirs wie der Geothermie oder der Speicherung werden Geodaten des fossilen Energiealters analysiert, um dann Bohrungen abzuteufen, die die nachhaltige Bewirtschaftung des geologischen Untergrunds unter einer Millionenstadt ermöglichen. Hier zeigt sich das Reallabor IW³ einmal mehr von seiner beispielgebenden Seite.