

**Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen,
Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die
Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von
Erneuerbaren Energien
(Wasserstoff und Druckluft)**

Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten

**Teilprojekt
Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung**



**Sachbericht
03ET6062A**

Hannover, 24. März 2020

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ENERGIE SPEICHER

Forschungsinitiative der Bundesregierung



Eingereicht durch

DEEP.KBB GmbH, Büro Hannover



Baumschulenallee 16
30625 Hannover

Ansprechpartnerin: Dipl.-Ing. Sabine Donadei

Disclaimer

Die Studie, das Informationssystem und die Arbeiten im Rahmen des Verbundprojektes wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die Autoren übernehmen dennoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte und Informationen, da ein deutlicher Anteil der Annahmen auf Basis öffentlich zugänglicher Quellen basiert, deren Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität nicht in der Verantwortung der Verbundpartner liegt.

Das ermittelte Speicherpotenzial stellt auf Grund der Eigenschaften der Salinare und der internen und obertägigen Flächenbelegung ein theoretisches Potenzial dar. Da sowohl die Berücksichtigung der Standortgeologie auf Annahmen mit unterschiedlichen Genauigkeiten entsprechend des jeweiligen Kenntnisstandes zu den einzelnen Salinarbereichen beruht, wird das Ergebnis vom tatsächlich umsetzbaren Speicherpotenzial abweichen. Diese Abweichung wird durch Faktoren, die je nach Umsetzungsbedarf und -zeitraum unterschiedlich ins Gewicht fallen können, verstärkt. Da ein Teil dieser Faktoren der Hoheit der genehmigenden Behörden, des aktuellen Stands der Technik und der Wirtschaftlichkeit in Bezug auf das Speicherkonzept unterliegen, wurden diese nicht in der Potenzialabschätzung aufgenommen.

Die Arbeiten und deren Ergebnisdarstellung der Verbundpartner stellen eigenständige, interagierende Arbeitspakete dar. Die Berichterstattung unterliegt in der Eigenverantwortung des jeweiligen Verbundpartners.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für die finanzielle Förderung des Projektes InSpEE-DS und beim Projektträger Jülich (PTJ) für die gute Betreuung bedanken.

Wir möchten uns bei der Stadtwerke Kiel AG für die Bereitstellung von Kernmaterial und Daten zum besseren Verständnis des Rotliegend- und Keupersalinars bedanken.

Unser Dank gilt ebenfalls den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder, die das Projekt durch Bereitstellung von Daten, Abstimmung der Ergebnisse und wertvolle Anregungen während der Projektlaufzeit unterstützt haben.



Zusammenfassung

Der von der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 geplante Umbau der deutschen Energieversorgung bedarf technologischer Entwicklungen sowohl für viele Einzelkomponenten als auch technologieübergreifende Systeme des Energiesystems. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) treibt daher die systemorientierte Weiterentwicklung des 6. Energieforschungsprogramms unter Abbildung der gesamten Energiekette voran. Ein wichtiges Element dieser Energiekette stellt die Speicherung in verschiedenen Leistungs- und Energiebereichen dar. Eine Speicheroption für Leistungen im Netzmaßstab bildet die Erzeugung von Druckluft und Wasserstoff mit der Nutzung geologischer Strukturen als Speicherraum, die als Langfristspeicher genutzt werden können. Insbesondere der Wasserstoffspeicherung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da die Nutzung von Power-to-Gas zukünftig nicht nur in der Energieversorgung sondern auch als Ersatz für fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie und für Mobilitätsanwendungen und damit für die Sektorenkopplung eine wichtige Rolle spielen wird.

Bislang werden für die Errichtung und Planung von Kavernenspeichern zum größten Teil Salzstrukturen genutzt, die aus Zechstein-Salzen aufgebaut sind. Diese Strukturen sind in ihrer Verbreitung auf den Norden Deutschlands beschränkt. Aber auch für weitere Regionen Deutschlands ist die Kavernenspeicherung von Interesse, um einen Ausgleich zwischen dem Energiedargebot und dem Energiebedarf auch bei nicht ausreichender Leistungskapazität zu ermöglichen. Im Rahmen des Verbundprojektes InSpEE-DS wurde ausgehend von den geologischen Gegebenheiten in logischer Fortführung des Projektes InSpEE sowohl der regionale Bezug ausgeweitet als auch der Umfang auf die bisher nicht betrachteten Salzformationen erweitert.

Das Vorhaben baut auf dem Projekt InSpEE – Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – auf, welches sich auf die Betrachtung von Salzstrukturen großer Mächtigkeiten im norddeutschen Raum beschränkt. Ziel des Vorhabens war daher die Erarbeitung und Bereitstellung von Planungsgrundlagen zur Standortauswahl und zur Errichtung von Salzkavernen für die Speicherung von erneuerbaren Energien mittels Wasserstoff- und Druckluftspeicherung in den flach lagernden Salzschieben sowie in den aus verschiedenen Salinaren aufgebauten Salzstrukturen Deutschlands.

Gerade außerhalb von Niedersachsen und Schleswig-Holstein existiert ein großes Potenzial für eine dezentrale Speicherung erneuerbarer Energien, z. B. in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Für die Abschätzung der Speichermöglichkeiten wurden geologische Daten zu Verbreitung, Tiefenlage und Lagerungsverhältnissen der Salinargesteine aufgearbeitet und speziell ausgewertet. Ergänzend wurden mineralogisch-geochemische Untersuchungen und Bestimmungen geotechnisch relevanter Gesteinsparameter durchgeführt, flankiert von umfangreichen numerischen Modellrechnungen zur Kavernenauslegung.

Etwa 100 von den ca. 700 Salzstrukturen Norddeutschlands bestehen nicht allein aus Salinaren der Zechstein-Folge. Über den inneren Aufbau der Mehrfachsalinare ist im Vergleich zu den ausschließlich aus Zechstein aufgebauten Salzstrukturen wenig bekannt. Im Rahmen des InSpEE-Projektes wurde daher im Sinne einer konservativen Herangehensweise für die Potenzialabschätzung das sich im Inneren eines Doppelsalinars



befindliche Rotliegendesalinar über den Einbezug eines Abschlagsfaktors für das nutzbare Speichervolumen berücksichtigt. Die geologischen und geomechanischen Kenntnisse wurden erweitert, um notwendige sicherheitstechnische Aspekte der Speicherung erneuerbarer Energien in derartigen Kavernenstandorten besser bewerten zu können.

Verbundpartner im Rahmen des InSpEE-DS-Verbundvorhabens sind die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die Leibniz Universität Hannover, Institut für Geotechnik/Abteilung Unterirdisches Bauen (IGtH) sowie die DEEP.KBB GmbH.

Die DEEP.KBB GmbH (DEEP.KBB) ist spezialisiert auf ingenieur- und geowissenschaftliche Dienstleistungen betreffend Beratung, Planung, Bau und Betrieb von untertägigen Energiespeichern sowie für die Sole- und Salzgewinnung. Ihre Fachkompetenz beruht auf dem umfassenden technischen und wissenschaftlichen Know-how langjähriger Erfahrung.

Das Verbundprojekt InSpEE-DS zeichnete sich durch eine starke Vernetzung der Arbeitspakete untereinander aus. Die Arbeitspakete 1 bis 3 schufen dabei Grundlagenwissen, welches innerhalb dieser Arbeitspakete benötigt und ausgetauscht wurde und die Basis für die Durchführung der Arbeitspakete 4 bis 8 bildete.

Die Bearbeitung erfolgte in den aufeinander aufbauenden und interagierenden Arbeitspaketen 1 bis 8 mit folgenden Teilaufgaben.

Teilprojekt Salz- und Strukturgeologie (BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

- Arbeitspaket 1 (flach lagernde Salinar-Formationen):
Zusammenstellung und Auswertung der geologischen Daten zu den flach lagernden Salzschichten Deutschlands

Abteilung Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum (Fachbereich Nutzungspotenziale des tieferen Untergrundes, geologische CO₂-Speicherung)

Ansprechpartnerin: Simone Röhling
- Arbeitspaket 2 (flach lagernde Salinar-Formationen):
Untersuchung der Lagerungsverhältnisse und der Eigenschaften von flach lagernden Salinar-Formationen, stofflich-strukturelle Charakterisierung der Salinar-Formationen

Abteilung Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum (Fachbereich Geologisch-geotechnische Erkundung)

Ansprechpartnerin: Stephanie Fleig
- Arbeitspaket 3 (Doppel- und Mehrfachsalinare):
Stofflich-strukturelle Charakterisierung der Salinar-Formationen, Untersuchung des Internbaus und geologische 3D-Modelle

Abteilung Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum (Fachbereich Geologisch-geotechnische Erkundung)

Ansprechpartnerin: Stephanie Fleig



Teilprojekt Gebirgsmechanische Anforderungen
(Leibniz Universität Hannover, Institut für Geotechnik Hannover)

- Arbeitspaket 4 (flach lagernde Salinar-Formationen):
Gebirgsmechanische Anforderungen
- Arbeitspaket 5 (Doppel- und Mehrfachsalinare):
Gebirgsmechanische Anforderungen

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Dirk Zapf

Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung
(DEEP.KBB GmbH)

- Arbeitspaket 6 (flach lagernde Salinar-Formationen):
Kriterien und Planungsgrundlagen für die Potenzialabschätzung

Ansprechpartnerin: Sabine Donadei

- Arbeitspaket 7 (flach lagernde Salinar-Formationen):
Ermittlung des Speicherpotenzials

Ansprechpartner: Péter László Horváth

- Arbeitspaket 8 (Doppel- und Mehrfachsalinare):
Präzisierung des Speicherpotenzials

Ansprechpartner: Péter László Horváth

Verbundkoordination (Arbeitspaket 9) (DEEP.KBB GmbH)

Ansprechpartnerin: Sabine Donadei

Mit Ende des Verbundvorhabens liegt für Anwender und genehmigende Stellen ein Informationssystem vor, das belastbare geologische und geotechnische Grunddaten – neben denen für die Salzstrukturen des Zechsteins und des Rotliegenden – nun auch für die flach lagernden Salinare Deutschlands enthält. Das Ziel, Projekte besser als bisher an den Erfordernissen der späteren Nutzung planbar zu machen, ist auf ganz Deutschland ausgeweitet worden. Es liegen Modellkavernen für eine große Breite an Mächtigkeiten und Teufenlagen vor. Erstmals wird für die flach lagernden Salinare ein Speicherpotenzial quantifiziert.

Im Rahmen der Potenzialauswertung des Verbundvorhabens InSpEE-DS wurde

- durch die räumliche und geologische Erweiterung des Betrachtungsbereiches zusätzliches Speicherpotenzial in Höhe von 2,6 TWh für Druckluft und 1.712 TWh für Wasserstoff sowie



- durch die Detaillierung des Untersuchungsgrades der Mehrfachsalinare zusätzliches Speicherpotenzial in Höhe von 0,5 TWh für Druckluft und 152 TWh für Wasserstoff

zusätzlich zu dem Speicherpotenzial aus InSpEE ermittelt. Insgesamt ergibt sich damit ein deutschlandweites Speicherpotenzial von 7,6 TWh für Druckluft und 3.478 TWh für Wasserstoff. Die Verteilung der potenziell geeigneten Salinarbereiche und Salzstrukturen ist in Anhang 7-1 dargestellt.

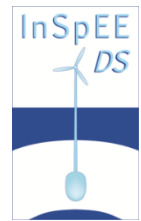
Eine explizite wirtschaftliche Verwertung in Form von Verkauf des erarbeiteten Wissens existiert auf Grund des informierenden Charakters des Verbundvorhabens nicht.

Auf Basis der Ergebnisse können ein Vergleich des erforderlichen Speicherbedarfs mit dem abgeschätzten theoretischen Speicherpotenzial sowie eine räumliche Zuordnung potenziell geeigneter Speicherstandorte für die Errichtung von Kavernenspeicher in Salinarstrukturen und -bereichen erfolgen. Die Anbindung detaillierterer wissenschaftlicher Hintergrundinformationen zu den Einzelstrukturen und -bereichen trägt dazu bei, Auswahlverfahren für eine Erstauswahl von Strukturen zu erleichtern. Die Ergebnisse werden in Form eines GIS-basierten Informationssystems dargestellt und sind auf diese Weise sowohl für die Öffentlichkeit als auch für politische Entscheidungsträger leicht zugänglich. Der Link ist dem Teilbericht des Verbundpartners BGR zu entnehmen (FKZ 03ET6062B).

Mit dem Vorliegen dieses Sachberichtes enden die Verbundvorhaben InSpEE und InSpEE-DS. Eine weitere Fortsetzung ist nicht geplant.

Inhaltsverzeichnis

Disclaimer	ii
Danksagung	iii
Zusammenfassung	iv
Abkürzungsverzeichnis.....	0-2
0 Projektübersicht.....	0-5
6 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 6	0-1
7 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 7	0-1
8 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 8	0-1
9 Ausblick.....	0-1



Abkürzungsverzeichnis

A

ANGUS+ Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher im Kontext der Energiewende - Dimensionierung, Risikoanalysen und Auswirkungsprognosen als Grundlagen einer zukünftigen Raumplanung des Untergrundes

B

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

D

3D dreidimensional

DEEP.KBB DEEP.KBB GmbH

DGM 200 Digitales Geländemodell Gitterweite 200

F

FKZ Förderkennzeichen

G

GIS Geographisches Informationssystem

GOK Geländeoberkante

H

H2Store Hydrogen to store (Verbundvorhaben)

I

IGtH Institut für Geotechnik / Abteilung Unterirdisches Bauen

InSpEE Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von



	Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft)
InSpEE-DS	Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzschichten
M	
m u. NN	Meter unter Normalnull
m ü. NN	Meter über Normalnull
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
MV	Mecklenburg-Vorpommern
N	
NN	Normalnull
N-O	Nord-Ost
P	
PTJ	Projektträger Jülich
R	
ro	Rotliegendsalinar
S	
SW	Süd-West
Z	
z	Zechstein
z1	Werra-Folge
z1NA	Werra-Steinsalz
z2	Steißfurt-Folge
z2NA	Steißfurt-Steinsalz

z2SF	Kaliflöz Staßfurt innerhalb der Staßfurt-Formation
z3	Leine-Folge
z3NA	Leine-Steinsalz
z4	Aller-Folge



0 Projektübersicht

Inhaltsverzeichnis

0.1	Aufgabenstellung	0-6
0.2	Voraussetzungen, unter denen das Verbundvorhaben durchgeführt wurde.....	0-8
0.3	Planung und Ablauf des Verbundvorhabens.....	0-9
0.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Verbundvorhabens	0-9
0.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	0-9
0.6	Verwendung der Zuwendung und Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	0-10
0.7	Erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	0-10
0.8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	0-11
0.9	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	0-12
0.10	Während der Durchführung des Verbundvorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Verbundvorhabens bei anderen Stellen.....	0-12
0.11	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen während der Projektlaufzeit.....	0-13



0.1 Aufgabenstellung

Der von der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 geplante Umbau der deutschen Energieversorgung bedarf technologischer Entwicklungen sowohl für viele Einzelkomponenten als auch technologieübergreifende Systeme des Energiesystems. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) treibt daher die systemorientierte Weiterentwicklung des 6. Energieforschungsprogramms unter Abbildung der gesamten Energiekette voran. Ein wichtiges Element dieser Energiekette stellt die Speicherung in verschiedenen Leistungs- und Energiebereichen dar. Eine Speicheroption für Leistungen im Netzmaßstab bildet die Erzeugung von Druckluft und Wasserstoff mit der Nutzung geologischer Strukturen als Speicherraum, die als Langfristspeicher genutzt werden können. Insbesondere der Wasserstoffspeicherung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da die Nutzung von Power-to-Gas zukünftig nicht nur in der Energieversorgung, sondern auch als Ersatz für fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie und für Mobilitätsanwendungen und damit für die Sektorenkopplung eine wichtige Rolle spielen wird.

Bislang werden für die Errichtung und Planung von Kavernenspeichern zum größten Teil Salzstrukturen genutzt, die aus Zechstein-Salzen aufgebaut sind. Das sogenannte Hauptsalz der Staßfurt-Formation des Zechsteins zeichnet sich durch eine relativ große Homogenität und einen geringen Feststoffanteil aus und bietet daher aus geologischer und bergsmechanischer Sicht gute Voraussetzungen für die Anlage und den Betrieb von Kavernen. Diese Strukturen sind in ihrer Verbreitung auf den Norden Deutschlands beschränkt. Aber auch für weitere Regionen Deutschlands ist die Kavernenspeicherung von Interesse, um einen Ausgleich zwischen dem Energiedargebot und dem Energiebedarf bei nicht ausreichender Leistungskapazität zu ermöglichen. Im Rahmen des Verbundprojektes InSpEE-DS wurde ausgehend von den geologischen Gegebenheiten in logischer Fortführung des Projektes InSpEE sowohl der regionale Bezug ausgeweitet als auch der Umfang auf die bisher nicht betrachteten Salzformationen erweitert, um dazu beizutragen, politisch formulierte Ziele zur Energiespeicherung umzusetzen.

Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung und Bereitstellung von Planungsgrundlagen zur Standortauswahl und zur Errichtung von Salzkavernen für die Speicherung von erneuerbaren Energien mittels Wasserstoff- und Druckluftspeicherung in den flach lagernden Salzschichten sowie in den aus verschiedenen Salinaren aufgebauten Salzstrukturen Deutschlands. Das Vorhaben baut damit auf dem Projekt InSpEE – Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – auf, welches sich auf die Betrachtung von Salzstrukturen großer Mächtigkeiten im norddeutschen Raum beschränkt. Im Vorhaben InSpEE-DS wurden Anforderungen und Kriterien erarbeitet, auf deren Grundlage Eignungsbewertungen auch für flach lagernde Salinar-Formationen und Mehrfach- beziehungsweise Doppelsalinare für Speicherprojekte in einem noch relativ frühen Stadium der Standorterkundung, d. h. bei noch relativ geringen Kenntnissen zum Internbau der Salinar-Formationen möglich sind.

Erfassung zusätzlichen Speicherpotenzials durch räumliche und geologische Erweiterung des Betrachtungsbereiches

Ausgehend von den bisher vorliegenden geologischen Erkundungsergebnissen bieten flach lagernde Salzschichten gerade außerhalb von Niedersachsen und Schleswig-Holstein ein großes Potenzial für eine dezentrale Speicherung erneuerbarer Energien, z. B. in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Der Betrachtungsraum wurde daher sowohl geografisch auf Gesamtdeutschland als auch geologisch auf



weitere Salinar-Formationen gegenüber InSpEE erweitert. Für die Abschätzung der Speichermöglichkeiten wurden geologische Daten zu Verbreitung, Tiefenlage und Lagerungsverhältnissen der Salinargesteine aufgearbeitet und speziell ausgewertet sowie ergänzende mineralogisch-geochemische Untersuchungen und Bestimmungen geotechnisch relevanter Gesteinsparameter durchgeführt – flankiert von umfangreichen numerischen Modellrechnungen zur Kavernenauslegung.

Erfassung zusätzlichen Speicherpotenzials durch Detaillierung der Untersuchung der Mehrfachsalinare

Etwa 100 von den ca. 700 Salzstrukturen Norddeutschlands bestehen nicht allein aus Salinaren der Zechstein-Folge. Diese als Doppel- beziehungsweise Mehrfachsalinare bezeichneten Strukturen enthalten zusätzlich auch Salinarschichten aus dem Rotliegend und teilweise aus dem Keuper, die sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und der sich daraus ergebenden spezifischen geomechanischen Eigenschaften von den Zechstein-Salinaren unterscheiden. Sie kommen in einem begrenzten Gebiet vor, das sich über Schleswig-Holstein, Hamburg, den nördlichen Teil Niedersachsens und Teile des deutschen Nordsee-Sektors erstreckt. Über den inneren Aufbau der Mehrfachsalinare ist im Vergleich zu den ausschließlich aus Zechstein aufgebauten Salzstrukturen wenig bekannt, da diese Strukturen bisher nicht bergbaulich genutzt werden. Im Rahmen des InSpEE-Projektes wurde daher im Sinne einer konservativen Herangehensweise für die Potenzialabschätzung das sich im Inneren eines Doppelsalinars befindliche Rotliegendesalinar über den Einbezug eines Abschlagsfaktors für das nutzbare Speichervolumen berücksichtigt. Da die Doppelbeziehungsweise Mehrfachsalinare durchweg küstennah liegen und damit gute Möglichkeiten zur Soleverbringung als auch eine direkte Nähe zu bestehenden und zukünftigen Windkraftanlagen im Onshore- und Offshore-Bereich bieten, wurden die geologischen und geomechanischen Kenntnisse erweitert, um notwendige sicherheitstechnische Aspekte der Speicherung erneuerbarer Energien in derartigen Kavernenstandorten bewerten zu können.

Die Bearbeitung erfolgte in den aufeinander aufbauenden und interagierenden Arbeitspaketen 1 bis 8. Bestandteil des Teilprojektes „Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung“ sind die Arbeitspakete 6 bis 8.

Arbeitspaket 6: Flach lagernde Salinar-Formationen: Kriterien und Planungsgrundlagen für die Potenzialabschätzung

Das Arbeitspaket 6 bildete die Brücke zwischen der Schaffung der notwendigen Grundlagen für eine erste Potenzialabschätzung des Energiespeichervolumens flach lagernder Salinar-Formationen (Arbeitspaket 1, Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 4) und der Durchführung der Potenzialabschätzung (Arbeitspaket 7) selbst. Es wurden Kriterien erarbeitet, welche eine generelle Aussage zu der Eignung der einzelnen Salinar-Formationen für die Errichtung von Wasserstoff- und Druckluftspeicherkavernen ermöglichen. Es wurden weiterhin Parameter für Modellkavernen entworfen, um das mögliche Speichervolumen einer einzelnen Kaverne abzuschätzen sowie eine Methodik entwickelt, die die Auswahl eines geeigneten Kavernenmodells sowie die Abschätzung einer möglichen Anzahl solcher Kavernen in geeigneten Bereichen der Salinar-Formationen als Ziel besaß.



Arbeitspaket 7: Flach lagernde Salinar-Formationen: Ermittlung des Speicherpotenzials

Auf Basis der Ergebnisse der Arbeitspakete 1, 2, 4 und 6 wurde die Abschätzung des möglichen Energiespeicherpotenzials der flach lagernden Salinar-Formationen Deutschlands in Form von einer Speicherung von Druckluft beziehungsweise Wasserstoff in Salzkavernen durchgeführt.

Arbeitspaket 8: Doppel- und Mehrfachsalinare: Präzisierung des Speicherpotenzials

Das Arbeitspaket 8 begleitete die Arbeitspakete 3 und 5 während ihrer Ermittlung besserer Grundlagen für die Potenzialabschätzung und passte entsprechend der Ergebnisse die Potenzialabschätzung des InSpEE-Projektes für betroffene Strukturen der Doppel- und Mehrfachsalinare an. Darüber hinaus erfolgte eine Aktualisierung der Potenzialabschätzung auf Grund der Überprüfung und Anpassung der Bemessungslastfälle für die Doppel- und Mehrfachsalinare. Hinsichtlich der Methodik der Potenzialabschätzung wurde auf die Arbeitsergebnisse des InSpEE-Projektes zurückgegriffen.

Verbundkoordination (DEEP.KBB)

Arbeitspaket 9: Projektkoordination

Dieses Arbeitspaket diente der arbeitspaketübergreifenden Projektkoordination.

0.2 Voraussetzungen, unter denen das Verbundvorhaben durchgeführt wurde

Die Arbeitspakete 6, 7 und 8 wurden durch das Stammpersonal der DEEP.KBB GmbH (DEEP.KBB) durchgeführt. DEEP.KBB ist spezialisiert auf ingenieur- und geowissenschaftliche Dienstleistungen betreffend Beratung, Planung, Bau und Betrieb von untertägigen Energiespeichern sowie für die Sole- und Salzgewinnung. Ihre Fachkompetenz beruht auf dem umfassenden technischen und wissenschaftlichen Know-how langjähriger Erfahrung. Innovative Lösungen, die sicher und wirtschaftlich sind, ist das Ziel.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete des InSpEE-DS-Verbundvorhabens erfolgte durch ein durchgehend mit der Bearbeitung und Koordination betrautem Personalkreis, der im Verlauf der Bearbeitung entsprechend den aktuellen Bearbeitungsschwerpunkten durch weitere, teilweise wechselnde Mitarbeiter ergänzt wurde. Um den Arbeitsprozess zu optimieren und fundierte Arbeitsergebnisse zu erzeugen, fand darüber hinaus eine regelmäßige Vorstellung und Besprechung der Arbeitsstände und des weiteren Vorgehens im Haus statt. Die Projektmitarbeiter wurden dabei im Wesentlichen aus den im Haus vorhandenen Fachbereichen Geologie, Gebirgsmechanik und Speicherung Erneuerbarer Energien gestellt, um eine bestmögliche Begleitung und Unterstützung der Arbeitspakete 1 bis 5 zu gewährleisten.

Im Rahmen der Potenzialermittlung wurde auf das externe Datenverarbeitungs- und Darstellungsprogramm ArcGIS über eine im Haus vorliegende Lizenz zurückgegriffen. Weitere,



über den aktuellen Bürostandard hinausgehende Software oder zusätzliche Hardware war im Rahmen des Verbundvorhabens nicht notwendig.

0.3 Planung und Ablauf des Verbundvorhabens

Das Verbundprojekt InSpEE-DS zeichnete sich durch eine starke Vernetzung der Arbeitspakete untereinander aus. Die Arbeitspakete 1 bis 3 schufen dabei Grundlagenwissen, welches innerhalb dieser Arbeitspakete benötigt und ausgetauscht wurde und auch die Basis für die Durchführung der Arbeitspakete 4 bis 8 bildete. Das Arbeitspaket 9 beinhaltete die arbeitspaketübergreifende Projektkoordination. Für den erfolgreichen Abschluss des Verbundvorhabens war ein regelmäßiger Austausch der Arbeitspakete einschließlich der Abstimmung von Randbedingungen für das weitere Vorgehen von hoher Bedeutung. Diese Abstimmung erfolgte durch regelmäßige Arbeitstreffen, in denen der aktuelle Stand vorgestellt, diskutiert und im Rahmen der Fortschreibung eines sich entwickelnden Kriterienkataloges eingearbeitet und die für das gesamte Konsortium geltenden Randbedingungen festgehalten wurden. Eine genaue Übersicht des Ablaufplanes des Verbundvorhabens enthält Anhang 0-1. Die Arbeitspakete sind in Unterarbeitspakete gegliedert, die eine rechtzeitige Datenübergabe an andere Arbeitspakete ermöglichen sollten.

Der Aufbau des Endberichtes folgt der Aufteilung der Arbeitsschwerpunkte.

0.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Verbundvorhabens

Das Verbundprojekt InSpEE-DS stellt das Anschlussprojekt des Verbundprojektes InSpEE dar. Somit gilt dieses als grundlegender wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde. Darüber hinaus fokussiert sich die Erfassung des wissenschaftlichen Stands der Technik zu Beginn des Verbundvorhabens entsprechend den Schwerpunkten der Bearbeitung in den drei Häusern auf unterschiedliche Themen. Auf verwendete Fachliteratur und Informations- und Dokumentationsdienste wird in den Fachkapiteln an entsprechender Stelle hingewiesen. Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte wurden während der Durchführung des Verbundvorhabens nicht benutzt.

Im Rahmen der Integration der erneuerbaren Energien in das Energiesystem stellt das Speicherpotenzial des geologischen Untergrunds eine wichtige Kenngröße dar. Daher wurden in den letzten Jahren mehrere Studien mit Teilarbeitspaketen zur Abschätzung des Potenzials durchgeführt. Die Abschätzungen, die ein mögliches Potenzial direkt beziffern, beziehen sich auf abgeschlossene Strukturen überschaubarer Ausdehnung. Dies ist bei der Betrachtung von flach lagernden Salinar-Formationen nur sehr bedingt der Fall, so dass entwickelte Methoden, Kriterien und Abschlagsfaktoren nicht oder nur teilweise übernommen werden können.

0.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit fand ein Austausch über Teilaspekte mit Partnern aus der Industrie durch den Besuch entsprechender Konferenzen sowie mit den Leuchtturmprojekten ANGUS+ und H2Store der Forschungsinitiative Energiespeicher der Bundesregierung statt.



0.6 Verwendung der Zuwendung und Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Zuwendung für das Verbundprojekt InSpEE-DS wurde gemäß Tabelle 0-1 für Personal- und Reisekosten sowie Materialuntersuchungen aufgewendet.

Tabelle 0-1: Verwendung der Zuwendung

Projektpartner	Position	Kosten [€]
DEEP.KBB	Personalkosten	406.152,71
	Reisekosten	31.103,29
	Gesamtkosten	437.256,00

0.7 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die erzielten Arbeitsergebnisse werden detailliert in den Kapiteln zu den verschiedenen Arbeitsberichten dargestellt. Die Gegenüberstellung der vorgegebenen und erreichten Ziele ist nachfolgend aufgenommen.

Arbeitspaket 6: Flach lagernde Salinar-Formationen: Kriterien und Planungsgrundlagen für die Potenzialabschätzung

Ein Ziel des Arbeitspaketes 6 war die Erstellung eines Kriterienkataloges zur Differenzierung zwischen potenziell geeigneten und nicht geeigneten Salinarbereichen für die Errichtung von Speicherkavernen. Darüber hinaus war eine Methodik zu entwickeln, welche die Ermittlung von Speicherpotenzialen in den potenziell geeigneten Salinarbereichen ermöglicht sowie die Auswahl der Modellkavernen so zu begleiten, dass für die betrachteten Salinarbereiche immer eine passende Modellkaverne vorhanden ist.

Alle drei Ziele wurden vollumfänglich erreicht.

Arbeitspaket 7: Flach lagernde Salinar-Formationen: Ermittlung des Speicherpotenzials

In Arbeitspaket 7 war die Durchführung der Potenzialanalyse vorgesehen. Diese wurde in Abhängigkeit der verfügbaren Datenbasis in unterschiedlichem Detaillierungsgrad durchgeführt.

Abweichend zum Ursprungsziel konnte einigen Gebieten kein Speicherpotenzial zugeordnet werden, da die Datenbasis für diese Gebiete keine Aussage zuließ.



Zusätzlich zu den ursprünglichen Zielen wurden Strukturen, die im Rahmen des InSpEE-Vorhabens auf Grund fehlender Modellkavernen nicht in der Potenzialermittlung berücksichtigt werden konnten, erneut auf ein mögliches Speicherpotenzial unter Berücksichtigung der Modellkavernen aus InSpEE-DS untersucht. Dadurch konnten einige Strukturen als potenziell geeignet eingestuft werden. Diese sind der Karte in Anhang 7-1 zu entnehmen. Eine quantitative Auswertung dieser Strukturen erfolgte nicht.

Arbeitspaket 8: Doppel- und Mehrfachsalinare: Präzisierung des Speicherpotenzials

Für die Doppel- und Mehrfachsalinare war es das übergreifende Ziel, die Datenbasis zu verbessern. Ein Ziel des Arbeitspakets 8 war dabei die Begleitung der Arbeitspakete 3 und 5. Nach Abschluss dieser Arbeitspakete war das Speicherpotenzial für die Doppel- und Mehrfachsalinare zu aktualisieren.

Eine qualitative Auswertung erfolgte für die Kernbereiche der Doppelsalinarstrukturen, eine quantitative für das Zusatzpotenzial in Strukturen mit einer Teufenlage des Zechsteintops zwischen 1.500 und 2.000 m u. NN. Eine zusätzliche Auswertung der Randbereiche der Doppelsalinare erfolgte nicht, da dieses nach einer Erstabschätzung in Bezug auf das Gesamtpotenzial nur geringes Zusatzpotenzial erschließen würde. Die zeitlichen Ressourcen, da dadurch frei wurden, wurden dazu genutzt, die Arbeiten des Arbeitspaketes 1 zu unterstützen und somit eine möglichst weiträumige Analyse des Speicherpotenzial durchzuführen.

0.8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Übergeordnetes Ziel des Verbundprojektes InSpEE-DS war die sowohl qualitative als auch räumliche Ermittlung eines Speicherpotenzials für ganz Deutschland sowie die Bereitstellung öffentlicher Daten zu den betrachteten Salinarstrukturen und -bereichen. Dafür schaffte es die wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Auswahl von Salzvorkommen für eine weitere Erkundung in Hinblick auf die Errichtung von Kavernen für die Speicherung von Wasserstoff und Druckluft. Die Ergebnisse des Vorhabens dienen der Politik und verschiedenen Branchen der Energiewirtschaft als Planungsgrundlage und sind allgemeinnützigen Charakters.

Der von der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 geplante Umbau der deutschen Energieversorgung bedarf technologischer Entwicklungen sowohl für viele Einzelkomponenten als auch technologieübergreifende Systeme des Energiesystems. Ein wichtiges Element dieser Energiekette stellt die Speicherung in verschiedenen Leistungs- und Energiebereichen dar. Eine Speicheroption für Leistungen im Netzmaßstab bildet die Erzeugung von Druckluft und Wasserstoff mit der Nutzung geologischer Strukturen als Speicherraum, die als Langfristspeicher genutzt werden können. Insbesondere der Wasserstoffspeicherung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da die Nutzung von Power-to-Gas zukünftig nicht nur in der Energieversorgung, sondern auch als Ersatz für fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie und für Mobilitätsanwendungen und damit für die Sektorenkopplung eine wichtige Rolle spielen wird.

Da sich die politisch formulierten Ziele zur Energiespeicherung nicht nur auf den Norden Deutschlands beziehen, wurde es als notwendig angesehen, in logischer Fortführung des Projektes InSpEE, sowohl den regionalen Bezug auf ganz Deutschland auszuweiten als



auch den Umfang auf die bisher nicht betrachteten Salzformationen zu erweitert werden, um zur Umsetzung der Ziele beizutragen.

Um eine ausreichend gesicherte Aussage treffen zu können, war es notwendig, eine geologische Datenbasis zu erstellen sowie hinreichend viele Modellkavernen entsprechend verschiedener Salzeigenschaften zu entwickeln. Aufgrund des großen Umfangs der erforderlichen Datenrecherche und Auswertung sowie des hohen Aufwands der Analyse der kleingliedrigen und stark divergierenden Salinarbereiche und -strukturen hinsichtlich ihrer potenziellen Eignung für eine Druckluft- und Wasserstoffspeicherung wird der benötigte Leistungsumfang als angemessenen angesehen.

0.9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Mit Ende des Verbundvorhabens liegt für Anwender und genehmigende Stellen ein Informationssystem vor, das belastbare geologische und geotechnische Grunddaten – neben denen für die Salzstrukturen des Zechsteins und des Rotliegenden – nun auch für die flach lagernden Salinare Deutschlands enthält. Das Ziel, Projekte besser als bisher an den Erfordernissen der späteren Nutzung planbar zu machen, ist auf weitere Teile Deutschlands ausgeweitet worden. Es liegen Modellkavernen für eine große Breite an Mächtigkeiten und Teufenlagen vor. Erstmals wird für die flach lagernden Salinare ein Speicherpotenzial quantifiziert. Eine explizite wirtschaftliche Verwertung in Form von Verkauf des erarbeiteten Wissens existiert auf Grund des informierenden Charakters des Verbundvorhabens nicht.

Auf Basis der Ergebnisse können ein Vergleich des erforderlichen Speicherbedarfs mit dem abgeschätzten theoretischen Speicherpotenzial sowie eine räumliche Zuordnung potenziell geeigneter Speicherstandorte für die Errichtung von Kavernenspeicher in Salinarstrukturen und -bereichen erfolgen. Die Anbindung detaillierterer wissenschaftlicher Hintergrundinformationen zu den Einzelstrukturen und -bereichen trägt dazu bei, Auswahlverfahren für eine Erstauswahl von Strukturen zu erleichtern. Die Ergebnisse werden in Form eines GIS-basierten Informationssystems dargestellt und sind auf diese Weise sowohl für die Öffentlichkeit als auch für politische Entscheidungsträger leicht zugänglich. Der Link ist dem Teilbericht des Verbundpartners BGR zu entnehmen (FKZ 03ET6062B).

Mit der Veröffentlichung des Sachberichtes und des Informationssystems ist der Verwertungspflicht des Verbundprojektes nachgekommen. Das Berichtsblatt sowie das „document control sheet“ sind Anhang 0-2 zu entnehmen.

0.10 Während der Durchführung des Verbundvorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Verbundvorhabens bei anderen Stellen

Das innerhalb des InSpEE-DS-Verbundvorhabens erweiterte „Informationssystem Salzstrukturen“ bleibt die bislang einzige Kompilation aller verfügbaren Daten zu den Zechsteinsalzstrukturen Norddeutschlands und stellt die erste Kompilation dieser Art für die flach lagernden Salinare dar.



Studien, die sich ebenfalls mit der Ermittlung von Speicherpotenzialen in Deutschland beschäftigen, wurden während der Projektlaufzeit nicht veröffentlicht.

0.11 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen während der Projektlaufzeit

Vorträge

Donadei, Sabine (2016): Kavernenpotenzial – Ergebnisse aus InSpEE, Rhein-Ruhr-Wasserstoff-Workshop 2016. „Think Big: Wasserstoff für die Energiewirtschaft“, 20.01.2016, Duisburg

Horváth, Péter László (2016): Projekt InSpEE – GIS-basierte Potenzialabschätzung zur Speicherung von Erneuerbaren Energien in Salzkavernen, DBI-Fachforum GEO-Energie, 15./16.03.2016, Berlin

Horváth, Péter László (2016): Projekt InSpEE – Bewertungskriterien, Planungsgrundlagen & Methodik der Potenzialabschätzung, BGR Hauskolloquium, 18.10.2016, Hannover

Donadei, Sabine; Pollok, Lukas; Schneider, Gregor-Sönke; Zapf, Dirk (2018): Geological Basics, Rock Mechanical Calculations and Methodology for the Evaluation of CAES and H2 Storage Capacity in North Germany's Salt Structures, Saltmech IX, 12.-14.09.2018, BGR Hannover

Donadei, Sabine (2019): Großspeicher für die Energiewende – Potenzial der Druckluftspeicherung in Salzkavernen, UMSICHT: Zur Sache!, 23.05.2019, Oberhausen

Horváth, Péter László (2019): Speicherung Erneuerbarer Energien in flach lagernden Salzschiechten – Strukturgeologische Grundlagen, Gebirgsmechanische Anforderungen und Potenzialabschätzung, 81. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen, 12.06.2019, Sangerhausen

Donadei, Sabine; Horváth, Péter László (2019): Bewertungskriterien, Methodik und Ergebnisse der Potenzialabschätzung, BGR Hauskolloquium, 26. November 2019, Hannover

Posterbeiträge

Horváth, Péter László; Donadei, Sabine; Schneider, Gregor-Sönke (2016): GIS-basierte Potenzialabschätzung für Salzkavernen und Aufbau des Informationssystems „Salz“ im Projekt InSpEE, DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung, 21./22.04.2016, Celle

Horváth, Péter László; Donadei, Sabine; Schneider, Gregor-Sönke (2016): GIS-basierte Potenzialabschätzung für Salzkavernen und Aufbau des Informationssystems „Salz“ in den Projekten InSpEE und InSpEE-DS, OLEC-Arbeitskreis H2 Fachveranstaltung „Batterie und Brennstoffzelle: Synergie oder Konkurrenz?!", 29.08.2018, Oldenburg



Schriftliche Publikationen

- Donadei, Sabine; Horváth, Péter László; Schneider, Gregor-Sönke (2017): GIS-basierte Potenzialabschätzung für Kavernen in Salzstrukturen im Projekt InSpEE, Erdöl Erdgas Kohle, 133 Jg. 2017, Heft 11, S. 439-446
- Donadei, Sabine; Pollok, Lukas; Schneider, Gregor-Sönke; Zapf, Dirk (2018): Geological Basics, Rock Mechanical Calculations and Methodology for the Evaluation of CAES and H2 Storage Capacity in North Germany's Salt Structures Saltmech IX Hannover 2018
- Horváth, Péter László; Donadei, Sabine; Röhling, Simone; Gast, Sascha Gast; Zapf, Dirk (2019): Speicherung Erneuerbarer Energien in flach lagernden Salzschichten – Strukturgeologische Grundlagen, Gebirgsmechanische Anforderungen und Potenzialabschätzung – In: Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen – Beiheft 12/2019: 81. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen, 11.-14. Juni 2019 Tagungsband und Exkursionsführer: 36-38.



Literaturverzeichnis

- Dahmke, A., Bauer, S. et al. (2017): **ANGUS+**: Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher im Kontext der Energiewende - Dimensionierung, Risikoanalysen und Auswirkungenprognosen als Grundlagen einer zukünftigen Raumplanung des Untergrundes - Schlussbericht zum Verbundvorhaben, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung - Energiespeicher-Forschungsinitiative der Bundesregierung, <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A1000642933/ANGUS%2BAuswirkungen-der-Nutzung-des-geologischen/>
- Donadei, S.; Fleig, S.; Gast, S.; von Goerne, G.; Hölzner, M.; Horváth, P. L.; Pollok, L.; Riesenberg, C.; Rokahr, R. B.; Schneider, G.-S.; Zachow, R.; Zander-Schiebenhöfer, D.; Zapf, D. (2016): **InSpEE** - Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Sachbericht, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung - Energiespeicher-Forschungsinitiative der Bundesregierung, <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A866755853/Informationssystem-Salzstrukturen-Planungsgrundlagen/>
- Pudlo, D., Henkel, S., Gaupp, R. (2016): Verbundvorhaben **H2STORE**, Teilprojekt 3: Sedimentologisch-fazielle und mineralogisch-geochemische Untersuchungen an Reservoir- und Deckgesteinen - Abschlussbericht, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung - Energiespeicher-Forschungsinitiative der Bundesregierung, <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A873830806/Verbundvorhaben-H2STORE-Teilprojekt-3-Sedimentologisch/>



6 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 6

Flach lagernde Salinar-Formationen:

Kriterien und Planungsgrundlagen für die Potenzialabschätzung

Koordinatorin: Sabine Donadei

Bearbeiter: Sabine Donadei, Birgit Horváth, Péter László Horváth,
Jürgen Kepplinger, Dr. Gregor-Sönke Schneider,
Dr. Dirk Zander-Schiebenhöfer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6-3
Tabellenverzeichnis.....	6-4
6.0 Aufgabenstellung.....	6-5
6.1 Erstellung eines Kataloges vorläufiger Kriterien.....	6-5
6.1.1 Mindestfläche.....	6-5
6.1.2 Mindestmächtigkeit / Minimalkavernengröße.....	6-5
6.1.3 Maximale Teufenlage.....	6-6
6.1.4 Minimale Teufenlage.....	6-6
6.1.5 Salze zwischen Strukturen.....	6-6
6.1.6 Abstand zu bekannten Störungszonen.....	6-6
6.1.7 Bebauung.....	6-6
6.1.8 Konkurrierende Nutzung.....	6-7
6.1.9 Soleverbringung und geschützte Flächen.....	6-7
6.1.10 Salzqualität.....	6-7
6.2 Auslegung von Kavernen.....	6-7
6.2.1 Druckluftkavernen.....	6-8
6.2.2 Wasserstoffkavernen.....	6-10
6.2.3 Diskussion der Notwendigkeit kleiner Kavernen.....	6-12
6.3 Entwicklung einer Methodik.....	6-14
6.3.1 Bemerkung zur Konservativität der Potenzialabschätzung.....	6-14



6 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 6

6.3.2	Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern.....	6-15
6.3.3	Thüringen.....	6-20
6.3.4	Sachsen-Anhalt.....	6-21
6.3.5	Nordrhein-Westfalen	6-22
6.3.6	Niedersachsen	6-22
6.3.7	Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz	6-23
	Literaturverzeichnis.....	6-24



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6-1: Benötigter Salzzylinder für die Errichtung einer Kaverne	6-8
Abbildung 6-2: Energieinhalt je Kaverne – Druckluftspeicherung	6-10
Abbildung 6-3: Energieinhalt je Kaverne – Wasserstoffspeicherung	6-12
Abbildung 6-4: Beispielhafte Auslegungsvariation einer Salzkaverne für eine Salzmächtigkeit von 70 m (IGtH)	6-13
Abbildung 6-5: Flächenausnutzung der Auslegungsvariationen für eine Salzmächtigkeit von 70 m (IGtH)	6-13
Abbildung 6-7: Geologische Eingangsdaten am Beispiel von Mecklenburg- Vorpommern	6-15
Abbildung 6-8: Beispielhafte Bohrprofile aus Mecklenburg-Vorpommern nach Katzung (2004)	6-16
Abbildung 6-9: Schematischer Schnitt durch das Zechstein-Salinar Rügens und resultierendes Bohrprofil	6-17
Abbildung 6-10: Umrechnung Top Zechstein m u. NN zu Top Salz m u. GOK	6-18
Abbildung 6-11: Aufteilung der flachlagernden Salzsichten in Bereiche unterschiedlicher Teufenlage und Mächtigkeit entsprechend dem Kriterienkatalog	6-18
Abbildung 6-12: Beispielhafte Anordnung von Kavernengruppen in die Bereiche unterschiedlicher Teufenlage und Mächtigkeit	6-20



Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1:	Berücksichtigte Auslegungsfälle – Druckluftspeicherung	6-9
Tabelle 6-2:	Berücksichtigte Auslegungsfälle – Wasserstoffspeicherung	6-11



6.0 Aufgabenstellung

Das Arbeitspaket 6 bildet die Brücke zwischen der Schaffung der notwendigen Grundlagen für eine erste Potenzialabschätzung des Energiespeichervolumens flach lagernder Salinar-Formationen (Arbeitspakete 1, 2 und 4) und der Durchführung der Potenzialabschätzung (Arbeitspaket 7) selbst. Es wurden Kriterien erarbeitet, welche eine generelle Aussage zu der Eignung der einzelnen Salinar-Formationen für die Errichtung von Wasserstoff- und Druckluftspeicherkavernen ermöglichen sollen. Zusätzlich wurden Parameter für Modellkavernen entworfen, um das mögliche Speichervolumen einer einzelnen Kaverne abzuschätzen sowie eine Methodik entwickelt, die die Auswahl eines geeigneten Kavernenmodells und die Abschätzung einer möglichen Anzahl solcher Kavernen in geeigneten Bereichen der Salinar-Formationen als Ziel besitzt.

6.1 Erstellung eines Kataloges vorläufiger Kriterien

In Hinblick auf die Anforderungen an den Kavernenspeicher wurden vorläufige Kriterien entsprechend der geplanten Nutzung (Druckluft bzw. Wasserstoff) zur Bewertung der Eignung der Salinar-Formationen unter Berücksichtigung von Ausschlusskriterien (z. B. notwendige Teufenlage) und Abschlagsfaktoren (z. B. Nutzungskonkurrenz oder Bebauung) erstellt. Die Erarbeitung erfolgte in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern.

6.1.1 Mindestfläche

Auf Grund der flächigen Ausdehnung der Salinarformationen und einer abweichenden Vorgehensweise in der Potenzialermittlung gegenüber dem Projekt InSpEE, wird im Rahmen dieses Projektes keine Mindestfläche als Ausschlusskriterium definiert und angewendet.

Der Ausschluss erfolgt während der digitalen Verschneidung eines potentiell geeigneten Bereiches der Salinarformation mit den teufen- und mächtigkeitsabhängigen zugehörigen Kavernenfeldern. Flächen, die eine zu geringe Mächtigkeit haben, weisen nach dieser Verschneidung kein Speicherpotenzial auf.

6.1.2 Mindestmächtigkeit / Minimalkavernengröße

Es wird eine Mindestmächtigkeit des Salzes von 70 m festgelegt.

Die Mindestmächtigkeit der Formation ergibt sich daraus lokationsabhängig unter Einbezug der mittleren Mächtigkeit der ober- und unterhalb des Salzes befindlichen Horizonte. Diese Mächtigkeiten werden anhand von synthetischen Bohrprofilen für einzelne Bereiche der Salinarformationen ermittelt.

Salinar-Formationen, deren Potenzial so gering ist, dass diese Annahme als Ausschlusskriterium für das gesamte Gebiet gilt, deren Mächtigkeit aber nur geringfügig abweicht, werden gekennzeichnet. Diese Gebiete werden nicht in die Potenzialabschätzung aufgenommen. Nichtsdestotrotz kann innerhalb des Gebietes nach standortspezifischer Erkundung die Errichtung von Kavernen möglich sein.



6.1.3 Maximale Teufenlage

Für die Ermittlung der maximalen Teufenlage wird ein Kavernentiefstes von 2.000 m angenommen.

Die dazugehörige maximale Teufenlage der Salinarformation (Salinar-Top) unterscheidet sich regional nach jeweils vorhandener Salzmächtigkeit und Höhe der oberhalb befindlichen Horizonte.

6.1.4 Minimale Teufenlage

Die Minimalteufe wird auf 400 m festgelegt.

In geringeren Teufen ist es zwar prinzipiell möglich, Salzkavernen anzulegen, jedoch wird aus gebirgsmechanischer Sicht empfohlen, in diesem Fall die Primärspannungszustände und geologischen Verhältnisse lokationsspezifisch detailliert zu untersuchen.

Für eine gebirgsmechanische Dimensionierung der Betriebsparameter einer Speicherkaverne im Steinsalz werden isotrope Spannungsverhältnisse im Salz vorausgesetzt, um die Spannungumlagerungsprozesse für einen langfristigen Speicherbetrieb berechnen und bewerten zu können. Die Isotropie in größeren Teufen kann mit der Kriechfähigkeit des Salzes in Kombination mit den herrschenden Gebirgsspannungen und Gebirgstemperaturen sowie eines kompakten, ungestörten Gesteins erklärt werden.

In geringeren Teufen sind sowohl der primäre Gebirgsdruck als auch die Temperatur relativ niedrig. Darüber hinaus konnten häufig in der Geologie offene Klüfte im Teufenbereich bis 400 m beobachtet werden. Die Folge für die Annahmen des Primärspannungszustands ist, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens anisotroper Spannungszustände bis zu einer Teufe von 400 m stark ansteigt. Infolge dessen kann aus gebirgsmechanischer Sicht für einen solchen die Kavernen umgebenden Spannungszustand nicht gewährleistet werden, dass ein standsicherer und gasdichter Betrieb über Jahre gewährleistet ist.

6.1.5 Salze zwischen Strukturen

Flachlagernde Salzschieben des Rotliegend, des Keupersalzes und des Zechsteins werden im Ausbreitungsgebiet der Salzdiapire nicht berücksichtigt, da in den Salzabwandrungsgebieten das Speicherpotenzial in diesen Vorkommen vergleichsweise geringer ist.

6.1.6 Abstand zu bekannten Störungszonen

Für Störungszonen wird ein Sicherheitsabstand von 250 m festgelegt. Es wird sowohl um die Störungslinie im Salinar-Top als auch in der Salinar-Basis ein Puffer von 250 m gelegt.

Im Randbereich werden Pufferzonen durch die BGR angenommen, welche regional anhand vorhandener Bohrungen angepasst werden.

6.1.7 Bebauung

Flächen mit zusammenhängender Besiedelung oder unterhalb großer Wasserflächen werden von der Potenzialabschätzung ausgenommen.



6.1.8 Konkurrierende Nutzung

Bergbaugebiete werden aus der Potenzialbetrachtung ausgeschlossen.

6.1.9 Soleverbringung und geschützte Flächen

Die Bewertung von Soleverbringungsmöglichkeiten bzw. die Nähe potentiell geeigneter Bereiche von Salinarformationen zu diesen wird nicht in den Kriterienkatalog aufgenommen, da diese infrastrukturellen, technischen und politischen Bedingungen untergeordnet sind, welche regional voneinander abweichen oder Änderungen unterliegen können. Dies gilt ebenfalls für den Umgang mit geschützten Flächen oberhalb der potentiell geeigneten Bereiche der Salinarformationen. Diese Faktoren sind bei der individuellen Standortermittlung zu berücksichtigen.

6.1.10 Salzqualität

Die Qualität des Salzes wird nicht als Kriterium berücksichtigt, da diese mit den vorhandenen Eingangsdaten nicht flächig ermittelt werden kann.

Generell gilt, dass mächtige Ton-Schichten zu vermeiden sind, während dünne Anhydritbänder in der Schichtensalzstruktur eingeschlossen sein können.

Für die Errichtung von Speicherkavernen sollten der Anteil des Unlöslichen möglichst unter 20 % sowie die kompakten Schichteinschlüsse unter 2 m Mächtigkeit bleiben.

6.2 Auslegung von Kavernen

Die Auslegung von Kavernen (vergleichbar mit „Modellkavernen“) für die Errichtung in flachlagernden Salinarformationen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem IGtH (siehe Arbeitspaket 4). Die Auslegung berücksichtigt die für die verschiedenen Nutzungen gebirgsmechanisch erforderlichen Sicherheitsabstände, die Ermittlung des realisierbaren Speichervolumens und der Betriebsdrücke auf Basis ausgewählter Salzeigenschaften sowie typischer Operationsmodi der Speicherkavernen für das jeweilige Medium.

Abbildung 6-1 zeigt schematisch den daraus resultierenden benötigten Salzzylinder.

Für die verschiedenen Salzmächtigkeiten wurden je Mächtigkeit Kavernen mit gleicher Höhe, gleichem Durchmesser und gleichem Volumeninhalt definiert. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften der verschiedenen Salinartypen wurde daraus ein gebirgsmechanischer Zylinder entwickelt, der den Kavernenhohlraum umschließt. Dieser gebirgsmechanische Zylinder entspricht den maximalen Grenzen, die der Kavernenhohlraum erreichen darf.

Auf Basis des Durchmessers der gebirgsmechanischen Hülle sowie der Höhe der Kaverne wurden die Sicherheitsabstände um die Kaverne ermittelt, die für die Gewährleistung eines sicheren Betriebs notwendig sind. Dazu gehören die Schweben sowie der Pfeilerabstand. Da die Sicherheitsabstände zu den Nachbarkavernen nicht nur von der Dimension der Kaverne, sondern auch von der Teufenlage abhängen, ergeben sich für diese sich mit der Teufe ändernde Werte.

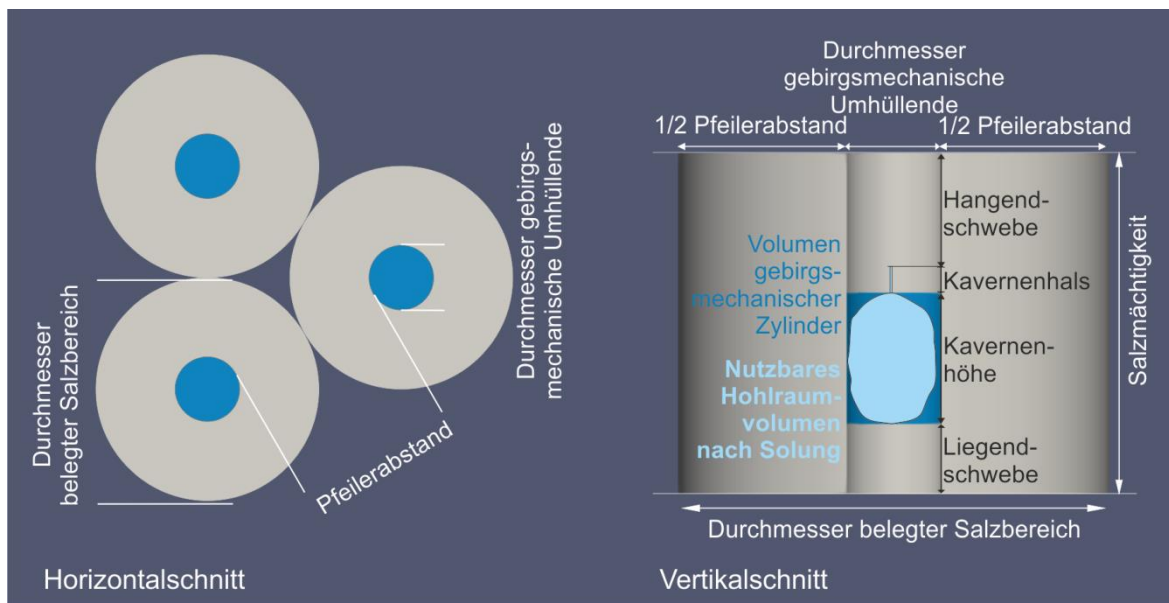


Abbildung 6-1: Benötigter Salzzylinder für die Errichtung einer Kaverne

6.2.1 Druckluftkavernen

Für die Speicherung von Druckluft wurden von dem IGtH 14 verschiedene Fälle auf Basis von folgenden Ausgangswerten festgelegt:

- Salzmächtigkeiten von 100 m, 200 m und 300 m,
- Druckabsenkung im Auslagerungszyklus von 70 auf 50 bar und 100 auf 80 bar (Druckspiel),
- Teufen in Bezug auf das Top des Salzes von 400 m bzw. des Kavernendaches von 750 m und 950 m.

Die Druckabsenkung wurde in Anlehnung an den realisierten Druckluftspeicher Huntorf beziehungsweise an geplante Konzepte auf 20 bar Entlastungsdruckspiel bezogen auf zwei Druckniveaus gewählt [Donadei, Schneider 2016]. Auf Grund der Nichteinhaltung von gebirgsmechanischen Sicherheiten bei diesen Annahmen in der Teufe von 400 m wurde hier der Druck im Projektverlauf auf 55 bis 35 bar reduziert.

Die 14 vom IGtH übermittelten Fälle wurden daraufhin in Gruppen zusammengefasst, die gleiche geometrische Abmessungen hinsichtlich ihrer maximalen Ausdehnung besitzen und den entsprechenden Salzmächtigkeiten und -teufen zugeordnet, wo sie gelten. Bei gleicher Eingruppierung aber unterschiedlichem Druckniveau wurde das Druckniveau mit der höheren Energiedichte gewählt. Die resultierenden fünf Gruppen sind in Tabelle 6-1 einschließlich des Gültigkeitsbereiches bzw. des gewählten Druckspiels dargestellt.

Tabelle 6-1: Berücksichtigte Auslegungsfälle – Druckluftspeicherung

Gruppe	Fallnummer IGtH	Mächtigkeit	Teufenbereich Salztop	Druckspiel
		[m]	[m unter GOK]	[bar]
D-100-I	DLC113_CAES_FL_100_400_11703 _35-55	100	400 - 600	55 - 35
D-100-II	DLC111_CAES_FL_100_750_11703 _70-50 und DLC121_CAES_FL_100_950_11703 _70-50	100	600 - 909	70 - 50
D-200-I	DLC213_CAES_FL_200_400_93622 _35-55	200	400 - 600	55 - 35
D-200-II	DLC211_CAES_FL_200_750_93622 _70-50 und DLC212_CAES_FL_200_950_93622 _70-50	200	600 - 868	70 - 50
D-300-I	DLC311_CAES_FL_300_750_31597 3_70-50 und DLC312_CAES_FL_300_950_31597 3_70-50	300	600 - 827	70 - 50

Für die Ermittlung des Speicherpotenzials wurde für jeden Fall der Energieinhalt je Kaverne ermittelt. Für die Ermittlung der Energiemenge einer Druckluftkaverne wurde angenommen, dass die Wärme gespeichert wird und keine externe Zufuhr eines Brenngases erfolgen muss. Somit stellt das Druckluftspeicherkraftwerk einen tatsächlichen Speicher im Stromnetz dar. Die Speicherung der Energie in einem Druckluftspeicherkraftwerk erfolgt zu einem großen Teil über die Speicherung der Wärme, sodass dem gespeicherten Arbeitsgas keine repräsentative Energiemenge zugeordnet werden kann, wie es zum Beispiel bei Erdgas oder Wasserstoff möglich ist. In Annäherung lässt sich der Energieinhalt einer Druckluftspeicherkaverne jedoch durch das Verhältnis zwischen der abgegebenen Leistung und dem Luftmassenstrom während des Auslagerungsprozesses und der möglichen Auslagerungsdauer ermitteln. Ein Vergleich vorliegender Datenpaare zeigt einen Zusammenhang von etwa 0,5 - 0,6 MW je Kilogramm Luft pro Sekunde [Zunft et al. 2006; Alstom Power et al. 2007]. In der Abschätzung des Energiespeicherpotenzials wurde konservativ mit einem Wert von 0,5 MW je Kilogramm Luft pro Sekunde gearbeitet. In Zusammenhang mit der Arbeitsgasmenge, welche aus dem Kavernenvolumen sowie den Druck- und Temperaturzuständen zu Beginn und am Ende einer Auslagerung ermittelt wurden, kann die Energiemenge ermittelt werden, die je Kaverne in Abhängigkeit des Berechnungsfalles gespeichert werden kann.

Für die Druckluftspeicherung ergeben sich für die Auslegungsfälle folgende teufenabhängige Energieinhalte je Kaverne (Abbildung 6-2).

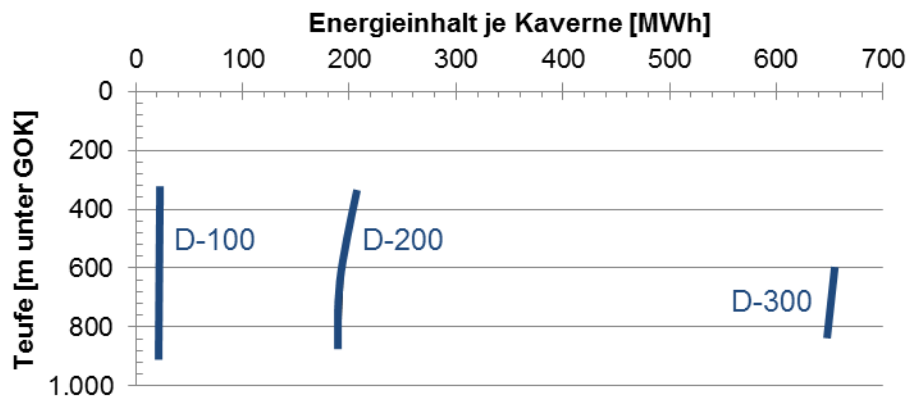


Abbildung 6-2: Energieinhalt je Kaverne – Druckluftspeicherung

Die Durchführung der Potenzialermittlung erfolgte fließend für jede Tiefe und Kavernenmächtigkeit mit einer daraus entwickelten Ausgleichsfunktion.

6.2.2 Wasserstoffkavernen

Für die Wasserstoffkavernen wurden insgesamt 26 Fälle berechnet. Diese unterscheiden sich durch:

- die Salzmächtigkeiten von 70 m, 100 m, 200 m und 300 m,
- die Teufen in Bezug auf das Top des Salzes von 400 m bis 2.000 m.

Im Gegensatz zur Druckluftspeicherung wurde für das Druckspiel keine Abhängigkeit von der Obertageanlage angenommen. Daher wurde dieses größtmöglich für jeden der Fälle individuell so ausgelegt, dass keine Verletzung gebirgsmechanischer Sicherheiten entsteht.

Die 26 vom IGtH übermittelten Fälle wurden ebenfalls in Gruppen zusammengefasst, die gleiche geometrische Abmessungen hinsichtlich ihrer maximalen Ausdehnung besitzen und den entsprechenden Salzmächtigkeiten und -teufen zugeordnet, wo sie gelten. Die resultierenden zehn Gruppen sind in Tabelle 6-2 einschließlich des Gültigkeitsbereiches dargestellt.

Tabelle 6-2: Berücksichtigte Auslegungsfälle – Wasserstoffspeicherung

Gruppe	Fallnummer IGtH	Mächtigkeit [m]	Teufenbereich Salztop [m unter GOK]
H-70-I	DLC_H_70_400_4014_55-15	70	400 - 1.200
	DLC_H_70_700_4014_108-37,5		
	DLC_H_70_1000_4014_160-60		
H-70-II	DLC_H_70_1400_4014_90-230	70	1.200 - 1.930
	DLC_H_70_1650_4014_108,75-230		
	DLC_H_70_1650_4014_108,75-230		
H-100-I	DLC_H_100_400_11703_15-55	100	400 - 1.200
	DLC_H_100_700_11703_37,5-108		
	DLC11_H_FL_100_1000_11703_60-160		
H-100-II	DLC_H_100_1400_11703_90-230	100	1.200 - 1.900
	DLC_H_100_1650_11703_108,75-230		
	DLC_H_100_1900_11703_127,5-230		
H-200-I	DLC_H_200_400_93622_55-15	200	400 - 1.018
	DLC_H_200_700_93622_108-37,5		
	DLC12_H_FL_200_1000_93622_60-160		
H-200-II	DLC13_H_FL_200_1200-93622_75-195	200	1.018 - 1.218
H-200-III	DLC14_H_FL_200_1400_93622_90-230	200	1.218 - 1.800
	DLC_H_200_1400_93622_90-230		
	DLC_H_200_1600_93622_105-230		
	DLC_H_200_1800_93622_120-230		
	DLC_H_200_2000_93622_135-230		
H-300-I	DLC_H_300_700_315973_37,5-108	300	400 - 977
	DLC21_H_FL_300_1000_315973_60-160		
H-300-II	DLC23_H_FL_300_1200_315973_75-195	300	977 - 1.177
H-300-III	DLC24_H_FL_300_1400_315973_90-230	300	1.177 - 1.700
	DLC_H_300_1650_315973_108,75-230		

Die speicherbare Energiemenge einer Wasserstoffkaverne hängt von dem Hohlraumvolumen der Kaverne, den Minimal- und Maximaldrücken sowie den zugehörigen Temperaturen ab. Sind diese bekannt, kann mit Hilfe stoffabhängiger Kennwerte die gespeicherte Gasmenge bei maximalem und minimalem Kavernenfüllstand ermittelt werden. Die Differenz dieser Mengen bildet das Arbeitsgas, dem unter Berücksichtigung des Heizwertes für Wasserstoff ein Energieinhalt zugeordnet werden kann.

Für die Wasserstoffspeicherung ergeben sich für die Auslegungsfälle folgende teufenabhängige Energieinhalte je Kaverne (Abbildung 6-3):

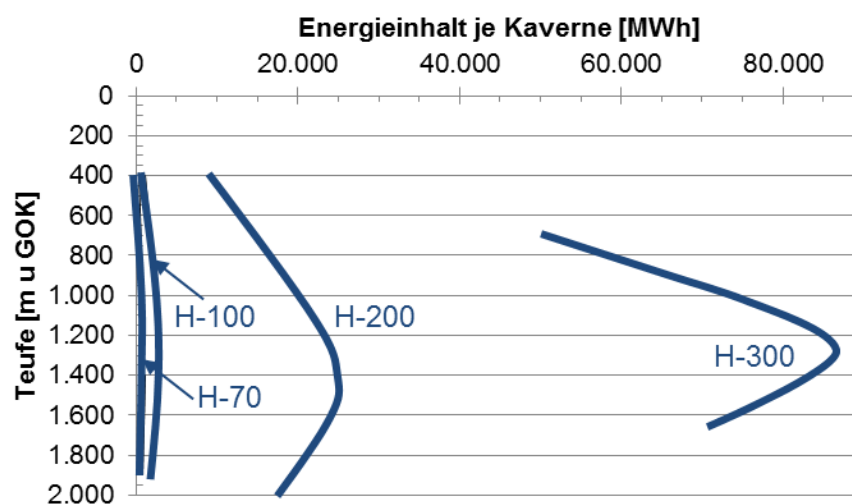


Abbildung 6-3: Energieinhalt je Kaverne – Wasserstoffspeicherung

Die Durchführung der Potenzialermittlung erfolgte fließend für jede Teufe und Kavernenmächtigkeit mit einer daraus entwickelten Ausgleichsfunktion.

6.2.3 Diskussion der Notwendigkeit kleiner Kavernen

Ein grundlegender Diskussionspunkt bei der Bestimmung von Rahmenparameter war die Festlegung der minimalen Salzmächtigkeit zur Anlegung von Kavernen. Generell kann eine Kaverne auch in geringfügigen Salzmächtigkeiten von wenigen Dekametern erfolgen, jedoch führt ein gleich bleibender Aufwand für Exploration, Bohrung und Komplettierung zu stark steigenden Kosten je geometrischer Volumeneinheit und damit Energieeinheit des Speichers. Die Grenze zwischen Wirtschaftlichkeit und Unwirtschaftlichkeit wird hier lokal von der Höhe der Notwendigkeit der regionalen Energiespeicherung und damit einhergehenden Kosten bei Nichtspeicherung und von dem Vorhandensein möglicher Alternativen mit geringeren Speicherkosten je Energieeinheit gezogen. Begrenzt kann auch ein sehr kleiner Speicher ökonomisch sinnvoll sein. Im Rahmen dieser Studie wurde die Grenze bei einer Salzmächtigkeit von 70 m gezogen.

Abbildung 6-4 zeigt zwei mögliche Auslegungen einer Kaverne in dieser Salzmächtigkeit. Da die Sicherheitsabstände von dem Durchmesser der Kaverne abhängen, verliert die Kaverne bei steigendem Durchmesser an Höhe. Der Durchmesser des belegten Salzbe-

reiches steigt. Abbildung 6-5 zeigt die horizontale Verteilung der beiden Auslegungen. Trotz der geringeren Höhe weist die erste Auslegung ein höheres geometrisches Volumen je Kaverne auf, so dass für Einzelkavernen eine solche Auslegung zu bevorzugen ist.

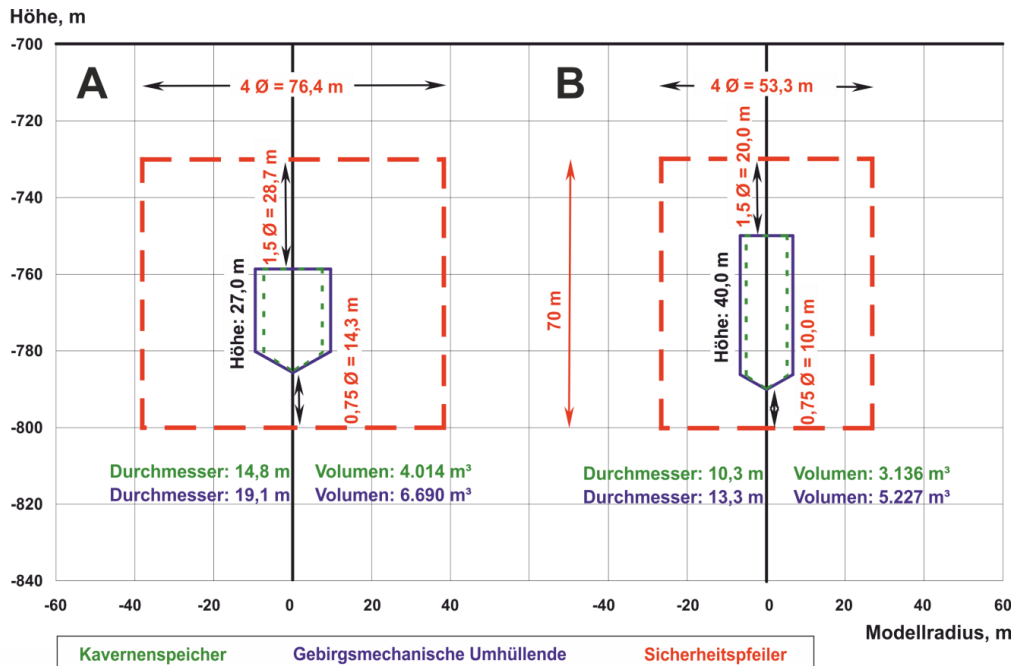


Abbildung 6-4: Beispielhafte Auslegungsvariation einer Salzkaverne für eine Salzmächtigkeit von 70 m (IGtH)

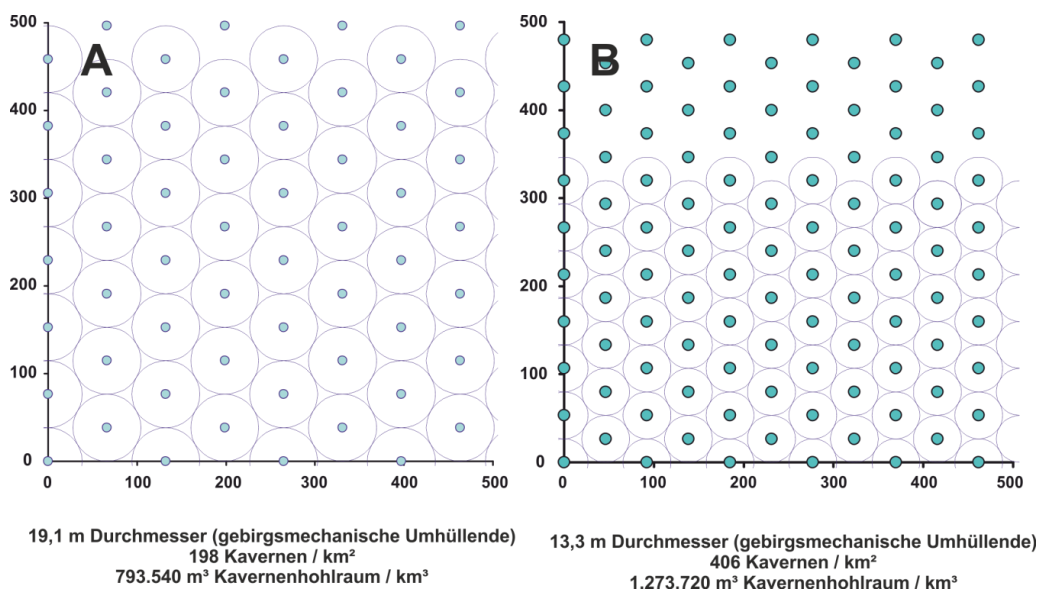


Abbildung 6-5: Flächenausnutzung der Auslegungsvariationen für eine Salzmächtigkeit von 70 m (IGtH)



Wird eine größere Anzahl an Kavernen benötigt, weist die zweite Auslegung eine höhere Volumendichte und damit auch Energiedichte bezogen auf die belegte Fläche auf, da weniger Fläche für die Einhaltung notwendiger Sicherheitsabstände erforderlich ist. Auf Grund der hohen Bohrungsdichte ist der Preis pro geometrische Volumeneinheit dennoch größer. Hier ist erneut eine Abwägung zwischen der Notwendigkeit eines möglichst hohen Speichervolumens und der einer möglichst ökonomischen Speichererstellung vorzunehmen.

6.3 Entwicklung einer Methodik

Zur Abschätzung des nutzbaren Bereichs von Salzstrukturen in Abhängigkeit von ihrer Geometrie wurde eine Methodik entwickelt, welche ermöglicht, dass für alle nach der Anwendung des Kriterienkataloges potentiell geeigneten Formationsbereiche eine Abschätzung des möglichen Speichervolumens in Abhängigkeit von ihrer Klassifizierung aus Arbeitspaket 2 erfolgen kann. Da der Umfang der übergebenen Daten zu den flach lagernden Salinarschichten je nach Datenlage für die unterschiedlichen Bundesländer stark variiert, kommt es auch zu abweichenden Vorgehensweisen zwischen den einzelnen Bundesländern. Daher wird die Entwicklung der Methodik nach diesen gegliedert beschrieben. Die Reihenfolge entspricht dabei der Bearbeitungsreihenfolge. Die Verarbeitung des Dateneingangs sowie die weitere Bearbeitung und Auswertung erfolgte mit dem Programm ArcGIS der Firma ESRI.

6.3.1 Bemerkung zur Konservativität der Potenzialabschätzung

Die Daten, die zur geologischen Einordnung der Teufenlage und Mächtigkeit der flachlagernden Salzschieben herangezogen werden, schwanken lokal in ihrer Anzahl und Aussagekraft. Während die Einordnung einer ganzen Einheit, wie z.B. der Zechsteingruppe, noch anhand ihrer durch Seismik detektierbaren Schichtgrenzen verhältnismäßig gut einzuordnen ist, so kann eine kleingliedrigere Einteilung nur aufgrund von Bohrungen, die bis in den betreffenden Teufenbereich abgeteuft wurden, vorgenommen werden. Die Verteilung der Bohrungen auf das Untersuchungsgebiet ist dabei sehr inhomogen. So muss oft anhand weniger Bohrungen auf die formationsinterne Zuordnung der für die Potenzialabschätzung wichtigen Bereiche geschlossen werden. Daher kommt es innerhalb einer Gebietszuweisung zu starken Unsicherheiten und lokalen Abweichungen. Diese steigen mit der Anzahl der zu treffenden Annahmen.

Im Rahmen dieser Potenzialabschätzung wurde denjenigen Flächen, die eine ausreichende Datenlage aufweisen, dass dort tatsächlich solfähiges Salz anzutreffen sein wird, ein Potenzial zugeordnet. Doch allein schon die Mächtigkeitszuordnung öffnet danach einen größeren Spielraum. Hier wurden die Bohrungen ausgewertet und sowohl ein Mittelwert als auch die Schwankungsbreite der Salzmächtigkeit berücksichtigt. Für die Zuordnung in eine Teufenkategorie muss der Großteil der Bohrungen eines Gebietes Salz in mindestens dieser Mächtigkeit aufweisen. Im Zweifelsfall wurde die geringmächtigere Kategorie gewählt. Dies entspricht einer stark konservativen Annahme, die aber aufgrund der Unsicherheit als gerechtfertigt anzusehen ist.

Auch im Grenzbereich zwischen zwei Bereichen unterschiedlicher Mächtigkeit und/oder Teufenlage wurde die Kavernenanordnung nicht optimiert und stärkt damit die Konservativität.

Bereiche, deren Datenlage zu gering ist, um eine Potenzialabschätzung vorzunehmen, eine Errichtung von Kavernen jedoch auch nicht ausgeschlossen ist, wurden aus der quantitativen Potenzialermittlung herausgenommen. Eine qualitative Berücksichtigung erfolgt über die grafische Ausweisung dieser Flächen.

Generell ist festzuhalten, dass es sich bei flachlagernden Salzschieben um auch lokal stark divergierende Salzbereiche handelt. Dies führt dazu, dass bei Entscheidung zur Errichtung eines Kavernenspeichers immer eine ausführliche Exploration erforderlich ist und die lokale Mächtigkeit und Teufe von den hier zur Vereinfachung zusammengefassten Mächtigkeits- und Teufengebieten sowohl in positiver als auch negativer Ausprägung abweichen kann.

6.3.2 Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern

Für die Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern wurden folgende geologische Eingangsdaten übergeben:

- Tiefenlinien Top Zechstein in 100 m-Schritten,
- Tiefenlinien Basis Zechstein in 100 m-Schritten,
- Linien gleicher Mächtigkeit Zechstein in 100 m-Schritten.
- Verlauf Verwerfungen Top und Basis Zechstein

Die Zuordnung der Teufe bezieht sich auf m unter Normalnull.

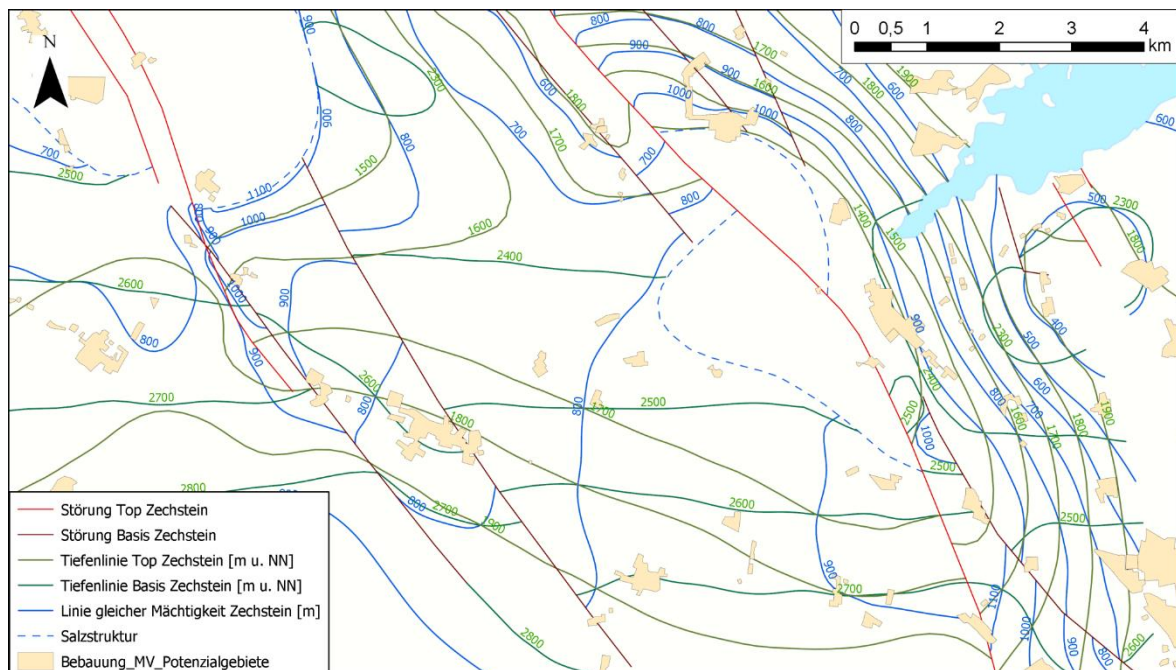


Abbildung 6-6: Geologische Eingangsdaten am Beispiel von Mecklenburg-Vorpommern

Diese Isolinien geben dabei Auskunft über die Dimension und Verbreitung der gesamten Zechsteingruppe, jedoch nicht über die Mächtigkeit der darin sich befindenden und für den Kavernenbau nutzbaren Salzsichten. Diese sind teilweise deutlich geringmächtiger. Unter- und oberhalb des nutzbaren Salzes sind nicht solfähige und/oder nicht ausreichend mächtige Gesteinskörper der Zechsteingruppe anzutreffen. Beispielhaft sind in Abbildung 6-7 Bohrprofile mit Aufschluss des Zechsteins in schematischer Form dargestellt. Als alleinige Information für die Bestimmung geeigneter Bereiche einschließlich Teufen- und Mächtigkeitszuordnung reichen diese Daten daher nicht aus.

In enger Abstimmung zwischen der BGR und DEEP.KBB wurden daraufhin in dem Verbreitungsgebiet des flachlagernden Salinars Bohrungen hinsichtlich ihres Salzaufschlusses ausgewertet. Auf dieser Basis wurden für verschiedene Teilbereiche synthetische Bohrprofile entwickelt, welche für den jeweiligen Teilbereich die Mächtigkeit des nutzbaren Salzes sowie die Anordnung unterhalb des Tops des Zechsteins festlegt. In Abbildung 6-8 sind der aus Bohrungsdaten entwickelte Schnitt durch das Zechstein-Salinar der Insel Rügen sowie das daraus abgeleitete, für ganz Rügen angenommene Bohrprofil dargestellt.

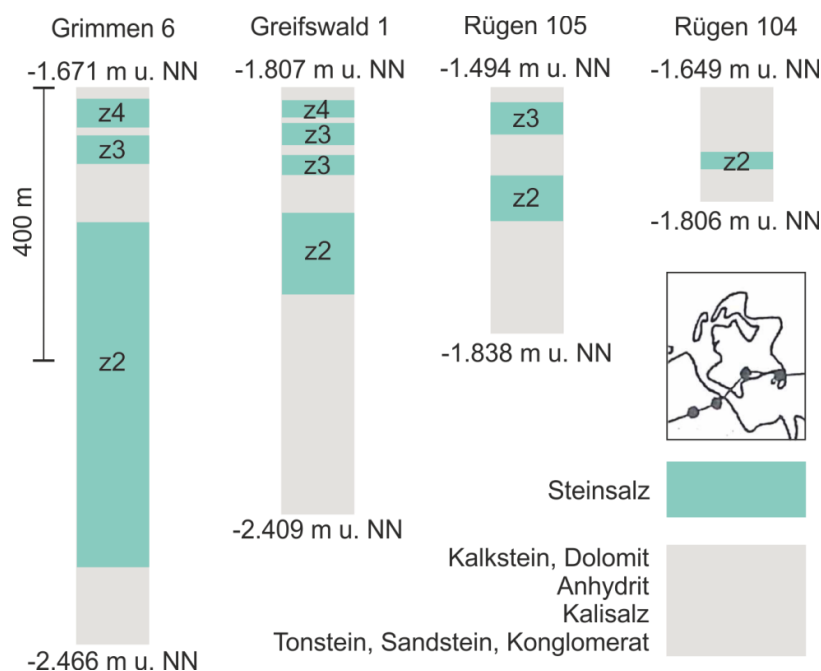


Abbildung 6-7: Beispielhafte Bohrprofile aus Mecklenburg-Vorpommern nach Katzung (2004)

In Verbindung mit den Isopachen der Zechsteingruppe konnten nun die Gebiete der flach lagernden Salinare in Teilgebiete der Mächtigkeitsgruppen 70 m, 100 m, 200 m und 300 m zugeordnet werden. In Abbildung 6-8 ist bereits ersichtlich, dass neben der Abschätzung verschiedener Mächtigkeiten auch die Umrechnung der Teufen von m unter Normalnull (Eingangswerte Geologie) auf m unter Geländeoberkante (Bezugswerte Gebirgsmechanik) erforderlich ist. Dazu wurde eine Abschätzung der Differenz zwischen Normalnull und Geländeoberkante für die verschiedenen Teilgebiete auf Grundlage des

6 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 6

DGM 200 © GeoBasis-DE / BKG (2019) (Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m von Deutschland) durchgeführt.

Für den Abgleich der Teufe des Salzes mit den Minimal- und Maximalvorgaben aus dem Kriterienkatalog wurden die Tiefenlinien des Top Zechstein mit Hilfe der Abschätzung der Mächtigkeit der nicht nutzbaren Schichten oberhalb des nutzbaren Salzes sowie der Geländehöhe in Toplinien für das nutzbare Salz umgerechnet (siehe Abbildung 6-9).

Die Teilbereiche der flachlagernden Salzschieben, die nach Umrechnung nicht die Anforderungen an die maximale Teufenlage erfüllen, wurden aus dem Potenzialgebiet entfernt. Die verbleibenden Bereiche wurden in Teilbereiche gleicher Teufenlage (in 100 m-Schritten) und gleicher Mächtigkeit aufgeteilt. Da nach Bohrungsauswertung in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern die Mächtigkeit der nutzbaren Salzschieben und der Mächtigkeit der gesamten Zechsteingruppe gut korrelieren, wurden zusätzlich zur Einteilung auch die Isopachen herangezogen. Das Resultat dieser Vorgehensweise ist, wie in Abbildung 6-10 dargestellt, eine kleingliedrige Aufteilung der flachlagernden Salinar-schichten, welche die verschiedenen Charakteristika der Kavernen in unterschiedlichen Teufenlagen und Mächtigkeiten berücksichtigt.

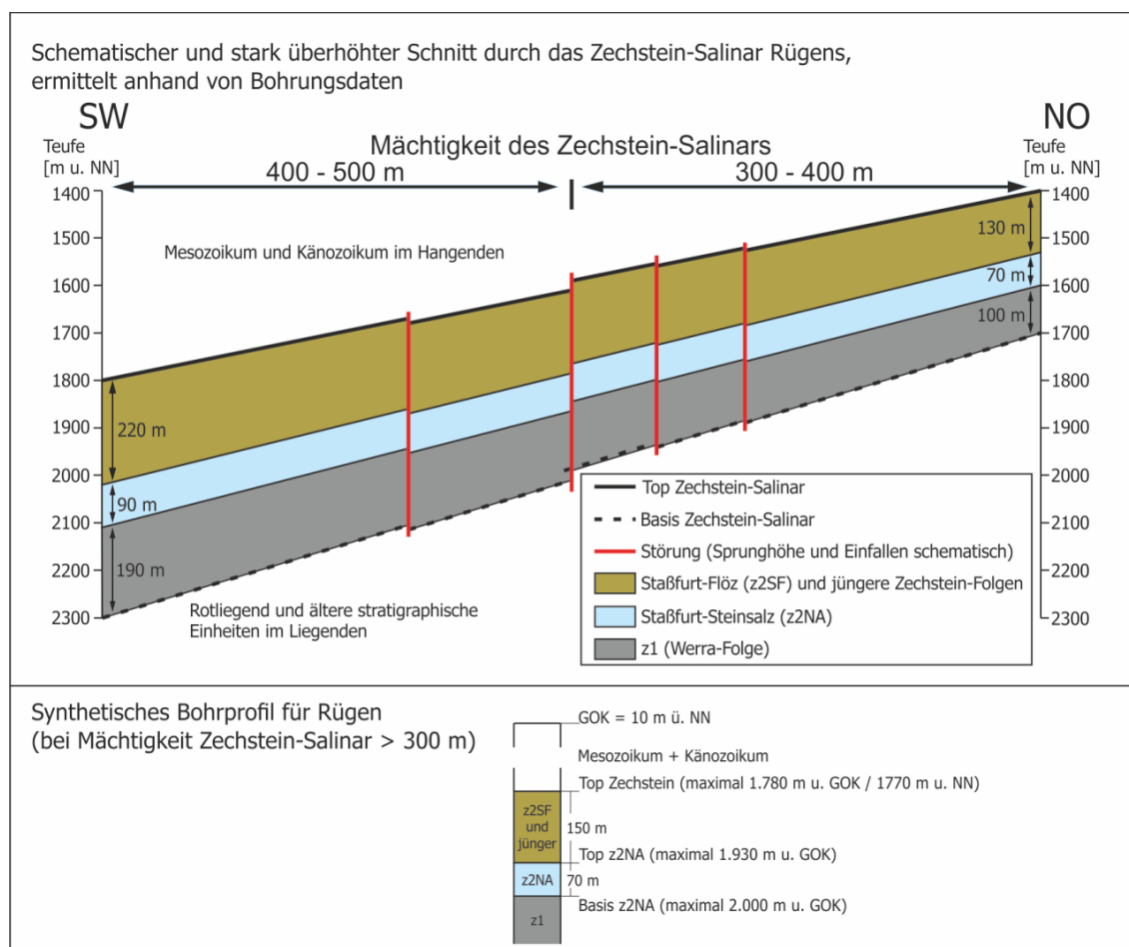


Abbildung 6-8: Schematischer Schnitt durch das Zechstein-Salinar Rügens und resultierendes Bohrprofil

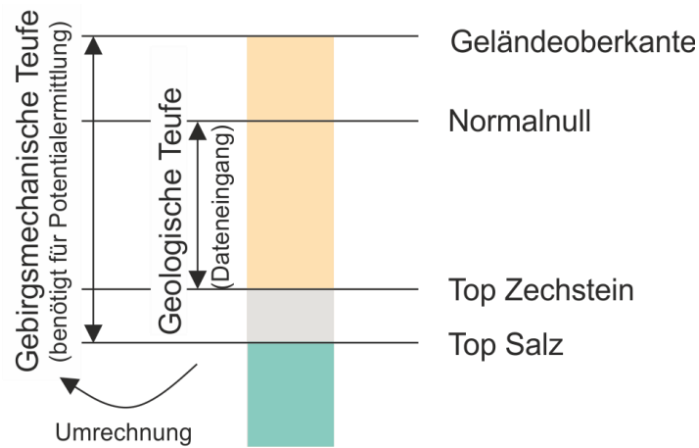


Abbildung 6-9: Umrechnung Top Zechstein m u. NN zu Top Salz m u. GOK

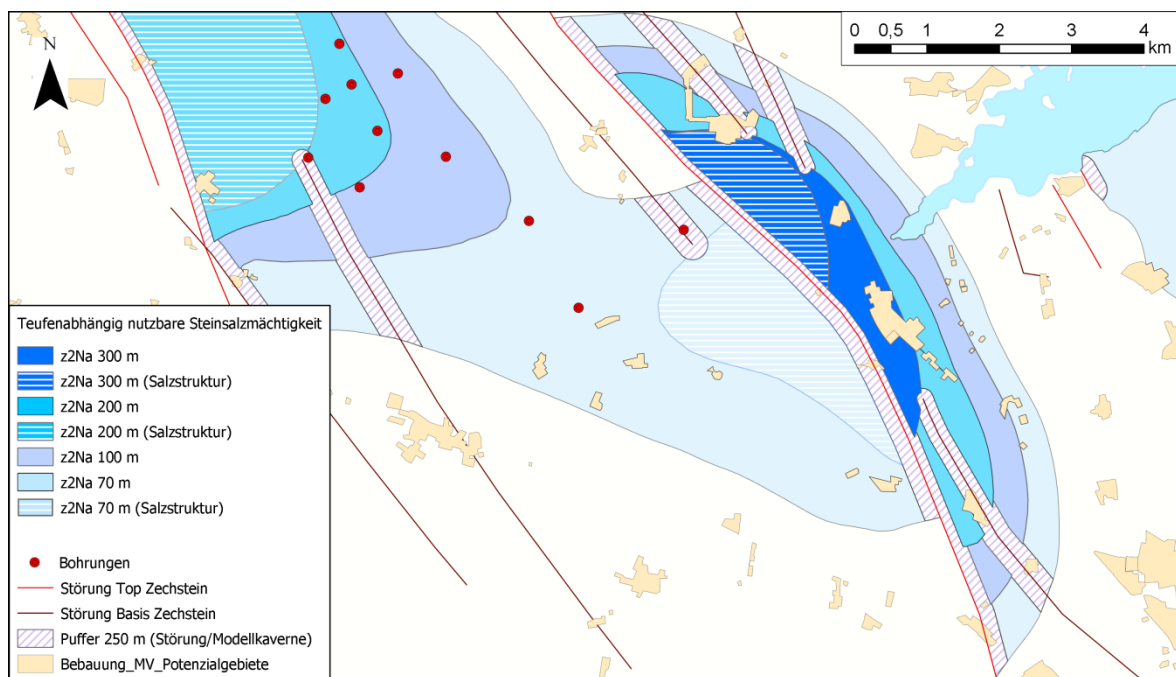


Abbildung 6-10: Aufteilung der flachlagernden Salzschichten in Bereiche unterschiedlicher Teufenlage und Mächtigkeit entsprechend dem Kriterienkatalog

Für die Errichtung von Speicherkavernen steht in Mecklenburg-Vorpommern ausschließlich das Staßfurt-Steinsalz (z2NA) zur Verfügung, während in Brandenburg sowohl das Staßfurt-Steinsalz als auch das Leine-Steinsalz (z3NA) des Zechsteinsalinar ausreichende Mächtigkeiten – wenn auch in unterschiedlichen Regionen – aufweisen.

Im Betrachtungsbereich der flachlagernden Salzschichten befinden sich Bereiche, die zu Kissen aufgewölbt sind. Bei diesen wurde geprüft, inwiefern diese bereits im Rahmen des



InSpEE-Projektes ein Potenzial zugeordnet wurde. War dies der Fall, wurden diese Strukturen aus den Potenzialflächen entfernt. War kein Potenzial zugeordnet, da das Kissen keine Teufen- oder Mächtigkeitskategorie des InSpEE-Projektes erfüllt hatte, wurde das Kissen mit der Mächtigkeit und Teufenzuordnung des angrenzenden Teilbereiches in die Potenzialabschätzung integriert. Tatsächlich wird die Mächtigkeit eines Großteils der Kissen höher sein, so dass dies einer konservativen Annahme entspricht. Ziel dieser Integration in die flach lagernden Salzsichten war vor allem die generelle Aufnahme in die Potenzialstudie, da diese Strukturen sonst weder im InSpEE-Projekt auf Grund der auf Salzstrukturen zugeschnittenen Kavernenauslegungen noch im Projekt InSpEE-DS auf Grund ihrer Abgrenzung zu den flach lagernden Salzsichten berücksichtigt worden wären. In Abbildung 7-1 sowie der Übersichtskarte in Anhang 7-1 sind diese Salzkissen als dunkelgrüne Strukturen innerhalb der potenziell geeigneten flach lagernden Salinarbereiche zu erkennen.

Im Anschluss wurden die verbliebenen Potenzialgebiete mit den Abzugsflächen verschnitten. Dazu gehören

- die Bebauung,
- größere Wasserflächen,
- bergmännisch genutzte Gebiete in Bezug auf Nutzungskonkurrenz und
- Pufferbereiche um geologische Störungen.

Für die Länder Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern beziehen sich die bergmännisch genutzten Gebiete auf die tertiären Braunkohletagebaubereiche im südlichen Brandenburg (Lausitzer Braunkohlerevier). Untertägige Bergwerke im Zechstein sind in beiden Bundesländern nicht vorhanden.

Um geologische Störungen, die sowohl im Top- als auch im Bereich der Basis des Zechsteins vorkommen, wurde ein Puffer von 250 m gelegt. Der Puffer bezieht sich auf einen Abstand von 250 m zwischen einer Störungsfläche und der Kavernenwand bzw. der gebirgsmechanischen Umhüllenden. Je nach Kavernengruppe variiert neben dem Durchmesser der gebirgsmechanischen Umhüllenden auch der des belegten Salzbereichs. Dieser umschließt die gebirgsmechanische Umhüllende als Salzzylinder (siehe Kapitel 6.2). Für die Potenzialanalyse wurden die Salzzylinder der Kavernengruppen herangezogen. Je nach Kavernengruppe und damit Größe des Salzzylinders wurde der Puffer angepasst, um damit den Abstand von 250 m zwischen Kaverne und Störung zu wahren (siehe Abbildung 6-11).

Die verbliebenen Potenzialbereiche wurden dann entsprechend ihrer Zuordnung zu den Kavernengruppen der Tabelle 6-1 und der Tabelle 6-2 hinsichtlich der möglichen Anzahl zu errichtender Kavernen ausgewertet. Dies ist in Abbildung 6-11 beispielhaft dargestellt. Der jeweiligen Kavernenanzahl wurde abschließend teufenabhängig ein Gesamtenergieinhalt zugewiesen.

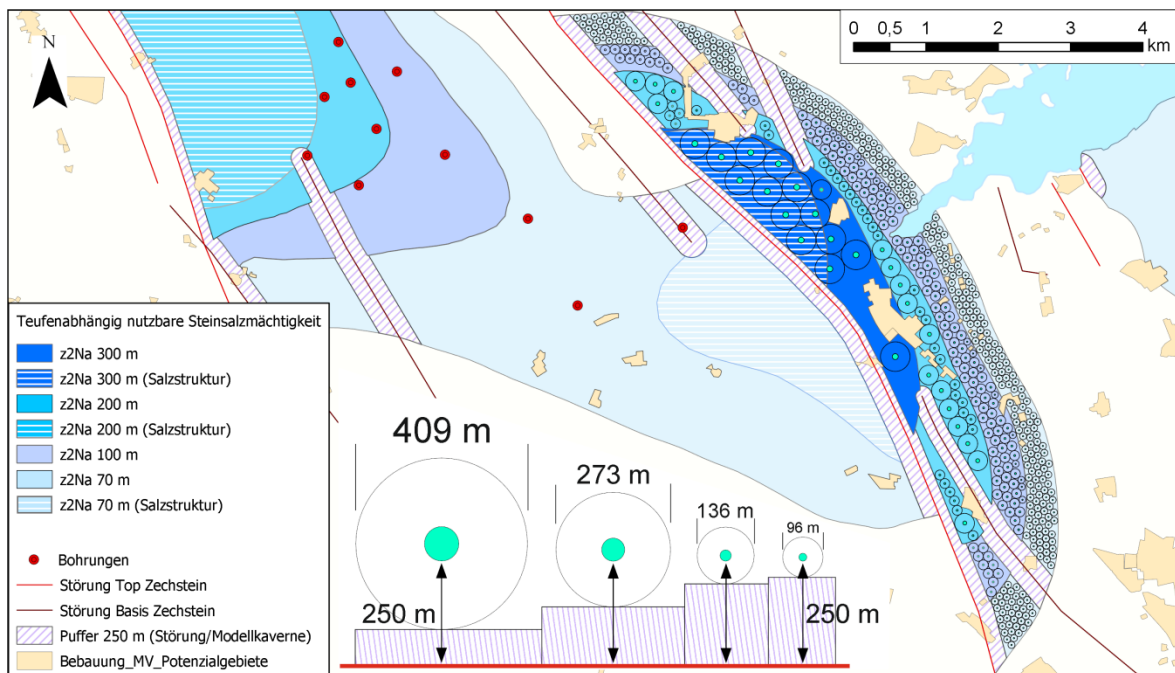


Abbildung 6-11: Beispielhafte Anordnung von Kavernengruppen in die Bereiche unterschiedlicher Teufenlage und Mächtigkeit

6.3.3 Thüringen

Für das Bundesland Thüringen wurden folgende geologische und bergbauliche Eingangsdaten übergeben:

- Tiefenlinien Top Zechstein in 100 m-Schritten,
- Tiefenlinien Basis Zechstein in 100 m-Schritten,
- Linien gleicher Mächtigkeit Zechstein in 100 m-Schritten,
- Verlauf Verwerfungen Top und Basis Zechstein,
- Schachtansatzpunkte der Bergwerke,
- Berechtsame für Sole und Salzgesteine (Polygone).

Die Zuordnung der Teufe bezieht sich auf m unter Normalnull.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Potenzialabschätzung entspricht der von Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Es wurde das Speicherpotenzial sowohl im Staßfurt-Steinsalz als auch im Werra-Steinsalz (z1NA) ermittelt.

Im nordöstlichen Potenzialgebiet steigt das Steinsalz bis oberhalb der 400 m u. GOK auf. Befand sich davon eine ausreichend mächtige Steinsalzschiefer – 70 m bis 300 m – unterhalb der 400 m u. GOK, wurden diese Bereiche ohne Abzug in der Abschätzung des Speicherpotenzials berücksichtigt. Bereiche, die nur oberhalb dieser Teufe eine ausreichende Mächtigkeit aufweisen, wurden nicht im Rahmen der quantitativen Potenzialauswertung berücksichtigt. In Abhängigkeit der geplanten Fahrweise und unter Einbezug



standortspezifischer Materialeigenschaften kann eine Speicherung dennoch möglich sein kann. Im Raum zwischen Bad Langensalza, Erfurt, Weimar und Apolda konnte aufgrund fehlender oder unsicherer Bohrdaten keine Aussage zum Speicherpotenzial getroffen werden. Dies gilt auch für den gesamten Bereich des Zechstein-Salinars an der Werra.

In Bezug auf die Nutzungskonkurrenz wurden in Thüringen die Flächen der bestehenden untertägigen Salzbergwerke ermittelt und von der Potenzialfläche abgezogen. Für die aktiven Bergwerke Sondershausen und Kehmstedt (Soleproduktion) wurden dabei die Berechtsame berücksichtigt. Für die stillgelegten Bergwerke Volkenroda und Pöthen, wurden die Grubenfelder nach Gessert et al. (2017) berücksichtigt, da entweder die Berechtsame erloschen sind oder keine Nutzung dieser vermutet wird. Für die Bergwerke Roßleben im Grenzgebiet zu Sachsen-Anhalt und weitere kleinere Werke des Südharz-Reviere und Saale-Unstrut-Reviere wurden z.T. Berechtsame und sonst nur die Schachtansatzpunkte übermittelt und die tatsächlichen Einflussbereiche abgeschätzt. Die Umrisse der Grubenfelder im Bereich der Werke Merkers und Springen Zechstein-Salinar an der Werra sind angelehnt an Hunstock (2004) und Krupp (2017).

6.3.4 Sachsen-Anhalt

Für das Bundesland Sachsen-Anhalt wurden folgende geologische Eingangsdaten übergeben:

- Tiefenlinien Top Zechstein in 100 m-Schritten,
- Tiefenlinien Basis Zechstein in 100 m-Schritten,
- Verlauf Verwerfungen Top und Basis Zechstein,
- Schachtansatzpunkte der Bergwerke,
- Berechtsame für Sole und Salzgesteine (Polygone).

Die Zuordnung der Teufe bezieht sich auf m unter Normalnull.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Potenzialabschätzung entspricht der von den Bundesländern in den vorhergehenden Kapiteln. Es wurde das Speicherpotenzial im Staßfurt-Steinsalz ermittelt.

Wie im Bundesland Thüringen konnten auch in Sachsen-Anhalt Gebiete ausgemacht werden, wo Steinsalz führende Schichten oberhalb von 400 m u. GOK vorkommen. Bei einer noch ausreichenden Mächtigkeit des Steinsalzes (mindestens 70 m) in diesen Gebieten unterhalb von 400 m u. GOK wurden diese in die Speicherpotenzialabschätzung einbezogen.

In Bezug auf die Nutzungskonkurrenz wurden in Sachsen-Anhalt die Flächen des bestehenden untertägigen Salzbergwerks in Zielitz und der aktiven Kavernenfelder bei Teutschenthal ermittelt und von der Potenzialfläche abgezogen. Gleiches gilt für die Grubenfelder der ehemaligen Kali- und Steinsalzwerke im Raum Mansfeld-Sangerhausen. Als Quellen sind im Wesentlichen das Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2006, 2008) und Hegemann (2013) zu nennen.



6.3.5 Nordrhein-Westfalen

Für das Bundesland Nordrhein-Westfalen wurden folgende geologische und bergbauliche Eingangsdaten übergeben:

- Tiefenlinien Top Zechstein in 100 m-Schritten,
- Tiefenlinien Basis Zechstein in 100 m-Schritten,
- Verlauf Verwerfungen Top und Basis Zechstein,
- Schachtansatzpunkte der Bergwerke,
- Berechtsame für Sole und Salzgesteine (Polygone).

Die Zuordnung der Teufe bezieht sich auf m unter Normalnull.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Potenzialabschätzung entspricht der von den Bundesländern in den vorhergehenden Kapiteln. Es wurde das Speicherpotenzial in den Steinsalzen der Werra-, Staßfurt- und Leine-Formation ermittelt. Aufgrund von Unsicherheiten in der geologischen Datengrundlage (Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland) gibt es Gebiete in Nordrhein-Westfalen, die entweder nur Isolinien vom Top oder der Basis des Zechsteins aufweisen und damit keine Aussage zur Gesamtmächtigkeit der Zechsteingruppe in diesen Gebieten ermöglicht. Zusätzlich fehlen Bohrdaten zur Ermittlung der nötigen Steinsalzmächtigkeit. Eine Bestimmung des Speicherpotenzials war in diesen Gebieten nicht möglich. Gebiete, in denen Steinsalz nachweislich vorhanden ist, aber vom Geotektonischen Atlas von Nordwest-Deutschland nicht erfasst sind, konnten nicht bearbeitet werden.

In Bezug auf die Nutzungskonkurrenz wurden in Nordrhein-Westfalen die Flächen des bestehenden untertägigen Salzbergwerks in Borth (Landtag NRW 2018) und der aktiven Kavernenfelder bei Epe und Xanten ermittelt und von der Potenzialfläche abgezogen.

6.3.6 Niedersachsen

Für das Bundesland Niedersachsen wurden folgende geologische und bergbauliche Eingangsdaten übergeben:

- Tiefenlinien Top Zechstein in 100 m-Schritten,
- Tiefenlinien Basis Zechstein in 100 m-Schritten,
- Verlauf Verwerfungen Top und Basis Zechstein,
- Schachtansatzpunkte der Bergwerke,
- Berechtsame für Sole und Salzgesteine (Polygone).

Die Zuordnung der Teufe bezieht sich auf m unter Normalnull.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Potenzialabschätzung entspricht der von den Bundesländern in den vorhergehenden Kapiteln. Es wurde das Speicherpotenzial in den Steinsalzen der Staßfurt- und Leine-Formation sowie geringfügig im Werra-Steinsalz ermittelt. Aufgrund von Unsicherheiten in der geologischen Datengrundlage (Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland) gibt es Gebiete in Niedersachsen, die entweder



nur Isolinien vom Top oder von der Basis des Zechsteins aufweisen und damit keine Aussage zur Gesamtmächtigkeit der Zechsteingruppe in diesen Gebieten ermöglicht. Zusätzlich fehlen Bohrdaten zur Ermittlung der nötigen Steinsalzmächtigkeit. Eine Bestimmung des Speicherpotenzials war in diesen Gebieten nicht möglich. Gebiete, in denen Steinsalz nachweislich vorhanden ist, aber vom Geotektonischen Atlas von Nordwest-Deutschland nicht erfasst sind, konnten nicht bearbeitet werden.

Gebiete mit Nutzungskonkurrenz entfallen im Bereich der flach lagernden Salzschichten ausschließlich auf Grubenfelder ehemaliger Kali- und Steinsalzgewinnungsbetriebe. Diese konnten mit Hilfe der Daten der BGR ermittelt werden. Gleiches gilt für die Felder der bestehenden Kavernenfelder, die sich ausnahmslos auf die Salzstrukturen beziehen.

6.3.7 Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz

Flach lagernde Steinsalzfolgen des Zechsteins erfassen im Bereich der Flüsse Werra und Fulda das Bundesland Hessen sowie den Norden Bayerns. Aufgrund der Salzbergwerke Wintershall, Hattorf und Unterbreizbach sowie des Kavernenstandortes in Reckrod ist nachweislich Steinsalz in ausreichender Mächtigkeit und Flächenausbreitung vorhanden. Geologische Daten (Isolinien und Bohrdaten) konnten von der BGR nicht erarbeitet oder gewonnen werden, weshalb das Speicherpotenzial dieser Vorkommen nicht ermittelt werden konnte.

Die Verbreitungsgebiete des Muschelkalk-Salinars in Bayern und vornehmlich in Baden-Württemberg sind für die Anlage von Speicherkavernen nicht geeignet, da die Mächtigkeit der Steinsalzfolgen nicht die erforderliche Mächtigkeit von mindestens 70 m erreicht.

Für die tertiären Salinare im Süden Hessens, in Rheinland-Pfalz und vornehmlich entlang des Oberrheins in Baden-Württemberg konnten keine geologischen Daten in ausreichender Menge ermittelt werden. Somit konnte kein Speicherpotenzial bestimmt werden.

Die alpinen Salinare bei Berchtesgaden in Bayern sind aus geologischer Sicht für die Anlage von Speicherkavernen im Rahmen dieses Projektes nicht geeignet.

Die Grubenfelder der bestehenden Salzbergwerke in Hessen und Baden-Württemberg stammen aus Krupp (2011), Sierig (2003) und ARGE SuedLink (2019). Der Grubenbau des ehemaligen Kaliwerks bei Buggingen im Oberrheintal ist entlehnt an miner-sailor (2020).



Literaturverzeichnis

- Alstom Power, Ecofys, E.ON Energie, KBB Underground Technologies, IAEW, REpower, Vattenfall Europe Transmission (2007): Verbesserte Integration großer Windstrommengen durch Zwischenspeicherung mittels CAES – Wissenschaftliche Studie gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Endbericht, 143 S.; Hannover.
- ARGE SuedLink (2019): Vergleich möglicher Varianten zum Verlauf einer untertägigen Höchstspannungs-Gleichstrom-Trasse im Bergwerk Heilbronn – Bad Friedrichshall (online verfügbar unter: https://www.transnetbw.de/files/pdf/suedlink/planung-und-genehmigung/S8-Unterlagen/V3-E/02_Technische%20Beschreibung%20des%20Vorhabens/2_Anh%C3%A4nge/Anhang5-2-4.pdf).
- Donadei, S., Schneider, G.-S. (2016): Compressed Air Energy Storage in Underground Formations – erschienen in Storing Energy von Trevor M. Letcher, Elsevier.
- Gessert, A., Thoma, H., Köhler, R. & Prühl, H. (2017): Seismische Überwachung ehemaliger Kalibergwerke im Südharz – Entwicklung der Technologie und Aktivität mit fortschreitender Verwahrung – In: ERCOSPLAN (Hg.): Kurzfassungen der Vorträge zum Festsymposium – Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert – Rohstofferkundung, Rohstoffgewinnung, Rohstoffaufbereitung sowie Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände: 106-114 (online verfügbar unter: https://ercosplan.com/web-site/pdf_abstract/65-25_Abstract.pdf).
- Hegemann, R. (2013): Schneidende Vortriebstechnik in der Aus- und Vorrichtung der K+S KALI GmbH – Kali und Steinsalz, 2/2013: 16-21.
- Hunstock, F. (2004): Entwicklungstendenzen bei Rationalisierungsprozessen im Kali- und Steinsalzbergbau – Kali und Steinsalz, 2/2004: 16-29.
- Katzung, G. (2004): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern – 1. Aufl., Stuttgart (Schweizerbart).
- Krupp, R. (2011): Alternative Produktions-, Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren im Thüringisch-Hessischen Kalirevier – Betrachtungen zur Nachhaltigkeit des Kalibergbaus (online verfügbar unter: https://www.die-linke-thl.de/fileadmin/lv/dokumente/presse/sonstiges/Krupp_Gutachten_nachhaltiger_Kalibergbau.pdf).
- Krupp, R. (2017): Anhörungsverfahren des Thüringer Landtags zu dem Thema: Sanierung ökologischer Altlasten der DDR Kaliindustrie im Werk Werra der K+S Kali GmbH sowie Einlagerung von Kaliabwässern in der Grube Springen (online verfügbar unter: <http://www.wasser-in-not.de/dateien/stellungnahmen-gutachten/stellungnahmen-dr-krupp/2017-02-08%20Krupp%20Anhoerung%20Springen-Merkers.pdf>).
- Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hg.) (2006): Geologie und Bergbau von Halle und Umgebung 1 : 50 000, Halle (Saale).
- Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hg.) (2008): Geologisch-montanhistorische Karte Mansfeld-Sangerhausen 1 : 50 000, Halle (Saale).



- Landtag NRW (2018): 7. Sitzung des Unterausschusses Bergbausicherheit am 14.12.2018 – TOP 4 „Bergbaubehördliche Genehmigungen zur Gewinnung von Salz durch die Firma ESCO" (online verfügbar unter: <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMV17-1499.pdf>).
- miner-sailor (2020): Das historische Kalibergwerk Buggingen - die schwierigste Salzlagerstätte Deutschlands (online verfügbar unter: <http://www.miner-sailor.de/kaliwerkbuggingen.htm>).
- Sierig, J. (2003): GIS-Modellierung pedogener CO₂-Vorkommen als Ansatz zur Salzexploration am Beispiel des Mittleren Muschelkalkes – Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität-Tübingen (<https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/48471>).
- Zunft, S., Jakiel, C., Koller, M., Bullough, C. (2006): Adiabatic Compressed Air Energy Storage for the Grid Integration of Wind Power – 6th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Windfarms, 26-28 October 2006, Delft/The Netherlands.



7 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 7

Flach lagernde Salinar-Formationen:

Ermittlung des Speicherpotenzials

Koordinator/in: Péter László Horváth

Bearbeiter: Sabine Donadei, Birgit Horváth, Péter László Horváth, Jürgen Kepplinger, Hr. Gregor-Sönke Schneider, Hr. Dirk Zander-Schiebenhöfer

Bearbeiter:

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7-2
Tabellenverzeichnis.....	7-3
7.0 Aufgabenstellung.....	7-4
7.1 Brandenburg	7-7
7.2 Mecklenburg-Vorpommern.....	7-8
7.3 Niedersachsen	7-9
7.4 Nordrhein-Westfalen.....	7-10
7.5 Sachsen-Anhalt	7-11
7.6 Thüringen	7-12



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 7-1: Übersicht der in InSpEE und InSpEE-DS ausgewerteten Salinarbereiche und Salzstrukturen.....	7-5
Abbildung 7-2: Legende zu den Abbildungen 7-1 sowie 7-3 bis 7-8.....	7-6
Abbildung 7-3: Potenzialflächen Brandenburg	7-7
Abbildung 7-4: Potenzialflächen Mecklenburg-Vorpommern	7-8
Abbildung 7-5: Potenzialflächen Niedersachsen	7-9
Abbildung 7-6: Potenzialflächen Nordrhein-Westfalen.....	7-10
Abbildung 7-7: Potenzialflächen Sachsen-Anhalt.....	7-11
Abbildung 7-8: Potenzialflächen Thüringen	7-12



Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1:	Zusammenstellung der Ergebnisse aus InSpEE-DS und InSpEE.....	7-4
---------------------	--	------------



7.0 Aufgabenstellung

Auf Basis der Ergebnisse der Arbeitspakete 1, 2, 4 und 6 wird in diesem Arbeitspaket das mögliche Energiespeicherpotenzial der flach lagernden Salinar-Formationen Deutschlands in Form von einer Speicherung von Druckluft beziehungsweise Wasserstoff in Salzkavernen durchgeführt. Eine Übersicht der betrachteten Salinar-Formationen zeigt Abbildung 7-1. Eine größere Darstellung ist in Anhang 7-1 enthalten. Die Legende findet sich in Abbildung 7-2.

Die Grenzen der Potenzialgebiete weisen dabei aufgrund der für eine Potenzialabschätzung zu treffenden Annahmen einen schematischen Charakter auf. Die Auswertung erfolgte länderweise. Das ermittelte Gesamtpotenzial für die flach lagernden Salinar-Formation im Rahmen des InSpEE-DS-Projektes beträgt 2,6 TWh für Druckluft und 1.712 TWh für Wasserstoff. Die Werte bilden hinsichtlich der berücksichtigten Kriterien eine untere Grenze ab und gelten zusätzlich zu dem Potenzial des InSpEE-Projektes. Die Ergebnisse sind nachfolgend alphabetisch aufgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie der Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Verbundvorhaben InSpEE enthält Tabelle 7-1.

Tabelle 7-1: Zusammenstellung der Ergebnisse aus InSpEE-DS und InSpEE

Speicherpotenzial [TWh]	InSpEE-DS		InSpEE	
	CAES	Wasserstoff	CAES	Wasserstoff
Total	2,6	1.712	4,5	1.614
Brandenburg	0,6	353	0,5	159
Bremen/Niedersachsen	0,1	253	2,0	702
Hamburg/Schleswig-Holstein	-	-	0,7	413
Mecklenburg-Vorpommern	0,0	25	0,6	193
Nordrhein-Westfalen	0,0	168	-	-
Sachsen-Anhalt	1,2	318	0,8	147
Thüringen	0,7	595	-	-

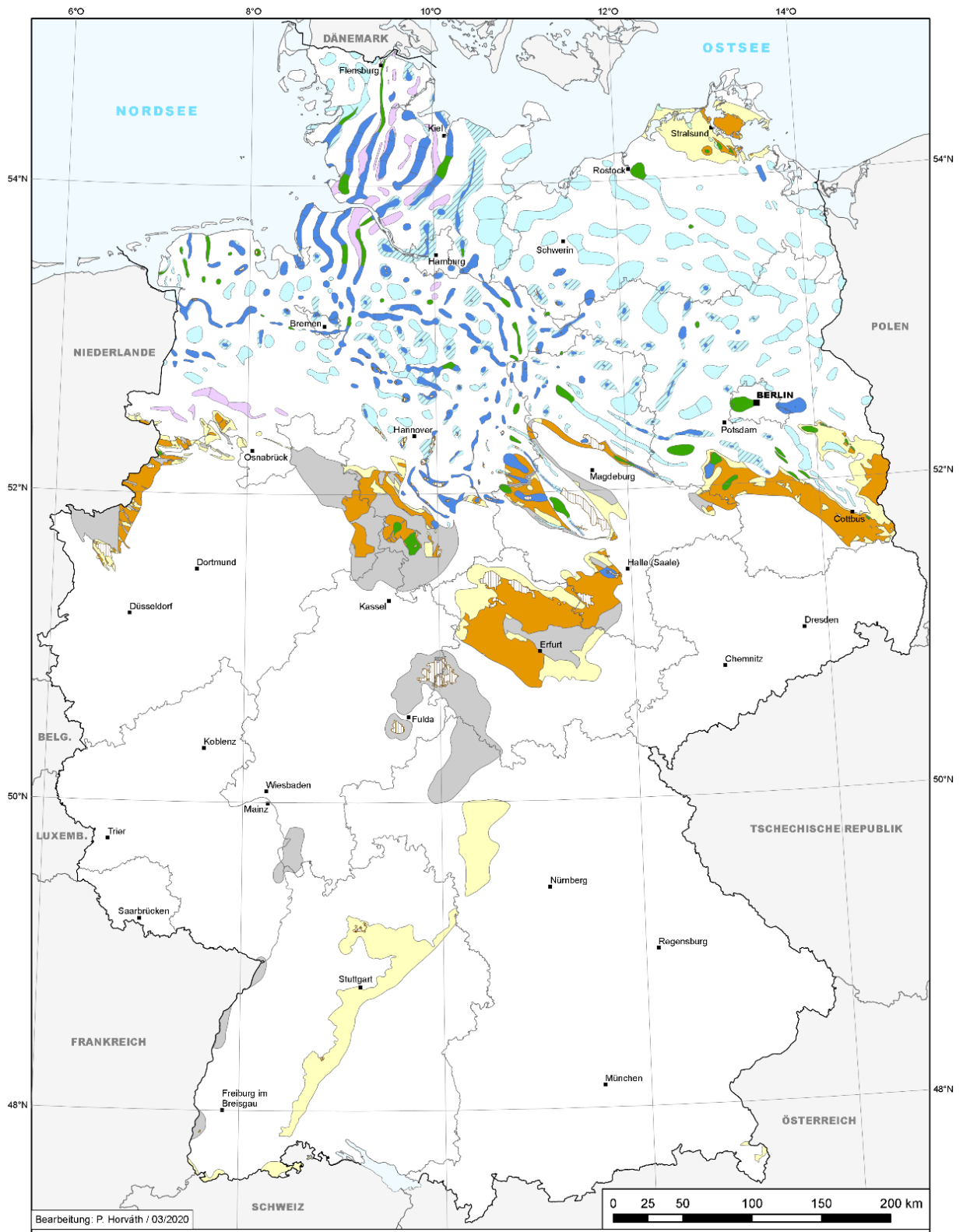


Abbildung 7-1: Übersicht der in InSpEE und InSpEE-DS ausgewerteten Salinarbereiche und Salzstrukturen












Flach lagernde Salinarschichten onshore (InSpEE-DS)¹	Salzstrukturen onshore (InSpEE)²
 geeignet	 geeignet
 ungeeignet	 geeignet nach InSpEE-DS
 unsicher / keine Daten	 ungeeignet
Ausschlusskriterien	
 Kissenfuß	
 Jura- und Keupersalinar	
 Gruben- und Kavernenfelder	

Abbildung 7-2: Legende zu den Abbildungen 7-1 sowie 7-3 bis 7-8

7.1 Brandenburg

Die Verteilung des Speicherpotenzials in Brandenburg in den flach lagernden Salinar-Formationen beschränkt sich auf den östlichen und südlichen Bereich (siehe Abbildung 7-3). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche sowohl für die Druckluftspeicherung als auch für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden.

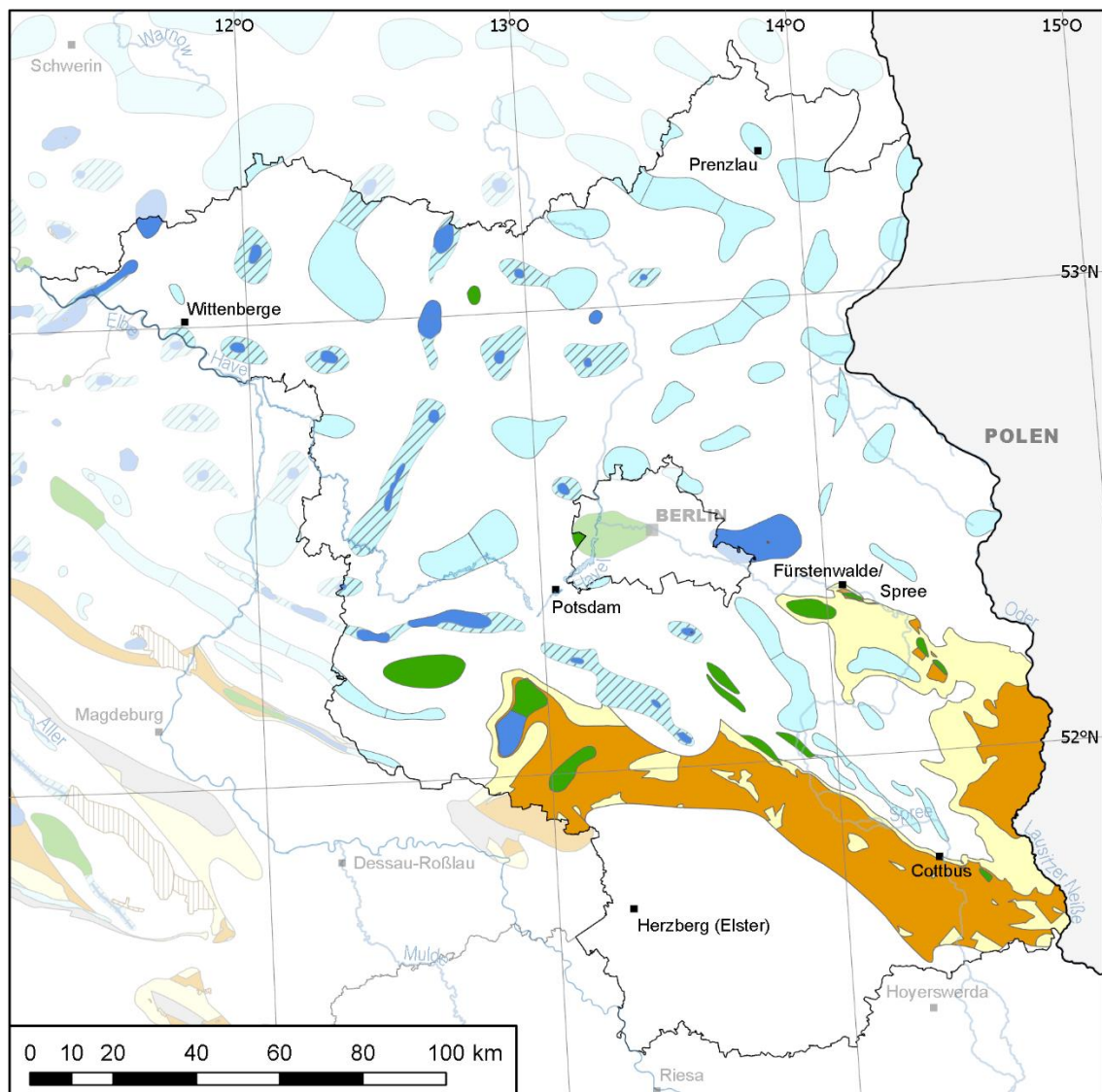


Abbildung 7-3: Potenzialflächen Brandenburg

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Druckluftspeicherung auf 0,61 TWh und für die
- Wasserstoffspeicherung auf 352,7 TWh.

7.2 Mecklenburg-Vorpommern

Die Verteilung des Speicherpotenzials in Mecklenburg-Vorpommern in den flach lagernden Salinar-Formationen beschränkt sich auf den nördlichen Bereich (siehe Abbildung 7-4). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden.

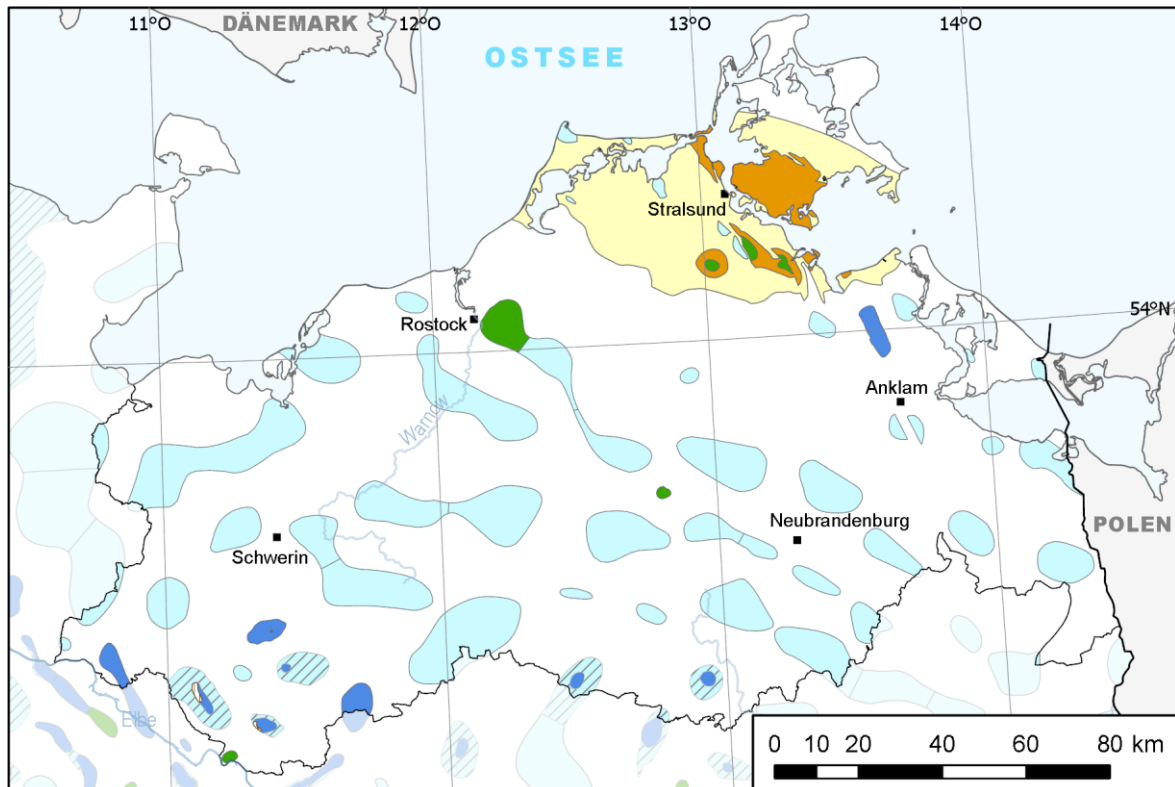


Abbildung 7-4: Potenzialflächen Mecklenburg-Vorpommern

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Wasserstoffspeicherung auf 25,2 TWh.

Aufgrund der hohen Teufen ergab die Abschätzung in Berücksichtigung der getroffenen Annahmen für den Druckluftspeicherbetrieb kein Potenzial.

7.3 Niedersachsen

Die Verteilung des Speicherpotenzials in Niedersachsen in den flach lagernden Salinar-Formationen beschränkt sich auf den westlichen und südlichen Bereich (siehe Abbildung 7-5). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche sowohl für die Druckluftspeicherung als auch für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden.

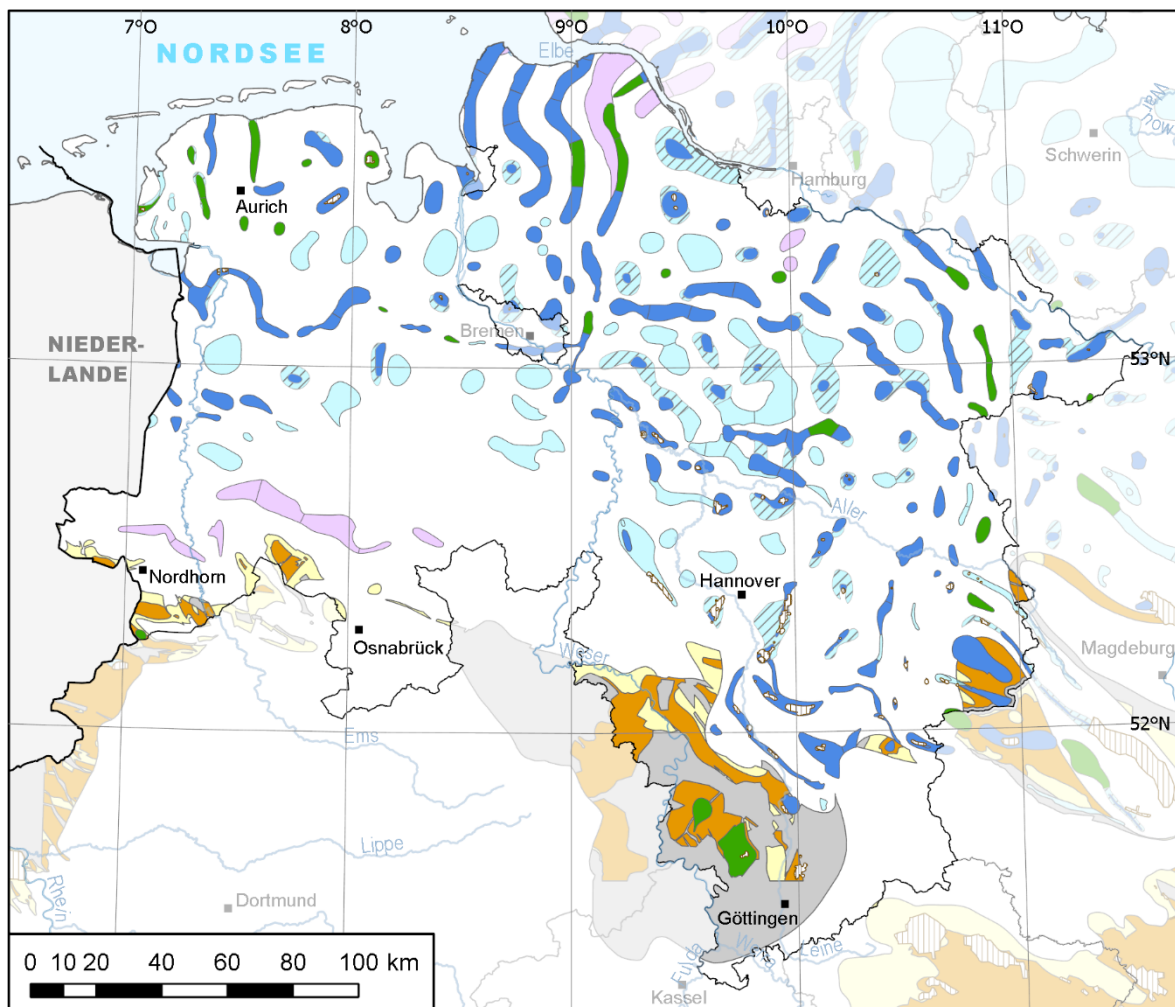


Abbildung 7-5: Potenzialflächen Niedersachsen

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Druckluftspeicherung auf 0,1 TWh und für die
- Wasserstoffspeicherung auf 253 TWh.

7.4 Nordrhein-Westfalen

In Thüringen befindet sich Speicherpotenzial in den flach lagernden Salinar-Formationen im mittleren und nördlichen Bereich (siehe Abbildung 7-6). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden. Das Speicherpotenzial für die Druckluftspeicherung ist sehr gering.

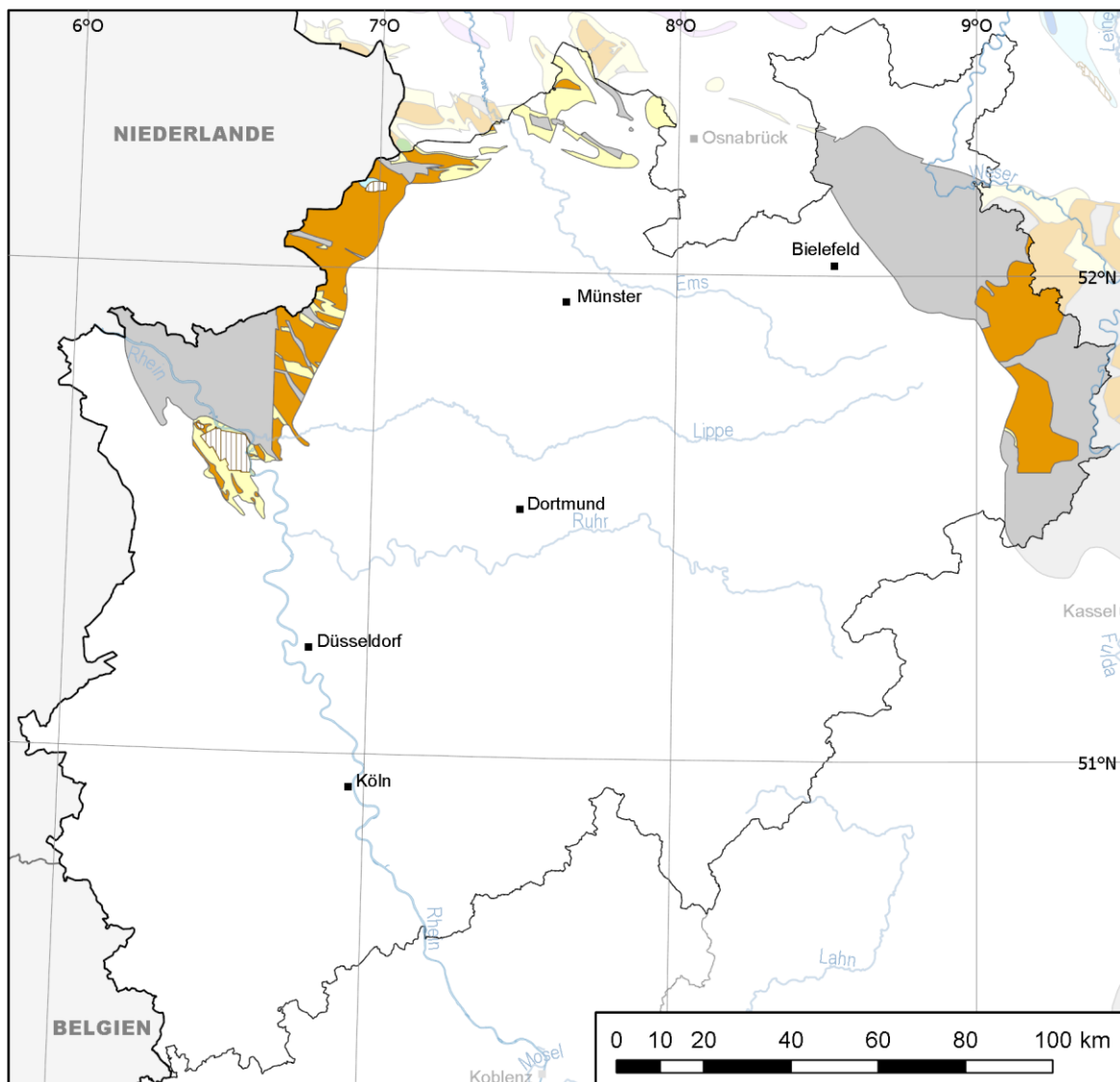


Abbildung 7-6: Potenzialflächen Nordrhein-Westfalen

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Druckluftspeicherung auf 0,03 TWh und für die
- Wasserstoffspeicherung auf 168 TWh.

7.5 Sachsen-Anhalt

Die Verteilung des Speicherpotenzials in Sachsen-Anhalt in den flach lagernden Salinar-Formationen beschränkt sich auf den mittleren und südlichen Bereich (siehe Abbildung 7-7). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche sowohl für die Druckluftspeicherung als auch für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden. Sachsen-Anhalt weist das größte Druckluftspeicherpotenzial in den flach lagernden Salinarbereichen auf.

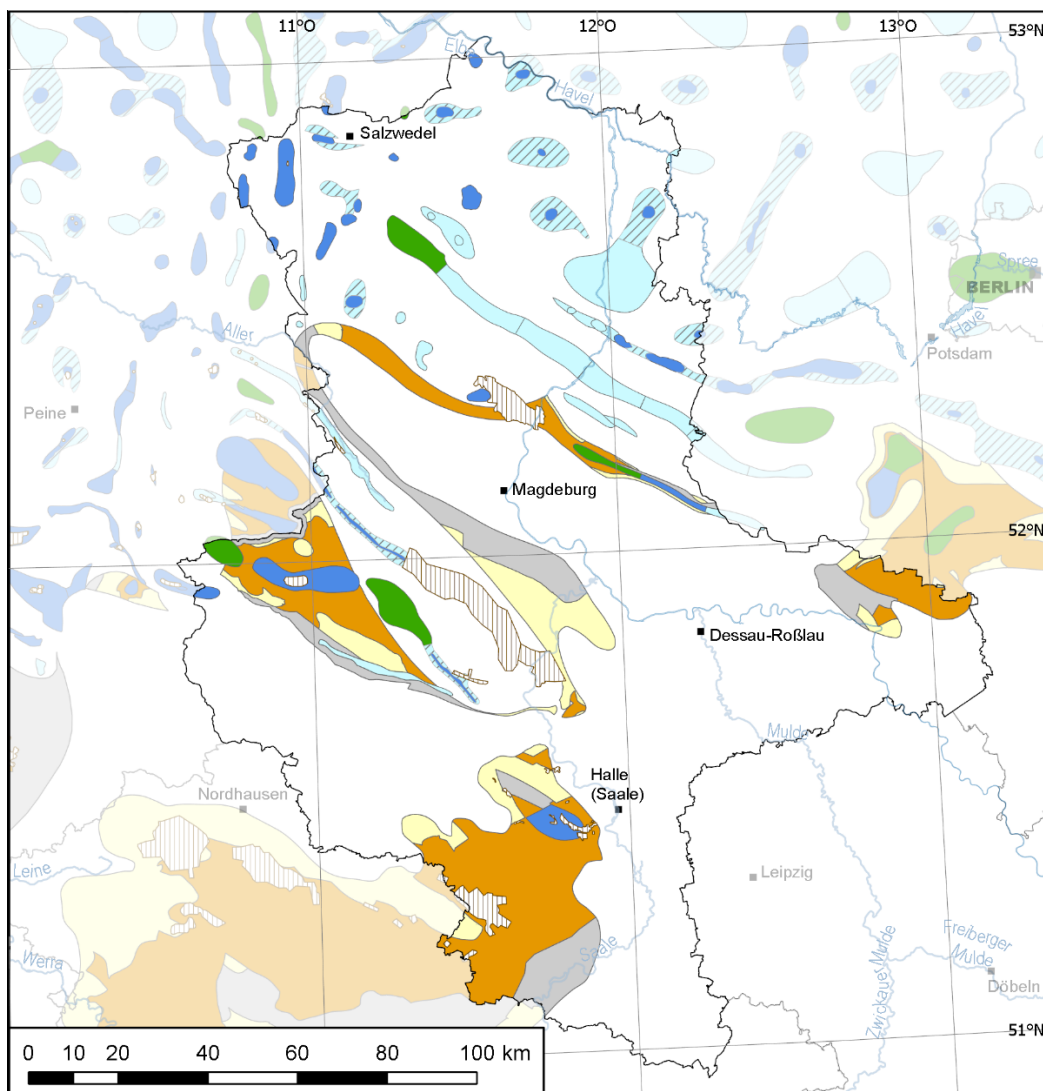


Abbildung 7-7: Potenzialflächen Sachsen-Anhalt

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Druckluftspeicherung auf 1,2 TWh und für die
- Wasserstoffspeicherung auf 318 TWh.

7.6 Thüringen

In Thüringen befindet sich Speicherpotenzial in den flach lagernden Salinar-Formationen im mittleren und nördlichen Bereich (siehe Abbildung 7-8). Hier konnten potenziell geeignete Bereiche sowohl für die Druckluftspeicherung als auch für die Wasserstoffspeicherung ermittelt werden. Sachsen-Anhalt weist das größte Wasserstoffspeicherpotenzial in den flach lagernden Salinarbereichen auf.

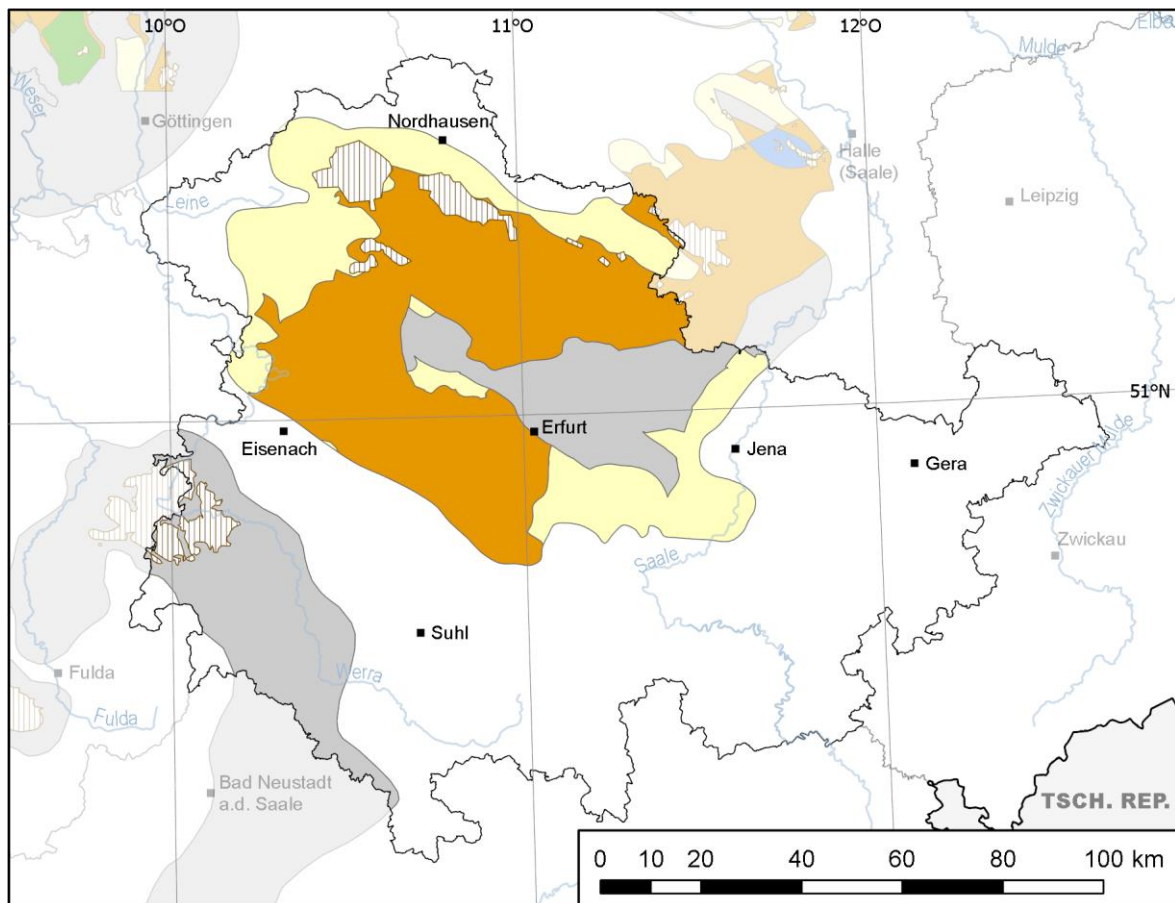


Abbildung 7-8: Potenzialflächen Thüringen

Das unter den getroffenen Annahmen ermittelte Speicherpotenzial beläuft sich für die

- Druckluftspeicherung auf 0,7 TWh und für die
- Wasserstoffspeicherung auf 595 TWh.



8 Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung – Arbeitspaket 8

Doppel- und Mehrfachsalinare:

Präzisierung des Speicherpotenzials

Koordinator: Péter László Horváth

Bearbeitende: Sabine Donadei, Birgit Horváth, Péter László Horváth,
Jürgen Kepplinger, Dr. Gregor-Sönke Schneider,
Dr. Dirk Zander-Schiebenhöfer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8-2
Tabellenverzeichnis.....	8-3
8.0 Aufgabenstellung.....	8-4
8.1 Änderungen infolge der geologischen Neubetrachtung	8-4
8.1.1 Internbautypen 1 und 3	8-7
8.1.2 Internbautyp 2	8-7
8.2 Änderungen infolge der gebirgsmechanischen Neubetrachtung.....	8-8
8.3 Änderungen im Gesamtpotenzial	8-9



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 8-1: Übersicht über die Internbautypen der Doppelsalinare einschließlich des schematischen Aufbaus in vier Niveauschnitten.....	8-4
Abbildung 8-2: Potenzialflächen der Doppelsalinare nach der geologischen Neubewertung	8-6
Abbildung 8-3: Beispielhafte Darstellung der Verschiebung der Potenzialflächen zwischen InSpEE und InSpEE-DS aufgrund der geologischen Neubewertung	8-6
Abbildung 8-4: Flächenbelegung einer Kaverne.....	8-9



Tabellenverzeichnis

Tabelle 8-1:	Steigerung / Reduktion der InSpEE-DS-Potenzialflächen in % des Typs 1 und 3 gegenüber der InSpEE-Potenzialflächen.....	8-7
Tabelle 8-2:	Steigerung / Reduktion der InSpEE-DS-Potenzialflächen in % des Typs 2 und Dedesdorf gegenüber der InSpEE-Potenzialflächen	8-8
Tabelle 8-3:	Vergleich der flächenbezogenen Energiedichten im Rotliegendesalinar der verwendeten Modellkavernen.....	8-8
Tabelle 8-4:	Vergleich der flächenbezogenen Energiedichten im Rotliegendesalinar und Zechstein der verwendeten Modellkavernen	8-9
Tabelle 8-5:	Gesamtspeicherpotenzial für Doppelsalinare auf Basis der Neubewertung	8-10

8.0 Aufgabenstellung

Das Arbeitspaket 8 begleitete die Arbeitspakete 3 und 5 während der Ermittlung besserer Grundlagen für die Potenzialabschätzung in den norddeutschen Doppel- und Mehrfachsalinaren und passt entsprechend der Ergebnisse die Potenzialabschätzung des InSpEE-Projektes für betroffene Strukturen der Doppel- und Mehrfachsalinare an. Hinsichtlich der Methodik der Potenzialabschätzung wird auf die Arbeitsergebnisse des InSpEE-Projektes zurückgegriffen.

Nach Übergabe der Arbeitsergebnisse aus den Arbeitspaketen 3 und 5 wurde das Potenzial der Doppel- und Mehrfachstrukturen aktualisiert und mit den Ergebnissen des InSpEE-Projektes verglichen.

8.1 Änderungen infolge der geologischen Neubetrachtung

Die Doppel- und Mehrfachsalinare wurden im Rahmen der Bearbeitung durch das Arbeitspaket 3 in drei verschiedene Internbautypen eingeteilt. Abbildung 8-1 zeigt eine Übersicht der Einteilung und des schematischen Aufbaus der Flächenanteile.

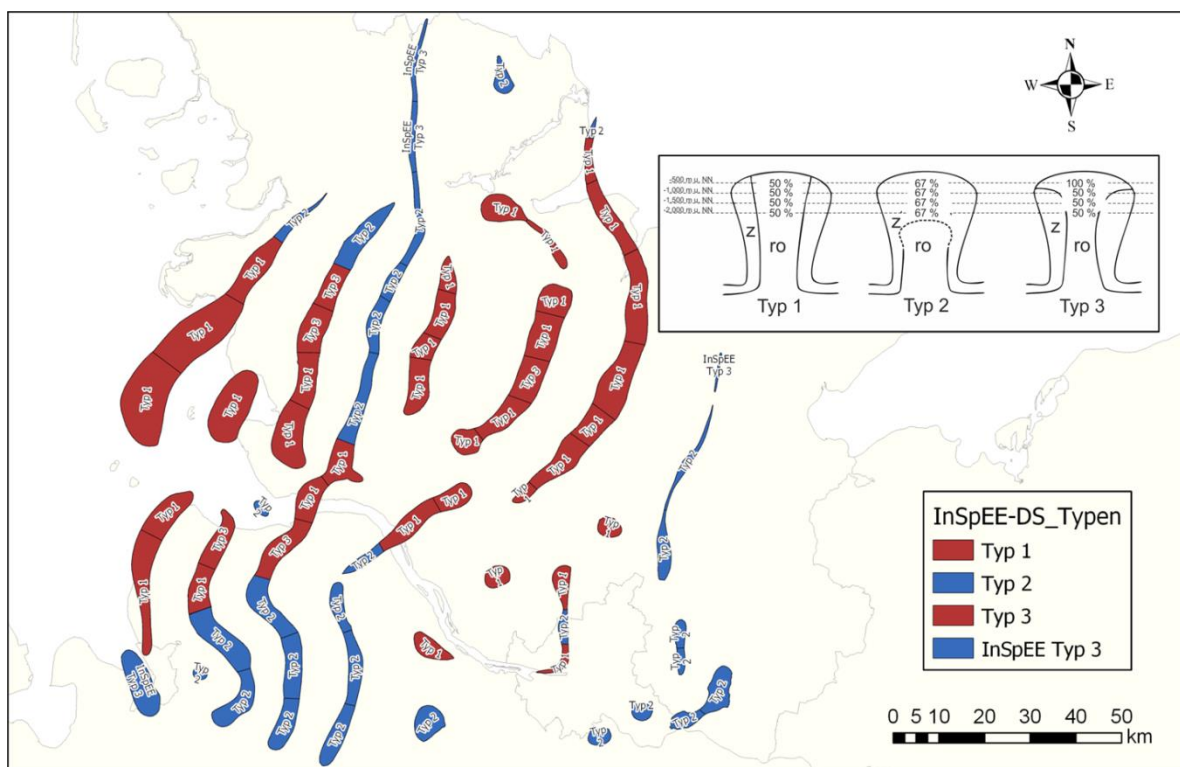


Abbildung 8-1: Übersicht über die Internbautypen der Doppelsalinare einschließlich des schematischen Aufbaus in vier Niveauschnitten



Die Neubewertung des Speicherpotenzials wird für die Typen getrennt durchgeführt. Die Doppelsalinare des Typ 1 und 3 werden weiterhin wie Rotliegend-Zechstein-Doppelsalinare behandelt, während Typ 2 nun im Rahmen der Vorgehensweise der Potenzialermittlung analog der Zechsteinstrukturen des Typs 3 des InSpEE-Projektes ausgewertet werden. Dies betrifft sowohl die Ermittlung des nutzbaren Flächenanteils wie auch später der Zuordnung des Energiegehaltes jedes verwendeten Kavernentypes.

Die geologische Neubewertung der Strukturen führt zu Unterschieden in

- der Höhe der Kulminationspunkte der Strukturbereiche und damit in Einzelfällen zur Berücksichtigung anderer Kavernenmodelle,
- den Potenzialflächen durch die Einordnung in die verschiedenen Typen mit unterschiedlichen Nutzbereichen,

der Flächenausbreitung der Niveauschnittflächen. Hierbei kommt es sowohl zu Vergrößerungen als auch zu Verkleinerung von Potenzialflächen gegenüber InSpEE. Verscho-bene Potenzialflächen führen zu anderen Verschneidungen mit Ausschlussgebieten wie Bebauung und damit zu unterschiedlichen Verhältnissen der der Potenzialflächen mit und ohne Abzug zueinander.

Diese Faktoren wurden in der Neubewertung berücksichtigt.

Abbildung 8-2 zeigt die Potenzialflächen für die Druckluft- und Wasserstoffspeicherung nach der geologischen Neubewertung. Welche Änderung dies je Struktur ergeben hat, zeigt beispielhaft Abbildung 8-3.

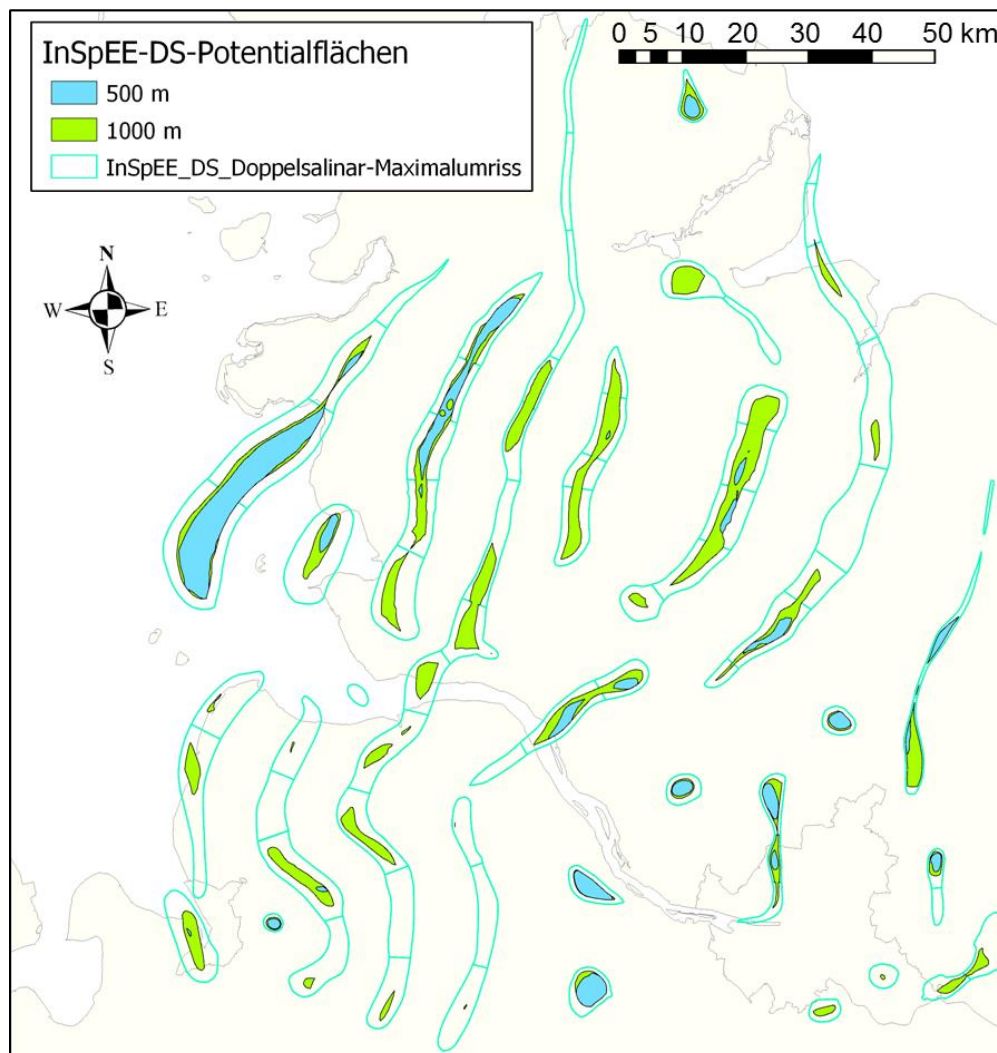


Abbildung 8-2: Potenzialflächen der Doppelsalinare nach der geologischen Neubewertung

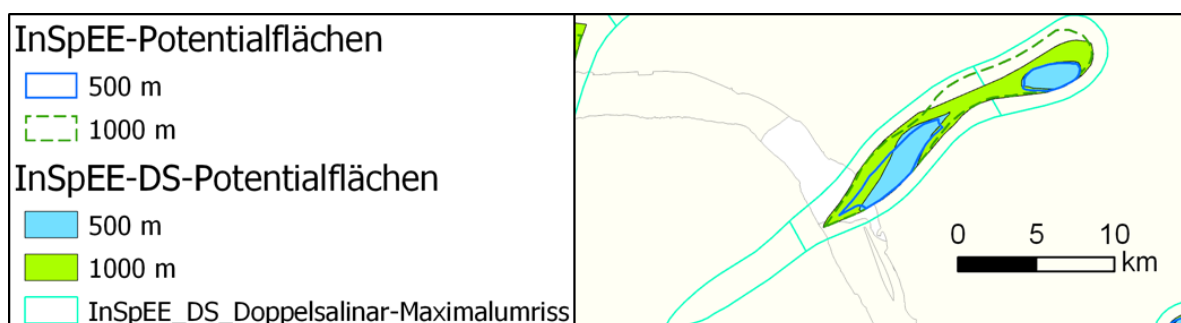


Abbildung 8-3: Beispielhafte Darstellung der Verschiebung der Potenzialflächen zwischen InSpEE und InSpEE-DS aufgrund der geologischen Neubewertung

8.1.1 Internbautypen 1 und 3

Die Doppelsalinare sind hier aufgebaut aus Rotliegendesalinar im Zentrum und Zechsteinsalinar an den Rändern. Im Internbautyp 1 wird für alle vier Teufenschnitte ein Rotliegendesanteil von 50 % angenommen. Für den Internbautyp 3 wird im 500 m-Niveauschnitt 100 % Rotliegendesalinar angenommen, darunter ebenfalls 50 %. Dies bedeutet, dass im 500 m-Niveauschnitt nur der erforderliche Abstand zum Salzstockrand limitierend auf die Potenzialfläche wirkt.

Die Behandlung im Rahmen der Potenzialauswertung verändert sich gegenüber dem InSpEE-Projekt für Typ 1 nicht, für Typ 2 im oberen und damit für das Druckluftpotenzial maßgeblichen Bereich zwischen 500 und 1.000 m.

Da sich zusätzlich aufgrund der Neubetrachtung die Niveauschnittgrenzen verändert haben, kann kein direkter Vergleich der Auswirkung auf das Potenzial der einzelnen Änderungen getroffen werden. Insgesamt kommt es durch die geologische Neubewertung um eine Änderung der Potenzialfläche gemäß Tabelle 8-1 gegenüber den Potenzialflächen des InSpEE-Projektes. Die Änderung der Potenzialflächen bezieht sich auf den Rotliegendflächenanteil der Doppelsalinare.

Tabelle 8-1: Steigerung/Reduktion der InSpEE-DS-Potenzialflächen in % des Typs 1 und 3 gegenüber der InSpEE-Potenzialflächen

	Druckluft	Wasserstoff
Bremen/Niedersachsen	124 %	108 %
Hamburg/Schleswig-Holstein	91 %	80 %

8.1.2 Internbautyp 2

Die Salzstrukturen des Internbautyp 2 weisen Zechsteinsalinar am Top und eine aufgewölbte Zechstein-Basis im Wurzelbereich auf. Das Rotliegendesalinar hat das überlagernde Zechstein nicht oder nicht vollständig durchbrochen. Im kavernenbaurelevanten Teufbereich wurde nur Zechsteinsalinar erbohrt. Daher werden diese Typen im Rahmen der Potenzialneubewertung wie reine Zechsteinstrukturen behandelt. Der nutzbare Flächenanteil wird auf 67 % festgelegt (siehe Arbeitspaket 3) und ist damit höher als im Projekt InSpEE.

Eine Sonderstellung nimmt der Salzstock Dedesdorf ein. Im Rahmen des InSpEE-Projektes wird dieser den Doppelsalinaren zugeordnet, aufgrund der Neubewertung im Projekt InSpEE-DS den Zechsteinstrukturen. In der Neubetrachtung des Speicherpotenzials wird er wie ein Doppelsalinar des Typs 2 behandelt.

Insgesamt kommt es durch die geologische Neubewertung zu einer Reduzierung der Potenzialfläche für Druckluft und Steigerung der Potenzialfläche für Wasserstoff gegenüber den Potenzialflächen des InSpEE-Projektes. Die Steigerung ist vor allem auf die Erhöhung des nutzbaren Flächenanteils zurückzuführen.

Tabelle 8-2: Steigerung/Reduktion der InSpEE-DS-Potenzialflächen in % des Typs 2 und Dedesdorf gegenüber der InSpEE-Potenzialflächen

	Druckluft	Wasserstoff
Bremen/Niedersachsen	97 %	120 %
Hamburg/Schleswig-Holstein	84 %	129 %

8.2 Änderungen infolge der gebirgsmechanischen Neubetrachtung

Im Arbeitspaket 5 wurde die Auslegung von Kavernen im Rotliegendesalinar nach Durchführung von Materialtesten aktualisiert. In Folge der neueren Erkenntnisse und einer geänderten Vorgehensweise in Bezug auf die Auslegung ergeben sich neue Sicherheitsabstände und damit flächenbezogene Energiedichten für Kavernen im Rotliegendesalinar. Diese sind im Berichtsteil des Arbeitspaketes 5 zusammengetragen. Die flächenbezogene Energiedichte wird aus dem Energieinhalt einer Modellkaverne in Bezug auf die belegte Fläche (siehe Abbildung 8-4) ermittelt.

Tabelle 8-3 zeigt die unterschiedlichen Energiedichten in den Projekten InSpEE und InSpEE-DS. Es ist zu erkennen, dass durch die gebirgsmechanische Neubewertung eine deutlich höhere flächenbezogenen Energiedichte je Kaverne erreicht wird. Dies betrifft die Kavernen des Internbautyps 1 und 3.

Tabelle 8-3: Vergleich der flächenbezogenen Energiedichten im Rotliegendesalinar der verwendeten Modellkavernen

Modellkaverne InSpEE/InSpEE-DS	Energieinhalt Rotliegend [kWh/m ²] InSpEE/InSpEE-DS	
D-111/DLC111	8,2	14,4
H-123/DLC23	1.678	2.148
H-124/DLC24	1.464	1.892

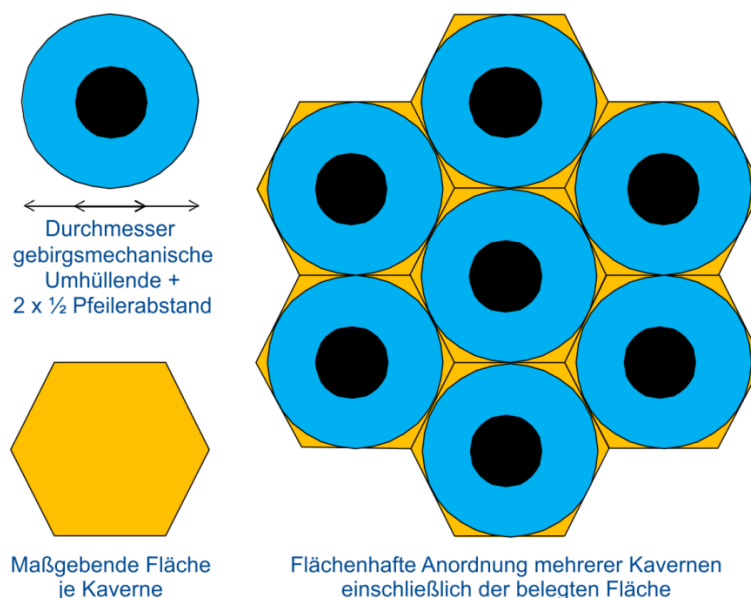


Abbildung 8-4: Flächenbelegung einer Kaverne

8.3 Änderungen im Gesamtpotenzial

Die Änderungen des Gesamtpotenzials der Doppelsalinare aus dem Projekt InSpEE im Rahmen der Neubewertung (InSpEE-DS) ergeben sich aus

- der Änderung der Niveauschnittflächen,
- der Änderung der Zuordnung des Salinartyps,
- der Neubewertung der erforderlichen Sicherheiten für Kavernen im Rotliegend-Salinar und
- zusätzlicher Potenzialflächen zwischen 1.500 m und 2.000 m auf Basis neuer Kavernenmodelle.

Die Erhöhung der flächenbezogenen Energiedichte durch die Einordnung in das Zechsteinsalinar, gültig für Kavernen des Internbautyps 2 und Dedesdorf, zeigt Tabelle 8-4.

Tabelle 8-4: Vergleich der flächenbezogenen Energiedichten im Rotliegendsalinar und Zechstein der verwendeten Modellkavernen

Modellkaverne InSpEE/InSpEE-DS	Energieinhalt [kWh/m ²]	
	InSpEE Rotliegend	InSpEE Zechstein
D-111/DLC111	8,2	13,4
H-123/DLC23	1.678	2.727
H-124/DLC24	1.464	2.378

Aus den ersten drei Neubewertungen ergibt sich ein geändertes Gesamtpotenzial für Doppelsalinare gegenüber dem InSpEE-Projekt. Dieses ist für die betreffenden Bundesländer in Tabelle 8-5 zusammengefasst.

Tabelle 8-5: Gesamtspeicherpotenzial für Doppelsalinare auf Basis der Neubewertung

Speicherpotenzial [TWh]	Druckluft	Wasserstoff
Bremen/Niedersachsen	0,2	137,9
Hamburg/Schleswig-Holstein	1,1	510,1

Dies bedeutet ein zusätzliches Speicherpotenzial für die Länder

- Bremen/Niedersachsen von **0,1 TWh** für Druckluft und **55 TWh** für Wasserstoff sowie für
- Hamburg/Schleswig-Holstein von **0,4 TWh** für Druckluft und **97 TWh** für Wasserstoff.

Der Zuwachs resultiert dabei im Wesentlichen auf der Änderung der Kavernentypen in Strukturen mit Zechsteinsalinar im kavernenbaurelevanten Teufenbereich sowie der geirgsmechanischen Neubewertung der Modellkavernen im Rotliegendesalinar.

Zusätzliches, jedoch nicht quantifiziertes, Speicherpotenzial bieten die Strukturen Armsdorf, Grevenhorst, Hamelwörden, Krautsand, Oldendorf I, Warnau und Witzhave und damit – bis auf Warnau – Strukturen des Internbautyps 2. Aufgrund der hohen Teufen wurde ihnen im Projekt InSpEE kein Potenzial zugeordnet. Im Rahmen der Potenzialermittlung für flach lagernde Salinarschichten wurden jedoch auch Modellkavernen für geringere Salzmächtigkeiten mit Teufen von bis zu 2.000 m unter Geländeoberkante – bezogen auf die Basis der Salzschiicht – ermittelt. Dies zeigt auf, dass zusätzliches Speicherpotenzial dort existiert, wo in 1.500 und 2.000 m Teufe auch nach Abzug der nichtnutzbaren Flächenanteile genügend Salz vorhanden ist. Die Strukturen sind in Anhang 7-1 gekennzeichnet. Eine quantitative Schätzung des möglichen zusätzlichen Potenzials wurde im Rahmen des InSpEE-DS nicht durchgeführt.

9 Ausblick

Auf der Basis der in diesem Verbundvorhaben erarbeiteten geologischen und gebirgsmechanischen Grundlagen konnten die flach lagernden Salinare in potenziell geeignete beziehungsweise ungeeignete Bereiche eingeteilt werden. Ebenfalls wurde das Speicherpotenzial der Rotliegend-Zechstein-Doppelsalinare auf Basis zusätzlicher geologischer und gebirgsmechanischer Erkenntnisse aktualisiert.

Für viele Salinar-Formationen konnten auch im Rahmen des Projektes nicht genügend Informationen gesammelt werden, um eine Einschätzung ihrer Eignung hinsichtlich des Baus von Speicherkavernen durchzuführen. Diese Formationen wurden entsprechend in der Übersichtskarte in Anhang 7-1 gekennzeichnet.

Infolge der zusätzlichen Kavernenmodelle in variabler Teufenlage und in geringmächtigen Salinarschichten konnten einige Salzstrukturen, die im Rahmen des InSpEE-Projektes auf Grund nicht ausreichender Modellvarianten als ungeeignet bewertet wurden, als potenziell geeignet umgruppiert werden. Diese wurden ebenfalls grafisch in der Übersichtskarte der geeigneten Salinarbereiche und -strukturen in Anhang 7-1 berücksichtigt. Eine quantitative Auswertung erfolgte nicht, so dass diese weiteres Potenzial darstellen.

Auf Grund der geschaffenen Grundlagen in den Arbeitspaketen 1 bis 5 sind die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten nach Auftragsende als hoch einzustufen. Gerade die Neustrukturierung der Doppelsalinare, die Ergebnisse der Materialtests sowie die Fortführung des Informationssystems Salz werden über den Rahmen der Laufzeit des Projektes für entsprechende Bewertungen von Salzstrukturen als umfangreicher, bisher nicht in Deutschland in dieser Form existierender Datenpool zur Verfügung stehen und genutzt werden. Dies betrifft ebenfalls die teufenvariable Auslegung von verschiedenen Modellkavernen für die Druckluft und Wasserstoffspeicherung. Das ermittelte Speicherpotenzial ermöglicht eine Überprüfung der Umsetzbarkeit des in verschiedenen Studien ermittelten Speicherbedarfs im Rahmen der Umsetzung der Energiewende einschließlich einer regionalen Zuordnung.

Mit dem Vorliegen dieses Sachberichtes enden die Verbundvorhaben InSpEE und InSpEE-DS. Eine weitere Fortsetzung ist nicht geplant.

Anhangsverzeichnis

Anhang 0-1: Ablaufplan des Verbundvorhaben

Anhang 0-2: Berichtsblatt

Anhang 0-3: Document Control Sheet

Anhang 7-1: Eignung von flach lagernden Salinarschichten und Salzstrukturen zur Speicherung von Druckluft und Wasser

Anhang 0-1

Ablaufplan des Verbundvorhabens

Anhang 0-2

Berichtsblatt

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht		
3. Titel InSpEE-DS - Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) - Doppelsalinare und flach lagernde Salzschieben - Sachbericht - Arbeitspakete 6, 7 und 8			
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Donadei, Sabine; Horváth, Péter László; Zander-Schiebenhöfer, Dirk; Horváth, Birgit; Kepplinger, Jürgen; Schneider, Gregor-Sönke		5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2019	
		6. Veröffentlichungsdatum	
		7. Form der Publikation Schlussbericht	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) DEEP.KBB GmbH Baumschulenallee 16 30625 Hannover		9. Ber.-Nr. Durchführende Institution	
		10. Förderkennzeichen 03ET6062A	
		11. Seitenzahl 80	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMWi		13. Literaturangaben 18	
		14. Tabellen 9	
		15. Abbildungen 24	
16. Zusätzliche Angaben Der Projektbericht wird in drei Teilberichten durch die jeweiligen Projektpartner eingereicht. AP 1-3: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe AP 5-6: IGtH, Leibniz Universität Hannover			
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek (TIB), Welfengarten 1 B, 30167 Hannover			
18. Kurzfassung <p>Mit dem Übergang auf fluktuierende erneuerbare Energieträger stellt sich die Frage der Speicherung elektrischer Energie. Energiespeicherkraftwerke, welche aus erneuerbarem Strom Druckluft bzw. Wasserstoff erzeugen und einspeichern können, um bei Energiebedarf diese den Energiemärkten wieder zur Verfügung zu stellen, können dabei eine wesentliche Rolle spielen. Eine großvolumige Speicherung dieser Medien kann dabei im geologischen Untergrund erfolgen.</p> <p>Das Vorgängerprojekt InSpEE erarbeitete Grundlagen für eine Bewertung verschiedener Speicherstandorte sowie für eine fundierte Abschätzung, welche Energiemengen im geologischen Untergrund in Deutschland speicherbar sind (Speicherpotenzial). Es stellte den Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn der Projektlaufzeit dar. Der Fokus lag auf den Salzstrukturen Nord- und Mitteldeutschlands.</p> <p>InSpEE-DS legt als Anschlussprojekt den Fokus auf das Potenzial der flach lagernden Salzschieben sowie eine Verbesserung des Kenntnisstands der Doppelsalinare (Rotliegend-Zechstein-Doppelsalinare). Ziel ist, die Potenzialbetrachtung auf den gesamtdeutschen Raum auszuweiten. Das Vorgehen beruht auf der Schaffung einer geeigneten geologischen Datenbasis (Arbeitspakete 1 bis 3, Projektpartner BGR), einer gebirgsmechanischen Betrachtung (Arbeitspakete 4 und 5, Projektpartner IGtH) sowie der Zusammenführung der Basisdaten und die Durchführung einer Potenzialabschätzung für Wasserstoff und Druckluft. (Arbeitspakete 6 bis 8, Projektpartner DEEP.KBB). Die Ergebnisse der geologischen Basisarbeit und der Potenzialabschätzung werden, sofern öffentlich freigegeben, in das bestehende "Informationssystem Salz" integriert.</p> <p>Wesentlich Ergebnisse der Arbeitspakete 6 bis 8 sind die Ermittlung bzw. Aktualisierung des Speicherpotenzials auf Bundeslandebene sowie eine Karte der Verteilung der Potenzialflächen.</p>			
19. Schlagwörter 3D-Modellierung, Bewertungskriterien, Druckluft, flachlagernd, Gebirgsmechanik, Geologie, Informationssystem, Internbau, Niveauschnittkarten, Potenzialabschätzung, Salzschieben, Salzstrukturen, Speicherkavernen, Wasserstoff			
20. Verlag			21. Preis

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1080045-13



Anhang

Anhang 0-3

Document Control Sheet

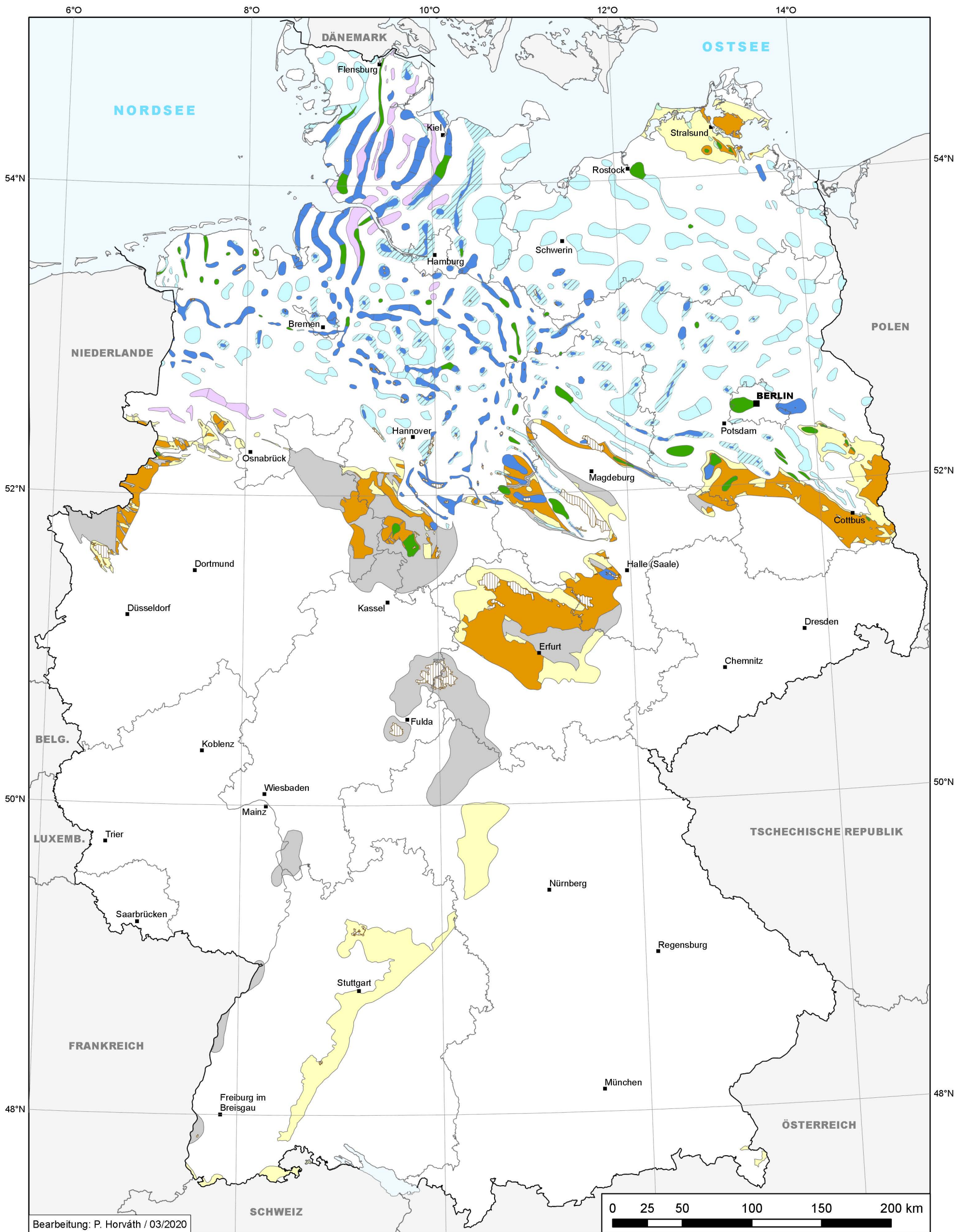
Document control sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Veröffentlichung (Publikation)	
3. title InSpEE-DS- Information system salt structures: planning basis, selection criteria and estimation of the potential for the construction of salt caverns for the storage of renewables (hydrogen and compressed air) – multi-salt-formation structures and bedded salt deposits – report – work packages 6, 7 and 8		
4. author(s) (family name, first name(s)) Donadei, Sabine; Horváth, Péter László; Zander-Schiebenhöfer, Dirk; Horváth, Birgit; Kepplinger, Jürgen; Schneider, Gregor-Sönke	5. end of project 30.09.2019	
	6. publication date	
	7. form of publication Sonstiges	
8. performing organization(s) name, address DEEP.KBB GmbH Baumschulentallee 16 30625 Hanover	9. originators report no.	
	10. reference no. 03ET6062A	
	11. no. of pages 80	
12. sponsoring agency (name, address) BMWi	13. no. of references 18	
	14. no. of tables 9	
	15. no. of figures 24	
16. supplementary notes The project report will be delivered in 3 partial reports by the respective project partners AP 1-3: Federal Institute for Geosciences and Natural AP 5-6: IGtH, Leibniz University Hanover		
17. presented at (title, place, date) Leibniz Information Center for Science and Technology University Library (TIB), Welfengarten 1B, 30167 Hanover		
18. abstract The transition to fluctuating renewable energy sources raises the question of electrical energy storage. Energy storage power plants will play an essential role, as they can produce and store compressed air and/or hydrogen from renewable energy sources. This stored energy can subsequently be made available to the energy markets based on demand. The large-scale storage of these media can take place in underground geological structures. InSpEE previously developed a basis for the evaluation of storage locations as well as a thorough assessment of how much energy could be stored in underground geological structures in Germany (storage potential). The focus of this project was on salt structures in Northern and Central Germany. The follow-up project InSpEE-DS is focused on the potential of the bedded salt deposits, as well as enhancing the knowledge of the multi-salt-formations (Upper Rotliegend, Zechstein). The goal is to assess the storage potential of the entire country of Germany. The approach is based on the creation of a suitable geological data base (work packages 1-3, project partner BGR), a rock mechanical assessment (work packages 4 and 5, project partner IGtH), as well as the consolidation of the base data and an assessment of the potential for hydrogen and compressed air (work packages 6-8, project partner DEEP.KBB). The results of the geological groundwork and the assessment of the potential will be integrated into the existing "information system salt", as long as they are publicly available. Major results of work packages 6-8 will be the identification and/or the update of the nationwide storage potential, as well as a map detailing the distribution of the potential areas.		
19. keywords 3D modelling, assessment criteria, compressed air, bedded salt, rock mechanics, geology, information system, internal structure, horizontal geological cross section, assessment of the potential, salt layers, salt structures, storage caverns, hydrogen		
20. publisher	21. price	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1086006-6

Anhang 7-1

Eignung von flach lagernden Salinarschichten und Salzstrukturen zur Speicherung von Druckluft und Wasser



Bearbeitung: P. Horváth / 03/2020

Flach lagernde Salinarschichten onshore (InSpEE-DS)¹

- geeignet ¹außerhalb der Bereiche mit Diapiren und bis max. > 2.000 m u. NN
- ungeeignet
- unsicher / keine Daten

Salzstrukturen onshore (InSpEE)²

- geeignet ²Zechstein- und Rotliegendesalinar
- geeignet nach InSpEE-DS
- ungeeignet

Ausschlusskriterien

- Kissenfuß
- Jura- und Keupersalinar
- Gruben- und Kavernenfelder

Gefördert durch:



ENERGIESPEICHER
Forschungsinitiative der Bundesregierung



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages