Energiewende II: Verfahren zum Speichern von Energie in binnenländischen Salzlagern (***„Binnensalinar-Energiespeicher“***)

Patentanmeldung beim DPMA (München) unter DE 102012020057.9 in 10/2012

durch Prof. Dr. Dieter Ortlam; Hardenbergstr. 103; D-28201 Bremen)

(Stand: 10/2025)

mit

4 Abb.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bau von Kavernen **in Meer-fernen** Salinaren (Salzstöcke und –mauern, Abb. 1) zur Anlage von Energie-Speichern im Onshore- und Offshore-Bereichen.

Das Speichern von Druckluft, Erdgas und Erdöl in Salz-Kavernen ist eine bekannte und bewährte Technologie (CROTOGINO & DIETZEL 2020). So werden etwa in Norddeutschland (Abb. 1) **bisher** zu diesem Zweck wirtschaftlich und vor allem aus ökologischen Gründen nur solche Salinare verwendet, die nicht allzu weit von der Nordsee entfernt liegen (z. B. Salinare „Jengum“,„Etzel“, „Dedesdorf“, „Heide“, „Huntorf“ und „Lesum“), denn das bei der Herstellung von Salzkavernen ausgespülte, stark salzige Abwasser (= Salzsole) kann so einigermaßen kostengünstig und nachhaltig unter den vorgegebenen ökologischen Bedingungen in das Meer (Fluss-Ästuare) abgeleitet werden, während ein Einleiten in Flüsse und Bäche wegen des hohen Salzgehaltes des Sole-Abwassers im Binnenland (Onshore) ökologisch nicht in Frage kommt – einige Fälle ausgenommen (z. B. Salinare „Huntorf“, „Lesum“ und „Benthe“). Das Anlegen von Salzstock/Salinar-Kavernen in weiter vom Meer entfernten Salzstock/Salinaren ist aber wegen der Entsorgung des dabei anfallenden Sole-Abwassers nach wie vor unmöglich, wird jedoch beim zukünftigen Bedarf an Energiespeichern (Bundeskanzlerin Dr. A. MERKEL, 2018: „Wer die Antwort auf das Problem der Energiespeicherung findet, ist natürlich der König auf der Welt“) vor allem in den höher liegenden und unbebauten Geestgebieten (wegen möglicher Erdsenkungen) Deutschlands immer notwendiger. Die heute in den niederen Marschen-Gebieten angelegten Salzkavernen sind dagegen u. a. wegen des geringen Grundwasserflurabstandes und dem steigenden Meeresspiegel stark von

Überflutungen und Absenkungen der Geländeoberfläche (z. B. Salinare „Etzel“, „Jengum“, „Dedesdorf“, „Huntorf“ und „Lesum“) bedroht d. h. zukünftig wird man sich Kavernen-Standorte überwiegend in höher gelegenen Geestgebieten (Onshore) mit einem größeren Grundwasser-Flurabstand mit geringer Bebauung suchen müssen, um etwaige Geländeabsenkungen mit Schäden zukünftig zu berücksichtigen.

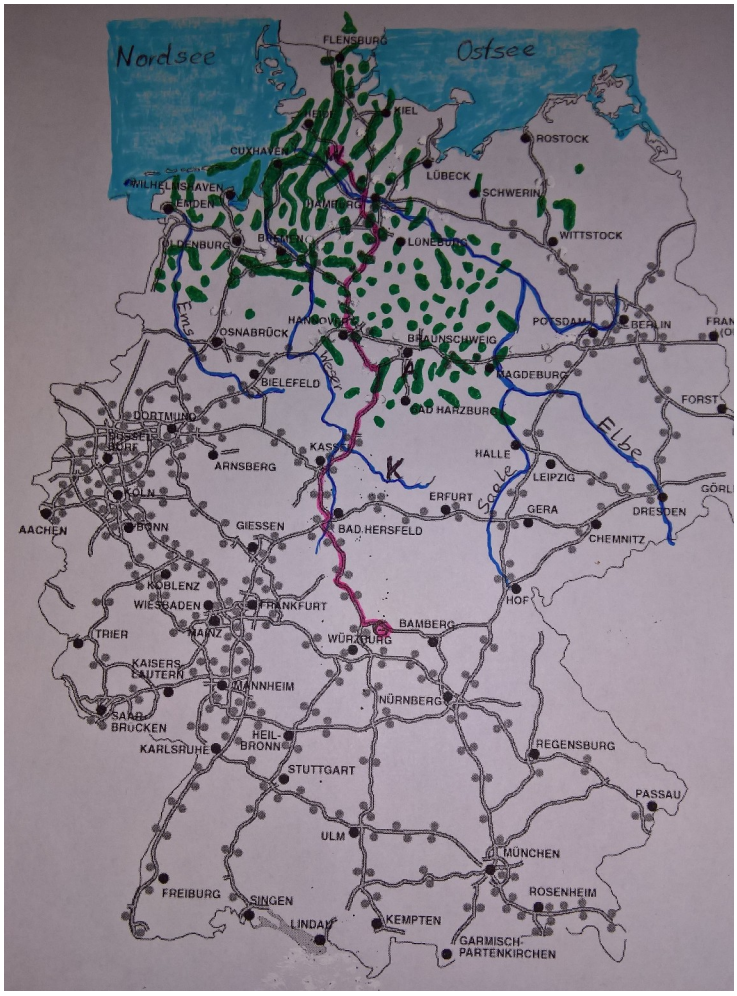

Abb. 1: Verbreitung der Salzstrukturen (= Salinare in grüner Farbe; A = Salinar „Asse“ südlich Braunschweig; K = Werra-Kali-Revier, W = Wilster/Südwest-Schleswig-Holstein, G = Grafenrheinfeld/Franken) in Nord-Deutschland (u. a. JARITZ 1973, ergänzt), kombiniert mit dem vorhandenen Bundesautobahn-Netz (ohne 4-spurige Bundesstraßen). Rot = logische und schnell umsetzbare Nord-Südlink-Trassenführung entlang den bestehenden **Bundes**-Autobahnen A 23, A 7 und A 70.

Das Meer-ferne Speichern von Energie (auch Power to Gas; grüner Wasserstoff u. a.) ist auch aktuell wegen des immer notwendiger werdenden Transports von Strom aus Offshore-Windparks nach Süden dringend geboten. Die Energiespeicher-

Anlagen und –Kapazitäten hierzu sind in Flachländern wie in Norddeutschland aber unzureichend (daher zwischenzeitliche, teure Verlegung eines HGÜ-Kabels nach Norwegen zur Speicherung von Offshore-Windenergie und Rückführung nach Deutschland). Hinzu kommt eine mangelnde Akzeptanz von ober- und unterirdischen Fernleitungen bei der betroffenen Bevölkerung, ein steigendes Umwelt-Bewusstsein und auch ein Mangel an technischen Alternativen zu bisher bewährten Speichern (u. a. Wasser-Pumpspeicher im Gebirge). Darüber hinaus sollten langfristig die späteren Erdsenkungsvorgänge (bis 10m) über den geschaffenen salinaren Kavernen-Speichern berücksichtigt werden z. B. bei der Anlage von küstennahen Onshore-Salzkavernen. Daher eignen sich die küstennahen Kavernen-Speicher in den niedrig gelegenen Marschen-Gebieten **langfristig** weniger für diese Standorte -- im Gegensatz zu den höher gelegenen und weniger bewohnten Kavernen-Standorten der küstenfern gelegenen Geest-Gebiete. Es wird somit zwangsläufig zu einer geographischen Verschiebung von Kavernen-Speichern von der flachen Küste weg ins höher gelegene Binnenland und/oder in den Offshore-bereich der Meere in Verbrauchernähe der Wohngebiete kommen.

Aufgabe der Erfindung ist es, hier Abhilfe zu schaffen und einen Weg aufzuzeigen, mit dem einerseits bewährte Technologien eingesetzt werden können, andererseits aber in für die betroffene Bevölkerung akzeptabler Weise, zudem ökonomisch und ökologisch sinnvoll und realisierbar, vorzugehen.

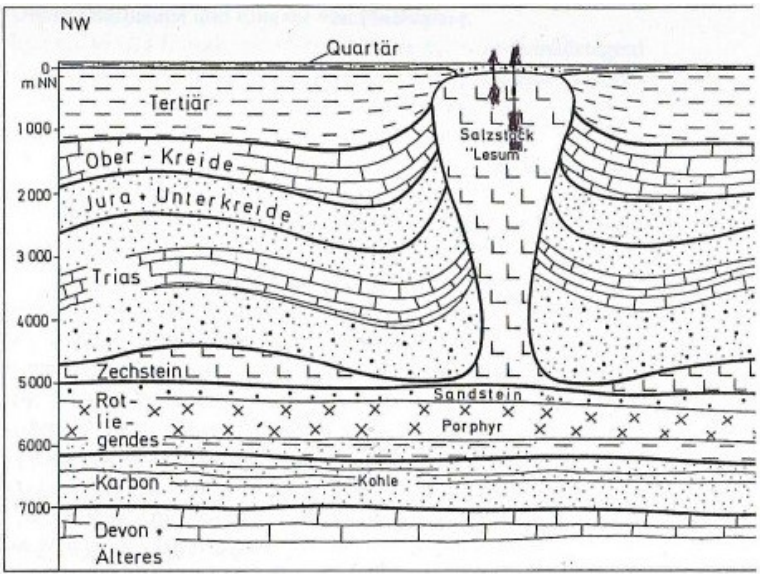

Abb. 2: Typischer Kavernen-Speicher (u. a. Rohöl in >500m u. Gel. und Erdgas in >1.000m u. Gel.) in einem Salinar (= Salzstock und -mauer) von Norddeutschland.

Gelöst wird dies durch ein Verfahren zum Bau von Kavernen in Meer-fernen Salinaren zur Anlage von Energie-Speichern (Abb. 2) darin durch Ausspülen mit (örtlich vorhandenem) Süßwasser und Abfuhr der warmen und stark salzigen Abwässer ins Meer, dadurch gekennzeichnet, dass die Abwässer durch Leitungen (insbesondere Rohre) abgeführt werden, welche entlang von Fernstraßen verlegt werden (= „Fernstraßen-Chorda“, insbesondere in deren Mittelstreifen und/oder deren (erweiterten) Banketten, Abb. 3; ORTLAM 2012) und dabei die Fernstraßen latent erwärmen (Fußbodenheizung), wobei gegebenenfalls an den Leitungen Einspeise- und Zapfstellen vorgesehen werden, um damit die Fernstraßen zusätzlich vor Eis und Schnee zu schützen (bekannte Taumittel-Sprühanlagen), während die nicht so verwendeten salzigen Abwässer durch die Leitungen ins Meer (Fluss-Ästuare) entsorgt werden. Um größere Kosteneinsparungen bei der Errichtung der Fernstraßen-Chordas zu erzielen, wäre es auch sehr zweckmäßig, beim Neubau oder bei der notwendigen Erweiterung/Sanierung von Fernstraßen in deren Mittelstreifen/Banketten ein geeignetes Leerrohr (Durchmesser um 2 m) für die Aufnahme diverser Ver- und Entsorgungsleitungen einzuplanen, wie dies auch in anderen Bereichen des täglichen Lebens üblich ist.

Der Bau der Warm-Kavernen in (Binnen-)Salinaren kann in bekannter Weise erfolgen. Soll in diesen Kavernen Rohöl und deren Produkte gelagert werden, so genügen Tiefen von 500-800 m, sollen hingegen Erdgas/Windgas und/oder Druckluft gespeichert werden, so sind Tiefen von 1.000 bis 1.500 m angezeigt (Abb. 2).

Auch das Anbohren von Salinaren kann in bekannter Weise erfolgen, ebenso das Ausspülen mit örtlich vorhandenem Süßwasser, wobei das erhaltene stark salzige Abwasser je nach Bohrtiefe primär mindestens 45° C bis 70° C warm ist.

Das Verlegen der Leitungen im Bereich der Fernstraßen (Abb. 3), bevorzugt im Mittelstreifen und/oder in den Banketten, hat diverse Vorteile: die Trasse ist bereits vorhanden (= Bündelungsgebot), ist im Besitz des Bundes und kann auch problemlos technisch mit mehreren Horizontal-Bohrverfahren (z. B. Firma Herrenknecht, Schwanau) bei relativ geringen Verkehrsbeschränkungen auch nachträglich ausgerüstet werden, insbesondere ohne etwaige Einsprüche von Anliegern und

Grundeigentümern. Die Wintertauglichkeit der Fernstraßen wird nachhaltig verbessert durch das Erwärmen der Fernstraßen per mittiger Rohrleitung und den warmen Salzabwässern sowie durch deren zeitweise Nutzung durch eine Taumittel-Sprühanlage. Auch ein Zusammenlegen mit Kabeln für Telekommunikation und eine Stromübertragung (Wechselstrom mit starker Wärmeabgabe, Gleichstrom/HGÜ und/oder Supraleitung) sind nachhaltig möglich und vorteilhaft, etwa um den von Windkraftanlagen (Onshore und Offshore) und Photovoltaik-Anlagen erzeugten Strom zu übertragen und/oder am Speicherort (Salinar-Kaverne) zu nutzen, z. B. zur Erzeugung von Druckluft und/oder zur Befüllung mit Erdgas, Windgas und Wasserstoff zum Zwecke der dezentralen Energie-Speicherung in den angelegten Salinar-Kavernen Norddeutschlands. Zudem wird durch diese Leitungen („Fernstraßen-Chorda“) eine elegante Entsorgung auch anderer stark salziger Abwässer möglich, etwa solche vom Salinar „Asse“ (bisherige Lagerung von 126.000 schwach- und mittel-radioaktiven Fässern in >500m Tiefe) und aus den bestehenden und aufgelassenen, nordhessischen, thüringischen und niedersächsischen Salz-Bergwerken (u. a. Fa. Kali & Salz, Kassel) zur ökologischen Entlastung von Werra/Weser, Leine/Aller und Saale/Elbe. Andererseits besteht die günstige Möglichkeit, hochkonzentrierte Salzsolen (u. a. Magnesium- und Natriumchloride) aus Speicherbecken des nordhessischen Kali-Revieres als Blankett-Füllung bei einem plötzlichen Absaufen des Atommüll-Lagers „Asse“ bei Wolfenbüttel zu transportieren und zu injizieren (Nutzung des DGH-Effektes nach ORTLAM).

Wenn die Energie in Form von Methan/Erdgas (Windgas/Wasserstoff ggfs auch Erdölprodukte) in den warmen Salinar-Kavernen zeitweise gespeichert werden soll, ist es weiterhin vorteilhaft, wenn der in den Windkraft-Anlagen erzeugte Strom örtlich zur Synthese von Wasserstoff („grüner Wasserstoff“) und Methan (aus Wasserstoff und Luft-Kohlenstoffdioxid: „grünes Methan“) verwendet wird. Dieses Methan kann dann bei gleichzeitiger Nutzung der erfindungsgemäßen Leitungen der Fernstraßen-Chorda für Salzabwässer zum Transport der Energieträger Methan und/oder Wasserstoff aber auch von Kohlenstoffdioxid aus Abgasen genutzt und an den Speicherort verbracht werden; so dienen die Leitungen zum einen zum Abtransport der Salz-Abwässer zum anderen zum entgegengesetzten Transport von Energieträgern (nachhaltige Win-Win-Win-Situation).

Damit können die erfindungsgemäß hergestellten salinaren Warm-Kavernen zum **binnenländischen Speichern** von Energie (= **strategische Gas-Bevorratung**), insbesondere von Erdgas, Methan, Wasserstoff, Windgas und Druckluft sowie Erdölprodukten vorteilhaft und nachhaltig verwendet werden und die erfindungsgemäß ausgerüsteten Bundes-Fernstraßen können mittels der stark salzigen und warmen Abwässer problemlos, kostengünstig und recht nachhaltig wintertauglich gemacht werden (latente Straßenbeheizung, Taumittel-Sprühanlage), so dass volkswirtschaftlich daraus mehrfache Win-Win-Effekte resultieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bau von Kavernen in Meer-fernen, binnenländischen Salinaren (einschließlich Meeres-Salinare) zur Anlage von Energie-Speichern (= **strategische Gas-Bevorratung wegen geopolitischer Probleme u. a. OPEC, Russland, Nord-Korea, Iran**) darin durch Ausspülen mit örtlichem Süßwasser und Abfuhr der warmen und stark salzigen Abwässer, dadurch gekennzeichnet, dass die Abwässer durch Leitungen (insbesondere Rohre) abgeführt werden, welche in den Fernstraßen (Mittelstreifen und/oder erweiterte Bankette; „Fernstraßen-Chorda“) verlegt werden und dabei die Fernstraßen latent erwärmen, wobei gegebenenfalls an den Leitungen Einspeise- und Zapfstellen für stark salzige Abwässer vorgesehen werden (z. B. für Taumittel-Sprühanlagen, Kali-Abwässer- und Sole-Entsorgung), um damit die Fernstraßen zusätzlich vor Schnee und Eis zu schützen, während die nicht so verwendeten Abwässer durch die Fernstraßen-Chorda einer Entsorgung im Meer im Bereich der Fluss-Außen-Ästuare (u. a. Ems, Weser, Elbe) abgeleitet werden können. Bei Neubau, Erweiterung oder Sanierung von Fernstraßen sollte u. a. aus Zeit- und Kosteneinsparungsgründen die Verlegung von Leerrohren rechtzeitig mit eingeplant werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1. dadurch gekennzeichnet, dass in den salinaren Warm-Kavernen Energie in Form von Erdgas, Methan, Wasserstoff, Windgas und Druckluft sowie Erdölprodukte gespeichert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1. und 2. dadurch gekennzeichnet, dass die Leitungen in der Fernstraßen-Chorda bei Nichtnutzung für stark salzige Abwässer (Salzlaugen,

Solen) auch für den Transport eines Energieträgers insbesondere Erdgas, Methan, Wasserstoff, Windgas, Druckluft und Kohlenstoffdioxid sowie Erdölprodukten genutzt werden.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1.-3. dadurch gekennzeichnet, dass die Abwasser-Leitungen in der Fernstraßen-Chorda zusammen mit Kabeln zur Stromübertragung (Wechselstrom, Gleichstrom/HGÜ, Supraleitung, IT-Übertragungen) verlegt werden und nachhaltig genutzt werden können (Win-Win-Situation).

Zusammenfassung

Verfahren zum Bau von Kavernen in Meer-fernen, binnenländischen Salinaren zur Anlage von Energie-Speichern darin durch Ausspülen mit örtlichem Süßwasser und Ableitung der warmen und stark salzigen Abwässer (Solen), dadurch gekennzeichnet, dass die Abwässer durch Leitungen (insbesondere Rohre) abgeführt werden, welche in Bundes-Fernstraßen (Mittelstreifen und/oder (erweiterte) Bankette; Fernstraßen-Chorda) verlegt werden und dabei die Fernstraßen latent erwärmen (Fußbodenheizung), wobei gegebenenfalls an den Leitungen Einspeise- und Zapfstellen für die stark salzigen Abwässer vorgesehen werden (z. B. Taumittel-Sprühanlagen, Sole-Entsorgungen), um damit die Bundes-Fernstraßen zusätzlich vor Schnee und Eis zu schützen (erhebliche und nachhaltige Unfall-Reduktion), während die nicht verwendeten Abwässer durch die Leitungen zur nachhaltigen Entsorgung ins Meer (Fluss-Außen-Ästuare: Dollart, Unterweser, Unterelbe) abgeleitet werden können. Aus diversen Gründen sollte **rechtzeitig** der Einbau von Leerrohren beim zukünftigen Neubau, der Erweiterung und Sanierung von Fernstraßen geplant und die Gründung von Brückenpfeilern im BAB-Mittelstreifen aus naheliegenden Gründen möglichst vermieden werden.

Praktisches Anwendungsbeispiel

Unter der Voraussetzung, dass der Bau einer Fernstraßen-Chorda durchgeführt werden sollte, was mittel- und langfristig wegen den bereits bestehenden Infrastrukturen in Deutschland dringend geboten wäre (Abb. 1 und 4), besteht

entlang der vorhandenen BAB-Achse A 7/A 23 die Möglichkeit, salinare Abwässer (u. a. Kali-Abwässer der Firma Kali & Salz in Nordhessen, salinare Abwässer aus der „Asse“ (Abb. 1) und andere niedersächsischen Salzhalden-Abwässer) in die Nordsee via Unterelbe ökologisch nachhaltig abzuleiten. Darüber hinaus könnte die Anlage von Binnensalinar-Energiespeichern primär entlang der Fernstraßen-Chorda A 7/A 23 oder anderer Strecken zum Binnensalinar-Anschluss angegangen werden. Wäre die Nord-Südlink-Trasse Wilster/Südwest-Schleswig-Holstein nach Grafenrheinfeld/Unterfranken (niederländische Staatsfirma Tennet TSO; Bayreuth) zwischenzeitlich (nach >10-jähriger Planung!) umgesetzt, dann wäre ein Verzicht des teuren HGÜ-Kabels nach Norwegen u. U. bereits obsolet und Süddeutschland käme endlich in den Genuss des norddeutschen Windstromes. Der Ausspruch von A. MERKEL (2018) sollte endlich in der Politik umgesetzt werden, weil Lösungen zur Energiespeicherung für Norddeutschland benannt aber leider nicht zur Kenntnis genommen werden.

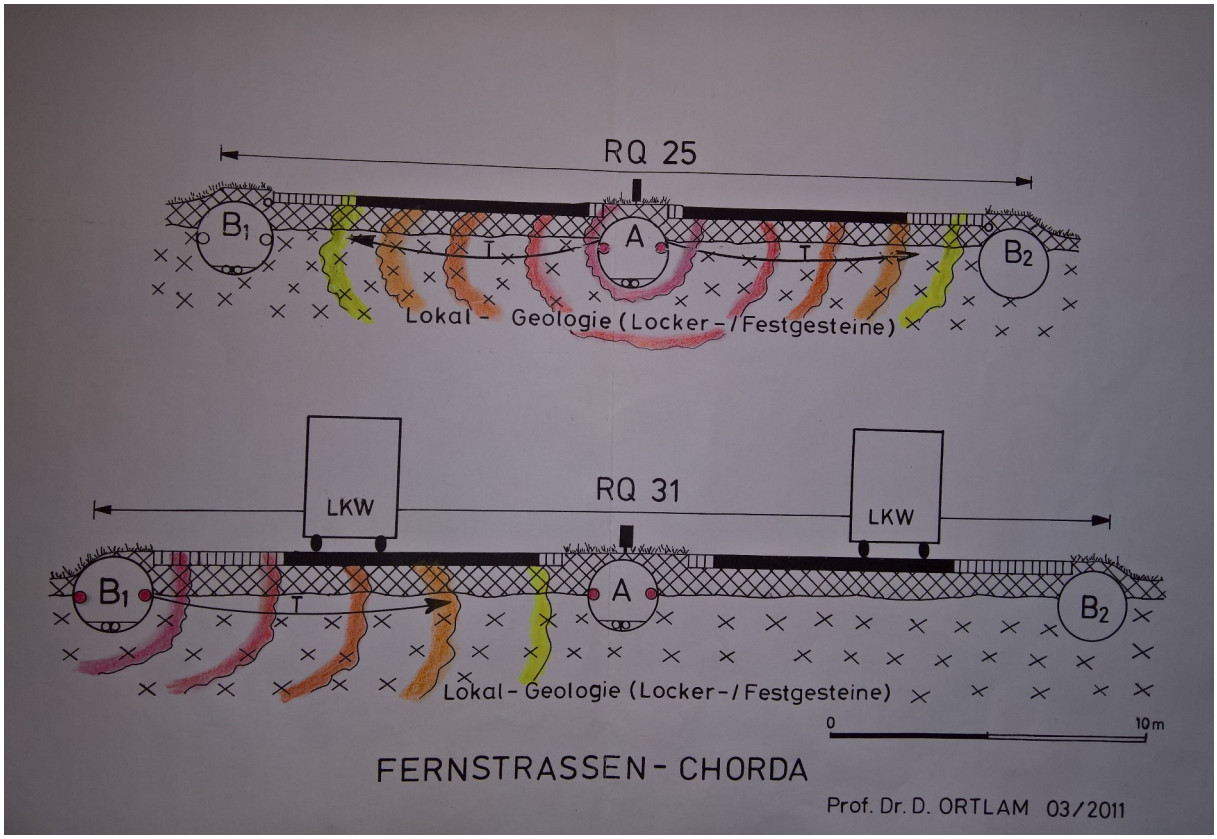

Abb. 3: Modellartige Darstellung der Fernstraßen-Chorda (Durchmesser der begehbaren Stahlröhre: ~2m) im Mittelstreifen (A) oder den (erweiterten) Banquetten (B1 und/oder B2) von alten (RQ25) und neuen Bundes-Fernstraßen (RQ31) mit der thermalen Darstellung einer (möglichen) Autobahn-(Fußboden)-Heizung (T).

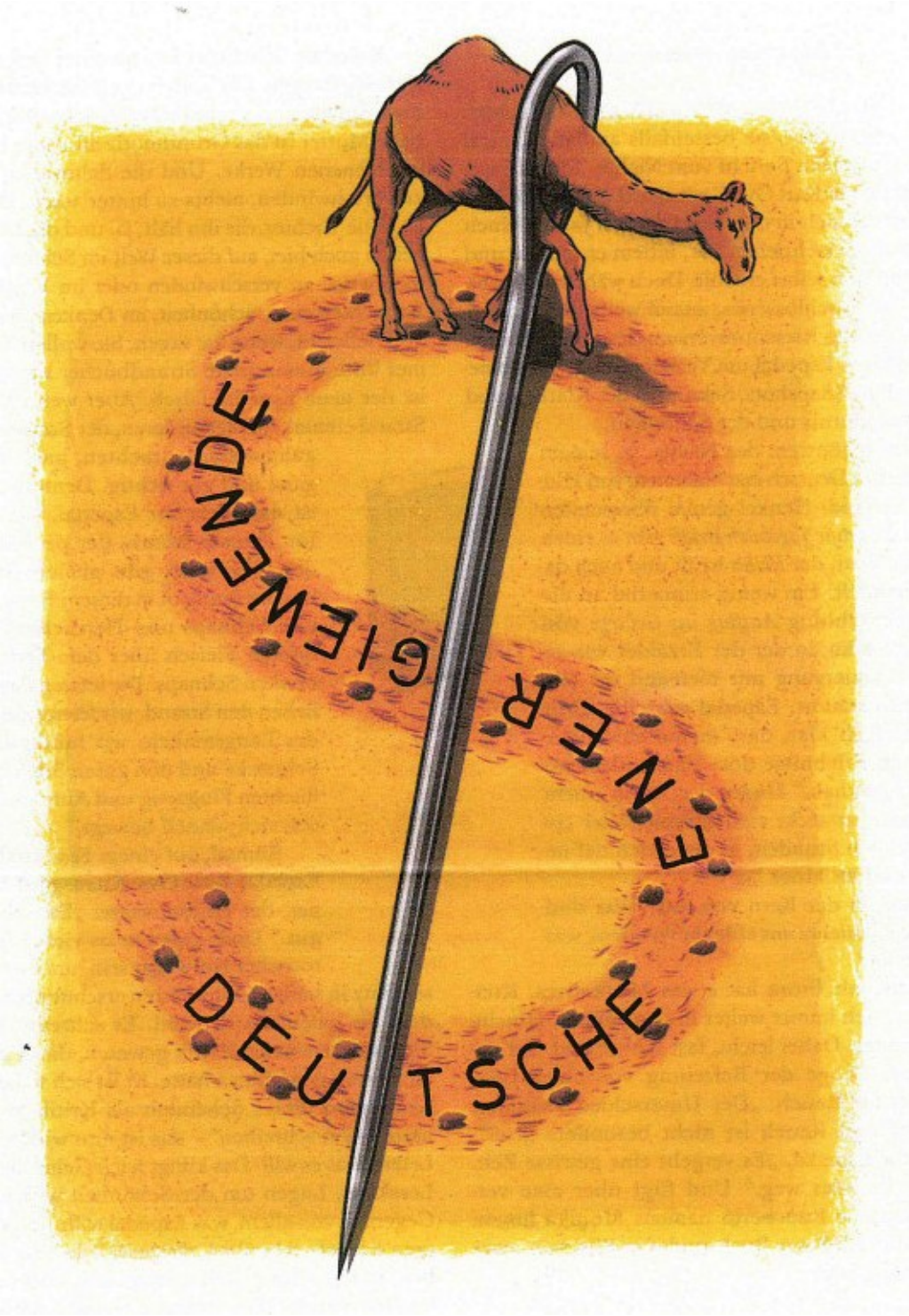

Abb. 4: Durch dieses Nadelöhr muss das Kamel (= Deutsche Energiewende) gehen, um das rezente „Made in Germany“ zukünftig aufrecht zu erhalten (Zeichnung nach GRESER & LENZ 2017, ergänzt).

Alternativ-Möglichkeiten zur dezentralen Energie-Speicherung und zum relativ schnellen LNG-Umschlag Offshore/Onshore bei Nutzung der salinaren Geothermie

Andererseits bestünde (**neu**) im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee vielfältige Möglichkeiten, die im Untergrund vorhandenen Salzlagerstätten (Salzstöcke und Salinare) zu nutzen, um dort mit Hilfe eines relativ schnell umzusetzenden Offshore-LNG-Hafenumschlages und entsprechenden Befüllungsplattformen (FSRU = Floating Storage and Regasification Unit) ausgedehnte warme Salz-Kavernen-Speicher mit Methan (bis 250 Bar Druck) in der darunter liegenden geeigneten Salzlagerstätte anzulegen. Folgende eklatanten Vorteile gegenüber dem Onshore-Bereich ergeben sich daraus zwangsläufig vorerst im Offshore-Bereich, um die sichere Bevorratung von autarken Energiespeichern **umgehend und vor allem schnell** in die Wege zu leiten (z. B. BRD):

1. Die Lage des LNG-Umschlagplatzes kann aufgrund der ökologischen und See-technischen/-marinen Bedingungen in der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee im Offshore-Bereich relativ schnell gewählt werden (Abb. 1); z. B. Bereich Helgoland mit den Salinaren „Judith“ und „Justine“ und der Till-Rinne (Norder und Ooster Till mit >13m Seewasser-Tiefgang) südwestlich der Insel Scharhörn mit dem hochliegenden und ausgedehnten Salinar „Scharhörn“.
2. Für die Ausspülung der Salzkavernen im salinaren Untergrund steht Meerwasser mit 2%- bis 4%gem Salzgehalt der Meere im freien Wattenmeer immer ausreichend zur Verfügung und ist auch ökologisch gut ein- und umzusetzen.
3. Somit entfallen die umfangreiche Planungen im freien Wattenmeer der Deutschen Bucht oder der Ostsee und die teure Anlagen von Transportleitungen einschließlich Brunnenbohrungen mit Genehmigungen im Onshore-Bereich auf dem Kontinent.
4. Anfall von minimalen Pump- und Transport-Kosten aus dem Meer mit unterschiedlichen Salz-Konzentrationen.
5. Gegenüber einer Küstenplanung für einen LNG-Hafen (u. a. Bereiche Helgoland, Neuwerk-Scharhörn, Wilhelmshaven, Stade und Brunsbüttel in der Deutschen Bucht sowie Lubmin/Ostsee) ergeben sich zwangsläufig erhebliche Reduzierungen bei der Planung (bis zu 10 Jahren an der Deutschen Küste) auf deutlich weniger als die Hälfte im Offshore-Bereich (<2 Jahre) und bei deutlich höheren Kosten als direkt an der Küstenlinie (Wilhelmshaven, Brunsbüttel, Stade und Lubmin).

6. Der Gas-Umschlag – z. B. ein 250.000 m³ Flüssiggas-Tanker ergibt 150 Mio m³ Erdgas (Faktor 1:600) – kann schnell und kostengünstig auf Reede (FSRU = Floating Storage and Regasification Unit) mit entsprechenden Andock-Stationen bewerkstelligt werden (z. B. Litauen, Polen, Türkei, Spanien und Italien), wobei ein 0,15% LNG-Gasverlust pro Tag beim See-Antransport zu berücksichtigen ist.
7. Die Brand- und Explosionsgefahren sind im Offshore-Bereich ziemlich minimiert. Löschwasser steht jedoch immer ausreichend zur Verfügung.
8. Durch die unterirdische Lagerung von Methan sind die Gefahren durch rezenten Terrorismus und kriegerische Ereignisse erheblich minimiert, vor allem bei dezentralen Positionen im Onshore-Bereich.
9. Die anfallende Sole kann an der Küstenlinie und im Offshore-Bereich bis zur Salzsättigung (bis 100%) ökologisch gezielt in das Meer (u. a. Unter-Elbe, Unter-Weser oder die Ostsee) abgeleitet werden (d. h. Umkehrung des fossilen Eindampfungsvorganges während der fossilen Salzbildung vor >250 Mio Jahren aus dem Ozean). Die bestehende starke Durchströmung in der Deutschen Bucht und die Tide-Bewegungen lassen eine ökologische Verteilung der hochkonzentrierten Sole bei fortwährender ökologischer Überwachung im Meer (Nord- und Ostsee) auf Dauer sehr gut zu.
10. In einer Salzlagerstätte können im Offshore- und Onshore-Bereich in entsprechender Tiefe mehrere tausend gasdichte Kavernen mit bis zu 2 Mio m³ Gas-Inhalt im schieren, gasdichten Zechstein-Steinsalz (= reines NaCl) in verschiedenen Tiefen (>500m bis >2.000m) der Salzlagerstätte als Zylinder ausgesolt werden.
11. Das Problem der Oberflächen-Absenkung einer gesolten Salzlagerstätte ist im Offshore-Bereich gegenüber dem Onshore-Bereich geologisch nahezu vernachlässigbar, da eine etwaige Absenkung des Meeresgrundes eher positiv zu bewerten ist (z. B. vergrößerte Seetiefe, kaum ökologischen Auswirkungen).
12. Offshore-Salzkavernen-Speicher können in der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee – ohne schwerwiegende Planungen und Transportprobleme im Onshore-Bereich z. B. küstennah außerhalb von bestehenden Sperrzonen durchgeführt werden. Im Bereich von Helgoland mit der Salinarstruktur „Helgoland“, auf der Hamburg-Insel Neuwerk-Scharhörn mit dem Salinar „Scharhörn“ sind diese Voraussetzungen gegeben. Die bisher sichere Erdöl-Gewinnung „Mittelplate“, nördliche Elbmündung Schleswig-Holstein kann als Beispiel dafür dienen.

13. Die Errichtung von Bohrplattformen für die Offshore-LNG-Umschlagplätze sind heute technisch relativ schnell und ökonomisch zu lösende Aufgaben (z. B. der Bau in deutschen und europäischen Werften zur Entlastung der heutigen diversen Auftragsprobleme).
14. Die beiden Standort-Bereiche mit Salzlagerstätten in der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee liegen für die Energie-Versorgung Deutschlands und der Europäischen Union strategisch sehr günstig, um mit relativ kurzen **Methan-** und **Wasserstoff-**Versorgungsleitungen aus dem Offshore-Bereich zu den zahlreichen binnenländischen Salzlagerstätten-Standorten im Onshore-Bereich u. a. per Fernstraßen-Chorda (ORTLAM 2012) zu vielen dezentralen Energie-Speichern zu gelangen (Abb. 1).
15. Der direkte Untergrund der geplanten LNG-Hafenstandorte (Wilhelmshaven, Stade und Lubmin) weist keine geeigneten Salzlagerstätten zur **nahen** Kavernen-Speicherung auf, insofern müssen zusätzliche Leitungen gebaut werden (z. B. zum Salinar „Etzel“ und „Rüstringen“ bzw. zu „Stade“ und „Harsefeld“). Der Standort Brunsbüttel ist jedoch ein Problembereich mit erheblichen, oberflächennahen Störfaktoren (u. a. Atomkraftwerk mit Zwischenlagerung, Schleuse Brunsbüttel, Laut-Entwicklung der FSRU), jedoch mit einem solfähigen Salinar „Belmhusen“ direkt im Untergrund.
16. Die Bundesrepublik Deutschland kann sich durch die Abkoppelung vom fremden (unsicheren) Energie-Bezug (u. a. allein aus Russland im Jahre 2021, laut Handelsblatt vom 17. 03. 2022: mit 65% Erdgas, 50% Kohle und 40 % Erdöl) mit Hilfe dieser zahlreichen Energie-Zwischenspeicher auf den künftigen Anschluss an die regenerativen Energien stetig und zügig vorbereiten. Sie dient als Sprungbrett zur endgültigen Abkoppelung von fossilen Energien (= bisherige Nutzung des Kapitals der Erde ohne Zinszahlung!).
17. Die neuen Kavernen-Speicher in den ausgedehnten Salzlagerstätten Deutschlands im Offshore- und Onshore-Bereich lassen sich nicht nur mit Erdgasen, Rohöl-Derivaten, Ammoniak und Druckluft, sondern auch – nach Testung – mit anderen Gasen z. B. grüner und grauer Wasserstoff sowie mit Helium und anderen Gasen befüllen und transportieren.
18. Die Energie-Speicherung in Salzlagerstätten der Bundesrepublik Deutschland weist ein hohes Maß an Autarkie auf, so dass Deutschland als ein salzreiches Land in Zukunft dadurch sehr gering erpressbar sein wird.

19. Deutschland liegt sehr zentral in Europa und kann dadurch eine wichtige Rolle in der dezentralen Bevorratung von Speicher-baren Medien in der Europäischen Union spielen. Eine große Chance für ein neues Know How aus Deutschland („Made in Germany“, nach der Umsetzungspleite von Fukushima/Japan) mit seiner angestrebten Insellösung bis zum Jahre 2022.
20. Die Energie-Speicherung dient als Brücken-Technologie beim politisch gewollten und ökologisch unabweisbaren Zukunftshandeln auf unserer Erde und kann als Vorbild zur anstehenden Energie-Wende auf unserer Erde stehen.
21. Solche Projekte können geopolitisch als friedensstiftend eingestuft und als Übergangstechnologie zur bald-möglichen Nutzung von regenerativen Energien (einschließlich Wasserstoff) eingesetzt werden.
22. Die Nutzung von regenerativen Energien (Sonne und Geothermie) sind die autarke Grundlage zur Beachtung von Kulturschutzgebieten der einzelnen Völker für dauerhaften Frieden auf unserer (bisher einmaligen) Erde.
23. Kryo-Lagerung direkt in warmen Salzlagerstätten (optional nach Modell-, Labor- und lokalen In-Situ-Versuchen z. B. in Laboren und bestehenden Salzbergwerken – sowie versuchsweise – im Offshore-Bereich): Der Versuch einer direkten Befüllung einer Salz-Kaverne mit flüssigem LNG (-164° C) – direkt ohne die ökologisch sehr problematische FSRU-Station mit erheblicher Chlor-Belastung, Abkühlung des zurückzuführenden Meerwasser in das Naturschutzgebiet „Wattenmeer“ und verstärkter Laut-Emissionen – an einer bestehenden Bohrplattform wäre zur Testung im Offshore-Bereich sehr interessant und wichtig (Forschungsbedarf).
24. Das salinare Steinsalz ist als sehr guter Wärmeleiter vor allem in vertikaler Richtung im Untergrund zu betrachten und **könnte somit die FSRU-Einheit u. U. ganz ersetzen** – zur finanziellen und ökologischen Entlastung der aufwendigen Anlandestation (**ohne FSRU-Einheit**) im sensiblen Naturschutzgebiet „Wattenmeer“. Die geothermische Wirksamkeit (LNG-Vergasung pro Zeiteinheit) in einer Salzlagerstätte mit der primären Einlagerung von flüssigem LNG wird – nach theoretischer Berechnung – erst bei einem Feldversuch primär im küstennahen Bereich erforscht werden können. Dabei sollte auch ein neues Casing den petrostatischen Druck-Bedingungen angepasst werden.
25. Ein wesentlich größeres Volumen **bis zum 600-fachem Volumen** von flüssigem Methan könnte dadurch in einer Salzkaverne gespeichert werden.

26. Die anormalen geothermischen Verhältnisse mit **dem Salinaren Schlot-Effekt (= SSE**, hiermit) von Salzstöcken (= stark erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Steinsalzes mit Lambda ~400W/m K) zu den umliegenden Sediment-Gesteinen (= sehr niedere Wärmeleitfähigkeit mit Lambda ~1W/m K) könnte optimal genutzt werden, um die Umwandlung zu gasförmigen Erdgas in die Onshore-Leitungen durch das natürlich vorhandene Geothermie-Potential im Steinsalz zu bewerkstelligen. Dadurch wären die enormen Energie-Aufwendungen bei der Verflüssigung des Erdgases zur Beladung der Tanker am Herkunftsort und von Gas-Transportverlusten von 10% bis 25% teilweise wieder rückholbar.
27. Bei der Ausspülung und dem Betrieb von normalen Salzkavernen muss die Rheologie des salinaren Salzes je nach Tiefenlage und Speicher-Temperatur berücksichtigt werden. Dies wird durch Aufrechterhaltung eines entsprechenden Kavernen-Druckes gewährleistet – bei entsprechender Sicherheit der installierten Casing-Strukturen. Mit der Einlagerung von flüssigem LNG bei -164° C in die Salzkaverne wird diese jedoch stark abgekühlt und das Steinsalz erstarrt dadurch zunehmend um die Kavernen-Aureole. Wahrscheinlich wird hierdurch die Stabilität der (ursprünglich warmen) Salzkaverne u. U. **so erheblich verbessert**, dass mit einer langfristigen Salinar-Konvektion unter den örtlichen P-T-Bedingungen kaum zu erwarten ist. Vielmehr ist hier mit der Ausbildung von polygonen Steinsalz-Säulen-Aureolen senkrecht zur (vertikalen) Abkühlungsfläche zu rechnen (= **Salz-Säulen-Aureolen-Effekt, SSA-Effekt**. hiermit), was durch viele Beobachtungen in Permafrost-Böden belegt wird (u. a. glazigene Strukturböden in Alaska, Kanada und Sibirien, Polygon-Säulen in Basalten, Porphyren und Graniten).
28. Bau von organischen CM Blue-Energie-Speichern (Alzenau) in allen geeigneten Salzlagerstätten zur Speicherung von großen Energie-Mengen (= zahlreich verteilte Energie-Tankstellen in Mittel-Europa) im Binnenland (Onshore-Bereich) unter Nutzung und dem Bau einer Fernstraßen-Chorda (ORTLAM 2012).
29. Vermeidung von erheblich nachteiligen Veränderungen durch die Nutzung und den Betrieb eines FSRU-Schiffes in küstennahen Bereichen des Meeres (u. a. Natur- und Landschaftsschutz) durch **die Abgabe von Kaltwässern** (<5° C) mit erheblichen physikalischen und geochemischen Belastungen (u. a. Temperatur-Erniedrigung des Küstensaumes, Chlor-Gasabgabe mit entsprechend krebserzeugenden Derivaten) in das küstennahe Ökosystem des Wattenmeeres.

30. Vermeidung von erheblich nachteiligen Veränderungen durch die Nutzung und den Betrieb eines (teuren) FSRU-Schiffes in küstennahen Bereichen des Meeres (u. a. Natur- und Landschaftsschutz) durch **die notwendige Chlorung** des eingesetzten Meerwassers – zur Vermeidung von Seepocken- und Muschel-Ansatz – und deren Abgabe in das küstennahe Ökosystem des Wattenmeeres.
31. Durch die große Verbreitung von Salzlagerstätten in Deutschland (>500 Salzstöcke, >50 Salzmauern und weitere stratiforme Salz-Vorkommen) in Mittel-Europa ergeben sich optimale Verhältnisse zur gleichmäßigen Verbreitung und Anlage von nahezu Terrorismus-sicheren Energiespeichern (u. a. Erdöl, Erdgas, Wasserstoff) im tiefen Untergrund des Binnenlandes. „Das Ausland beneidet die Deutschen Salzlagerstätten zur sicheren Speicherung von hochradioaktiven Abfällen, Flüssigkeiten und Gasen!“
32. Der LNG-Umschlag in Lubmin östlich von Greifswald kann durch die Nähe des Salinars „Möckow“ als Speicherstätte optimal genutzt werden, um im Küstenbereich der Ostsee eine bedeutende Energie-Tankstelle im sicheren Untergrund angelegt werden.
33. Die unangenehme Geräuschentwicklungen beim Betrieb von FSRU-Einheiten z. B. in Brunsbüttel und Rügen kann durch die direkte Einlagerung von flüssigem LNG von der geeigneten Anlandestation in eine (zu erkundete) Salzkaverne komplett vermieden werden.
34. Nutzung der Geothermie der Salinare zur Auflösung flüssigen LNG (-163°C) zur Reaktivierung auf auf Atmosphärendruck. Entlastet die Ökologie der niedersächsischen Wattenmeeres durch Temperaturverminderung und Vermeidung der Meerwasserentnahme durch „Hoegh Esperanza“

Literatur

CROTOGINO, F. & DIETZEL, H.-J. (2020): Untergrundspeicher in Norddeutschland. – Zeitschr. f. Stadt-, Regional- u. Landesentwicklung, Neues Archiv f. Niedersachsen, **2020**/1:157-169, 6 Abb., (Wachholtz) Kiel/Hamburg.

JARITZ, W. (1973): Eine Übersichtskarte der Tiefenlage der Salzstöcke in Nordwestdeutschland. – Geol. Jb., **A 90**:241-244, 1 Taf., Hannover.

MERKEL, A. (2018): „Wer die Antwort auf das Problem der Speicherung von Energie findet, der ist natürlich der König auf der Welt“. -- Zitat im Handelsblatt **118**/18, vom 22./24. 06. 2018, Köln.

ORTLAM, D. (2012): Energiewende I: Verfahren zum Bau von Stromtrassen und entsprechenden Anlagen („Fernstraßen-Chorda“). 15 S., 2 Abb., Patentanmeldung (05/2011) unter DE 102011106354.8 beim DPMA (München. – Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).