

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	6 (1999), 1	S. 79–89	5 Abb., 7 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	----------	----------------

# Entwicklung und Perspektiven der Untergrundgasspeicherung in Brandenburg

GOTTFRIED ECKHARDT & HORST BEER

## 1. Vorbemerkungen

Während bis in die erste Hälfte unseres Jahrhunderts Erdgas in Form von Begleitgasen bei der Erdölförderung als Nebenprodukt anfiel, setzte ab den 50er Jahren eine stürmische Entwicklung des Erdgases zum eigenständigen, ökonomisch wie ökologisch vorteilhaften Primärenergieträger ein. Anfang der 90er Jahre war Erdgas in Deutschland mit einem Anteil von rd. 20 % bereits zum dritt wichtigsten Energieträger geworden. Der Erdgasbedarf kann schon lange nicht mehr aus einheimischen Erdgas-/Erdöllagerstätten abgedeckt werden, gegenwärtig werden bereits rd. 80 % des Erdgaseinsatzes importiert.

Mit ihren Möglichkeiten

- jahreszeitliche und tägliche Verbrauchsschwankungen auszugleichen,
  - strategische und technische Kapazitätsreserven für Ausfälle in den Erdgasfeldern und den aufwendigen Transportsystemen vorzuhalten sowie
  - die Transportnetze technisch-wirtschaftlich zu optimieren,
- ist die Untergrundgasspeicherung zum integrierten Bestandteil der Gaswirtschaft geworden.

Die Untergrundgasspeicherung begann in Deutschland 1953 mit dem Verpressen von Kokereigasen in den Wealdensandstein der Struktur Engelbostel bei Hannover. Nach dem Gasspeicher Hähnlein (1960) ging bereits 1964 der Stadtgasspeicher Ketzin in Brandenburg als dritter Untergrundgasspeicher (UGS) Deutschlands in Betrieb. 1978 folgte in Brandenburg der Erdgasspeicher Buchholz bei Treuenbrietzen. Beide UGS stabilisierten die Gasversorgung in der Nordhälfte der DDR. Der in der Vorwendezeit hauptsächlich aus strategischen Gründen errichtete Untergrundgasspeicher Berlin-Spandau ist 1992 in Betrieb gegangen, gegenwärtig wird in Rüdersdorf mit der Errichtung eines Kavernenspeichers begonnen.

Im Rahmen einer Übersichtskartierung der tiefliegenden Bodenschätze des Landes im Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) im Maßstab 1 : 300 000 wurden insgesamt 23 Aquifer- und 31 Salzstrukturen ausgewiesen, die geologisch für die Anlage von Porenspeichern vom Aquifertyp bzw. von Kavernenspeichern mehr oder weniger geeignet sind (s. auch Atlas zur Geologie von Brandenburg). Bei gegenwärtig 38 Untergrundgasspeichern, die insgesamt in Deutschland in Betrieb sind, ergab sich zwangsläufig die Frage, ob sich Brandenburg bei seinem Strukturereichtum tatsächlich zu einem der speicherreichsten Bundesländer entwickeln kann, zumal zahlreiche Erlaubnisse zur Aufsuchung von "geologischen Formationen und Gesteinen, die sich zur unterirdischen behälterlosen Speicherung eignen", beantragt und erteilt wurden.

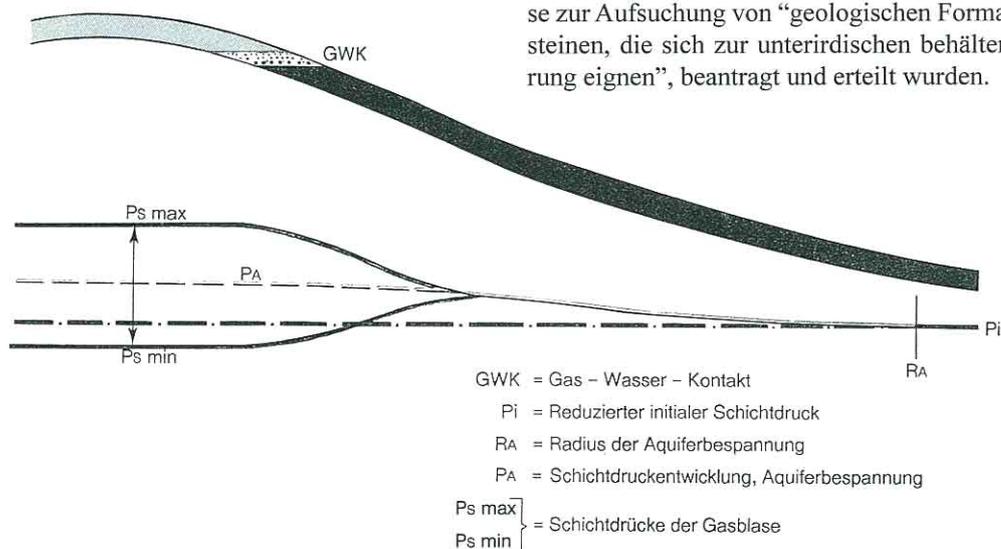


Abb. 1 Druckinanspruchnahme eines Aquifers bei der Untergrundgasspeicherung (Schema)

Dieser Fragestellung wurde 1997 in einer wirtschaftsgeologischen Analyse (interner Sachstandsbericht des LGRB) nachgegangen. Ausgehend von dem in Brandenburg in seiner Größenordnung und Verteilung bekannten Reservoirangebot der Aquifere und der Tatsache, dass

- a) die Aquifere durch die Schichtwasserverdrängung bei der Errichtung eines UGS vom Aquifertyp über Areale druckbeansprucht werden, die ungleich größer sind als die für die Gasspeicherung vorgesehenen Strukturflächen selbst (s. Abb. 1) sowie
- b) die infrastrukturellen Verhältnisse von Salzstrukturen u. U. eine Kavernensolung nur bei einer unterirdischen Verpressung der anfallenden Sole in Aquifere ermöglichen, die ebenfalls eine enorme Druckinanspruchnahme der Aquifere bewirkt,

fürten die Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass in Brandenburg Untergrundgasspeicher in einer weit geringeren Anzahl geologisch-reservoirmechanisch errichtbar sind, als es für die technische Anlage geologisch geeignete Strukturen gibt. Nachstehend sollen die wichtigsten Ergebnisse des Sachstandsberichtes dargestellt werden.

## 2. Wirtschaftsgeologische Analyse der Untergrundgasspeicherung in Deutschland

Die wirtschaftsgeologische Analyse stützt sich auf die statistischen Angaben, die von SEDLACEK & STANCU-KRISTOFF 1993 und von SEDLACEK 1997 speziell zur Untergrundgasspeicherung in Deutschland veröffentlicht wurden, sowie auf die fortlaufenden statistischen und Firmenmitteilungen zur deutschen Gas- und Erdölindustrie in den Fachzeitschrif-

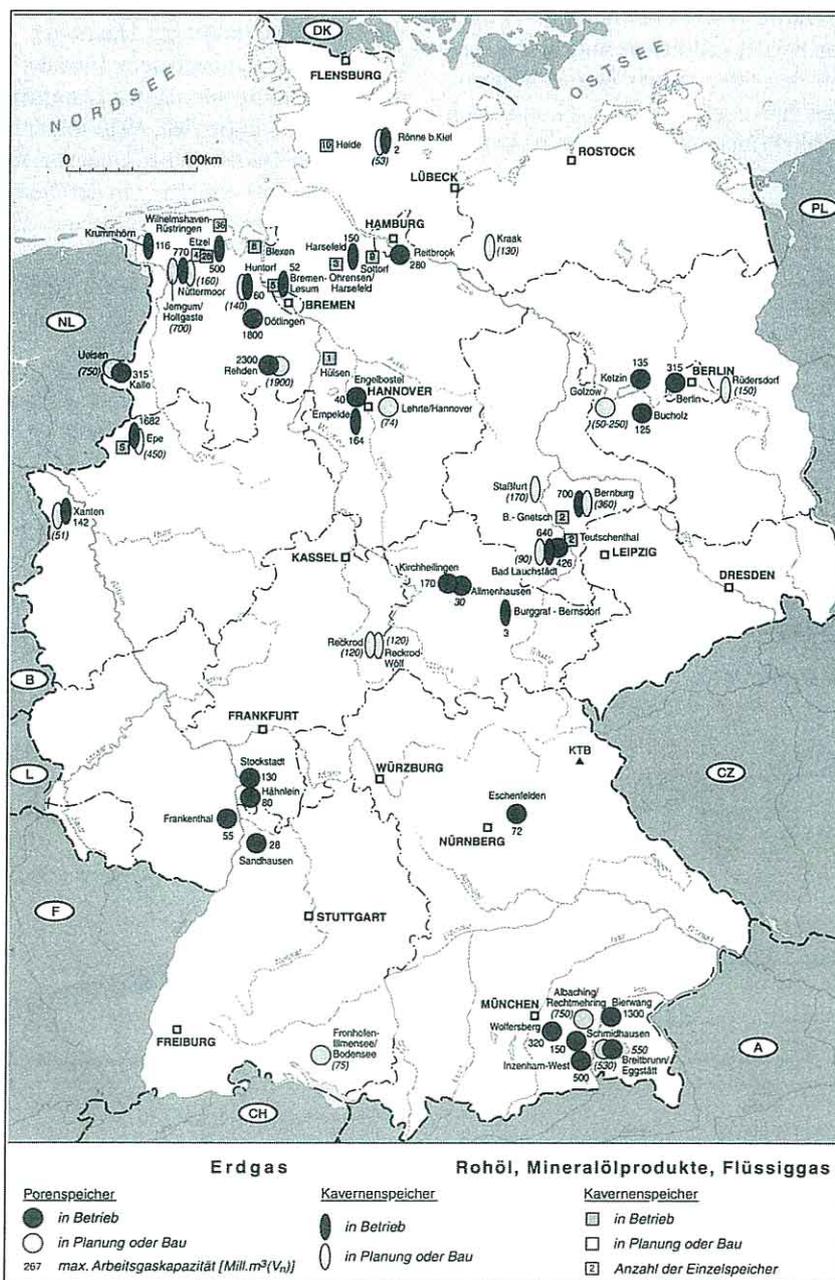


Abb. 2 Untertagegasspeicher in Deutschland - Übersichtskarte (Stand Mitte 1997), aus SEDLACEK 1997

ten Gas-Wasser-Fach und Erdöl, Erdgas und Kohle. Über die Lage der derzeit in Deutschland in Betrieb und in der Errichtung/Planung befindlichen Untergrundspeicher informiert Abbildung 2.

Die Verteilung der Gasspeicher und Speichervorhaben spiegelt vor dem geologischen Hintergrund vorrangig die Entwicklung der Gas- und Speicherwirtschaft wider. So ist z. B. die Konzentration der großen Kavernenspeicher im Hinterland der Nordseeküste nicht nur auf das große Angebot an Salzstrukturen und an die bisher günstige Soleentsorgungsmöglichkeit über die Vorflut in die Nordsee zurückzuführen, sondern gleichzeitig eine Folge der räumlichen Nähe zu den Gasimporten aus den Niederlanden und zunehmend aus den Nordseefeldern. Gleichzeitig ist aus der Kartendarstellung ersichtlich, dass in diesem Bereich der gegenwärtige Zuwachs an Salzkavernen sich auf eine Erweiterung der bereits bestehenden Speicheranlagen beschränkt - offensichtlich stehen neuen Standorten vermehrt ökologische Akzeptanzprobleme zur Soleeinleitung in die Nordsee entgegen. Die Konzentration von Porenspeichern in Bayern ist dagegen im Gefolge der hier vorkommenden großen und z. T. abgebauten Erdgaslagerstätten und der Ferngasleitung für die ersten russischen Erdgasimporte nach Süddeutschland und Südwesteuropa zu sehen.

### 2.1. Zur Charakteristik der Arten an Untergrundgasspeichern

Untergrundgasspeicher werden als **Porenspeicher** in schichtwasserführenden Antiklinalstrukturen (sogenannte Aquiferspeicher) oder in weitgehend abgebauten Erdgas-/Erdöllagerstätten errichtet bzw. als **Kavernenspeicher** in Salzzakkumulationen gesolt. Porenspeicher müssen im Regelbetrieb im sogenannten Aquifergleichgewicht gefahren werden, d. h. die im Sommer eingespeicherten Gasmengen müssen in der Wintersaison wieder ausgespeist werden, wobei die Ausspeiseraten am Ende der Winterperiode mit sinkendem Speicherdruck abnehmen. Dieser Speichertyp dient dem jährlichen Ausgleich der klimatisch bedingten Bedarfsschwankungen. Die Kavernenspeicher ermöglichen hohe Ausspeiseraten, sie können innerhalb weniger Tage leergefahren werden. Sie sind daher als sog. Havariespeicher und zur Abdeckung besonders hoher Bedarfsspitzen von gaswirtschaftlichem Interesse. Beide Speicherarten ergänzen sich gaswirtschaftlich, die Varianten ihrer Errichtung weisen unterschiedliche technisch-wirtschaftliche Vor- und Nachteile auf.

#### Porenspeicher

Unter der Voraussetzung, dass die kohlenwasserstoffführenden Speichergesteine hohe Sondenleistungen ermöglichen, weist die Umstellung weitgehend abgebauter Erdgas- und Erdöllagerstätten (vorrangig mit freier Erdgaskappe) auf Speicherbetrieb gegenüber der Errichtung von Aquiferspeichern wesentliche Vorteile auf:

- Die Gasdichtheit der Speicherstruktur ist belegt und bedarf keiner gesonderten Untersuchungen.
- Die Schichtwässer müssen nicht erst und energetisch aufwendig verdrängt werden, es bedarf keiner Untersuchung

des regionalen Schichtwasserreservoirs und seiner möglichen, bei der Verdrängung aktivierbaren Kontakte zum Grundwasserstockwerk.

- Besonders vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang auf Speicherbetrieb umstellbare Erdgas-/Erdöllagerstätten mit faziell und/oder tektonisch bedingtem gering beweglichem Rand- und Sohlenwasserreservoir. Diese Porenspeicher müssen nicht im Aquifergleichgewicht gefahren werden und ermöglichen eine Überjahresspeicherung.
- Im Vergleich zu Aquiferspeichern zeichnen sich auf Speicherbetrieb umgestellte Kohlenwasserstofflagerstätten durch günstigere Arbeits-Kissengasverhältnisse bzw. höhere Arbeitsgasanteile am Gesamtgasvolumen aus (Abb. 3).
- Vorhandene Fördersonden können nachgenutzt werden, die verbleibenden Restgase reduzieren das nachzuspeisende Kissengasvolumen.

Nachteilig können sich gegebenenfalls Vermischungsprozesse der Speicher- mit den Restgasen und Erdölen/Kondensaten der Lagerstätte auswirken.

Die aufwendigeren Aquiferspeicher wurden daher vorrangig in der Anfangsphase der Gas- und Speicherwirtschaft mit geringem Angebot an bereits abgebauten Kohlenwasserstofflagerstätten errichtet bzw. sind derzeit in Gebieten ohne Kohlenwasserstofflagerstätten mit Speicherbedarf für die Regionalversorgung noch von Interesse.

#### Kavernenspeicher

Bis auf den in einem stillgelegten Grubenfeld eingerichteten Kavernenspeicher Burggraf-Bernsdorf (3 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas) werden in Deutschland für die Untergrundgasspeicherung ausschließlich Speicherkavernen in Salzzakkumulationen gesolt. Gegenüber den Porenspeichern sind die Kavernenspeicher durch deutlich höhere Arbeitsgasanteile charakterisiert (Abb. 3). Technisch-wirtschaftlich unterscheiden sich die Kavernenspeicher nach der Entsorgungsart der bei ihrer Errichtung anfallenden Sole:

- Entsorgung durch Weiterverarbeitung in der chemischen Industrie  
Diese äußerst vorteilhafte Entsorgung ist jedoch lokal auf den Niederrhein (Epe, Xanten) und die mittlere Saale (Bernburg, Staßfurt) und hier noch zusätzlich durch die Abnahmemöglichkeiten der Industrie eingeschränkt.
- Soleableitung über die Vorflut  
Diese ebenfalls relativ kostengünstige Entsorgung führte zu einer Konzentration der Kavernenspeicher im Hinterland der Nordseeküste und in der DDR im Saalebereich (Bad Lauchstädt). Die ökologische Akzeptanz für diese Entsorgung verringert sich zunehmend.  
Bei Kavernenprojekten, die sich in der Errichtung/Planung befinden, handelt es sich in diesen Bereichen in der Regel um die Fortführung bereits genehmigter Vorhaben.
- Soleverpressung in unterirdische Speicherreservoirs  
Diese Entsorgungsvariante ist zwar kostenaufwendig, stellt jedoch gegenwärtig für einen lokal gebundenen Speicherbedarf von Regionalversorgern eine ökologisch machbare Alternative zur Vorflutentsorgung dar. Als vorteilhafte Ver-

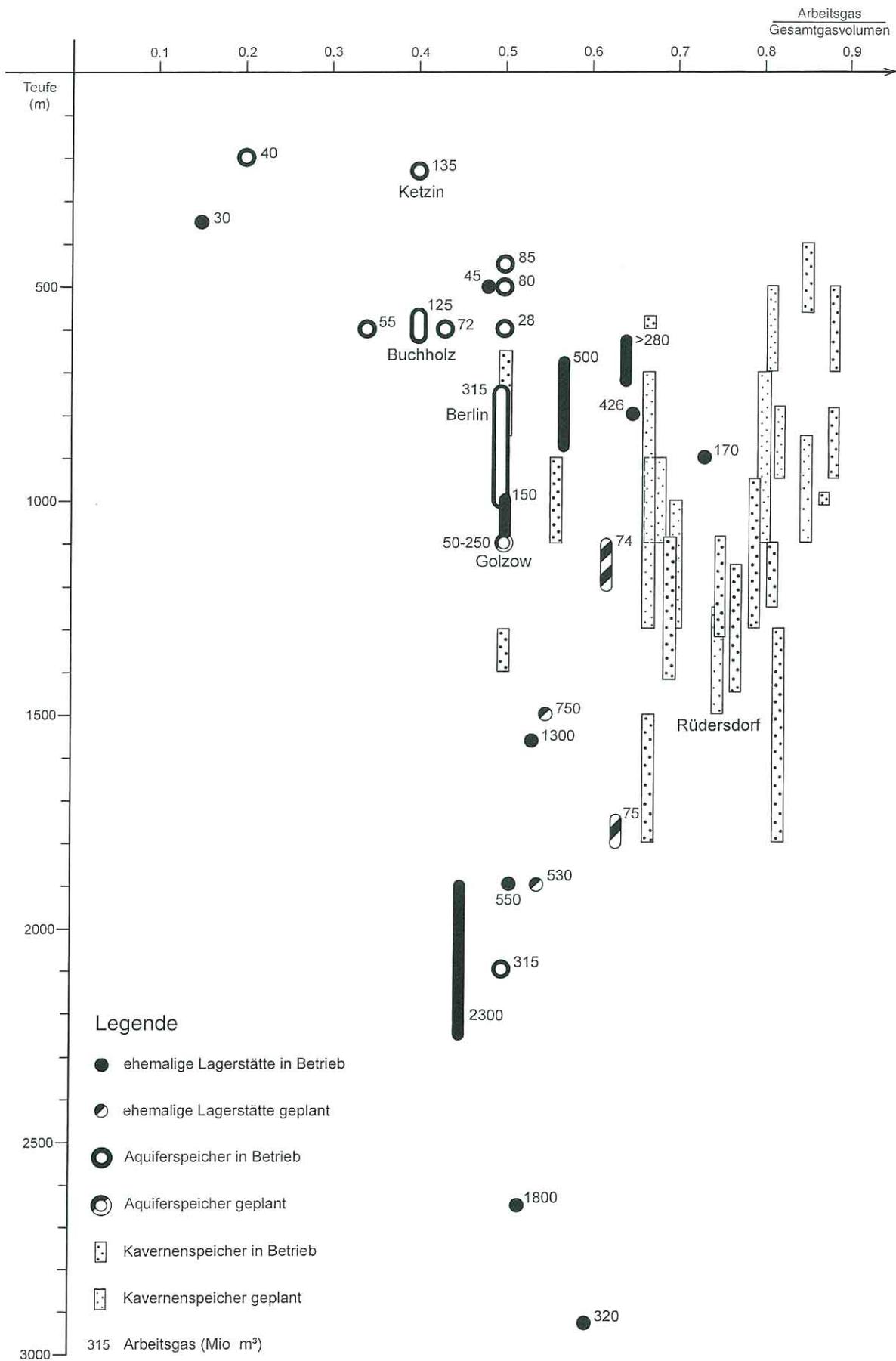


Abb. 3 Untertagegasspeicher in Deutschland - Verhältnis Arbeitsgas: Gesamtgasvolumen in Abhängigkeit von der Teufe (nach SEDLACEK 1997)

preßvariante bieten sich auch abgebaute Erdgas-/Erdöllagerstätten an, die sich für eine Umstellung auf Speicherbetrieb selbst nicht eignen.

Eine geologisch-technisch machbare, bisher jedoch für die Untergrundgasspeicherung noch nicht genutzte Solungstechnologie wurde in der DDR mit der Pilotkaverne Mittenwalde (Mineralölprodukte) entwickelt: Aquifere werden Schichtwässer mit Mineralisationen  $\leq 120$  g/l zur Kavernensolung entnommen und danach als sogenannte Vollsole (Mineralisation  $\geq 320$  g/l) wieder in die Aquifere reinjiziert. Die Solgeschwindigkeiten sind naturgemäß gegenüber Süßwasser gering. Das aufwendige Verfahren führt jedoch zu einer geringeren Druckbeanspruchung der Aquifere und ermöglicht auch eine Kavernenerrichtung durch Soleverpressung bei einem geringen unterirdischen Reservoirangebot. Dieses Verfahren kann bei lokalen Zwangssituationen für die unterirdische Gasspeicherung und insbesondere für die Speicherung hochwertiger Produkte der chemischen und Mineralölindustrie sowie für die Deponie von Sonderabfällen von wirtschaftlichem Interesse werden.

## 2.2. Entwicklung der Gas- und Speicherwirtschaft in Deutschland

Ab 1960 wurde Erdgas zur Gasversorgung eingesetzt. Bereits 1970 wurden rd. 15 Mrd. m<sup>3</sup> in das Versorgungsnetz eingespeist. Die bis zu diesem Zeitpunkt in Betrieb gegangenen Untergrundgasspeicher dienten zur regionalen Stabilisierung der auf Stadt-, Kokerei- und Raffineriegase beruhenden Gasversorgung und wurden später auf Erdgas umgestellt. Anfang der 90er Jahre erreichte der Erdgaseinsatz die Größenordnung von 80 Mrd. m<sup>3</sup> und wurde mit einem Anteil von rd. 20 % nach Kohle und Erdöl der dritte wichtige Primärenergieträger. Diese Entwicklung setzt sich fort, 1996/97 wurden bereits mehr als 100 Mrd. m<sup>3</sup> Erdgas eingesetzt. Die Untergrundgasspeicherung folgte mit einigen Besonderheiten dieser Entwicklung.

Ein Vergleich der detaillierten Speicherstatistik nach SEDLACEK & STANCU-KRISTOFF 1993 und SEDLACEK 1997 belegt die unter 2.1 vorgenommene wirtschaftsgeologische Charakteristik der Untergrundspeicher:

- Der Neuzugang an Kavernenspeichervorhaben mit der aufwendigen Soleentsorgung durch unterirdische Verpressung orientiert auf kleine bis mittlere Speicherkapazitäten und stellt Vorhaben regionaler Gasversorger dar (Kraak, Rüdersdorf, Reckrod). Das inzwischen angezeigte großdimensionierte Kavernenvorhaben Peckensen der Erdöl-Erdgas Gommern GmbH (EEG) soll mit 700 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas offensichtlich vor dem Hintergrund der neuen russischen Erdgasimporte über die Jamal-Ferngasleitung errichtet werden. Mit der vorgesehenen Soleverpressung in die weitgehend abgebauten Erdgaslagerstätten der Altmark wird eine neue, ökologisch wie ökonomisch vorteilhafte Technologie angewandt.
- Der Zuwachs an Porenspeichern verschiebt sich eindeutig zugunsten der Umstellung abgebauter Kohlenwasserstofflagerstätten und der Erweiterung bestehender Speicher. So

wurde von der Gaz de France mit der Absicht, die Berliner Gaswerke Gesellschaft (GASAG) zu kaufen, gleichzeitig eine mögliche Erweiterung des Aquiferspeichers Berlin-Spandau von 315 Mio m<sup>3</sup> auf 1 Mrd. m<sup>3</sup> Arbeitsgas angezeigt. Das entspricht voll der bereits bei der Übernahme der EEG 1994 geäußerten Option der Gaz de France, nach dem Abbau der Erdgaslagerstätten die Altmark zu einem der größten Standorte für die Transitgasspeicherung auszubauen. Beide Vorhaben, Peckensen wie gegebenenfalls Berlin-Spandau, sind auf eine mittelfristige Steigerung des Erdgaseinsatzes ausgerichtet. Sie führen zu keinen Veränderungen in der Größenordnung der derzeit noch absehbaren Speicherentwicklung, zumal das 1992 noch mit 500 Mio m<sup>3</sup> erfaßte Speichervorhaben (1997 noch 150-50 Mio m<sup>3</sup>) nach dem uns bekannten Aufsuchungsverlauf für 1996/97 nicht mehr betrachtet wird.

Im Vergleich zur Abbauentwicklung der inländischen Gaslagerstätten kann eingeschätzt werden, dass das Angebot der auf Gasspeicherung umstellbaren Erdgaslagerstätten gegenwärtig noch nicht annähernd ausgeschöpft wird. Das betrifft sowohl das Alpenvorland als auch das Nordwestdeutsche Becken. Im Nordwestdeutschen Becken dürften die abgebauten Erdöl-/Erdgaslagerstätten als möglicher Soleversenkraum zusätzlich die Chancen für eine Kavernenerrichtung in den hier reichlich vorhandenen Salzstrukturen erhöhen.

In der Abbildung 4 wurden nach den Angaben von SEDLACEK & STANCU-KRISTOFF 1993 und SEDLACEK 1997 die in Betrieb bzw. in der Errichtung/Planung befindlichen Untergrund-

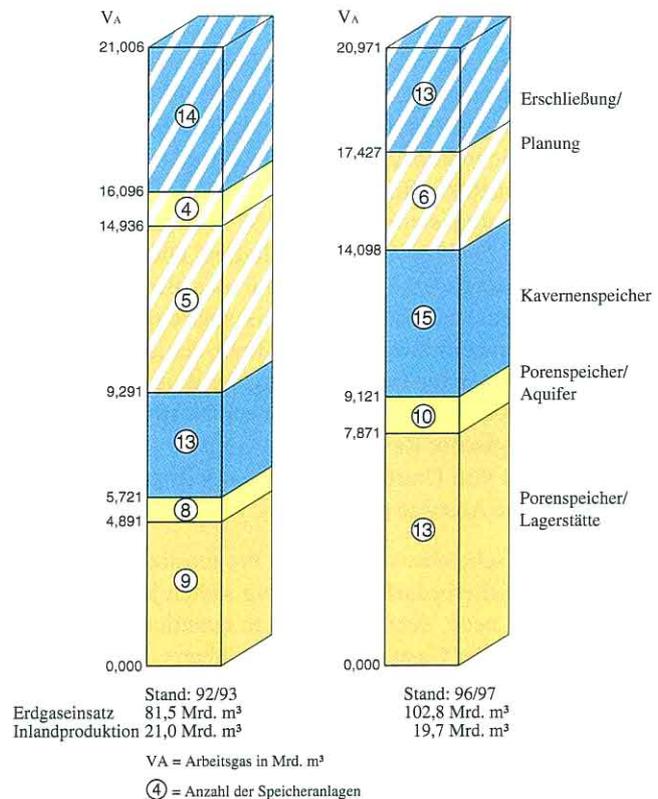


Abb. 4 In Betrieb und in Erschließung/Planung befindliche UGS

gasspeicher nach Art, Anzahl und gesamtem maximalen Arbeitsgasvolumen dargestellt. Die Graphik zeigt eine Zunahme des Erdgaseinsatzes von 26 % von 1992/93 bis 1996/97, während sich im gleichen Zeitraum die installierte maximale Speicherkapazität um 52 % erhöhte. Der Anteil des maximalen speicherbaren Erdgases am Erdgaseinsatz erhöhte sich von 11,4 % auf 13,7 %. Bemerkenswert ist, dass im genannten Zeitraum die Summe der in Betrieb und in der Errichtung/Planung befindlichen Speicherkapazitäten konstant geblieben ist. Es ergibt sich zwangsläufig die Frage, welcher Anteil des jährlichen Erdgasverbrauches im Interesse der Versorgungssicherheit als maximale Speicherkapazität vorzuhalten ist und ob bereits Anfang der 90er Jahre eine Abdeckung des mittelfristigen Speicherbedarfs erreicht wurde.

Nach den zur Verfügung stehenden statistischen Angaben der Firmen können dazu nur grobe Trendabschätzungen vorgenommen werden. Insbesondere muss beachtet werden, dass mit der Inbetriebnahme von Porenspeichern diese in der Regel für die vorgesehenen maximalen Arbeitsgasvolumina technisch installiert wurden, der Füllungsstand der Speicher erst nach mehreren Jahren entsprechende Gasumsätze im Dauerbetrieb ermöglicht. Ebenso stellt bei Kavernenfeldern das Solen der Einzelkavernen und deren schrittweise Inbetriebnahme einen langjährigen Prozess dar.

Geht man von dem in SEDLACEK & STANCU-KRISTOFF 1993 für das Jahr 1992 mitgeteilten monatlichen Gasverbrauch aus, schwankt dieser von 135 % (Januar) bis 62 % (August), bezogen auf den mittleren monatlichen Erdgaseinsatz. Rein statistisch wären für einen jährlichen Ausgleich rd. 9,75 Mrd. m<sup>3</sup>, d. h. 12 % des für 1992 mit 81,5 Mrd. m<sup>3</sup> angegebenen Erdgaseinsatzes erforderlich. Danach war bereits 1992 der saisonale Speicherbedarf gedeckt und 1996/97 bei einem Erdgaseinsatz von 102,8 Mrd. m<sup>3</sup> und einer errichteten maximalen Speicherkapazität von 14,1 Mrd. m<sup>3</sup> bereits ein Vorlauf für einen künftigen Bedarf von 117,5 Mrd. m<sup>3</sup>/a erreicht bzw. bei Realisierung der 1996/97 noch geplanten Speichervorhaben für 175 Mrd. m<sup>3</sup> geschaffen. Diese formalstatistische Aussage erklärt nicht nur das Stagnieren der Speicherentwicklung bis 1997, sie weist auch eine wirtschaftspolitische Plausibilität auf. Mit dem Ende des kalten Krieges und der zunehmenden Globalisierung der Wirtschaft entfällt die bis Ende der 80er Jahre vorhandene Notwendigkeit der Anlage strategischer Reserven. Die Aufgabe von 10 Rohölkavernen und ihre Umrüstung auf Gasspeicherung belegen zunächst diese Aussage (s. SEDLACEK 1997).

Der nunmehr scheinbar verbesserten Prognostizierbarkeit der weiteren Speicherbedarfsentwicklung stehen jedoch absehbar qualitativ neue, derzeit aber kaum quantitativ abschätzbare Trends in der Gaswirtschaft gegenüber:

- Mit der bevorstehenden Liberalisierung des Gasmarktes kann nicht ausgeschlossen werden, dass nunmehr aus preispolitischen Gründen ein erneuter Schub in der Speicherwirtschaft eintreten kann. Dieser wäre nicht mehr allein aus der Versorgungssicherheit für den deutschen Inlandbedarf prognostizierbar. Die historisch entstandene Bindung der Speicherstandorte an die Absatzgebiete bzw. an deren

Transportsysteme wird sich verlieren. Entscheidend werden das Angebot kostengünstiger Speichermöglichkeiten und deren rechtlichen bzw. wirtschaftlichen Zugriffsmöglichkeiten durch die konkurrierenden Firmengruppen.

- Bei einem mittelfristig nicht ausschließbaren Ausstieg aus der Kernenergie würden sich für Erdgas Expansionschancen auch im Mittel- und Grundlastbereich der Elektroenergieerzeugung ergeben, ebenso wie nach den Ergebnissen der 6. Internationalen Weltkonferenz für Erdgasfahrzeuge (NGV 98) in Köln eine künftige Erschließung des Kraftstoffmarktes durch Erdgas immer wahrscheinlicher wird. Auch wenn sich diese möglichen Zukunftsmärkte gegenüber dem Wärmemarkt durch eine geringere Saisonabhängigkeit auszeichnen, dürften sie nicht ohne Einfluss auf die Speicherwirtschaft bleiben.

### 3. Bewertung zukünftiger Untergrundgasspeicherung in Brandenburg

Für die Beurteilung des zukünftigen Stellenwertes Brandenburgs in der deutschen Gas- und Speicherwirtschaft sind entsprechend dem unter Pkt. 2.2 diskutierten Trend die geologischen Speichermöglichkeiten des Landes dahingehend zu bewerten, dass

- für die Ferngasversorger insbesondere abgebaute bzw. noch abbaubare Erdgaslagerstätten sowie ohne wesentliche ökologische Akzeptanzprobleme errichtbare Kavernenspeicher (u. a. Kavernenzuwachs aus der industriellen Salzgewinnung) vorrangig von wirtschaftlichem Interesse sein werden,
- die Neuanlage von Aquiferspeichern und von Kavernenspeichern mit aufwendiger Soleverpressung in Aquifere nur für regionale Gasversorger infrage kommen dürfte, wenn das Versorgungsgebiet keine günstigeren geologisch-infrastrukturellen Möglichkeiten aufweist. In diesem Falle kann von einer maximalen Speicherkapazität von 12 % des jährlichen Gasabsatzes auf dem Wärmemarkt ausgegangen werden, wobei die geologisch-technischen Grenzen einer Kapazitätserhöhung im Interesse der Selbstkostensenkung unter den Bedingungen der Liberalisierung und der Erweiterung des Gasmarktes erreicht werden könnten.

#### 3.1. Geologisch-infrastrukturelle Voraussetzungen für die Bewertung

Durch die früheren intensiven, vorrangig auf Erdöl/Erdgas gerichteten Such- und Erkundungsarbeiten liegt für Brandenburg ein guter Kenntnisstand zum regionalgeologischen Bauplan vor. Er ermöglicht es, alle Strukturen, die für die technische Anlage von Kavernen- und Porenspeichern (Aquiferspeicher sowie auf Speicherbetrieb umstellbare Kohlenwasserstofflager) geologisch geeignet sind, zu erfassen. Es muss davon ausgegangen werden, dass die beiden Hauptvorfluter Brandenburgs für einen Abschlag der bei einer Kavernenerrichtung anfallenden Solen wenig geeignet sind:

- Die Elbe soll in ihrer gegenwärtigen Salzbelastung entsprechend der Elbkonvention langfristig auf 200 mg Cl/l abgesenkt werden.

- Gegenüber dieser Zielstellung weist die Oder mit Spitzenwerten von 125 mg Cl/l noch "Reserven" auf, eine zusätzliche Salzbefrachtung stößt insbesondere vor dem Hintergrund des Naturparks Unteres Odertal auf Akzeptanzprobleme.

Bei der Bewertung der Salzstrukturen muss daher vorrangig von einer unterirdischen Verpressung der bei einer Kavernenerrichtung anfallenden Solen ausgegangen werden. Nach der Modellierung für das Kavernenspeichervorhaben Rüdersdorf kann die dabei auftretende Druckinanspruchnahme der mesozoischen Aquifere größenordnungsmäßig eingeschätzt werden. Ebenso ist die Druckinanspruchnahme durch die Schichtwasserverdrängung bei der Speichererrichtung der UGS Ketzin und Buchholz verallgemeinerbar.

Bevor die seitens des Reservoirangebotes errichtbaren Speicherpotentiale Brandenburgs abgeschätzt werden, soll das Inventar der für eine technische Speicheranlage geologisch geeigneten Strukturen erläutert werden.

### 3.2. Inventar der für eine technische Anlage von Untergrundgasspeichern geologisch geeigneten Strukturen

Die in Brandenburg erfassten Strukturen, die sich für die technische Anlage von Kavernen- und Aquiferspeichern geologisch eignen, sowie die Erdgaslagerstätten, für die eine Umstellung auf Speicherbetrieb geologisch möglich ist, sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Einzelnen sind folgende Anmerkungen erforderlich:

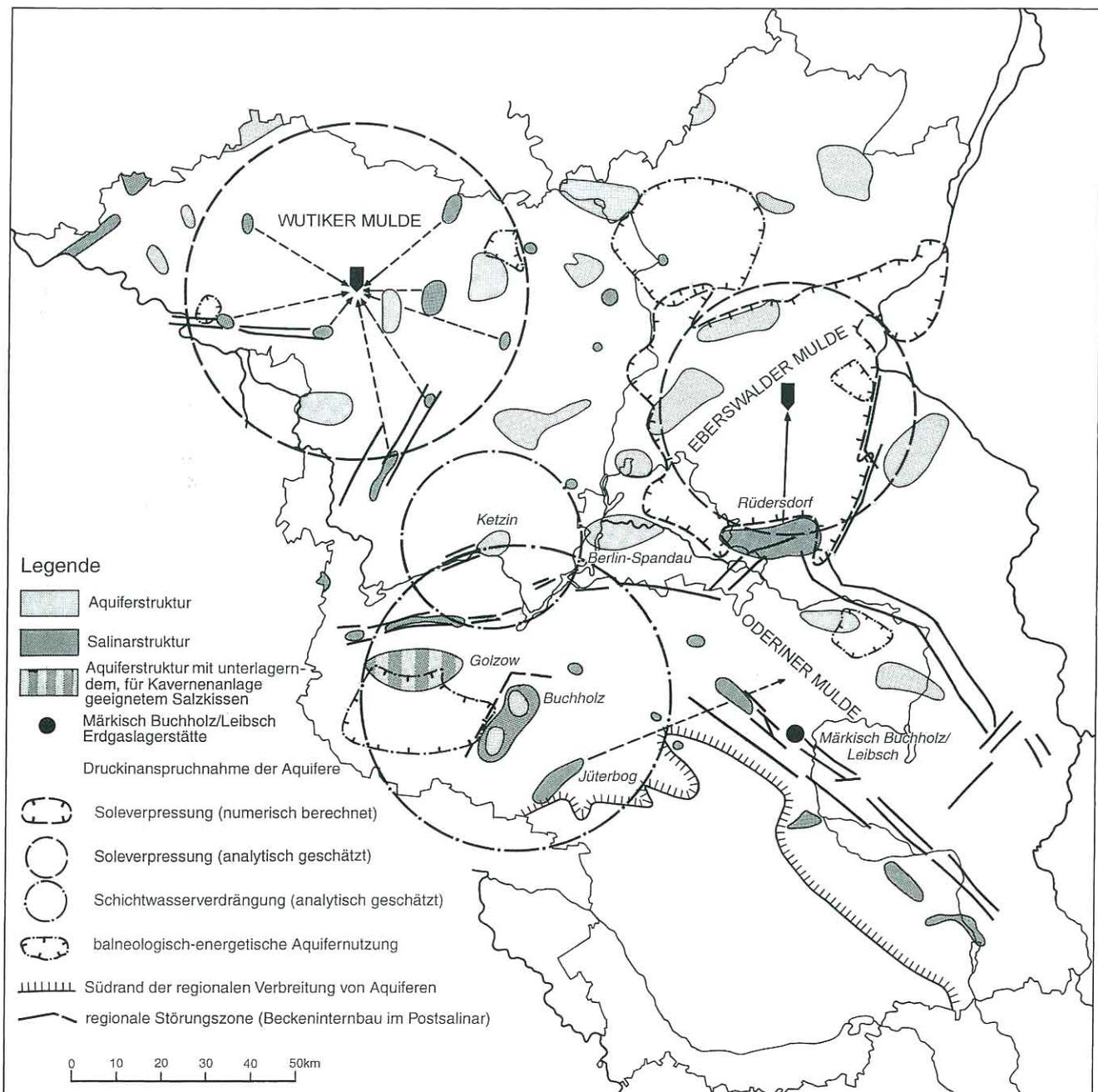


Abb. 5 Speicherstrukturen in Brandenburg

#### - Auf Speicherbetrieb umstellbare Erdgaslagerstätten

Die Kohlenwasserstoffführung beschränkt sich in Brandenburg im Wesentlichen auf das Staßfurtkarbonat am Südrand des Zechsteinbeckens (Lausitz). Bis auf die größere Erdgaslagerstätte Märkisch Buchholz/Leibsch am Plattformhang sind die an den Plattformrand und die Lagune gebundenen Erdöl/Erdgaslager, geologisch bedingt, klein und kompliziert gebaut. Diese Lagerstätten ermöglichen zeitweise eine bescheidene Erdöl/Erdgasförderung. Derzeit sind sie weitgehend abgebaut. Trotz z. T. erheblicher Sondenleistung sind die angeschlossenen Reservoir klein und innerhalb der Strukturen nur lokal ausgebildet. Für eine Umstellung auf einen Speicherbetrieb sind diese Erdöl/Erdgaslagerstätten daher nicht geeignet.

Bei der relativ großen Erdgaslagerstätte Märkisch Buchholz/Leibsch handelt es sich um Schwach- und Sauer gas mit Kondensatführung. Sie ist an eine lokale Sonderausbildung des Staßfurtkarbonates am Plattformhang gebunden. Die gasführenden, leistungsstarken Porenspeicher besitzen nur ein beschränktes Rand- und Sohlenwasserreservoir. Aus dieser Sicht bietet sich die Lagerstätte für eine Umstellung auf Speicherung an, vorausgesetzt, dass Gas und Kondensat weitgehend abgebaut werden können. Gegenwärtig wird erwogen, die Gaslagerstätte für eine Verstromung abzubauen, da ein Ferngasabsatz zusätzlich zur Kondensatabscheidung/Entschwefelung noch eine Anreicherung erforderlich machen würde. Die prinzipielle Nutzbarkeit als Speicher könnte durchaus die Entscheidung zum Lagerstättenabbau mit beeinflussen. In der dargelegten Situation stellt die Lagerstätte vorerst noch kein bereits für eine mittelfristige Speicherprognose zu berücksichtigendes Potential dar.

Die einzige im Land Brandenburg im Rotliegenden nachgewiesene Gaslagerstätte Rüdersdorf ist nicht für eine Gas speicherung geeignet. Die in einer Teufe von etwa 3 200 m befindliche Lagerstätte besitzt nicht die erforderlichen Speichereigenschaften und ist nach Einstellung der Förderung im Jahre 1991 noch etwa zur Hälfte mit einem N<sub>2</sub>-reichen (94 %) Gas gefüllt, das zu erheblichen Vermischungsproblemen führen würde.

#### - Aquiferstrukturen, die für die technische Anlage von Porenspeichern geologisch geeignet sind

Anhand des bekannten Struktur fonds in Berlin-Brandenburg und der regionalen Verbreitung und faziellen Entwicklung der mesozoischen Aquifere einschließlich ihrer Deckschichten wurden jene als "Speicherstrukturen" ausgewählt, die bis zu einer Teufe = 1 400 m abgedeckte Aquifere in einer strukturellen spillpoint-Situation (≈ Aufnahmevermögen) mit einem größeren Reservoiranschluss enthalten. Insgesamt konnten nach diesen Prämissen 23 Aquiferstrukturen (einschließlich der Strukturen Ketzin, Buchholz und Berlin-Spandau<sup>x)</sup> mit den in Betrieb befindlichen UGS) ausgehalten werden, davon zwei mit drei Aquiferen und sechs mit zwei Aquiferen.

<sup>x)</sup> Die Struktur Berlin-Spandau liegt mit ihrer Westflanke teilweise in Brandenburg und wurde mit erfasst, zumal gas- und speicherwirtschaftlich Berlin und Brandenburg im Zusammenhang zu betrachten sind.

#### - Salzstrukturen, die für die technische Anlage von Kavernenspeichern geologisch geeignet sind

Die Salzstrukturen wurden nach den regionalgeologischen Unterlagen in Verbindung mit den vorhandenen Bohrungen dokumentiert und bewertet. Sie wurden nach der Teufe der Salzoberkante, der Mächtigkeit und Fläche des Salzkörpers erfasst und soweit erkennbar, nach seiner allgemeinen Konfiguration auf die vermutliche Kompliziertheit im Internbau geschlossen. Der analysierte Fonds an Salzstrukturen wurde für eine Kavernenerrichtung nach folgenden Kriterien als perspektiv bzw. eingeschränkt perspektiv bewertet:

perspektiv: Teufenlage der Salzoberfläche < 1 000 m, Salzmächtigkeiten > 150 m, Internbau vermutlich wenig kompliziert, Anlage von einem Kavernenfeld > 10 Kavernen möglich;

eingeschränkt perspektiv: Teufenlage der Salzoberfläche 1 000 – 1 500 m, Salzmächtigkeiten 50 - 150 m; vermutlich komplizierter Internbau, Anlage von Einzelkavernen möglich;

Zusätzlich wurde die Position der Salzstrukturen hinsichtlich der Verbreitung von Aquiferen als potentielle Versenk räume berücksichtigt, ebenso wie die Bereitstellungsmöglichkeiten von Solwasser. Insgesamt wurden 19 perspektive Salzstrukturen und 12 Salzstrukturen eingeschränkter Perspektivität ausgewiesen.

### 3.3. Reservoirmechanische Bewertung der Speichermöglichkeiten

Ausgehend von der plausiblen Annahme, dass größere Kavernenspeichervorhaben in Brandenburg im Wesentlichen nur bei unterirdischer Verpressung der anfallenden Sole errichtet werden können, werden die Möglichkeiten der Untergrundgasspeicherung insgesamt vom Aufnahmevermögen der Aquiferreservoir für verdrängte Schichtwässer bei UGS vom Aquifertyp sowie für die aus Kavernenspeichern zu verpressende Sole gleichermaßen bestimmt.

Das Reservoirangebot der Aquifere ist in Brandenburg in seiner Größenordnung und seiner Verteilung in den Grundzügen bekannt. Eine theoretische Berechnung, wieviel m<sup>3</sup> unterirdischer Speicherraum für eine Erdgasspeicherung diesem Reservoirangebot in Brandenburg zuzumessen ist, ist wenig sinnvoll. So entspricht ein m<sup>3</sup> verdrängtes Schichtwasser in einem Aquiferspeicher nur 0,12-0,15 m<sup>3</sup> in gesolten Kavernen. Des Weiteren sind Aquiferareale auch für anderweitige, wie balneologisch-energetische Nutzungsvorhaben bei der Druckinanspruchnahme durch die Untergrundgasspeicherung zu berücksichtigen, ebenso wie Kavernenspeicher gegebenenfalls für die Deponie von Sonderabfällen vorsorgepolitisch mit ins Kalkül zu ziehen sind. Bei dem Ausmaß der Druckinanspruchnahme von Aquiferen durch fluidbergbauliche Nutzungen, zu denen sachlich auch die Untergrundgasspeicherung zu rechnen ist, dürften die Ländergrenzen im Nordostdeutschen Becken keine Bemessungs- bzw. Bewertungsgrenze sein.

Die Vielfalt und die volkswirtschaftliche Bedeutung fluidbergbaulicher Aquifernutzungen (unterirdischer Speicher- und Deponieraum, hydrothermal lösbare Erdwärme können nicht wie andere Bergbauprodukte importiert werden) erfordern jedoch vorhabensbezogene Berechnungs- und Bewertungsprämissen für die Druckinanspruchnahme der Aquifere. Nach diesen muss die beteiligte geologische Fachbehörde in bergrechtlichen Erlaubnis- und Bewilligungsverfahren das "öffentliche Interesse" entsprechend § 11/12 Nr. 8-10 BBergG im Sinne einer "unterirdischen Raumordnung" beurteilen sowie in Betriebsplanverfahren die Fläche abgrenzen, für die eine mögliche Gefährdung der öffentlichen wie Bergsicherheit (insbesondere des Schutzgutes Grundwasserstockwerk) aus geologischer Sicht zu begutachten ist.

Für eine erste Abschätzung der Druckinanspruchnahme durch die Untergrundgasspeicherung in Aquiferen konnte auf die Untergrundgasspeicher Ketzin und Buchholz zurückgegriffen werden. Bei ihrer Errichtung wurden Schichtwässer in der Größenordnung von 10 Mio m<sup>3</sup> und mehr verdrängt. Beide Speicher werden im Aquifergleichgewicht gefahren, wobei der mittlere Speicherdruck bei der restlichen Aquiferbespannung infolge der Schichtwasserverdrängung über dem initialen Schichtdruck liegt. Die Druckverhältnisse in einem Aquiferspeicher wurden in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

In Buchholz (310 Mio m<sup>3</sup> Gesamt- bei 125 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas) erreicht die Aquiferbespannung in der Detfurthfolge des Mittleren Buntsandsteins bis zu einer gegen Null gehenden Schichtdruckerhöhung nach Betreiberangaben einen Radius von ca. 50 km. Auf Grund der günstigeren Speichereigenschaften im Hettang behält sich der Betreiber des UGS Ketzin (350 Mio m<sup>3</sup> Gesamt- bei 135 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas) einen Radius von 20 km vor, innerhalb dessen anderweitige Aquifernutzungen zu Störungen im Betriebsregime führen würden. Die angegebenen Druckinanspruchnahmen wurden in Abbildung 5 als Schlagkreise dargestellt.

Diese analytischen Abschätzungen vernachlässigen zwangsläufig erkannte Trends in der Speicherentwicklung, ebenso wie faziell und/oder strukturell bedingte Reservoirberandungen nur äußerst grob durch die Berechnungsgeometrie (radial- oder halbradialsymmetrisch) berücksichtigt werden können. Trotz grober Approximationen ermöglichen sie erste Bewertungen der Druckinanspruchnahme, wie sie

- für Machbarkeitsstudien von Aquifernutzungen (Überprüfung für realisierbare Förder- bzw. Verpressraten eines Vorhabens) und
- für die gegebenenfalls in ihrem Ergebnis zu beantragenden Erlaubnisfelder (bei empirischer Anpassung der radialen Druckentwicklungen an den regionalgeologischen Bauplan - so die in Abbildung 5 für balneologisch-energetischen Aquifernutzungen dargestellten Erlaubnisfelder, vgl. MANHENKE et al. in diesem Heft).

erforderlich sind. Die Erwartungshaltung des LGRB wurde von der Vorhabensentwicklung Kavernenspeicher Rüdersdorf gestützt. Die bei der geplanten Errichtung von 4 Kavernen im Salzkissen Rüdersdorf (300 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas) insgesamt 17 Mio m<sup>3</sup> anfallende Sole soll mit 300 m<sup>3</sup>/h über rd. 7

Jahre in 4 mesozoische Aquifere der Eberswalder Mulde verpresst werden. In einer Standortstudie wurde zunächst analytisch die grundsätzliche geologisch-technische Machbarkeit bei variabler Ratenaufteilung auf die einzelnen Aquifere untersucht (nach technisch beherrschbaren Fließdrücken in den Sonden bei regionalgeologisch realisierbaren Druckausbreitungen). Im Ergebnis dieser Studie erfolgte für erste genehmigungsrechtliche Schritte eine aquiferweise 3 D-Simulation, die den regionalgeologischen Trend der jeweiligen Speicherentwicklungen sowie Berandungseffekte regionaler Störungszonen semiquantitativ berücksichtigt. Dazu wurden störungsbedingte Kontaktflächenverhältnisse der Aquifere ermittelt und als entsprechende Transmissibilitätsreduktionen modelliert.

Der asymptotische Verlauf der Druckausbreitung erfordert für eine Konturierung der Druckinanspruchnahme der Aquifere eine Grenzwertfestlegung für die Druckerhöhung ( $\Delta P$ ). Diese wurde mit 0,5 bar pragmatisch festgelegt, da erfahrungsgemäß latente geogene Grundwasserabsenkungen bei Absenkungen ab 5 m aktiviert werden sowie bei den Größenordnungen der Verpress- bzw. Verdrängungsdrücke ein  $\Delta P$  von 0,5 bar im Bereich der geologisch-reservoirmechanischen Erkenntnisschärfe liegen dürfte.

Die nach den dargelegten Gesichtspunkten durchgeführten Modellierungsarbeiten der vorgesehenen Soleverpressung Rüdersdorf in die Eberswalder Mulde ergeben eine Druckinanspruchnahme über eine Fläche von rd. 3 000 km<sup>2</sup>, deren Kontur in Abbildung 5 dargestellt wurde. Die für die 4 Aquifere analytisch mit ca. 25-30 km vorausberechneten Reichweiten wurden als "mittlerer" Schlagkreis dem numerischen Ergebnis gegenübergestellt und belegen bei Beachtung "regionalgeologischer Deformationen" durch Störungszonen und Strukturen die Brauchbarkeit der analytischen Schlagkreismethode für erste Abschätzungen der Druckinanspruchnahme.

### 3.4. Regionale Verteilung der Speichermöglichkeiten

Benutzt man die für die UGS Ketzin, Buchholz und Rüdersdorf abschätzbaren Druckinanspruchnahmen als Etalon, ist auf der Grundlage der regionalen Verbreitung der Aquifere (Arbeitskarte 1 : 300 000 liegt im LGRB vor) und einer Rayonierung des Landes nach Anzahl und Speicherqualitäten der Aquifere im Profil vom Eozän bis zum Mittleren Buntsandstein folgende "reservoirmechanische Höffigkeitsbewertung" der ausgewiesenen Speicherstrukturen (s. Abb. 5) möglich:

#### NW- und NE-Brandenburg

In NW-Brandenburg liegt das günstigste Aquiferangebot des Landes vor. Für eine überregionale, großdimensionierte Untergrundgasspeicherung (0,7-1 Mrd. m<sup>3</sup> Arbeitsgas mit ca. 40-60 Mio m<sup>3</sup> Soleanfall bei einem Kavernenspeicher) bieten sich gleichermaßen zahlreiche geeignete Aquifer- wie Salinarstrukturen an. Für eine Kavernenspeicherung in der genannten Größenordnung würde die Soleverpressung analog Rüdersdorf die vorhandenen Aquifere über eine Fläche von 6 000 bis 9 000 km<sup>2</sup> druckbeanspruchen. Als Versenkstandort bietet sich sowohl geologisch wie lagemäßig der Raum Wutike an. Die dementsprechende "Schlagkreisdarstellung" in Abbildung 5 zeigt, dass ein großdimensionierter Kaver-

nenspeicher nur in einer von insgesamt 8 dafür strukturell geeigneten Salinarstrukturen errichtet werden könnte. Gleichzeitig würde in diesem Fall für drei Aquiferstrukturen das rein strukturell gegebene Speicherpotential eingeschränkt. Die Errichtung je eines großdimensionierten Aquifer- und Kavernenspeichers schließt sich nicht grundsätzlich aus, sie würde jedoch eine gegenseitige einschränkende Übereinkunft bezüglich der jeweilig zu belegenden Aquifere erfordern. Abbildung 5 zeigt jedoch auch, dass die im Bereich der Landesgrenzen ausgewiesenen Speicherbereiche bezüglich ihrer "reservoirmechanischen Höffigkeit" nicht allein aus Brandenburger Sicht bewertbar sind.

### W- und SW-Brandenburg

In diesem Landesteil, in dem sich alle bisher in Berlin-Brandenburg in Betrieb befindlichen UGS konzentrieren, bilden die Sandsteine im Mittleren Buntsandstein ebenso wie in SE-Brandenburg die wichtigsten, regional durchgängigen Aquifere. Während liassische Aquifere im Westteil noch regional verbreitet sind, ist die jüngere Sedimentabfolge mit ihren Aquiferen nur noch in kleineren, lokalen Beckenstrukturen erhalten.

Die in Abbildung 5 für die UGS Ketzin (Lias) und Buchholz (Mittlerer Buntsandstein) dargestellten "Schlagkreise" überlagern sich nur flächenmäßig, jedoch nicht aquiferbezogen. Die Druckinanspruchnahme Buchholz erfasst im Westen noch die gesamte Struktur Golzow. Die noch 1992 für diese Struktur erwogene Absicht, einen Speicher mit 500 Mio m<sup>3</sup> Arbeitsgas ebenfalls im Mittleren Buntsandstein zu errichten, hätte folglich zu einer Konfliktsituation mit der vom Betreiber für Buchholz vorbehaltenen Erweiterungsmöglichkeit geführt.

Die vom UGS Berlin-Spandau gegenwärtig bereits erreichte Druckinanspruchnahme ist dem LGRB unbekannt. Eine gegenseitige Beeinflussung Berlin-Spandau - Buchholz kann zunächst wegen der Potsdamer Störungszone begründet vernachlässigt werden. Bei der bereits angekündigten Erweiterungsabsicht in Berlin-Spandau von 315 auf 1 000 Mio m<sup>3</sup> muss jedoch mit einer erheblichen Druckinanspruchnahme gerechnet werden, die auch das Territorium Brandenburgs wesentlich berühren wird. Das erfordert eine Untersuchung der Potsdamer Störungszone als Transmissibilitätsbarriere ebenso wie insbesondere die Druckinanspruchnahme der Struktur Flatow (Erlaubnisfeld für einen UGS im Mittleren Buntsandstein) ermittelt werden müsste.

Die in SW-Brandenburg vorhandenen größeren Salzkissen Golzow, Treuenbrietzen sowie Jüterbog sind geologisch für das Solen eines größeren Kavernenspeichers durchaus geeignet, für eine unterirdische Soleentsorgung stehen jedoch die erforderlichen Reservoirs in SW-Brandenburg nicht zur Verfügung. Das wird auch durch entsprechende Studien bestätigt, die die Kommune Luckenwalde für ein Standortangebot Transitspeicher im Salzkissen Jüterbog erstellen ließ. Ein derartiger Speicher wäre wasserwirtschaftlich wie geologisch nur mit Halbsolen aus der Oderiner Mulde in SE-Brandenburg und der Reinjektion der Vollsolen in diese realisierbar.

Es muss daher eingeschätzt werden, dass mit den bestehenden UGS Ketzin und Buchholz sowie dem angezeigten Ausbau von Berlin-Spandau auf 1 Mrd m<sup>3</sup> Arbeitsgas das Reservoirangebot in W- und SE-Brandenburg für die Errichtung überregionaler Untergrundgasspeicher bereits im Wesentlichen ausgeschöpft ist.

### E- und SE-Brandenburg

Mit dem Kavernenvorhaben Rüdersdorf (Soleversenkung in der Eberswalder Mulde) ist das noch verfügbare Reservoirangebot jurassischer Aquifere auf die Oderiner Mulde und den Bereich östlich der Buckower Störungszone beschränkt. Die bereits erwähnte Studie für einen Kavernenspeicher Jüterbog lässt erkennen, dass für größer dimensionierte Kavernenspeicher das Angebot an Versenkreservoirs unzureichend ist. Die Aquifere im Mittleren Buntsandstein besitzen ebenfalls nur eine begrenzte Aufnahmekapazität. Großflächig fehlende regionale Abdecker - Alb, Rupelton, aber auch reduziertes oder abgelaugtes Rötosalinar - stellen ein Gefährdungspotential für das Grundwasserstockwerk, insbesondere im südlichen Abschnitt, dar. Der Mittlere Buntsandstein käme als Aquiferspeicher für die Strukturen Spreenhagen, Birkholz, gegebenenfalls Neutrebbin in Betracht, für letztere möglicherweise auch jüngere Aquifere. Bei Berücksichtigung druckdynamischer Einzugsbereiche würden sich Birkholz und Spreenhagen gegenseitig ausschließen.

Unabhängig von der Aquiferbelastung kann nach erfolgtem Abbau die Lagerstätte Märkisch Buchholz/Leibsch zur Gasspeicherung genutzt werden. Ihr Speicherpotential wäre deutlich größer als das aller derzeitigen und geplanten Untergrundgasspeicher in Brandenburg zusammen.

### Zusammenfassung

Basierend auf einer wirtschaftsgeologischen Analyse wird die Entwicklung der Untergrundgasspeicherung in Deutschland prognostiziert. Im Rahmen dieser Entwicklung werden die Perspektiven in Brandenburg unter geologisch-infrastrukturellen und geologisch-reservoirmechanischen Voraussetzungen bewertet. In Brandenburg ist eine Vielzahl geologischer Strukturen nachgewiesen, die für die Anlage von Aquifer- und Kavernenspeichern geeignet sind. Unter der Prämisse, dass die bei der Errichtung von Kavernenspeichern anfallende Sole in Aquifere verpresst werden muss, ist das verfügbare Potential an Aquiferen für Kavernen- wie für Aquiferspeicher gleichermaßen das begrenzende Kriterium. Durch die bestehenden Aquiferspeicher Ketzin, Buchholz (und Berlin) sowie des geplanten Kavernenspeichervorhabens Rüdersdorf sind bereits Aquifere über große Flächen druckbeansprucht. Das noch druckunbeeinflusste Potential der Aquifere beschränkt aus reservoirmechanischer Sicht das weitaus größere geologische Strukturpotential. Die Speichermöglichkeiten für Brandenburg werden dargestellt.

### Summary

The development of the underground gas storage in Germany is prognosticated basing on a economic-geological analysis. Within the scope of this development the perspectives of

Brandenburg concerning the geologic - infrastructural and geologic - reservoir mechanical preconditions are assessed. A lot of geological structures were verified in Brandenburg suitable for the construction of aquifer and cavern stores.

The available potential of aquifers is the limiting criterion for both cavern and aquifer stores assuming that the brine, coming up by the construction of cavern stores, has to be injected into the aquifers. Wide areas of the aquifers are already pressurized by the existing aquifer stores of Ketzin, Buchholz and Berlin as well as the planned cavern store project of Rüdersdorf.

The not yet pressurized potential of the aquifers limits the far larger geologic-structural potential from the reservoir-mechanical point of view. The possibilities of gas storage in Brandenburg are outlined.

### Literatur

- BEER, H. (1998): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg - Tiefenlinienkarte der Zechsteinoberfläche Maßstab 1 : 300 000. – Kleinmachnow (unveröff.)
- BEER, H. & G. ECKHARDT (1994): Karte der tiefliegenden Bodenschätze des Landes Brandenburg (Vorkommen und Nutzung) Maßstab 1 : 300 000. – Kleinmachnow (unveröff.)
- ECKHARDT, G. (1997): Sachstandsbericht - Stand und Entwicklung der Untergrundgasspeicherung in Brandenburg (wirtschaftsgeologische Analyse). - Kleinmachnow (unveröff.)
- JAGSCH, R., GRIESBACH, H., ROHLEDER, R. & L. WEBER (1992): Dokumentation Salinarstrukturen und Verpreßräume im Land Brandenburg. - Mittenwalde (unveröff.)
- SEDLACEK, R. (1997): Untertagespeicher in Deutschland. - Erdöl Erdgas Kohle **113**, 11, S. 459-462, Hamburg (Urban)
- SEDLACEK, R. & G. STANCU-KRISTOFF (1993): Untertagespeicher in Deutschland. - Erdöl Erdgas Kohle **109**, 9, S. 353-359, Hamburg (Urban)
- STACKEBRANDT, W., EHMKE, G., & V. MANHENKE (Hrsg.) (1997): Atlas zur Geologie von Brandenburg. - LGRB, Kleinmachnow
- Archivunterlagen des LGRB (unveröff.)

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, No. 133

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Gottfried Eckhardt,  
Dipl.-Geol. Horst Beer  
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg  
Stahnsdorfer Damm 77  
14532 Kleinmachnow