

---

## ***Unterirdische Speicherung von Kohlendioxid – Ein Beitrag zu den fachlichen Grundlagen der Umweltvorsorge bei der Potenzialanalyse und bei Zulassungsverfahren gemäß Kohlendioxid- Speicherungsgesetz (KSpG)<sup>1</sup>***

***Elith Wittrock/Michaela Warnke/Annette Lienemann/Malte Kohls***

---

### **1. Einführung**

Für die Bekämpfung des Klimawandels hat die Europäische Union sich dazu verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80–95 % zu senken. Hierdurch soll ein Beitrag zur Begrenzung des Anstiegs der Temperaturen weltweit auf unter 2 Grad geleistet werden. Eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes lässt sich auf verschiedene Weise erreichen: durch Verbesserung der Energieeffizienz, eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien oder durch den Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Energiequellen. Als eine weitere Maßnahme wird auch die Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid – Carbon Dioxide Capture and Storage oder kurz CCS – angesehen. Obwohl vor einem Jahrzehnt auf diese Technologie sehr große Hoffnungen gesetzt wurden, hat sie sich bisher in Europa nicht durchgesetzt. Als Ursache hierfür wird neben dem Fehlen einer langfristigen wirtschaftlichen Perspektive und den Kosten der CCS-Technologie auch der öffentliche Widerstand angegeben.<sup>2</sup>

Für die Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid hat die Europäische Union in Umsetzung ihres im Dezember 2008 verabschiedeten Klimaschutzpakets im Jahr 2009 eine Richtlinie erlassen, die so genannte CCS-Richtlinie (Richtlinie 2009/31/EG).<sup>3</sup> Diese Richtlinie (im Folgenden kurz CCS-RL genannt) hat die großmaßstäbliche Speicherung von CO<sub>2</sub> im tiefen Untergrund zum Gegenstand und dafür einen einheitlichen europäischen Rahmen geschaffen. Zur Umsetzung der CCS-RL in Deutschland ist am 24.08.2012 das Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) in Kraft getreten. Die CCS-RL sowie das KSpG zielen darauf ab, dass die CO<sub>2</sub>-Speicherung umweltverträglich und unter Vermeidung von negativen Auswirkungen und Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit erfolgt.

Das KSpG regelt den Transport und die dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid zunächst für die Erforschung, Erprobung und Demonstration von CCS-Technologien. Das Kapitel über die dauerhafte Speicherung umfasst in drei Abschnitten

---

<sup>1</sup> Der Beitrag beruht auf einem Forschungsvorhaben, das in Kooperation mit der Kanzlei BBG und Partner, Bremen, und der ARSU GmbH, Oldenburg, im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt wurde (FKZ 3711 16 125: „Arbeitspaket 1e: „Biodiversität und Potenzialbewertung nach § 5 KSpG-E“).

<sup>2</sup> [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-276\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-276_de.htm) (zuletzt abgerufen am 19.05.2014)

<sup>3</sup> Richtlinie 2009/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die geologische Speicherung von Kohlendioxid und zur Änderung der Richtlinie 85/337/EWG des Rates sowie der Richtlinien 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG und 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006, ABl. Nr. L 140 vom 05.06.2009, S. 114.

- Verfahrensschritte für eine bundesweite Bewertung der Potenziale von Gesteinsschichten für die dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> sowie für die Registrierung und Dokumentation der Speichervorhaben,
- die Genehmigung und den Betrieb von Kohlendioxidspeichern und
- die Aufsichtspflichten der zuständigen Behörden.

In diesem Zusammenhang wurden die Forschungsnehmer vom UBA beauftragt, für die Potenzialbewertung handhabbare Methoden und Maßstäbe zu entwickeln, die geeignet sind, die potenziellen Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Landschaft, Kultur- und sonstige Sachgüter zu bewerten. Darüber hinaus sollten Handreichungen entwickelt werden, die für Stellungnahmen des UBA vor Entscheidungen im Rahmen behördlicher Zulassungsverfahren anwendbar sind.

## 2. Fachlicher Hintergrund

CCS kann – abhängig vom CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis – vor allem für Emittenten von großen CO<sub>2</sub>-Mengen, wie Kohlekraftwerke oder die Stahl- und Zement-Industrie, von Interesse sein.<sup>4</sup> Anstelle der geologischen Speicherung in liquider oder Gasform könnte CO<sub>2</sub> auch durch chemische Prozesse in anorganische Carbonate umgewandelt und dann abgelagert werden. Darüber hinaus wird zur Reduktion der Emissionen die industrielle Nutzung von CO<sub>2</sub> diskutiert (z. B. Produktion von Mikroalgen, Urea und Methanol).<sup>5</sup> Eine Speicherung im Meer, bei der das CO<sub>2</sub> in die Wassersäule injiziert oder auf dem Meeresboden in hyperkritischer Form abgelagert wird, ist mit hohen Risiken für die Umwelt verbunden und nach Art. 2 der CCS-Richtlinie in der Europäischen Union verboten.

<sup>4</sup> IPCC (2005), S. 3.

<sup>5</sup> PETERS (2011); IPCC (2005), S. 319 ff.

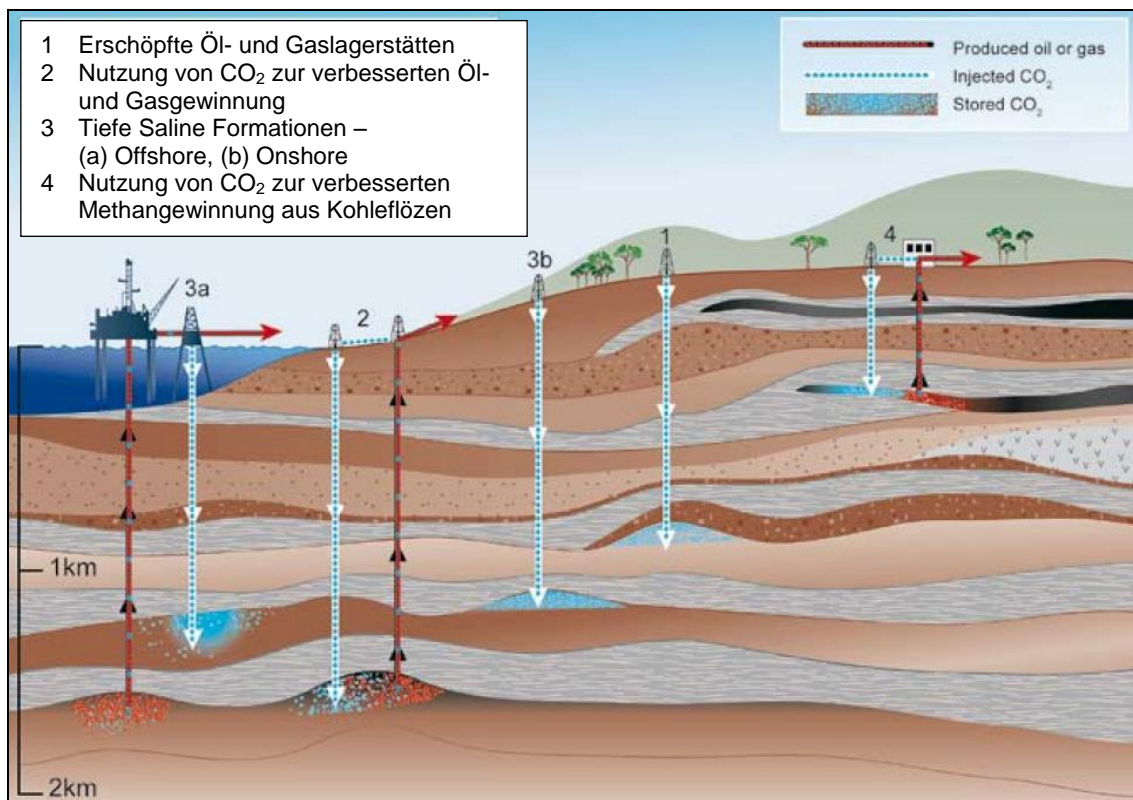


Abb. 1: Übersicht über verschiedene Formen der geologischen Speicherung<sup>6</sup>

Die CCS-Richtlinie befasst sich ausschließlich mit der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>. Dabei wird das CO<sub>2</sub> unter Druck verflüssigt und in tiefe poröse geologische Formationen wie z. B. ehemalige Erdöl- und Erdgaslagerstätten, tiefe Kohleflöze oder in salzwasserführende Gesteinsschichten, so genannte Saline Aquifere, injiziert (s. Abb. 1). Dies erfolgt unter Einsatz von Techniken, die bereits im Rahmen der Öl- und Gasförderung Anwendung finden.

Aufgrund der herrschenden Drücke und Temperaturen bleibt das Kohlendioxid in großen Tiefen flüssig. Es hat jedoch eine geringere Dichte als Formationswasser. Die daraus resultierenden Auftriebskräfte führen dazu, dass sich das CO<sub>2</sub> unterhalb der undurchlässigen Deckschicht sammelt (vgl. Abb. 1).<sup>7</sup> Daher ist für eine dauerhafte geologische Speicherung eine undurchlässige Deckschicht über dem Speicher essentiell.

### 3. Rechtlicher Hintergrund

Die CCS-RL betrifft ausschließlich die großmaßstäbliche Speicherung von CO<sub>2</sub>. Die in geringem Umfang (< 100.000 t) erfolgende Speicherung von CO<sub>2</sub> ist vom Geltungsbereich der CCS-RL ausdrücklich ausgenommen (Art. 2 Abs. 2 CCS-RL).<sup>8</sup>

Nach Art. 4 CCS-RL können die Mitgliedstaaten entscheiden, ob sie überhaupt eine CO<sub>2</sub>-Speicherung auf ihrem Hoheitsgebiet zulassen wollen. Ist dies der Fall, bestimmen die Mitgliedstaaten die Gebiete, aus denen Speicherstätten ausgewählt werden können, und bewerten ihre Speicherkapazitäten. Dabei sind Kriterien, die im Anhang I der Richtlinie definiert sind, zu berücksichtigen. Die Kriterien beinhalten Anforderungen an die Datenerhebung, an die Erstellung von dreidimensionalen statischen geologischen Erdmodellen sowie

<sup>6</sup> IPCC (2005), S. 6.

<sup>7</sup> IPCC (2005), S. 197 ff.

<sup>8</sup> Solche kleineren Speicher sind nach dem KSpG so genannte Forschungsspeicher, für die gemäß §§ 36 ff. KSpG erleichterte Zulassungsvoraussetzungen gelten.

an die Charakterisierung des dynamischen Speicherverhaltens und an die Risikobewertung, bei der es vor allem auf die Bewertung des Leckagerisikos und der Gefahren für die Umwelt oder die Gesundheit ankommt.

Zur Umsetzung der CCS-RL wurde im August 2012 das KSpG erlassen, mit dem zunächst ein Rechtsrahmen für die Demonstration und Anwendung der Abscheidungs- und Transporttechnologien sowie für die Demonstration der dauerhaften Speicherung in wenigen, kleineren bis mittleren CO<sub>2</sub>-Speichern (< 1,3 Mio. t) geschaffen werden sollte, um die Eignung der CCS-Technologien zur Reduktion von Kohlendioxidemissionen ermitteln zu können.

Das deutsche Kohlendioxid-Speicherungsgesetz unterscheidet zwei Ebenen:

- Auf der ersten Ebene erfolgt zunächst eine staatliche Analyse und Bewertung der Potenziale für die dauerhafte CO<sub>2</sub>-Speicherung (sog. Potenzialbewertung – § 5 KSpG).
- Auf einer zweiten Ebene kann dann die Exploration von Speicherstätten durch private Betreiber zugelassen werden (qua Untersuchungsgenehmigung gemäß § 7 KSpG), wobei die bundesweite Potenzialbewertung für die weiteren Zulassungsverfahren rechtlich nicht bindend ist. Auf dieser Ebene werden auch die Planfeststellung für die Errichtung und den Betrieb eines Kohlendioxidspeichers (§§ 11-13 KSpG), die Stilllegung (§ 17 KSpG) sowie die Überwachung (§ 20) geregelt.

Die Potenzialbewertung ist gemäß § 5 Abs. 1 KSpG Aufgabe des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erarbeitet die für die Potenzialbewertung erforderlichen geologischen Grundlagen, wie z. B. die Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung der für die dauerhafte Speicherung geeigneten Gesteinsschichten, die Abschätzung der nutzbaren Volumina oder die Charakterisierung der in den Gesteinsschichten vorhandenen Formationswässer sowie deren potenzielle Migrationswege und die vorherrschenden Druckverhältnisse (§ 5 Abs. 2 KSpG).

Dem UBA obliegt im Rahmen der Potenzialanalyse die Aufgabe, die mit der dauerhaften Speicherung verbundenen Umweltauswirkungen zu ermitteln und abzuschätzen und hierdurch die Grundlagen für eine wirksame Umweltvorsorge zu erarbeiten (§ 5 Abs. 3 KSpG). Der Maßstab für die „wirksame Umweltvorsorge“ im Rahmen von § 5 KSpG ist gesetzlich nicht bestimmt. Indem aber § 13 Abs. 1 Nr. 4 KSpG hinsichtlich der erforderlichen (Umwelt-)Vorsorge auf den "Stand von Wissenschaft und Technik" rekurriert, ist zu beachten, dass hier ein Vorsorgemaßstab gesetzt wird, der bislang nur aus dem Atomrecht<sup>9</sup> bekannt ist. Dieser besonders hohe Vorsorgestandard des Zulassungsverfahrens lässt es als sinnvoll erscheinen, auch in der unverbindlichen Potenzialanalyse bereits hohe (oder strenge) Maßstäbe anzulegen. So ließen sich – im Hinblick auf das angestrebte Maß der Umweltvorsorge - Widersprüche zwischen der (vorbereitenden) Potenzialanalyse und den Zulassungsverfahren vermeiden

#### **4. Bewertung der Umweltauswirkungen im Rahmen der Potenzialanalyse**

Auf der Ebene der Potenzialanalyse stehen keine konkreten Daten über einzelne Speicherstätten und das (prognostizierte) Speicherverhalten zur Verfügung.

Als geologische Grundlage für die Bewertung kann auf das Informationssystem der Speichergesteine in Deutschland zurückgegriffen werden, das von der Bundesanstalt für

<sup>9</sup> Vgl. hierzu KLOEPFER (2004), § 15 Rn. 70.

Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) entwickelt wurde (Speicher-Kataster Deutschland) und Potenzialkarten sowie Erläuterungen zu Speicher- und Barriere-Gesteinen des tieferen Untergrundes enthält. Wesentliche Grundlage für die Erstellung der Potenzialkarten waren einheitliche Mindestkriterien hinsichtlich der erforderlichen Tiefe und Mächtigkeit der Speicherkomplexe.<sup>10</sup>

Für die Ermittlung und Abschätzung der mit der vorgesehenen dauerhaften Speicherung verbundenen Umweltauswirkungen, die im Rahmen der Potenzialanalyse durch das UBA vorzunehmen ist, sind nach Anhang I der CCS-RL unter anderem folgende Merkmale einzubeziehen:

- die den Speicherkomplex umgebenden Ausbildungen, die durch die Speicherung von CO<sub>2</sub> in der Speicherstätte beeinträchtigt werden könnten,
- die Bevölkerungsverteilung in dem Gebiet über der Speicherstätte,
- die Nähe zu wertvollen natürlichen Ressourcen, insbesondere zu Natura 2000-Gebieten.

Auf dieser Ebene ist nur eine abstrakte Ermittlung und Abschätzung der mit einer dauerhaften CO<sub>2</sub>-Speicherung verbundenen Umweltauswirkungen und -risiken auf der Grundlage generellen Speicherverhaltens möglich.

### Analyse der Wirkfaktoren

Zwar fordert die CCS-Richtlinie, dass "negative Auswirkungen und Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit vermieden oder, wenn dies nicht möglich ist, so weit wie möglich beseitigt werden" (Art. 1 Abs. 2). Jedoch lehrt die Erfahrung, dass unvorhergesehene Ereignisse, Unfälle und Störfälle nie vollständig ausgeschlossen werden können. Ihre Wirkungen sind daher bei der Analyse möglicher negativer Wirkungen der unterirdischen CO<sub>2</sub>-Speicherung zu berücksichtigen.<sup>11</sup>

Die Auseinandersetzung mit den Auswirkungen und Wirkfaktoren der CO<sub>2</sub>-Speicherung erfordert daher eine Differenzierung der Wirkfaktoren des bestimmungsgemäßen und des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes.<sup>12</sup> Wirkfaktoren des bestimmungsgemäßen Betriebes ergeben sich grundsätzlich aus den prognostizierten Wirkungen des Speicherbetriebes<sup>13</sup>. Für die vorgelegte Studie wurde zugrunde gelegt, dass im bestimmungsgemäßen Betrieb

- keine Freisetzung von CO<sub>2</sub> aus den Übertageeinrichtungen erfolgt, die zur CO<sub>2</sub>-Injektion in den Untergrund erforderlich sind,
- das injizierte CO<sub>2</sub> einschließlich möglicher Begleitstoffe in seiner Gesamtheit im Speicherkomplex verbleibt und keinesfalls in die oberflächennahen Bereiche gelangt, in denen es Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben könnte,
- das vom CO<sub>2</sub> verdrängte salzige Formationswasser nicht in höhere Schichten aufsteigt, die für die Grundwassergewinnung von Bedeutung sind, oder gar an die Oberfläche gelangt,
- sich durch den Druckaufbau im Untergrund allenfalls geringe Veränderungen des Geländereiefs<sup>14</sup> ergeben, die langsam und großflächig gleichmäßig verlaufen,

<sup>10</sup> REINHOLD *et al.* (2011), S. 99 ff.

<sup>11</sup> Spätestens Deepwater-Horizon und Fukushima haben ihre Bedeutung wieder bewusst gemacht. Dem Erfordernis, auch Störfälle in die Betrachtung von Umweltwirkungen einzubeziehen, wird aktuell auch die Änderung der UVP-Richtlinie (RL 2014/52/EU) gerecht, indem sie in Artikel 3 ausdrücklich die Untersuchung von Umweltwirkungen vorschreibt, die aufgrund der Anfälligkeit des Projekts für schwere Unfälle und/oder Katastrophen zu erwarten sind.

<sup>12</sup> Betrachtete Wirkfaktoren des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes wurden durch den AG vorgegeben.

<sup>13</sup> GROßMANN *et al.* (2011), S. 23.

<sup>14</sup> Landhebungen in der Injektionsphase, Landsenkungen in der Postinjektionsphase

- allenfalls nicht oder kaum spürbare Mikrobeben induziert werden
- und dass alle Möglichkeiten zur Vermeidung und Minimierung von Beeinträchtigungen ausgeschöpft werden.

Wirkfaktoren des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes ergeben sich als Folge unplanmäßiger Ereignisse, die nie vollständig ausgeschlossen werden können. In Orientierung an der Klassifikation aus der Störfallverordnung (StörfallV) standen bei der Betrachtung des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes diejenigen Gefahren im Fokus, die vernünftigerweise nicht auszuschließen sind. Exzeptionelle Gefahrenquellen wie die eruptive CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus der Speicherformation über Gesteinsklüfte und Störungen, z. B. in Folge von Starkbeben, Meteoriteneinschlägen oder vulkanogenen Ereignissen oder die komplette Zerstörung von Übertageanlagen<sup>15</sup> wurden auftragsgemäß nicht betrachtet.

Bei der Identifikation der Wirkfaktoren wurden alle relevanten Phasen eines möglichen Speicherprojektes berücksichtigt:

- die Untersuchungs- und Erkundungsphase, die voraussichtlich sowohl Erkundungsbohrungen als auch Untersuchungsverfahren von der Oberfläche und aus der Luft umfasst,
- die Bauphase, in der die für die CO<sub>2</sub>-Injektion erforderlichen Bohrungen erfolgen und die oberirdischen Anlagen für Injektion und Überwachung (Monitoring) errichtet werden,
- die Injektionsphase, in der das CO<sub>2</sub> in den Untergrund injiziert wird, was durch regelmäßige und entsprechend großräumige Erkundungs- und Untersuchungsmaßnahmen von der Oberfläche aus überwacht wird,
- die Postinjektionsphase, in der die Überwachung fortgeführt wird, die oberirdischen Anlagen teilweise zurückgebaut werden, sobald sichergestellt ist, dass sich der CO<sub>2</sub>-Speicher entsprechend der Prognose verhält, die Überwachung aber auch darüber hinaus noch fortgeführt wird.

Es wurden jedoch nur diejenigen Wirkfaktoren betrachtet, die Auswirkungen im Bereich der oberflächennahen abiotischen und biotischen Schutzgüter haben. Dies sind im bestimmungsgemäßen Betrieb:

- Flächeninanspruchnahme, Boden- bzw. Sedimentverluste,
- Erschütterungen,
- akustische und optische Emissionen,
- stoffliche Emissionen,
- Sedimentverwirbelungen,
- Veränderung des Reliefs durch geringe, langsam und großflächig gleichmäßig verlaufende Landhebungen und -senkungen,
- Mikrobeben durch erhöhte Seismizität.

Als mögliche Wirkfaktoren eines nicht bestimmungsgemäßen Betriebes identifiziert wurden:

- größere Veränderungen des Reliefs durch Landhebungen und –senkungen,
- größere Beben durch erhöhte Seismizität,
- Versalzungen durch Aufstieg von Formationswasser und
- Freisetzung von Kohlendioxid und Begleitstoffen durch Leckage aus dem Speicher oder aus Obertageanlagen.

<sup>15</sup> Vgl. GROßMANN *et al.* (2011), S. 30.

## Auswirkungen eines CO<sub>2</sub>-Speichervorhabens

Das Schadensausmaß bzw. die Beeinträchtigungsintensität eines Vorhabens bestimmt sich aus der Intensität des Wirkfaktors und der Empfindlichkeit des Schutzgutes gegenüber diesem Wirkfaktor. In der Regel sind für die Ermittlung des Schadensausmaßes standort- und vorhabensspezifische Prognosen hinsichtlich der zu erwartenden Intensität des Wirkfaktors (z. B. Immissionsprognosen) sowie der Empfindlichkeit des Schutzgutes (z. B. Vorkommen schadstoffempfindlicher Biotope) erforderlich. Ohne konkrete Kenntnis des Standortes bzw. des Vorhabens lässt sich die Beeinträchtigungsintensität kaum prognostizieren. Für die Potenzialanalyse werden jedoch konkrete Aussagen über die Empfindlichkeit des Raumes bzw. den Ist-Zustand der Schutzgüter überwiegend nicht vorliegen. Auswirkungsprognosen können daher nur großmaßstäblich und auf einem eher allgemeinen Niveau gemacht werden.

Von den Auswirkungen eines CO<sub>2</sub>-Speichervorhabens sind beim bestimmungsgemäßen Betrieb in erster Linie die Flächen betroffen, die für die Errichtung der Übertageanlagen in Anspruch genommen werden. Hinzu kommen die daran angrenzenden Bereiche, die vor allem durch die akustischen und optischen Emissionen der Anlagen und ihres Betriebes gestört und beeinträchtigt werden.

Wesentlich größer ist der Bereich, der im Rahmen der Erkundung und des Monitorings zur Überwachung der Einspeicherung und des Speichers von regelmäßig wiederkehrenden oder möglicherweise auch dauerhaften Störungen und Beeinträchtigungen betroffen sein wird, da er voraussichtlich nicht nur den eigentlichen geologischen Speicherkomplex, sondern auch den deutlich darüber hinausreichenden Bereich des unterirdischen Druckfeldes überdecken wird, das durch die Injektion entsteht.

Geht man davon aus, dass bei der Auswahl der Standorte und bei der Realisierung von Speichervorhaben alle Möglichkeiten zur Vermeidung und Minimierung von Beeinträchtigungen ausgeschöpft werden, dann lassen sich die Auswirkungen solcher Vorhaben auf Mensch und Umwelt im bestimmungsgemäßen Betrieb überwiegend auf ein Maß beschränken, wie es auch bei anderen industriellen Vorhaben akzeptiert wird und dem durch kompensatorische Maßnahmen begegnet werden kann.

Anders sieht es aus, wenn es zu nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen kommen sollte. Dabei kann es sich um Vorfälle, wie die Freisetzung einer begrenzten CO<sub>2</sub>-Menge aus Übertageanlagen, handeln, die mit bekannten und erprobten Techniken beherrscht werden können. Die Auswirkungen lassen sich dann im Wesentlichen auf das Betriebsgelände begrenzen.

Aber auch gravierendere Vorfälle wie die Freisetzung größerer CO<sub>2</sub>-Mengen aus Obertageeinrichtungen, über das verträgliche Maß hinausgehende Landhebungen, induzierte Beben mit Schädwirkungen, die Versalzung von Grundwasser oder die schleichende Freisetzung von CO<sub>2</sub> und Begleitstoffen aus dem Speicher über Klüfte und Spalten können nach vorliegendem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden. Zwar ist der Betreiber eines Speichers verpflichtet, bei nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen, aber es besteht dennoch ein Restrisiko, da es zu erheblichen negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt kommen kann. Dies gilt umso mehr, da nicht für alle denkbaren Vorfälle bereits erprobte Verfahren für Gegenmaßnahmen zur Verfügung stehen und auch die Gegenmaßnahmen wieder mit Folgewirkungen für die Umwelt verbunden sein können.

Erschwerend für die Bewertung der Umweltauswirkungen kommt hinzu, dass für den nicht bestimmungsgemäßen Betrieb Aussagen in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeit fehlen und i. d. R. erst durch ergänzende Gutachten im Rahmen eines konkreten Zulassungsverfahrens gewonnen werden können (s. u.).

Um für solche Fälle auch ohne genaue Kenntnis des Speichervorhabens Aussagen hinsichtlich der potenziellen Beeinträchtigungsintensität der Umweltschutzgüter treffen zu können, wurden für jedes der auftragungsgemäß zu betrachtenden Schutzgüter in Bezug auf die identifizierten Wirkfaktoren Konfliktbereiche definiert, die sich durch eine hohe Empfindlichkeit gegenüber diesen Wirkfaktoren und/oder eine hohe Wertigkeit für das jeweilige Schutzgut ergeben<sup>16</sup>.

## Konfliktbereiche

Die Konfliktbereiche ergeben sich aus der Verschneidung

- der Wirkfaktoren der geologischen Kohlendioxidspeicherung,
- der daraus ableitbaren möglichen Wirkungen auf die einzelnen Schutzgüter,
- der Empfindlichkeit der verschiedenen Ausprägungen der Schutzgüter gegenüber den Wirkfaktoren sowie
- dem Wert und der Bedeutung dieser verschiedenen Ausprägungen für Mensch und Umwelt.

Alle genannten Wirkfaktoren können erhebliche nachteilige Auswirkungen auf das Schutzgut **Mensch** verursachen. Eine besonders herausragende Empfindlichkeit gegenüber einem oder mehreren Wirkfaktoren ist nicht auszumachen. Daher sind insbesondere diejenigen Räume vor Beeinträchtigungen durch CCS zu schützen, in denen sich Menschen aufhalten und die für den Menschen, seine Gesundheit und sein Wohlbefinden von besonderer Bedeutung sind. Dies sind vor allem der Wohnbereich und das Wohnumfeld aber auch Erholungseinrichtungen und Erholungsgebiete in der freien Landschaft.

Von essentieller Bedeutung für Menschen ist außerdem die Sicherung der Trinkwasserschutzgebiete. Diese wären insbesondere durch eine Versalzung in Folge des Aufstiegs von Formationswasser aber auch durch eine Veränderung des Reliefs bei Landhebungen- und Senkungen betroffen.

**Pflanzen und Tiere** zeigen insbesondere gegenüber dem Wirkfaktor Flächeninanspruchnahme eine hohe Empfindlichkeit, da ihnen hierdurch der Lebensraum entzogen wird. Sie sind aber auch gegenüber großräumigen Standortveränderungen, wie sie beispielsweise durch starke Landhebungen und -senkungen oder eine großflächige Versalzung des Oberbodens ausgelöst werden könnten, besonders empfindlich. Handelt es sich hierbei um Bereiche mit hoher Bedeutung bzw. Wertigkeit für einzelne Arten, wie sie insbesondere in Schutzgebieten vorkommen, ist das Konfliktpotenzial besonders hoch.

Entsprechend den Schutzgütern Pflanzen und Tiere zeigt auch das Schutzgut Biodiversität eine hohe Empfindlichkeit gegenüber den Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme, Landhebungen und -senkungen sowie Versalzung durch den Aufstieg von Formationswasser. Für den Erhalt der **Biodiversität** von besonderer Bedeutung sind insbesondere komplexe Landschaften mit vielfältigen Verzahnungen und Wechselwirkungen. Beispielhaft können alpine Ökosysteme, Watt- und Auenökosysteme, großflächige Feuchtgebietskomplexe, Hoch- und Niedermoore sowie Bruchwälder genannt werden.

Das Schutzgut **Landschaft** umfasst das Landschaftsbild sowie den Bestandteil des Landschafts- und Naturhaushalts, der den Lebensraum für Tiere und Pflanzen bildet. Die Aspekte des Naturhaushalts unterliegen vergleichbaren Beurteilungsmaßstäben und Empfindlichkeiten gegenüber den Wirkfaktoren des CCS wie die Schutzgüter Pflanzen und Tiere sowie Biodiversität. Entsprechend besteht für eine Vielzahl sensibler Landschaftsräume ein gesetzlicher Schutz gemäß §§ 20 ff. BNatSchG. Auch das Landschaftsbild, dessen Vielfalt,

<sup>16</sup> Ein vergleichbares Vorgehen wird auch in einer Studie des IEA Greenhouse Gas R&D Programme gewählt (IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME 2007).



Eigenart und Schönheit zu bewahren sind, zeigt sich gegenüber großräumigen Veränderungen, wie sie z. B. durch Landhebungen und -senkungen entstehen können, sowie gegenüber Flächeninanspruchnahmen empfindlich...

Eine besondere Empfindlichkeit der **Kulturgüter** gegenüber den vorhabenspezifischen Wirkfaktoren Landhebung/Landsenkung und Freisetzung von CO<sub>2</sub> besteht bei den Bodendenkmalen, den Archivböden, Gartendenkmalen und anderen von Vegetation geprägten Objekten sowie den kulturhistorisch bedeutsamen Landschaften, Landschaftsteilen und Landschaftselementen. Kulturgüter, wie z. B. Natur- oder Kulturdenkmale, Archivböden oder bedeutsame Stadt- und Ortsbilder sind häufig sehr kleinflächig ausgebildet, treten aber in bestimmten Gebieten gehäuft auf, so dass sich sowohl im terrestrischen wie auch im marinen Bereich größere Räume abgrenzen lassen, die aufgrund des gehäuften Auftretens von Kulturgütern eine besondere Bedeutung und Empfindlichkeit aufweisen.

Zu den (sonstigen) **Sachgütern**<sup>17</sup> mit besonderer Bedeutung zählen Bereiche mit öffentlichen Einrichtungen, Grünflächen oder Anlagen zur Erholung, Hochwasserschutzanlagen, Verkehrsanlagen und Ver- bzw. Entsorgungsanlagen. Außerdem haben Flächen mit einem hohen natürlichen Ertragspotenzial für Land- und Forstwirtschaft eine besondere Bedeutung. Bei diesen Sachgütern besteht sowohl eine Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Wirkungen, wie sie beispielsweise aus Reliefveränderungen, Zerrungen und Pressungen infolge von Landhebung und -senkung resultieren, als auch eine gegenüber stofflichen Wirkungen, die die Gebrauchstauglichkeit insbesondere von Naturgütern durch Versalzung, Versauerung oder Schadstoffbelastung einschränken könnten.

Auf der Ebene einer bundesweiten Potentialanalyse ist keine auf Einzelflächen bezogene Betrachtung möglich. Aber die vorstehende Charakterisierung der Konfliktbereiche für die verschiedenen Schutzgüter macht deutlich, dass Flächenkategorien benannt werden können, die von möglichen negativen Auswirkungen der geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung freigehalten werden sollten. Sie sind in Tab. 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengestellt. Dabei ist auch angegeben, für welche Schutzgüter jeweils eine hohe Bedeutung und Empfindlichkeit gegenüber den möglichen Wirkungen der Kohlendioxidspeicherung besteht.

Zusätzlich zu diesen Konfliktbereichen wurden im Forschungsprojekt natürliche und anthropogene Strukturen identifiziert, von denen bei nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen eine besondere Gefährdung der Schutzgüter durch die vorhabenspezifischen Wirkfaktoren ausgeht. Zum einen kann dies auf einer Verstärkung der Wirkung der vorhabenspezifischen Wirkfaktoren beruhen. Zum anderen kann von ihrer Beschädigung oder Zerstörung eine Sekundärgefährdung ausgehen (vgl. auch Abb. 3). Zu nennen sind:

- das Vorhandensein von vielen natürlichen reliefbedingten oder anthropogenen Bodensenken, in denen sich Kohlendioxid und Begleitstoffe akkumulieren können;
- eine räumlich bedingte schlechte Durchlüftung bzw. ungünstige Luft-Austauschbedingungen, die gegebenenfalls die Verteilung und Verdünnung des ausgetretenen Kohlendioxids und der Begleitstoffe vermindern und verzögern und auf diese Weise deren Akkumulation begünstigen;
- wenig durchmischte Seen, an deren Grund sich das ausgetretene Kohlendioxid und die Begleitstoffe akkumulieren und dann schlagartig in sehr großen Mengen an der Oberfläche austreten können;

<sup>17</sup> Nach WEILAND (1995), S. 237 werden zu den (sonstigen) Sachgütern bauliche Anlagen jeder Art einschließlich der zugehörigen Nebenflächen gezählt. Er unterscheidet verschiedene "Sachguttypen" wobei auch Flächen einbezogen werden, die zu den baulichen Anlagen in einer engen funktionalen und nutzungsbezogenen Verbindung stehen

- Hochwasserschutzanlagen, deren Zerstörung oder erhebliche Beschädigung zu unter Umständen großräumigen Überschwemmungen führen könnten;
- größere Kanäle und ausgebaute Gewässer, deren Wasserspiegel über dem Niveau des angrenzenden Geländes liegt und deren Zerstörung oder erhebliche Beschädigung unter Umständen ebenfalls zu großräumigen Überschwemmungen führen könnten;
- industrielle oder gewerbliche Anlagen, die in größerem Umfang mit Gefahrstoffen umgehen, wie beispielsweise Atomkraftwerke, chemische Industrie und Anlagen, die der Verarbeitung oder Lagerung von fossilen Brennstoffen dienen;
- Rohrleitungen für entsprechende Gefahrstoffe, also für entsprechende Rohstoffe der chemischen Industrie und für Kohlenwasserstoffe.

### Empfehlung für die Potenzialbewertung

Aus gutachterlicher Sicht sollten alle für die Schutzgüter in Bezug auf unterirdische Kohlendioxid-Speichervorhaben ermittelten, über Flächenkategorien fassbaren und in Tab. 1 zusammengestellten Konfliktbereiche bei der weiteren Analyse von CCS-Potenzialen ausgespart werden. Das gilt auch für die identifizierten Strukturen, die zu einer stärkeren Gefährdung der Schutzgüter gegenüber den vorhabenspezifischen Wirkfaktoren führen können. Dabei bezieht sich die Meidungsempfehlung nicht nur auf die oberirdischen Anlagen und die Ausdehnung des unterirdischen Speichers. Auch das weit über den eigentlichen CO<sub>2</sub>-Speicher hinausgehende unterirdische Druckfeld des Speichers, das die großräumig wirkenden Landhebungen und -senkungen oder auch den Aufstieg von salzigem Grundwasser verursachen kann, ist zu berücksichtigen.

**Tab. 1: Flächenkategorien mit hoher Empfindlichkeit und hohem Konfliktpotenzial**

für alle aufgeführten Flächenkategorien besteht bezüglich der möglichen Wirkungen eines geologischen CO<sub>2</sub>-Speichers ein hohes Konfliktpotenzial für die angegebenen Schutzgüter; M = Mensch, Pf = Pflanzen, T = Tiere, BV = Biologische Vielfalt, L = Landschaft, KG = Kulturgüter, SG = sonstige Sachgüter

| Flächenkategorien   | M | Pf | T | BV | L | KG | SG |
|---|---|----|---|----|---|----|----|
| Wohnbauflächen nach BauNVO:<br>reine Wohngebiete, allgemeine Wohngebiete, besondere Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete  | X |    |   |    |   |    | X  |
| gemischte Bauflächen nach BauNVO:<br>Dorfgebiete, Mischgebiete, Kerngebiete   | X |    |   |    |   |    | X  |
| einige Sonderbauflächen nach BauNVO:<br>Sondergebiete, die der Erholung dienen und einige sonstige Sondergebiete wie Klinikgebiete, Kurgelände, Gebiete für die Fremdenbeherbergung | X |    |   |    |   |    | X  |
| übrige Sonderbauflächen nach BauNVO<br>Sondergebiete für Einkaufszentren, Messen, Hochschulen, Häfen etc.   |   |    |   |    |   |    | X  |
| Gewerbliche Bauflächen nach BauNVO<br>Gewerbegebiete, Industriegebiete  |   |    |   |    |   |    | X  |
| Trinkwasserschutzgebiete  | X |    |   |    |   |    |    |
| Naturparke  | X |    |   |    | X |    |    |
| Landschaftsschutzgebiete  | X |    |   |    | X |    |    |
| Kulturhistorisch bedeutsame Landschaften  |   |    |   |    | X | X  |    |
| Naturschutzgebiete  |   | X  | X | X  | X |    |    |
| Biosphärenreservate   | X | X  | X | X  | X |    |    |
| Nationalparke   | X | X  | X | X  | X |    |    |

| Flächenkategorien  | M | Pf | T | BV | L | KG | SG |
|--|---|----|---|----|---|----|----|
| Nationale Naturmonumente   |   | X  | X | X  | X |    |    |
| Natura 2000-Gebiete  |   | X  | X | X  |   |    |    |
| Netz der Lebensraumkorridore   | X |    |   | X  |   |    |    |
| Vorrangflächen für Erholung und Tourismus  | X |    |   |    |   |    |    |
| Erholungswälder  | X |    |   |    |   |    |    |
| Heilquellenschutzgebiete   | X |    |   |    |   |    |    |
| Heilbäder, Seebäder und Luftkurorte  | X |    |   |    |   |    |    |
| Weltkulturerbestätten  |   |    |   |    |   | X  |    |
| Komplexe/Ansammlungen von denkmalgeschützten Objekten                                    |   |    |   |    |   | X  |    |
| Bereiche mit gehäuftem Auftreten von Bodendenkmalen                                      |   |    |   |    |   | X  |    |
| Bereiche mit naturräumlichen Voraussetzungen für das Vorkommen von vielen Bodendenkmalen |   |    |   |    |   | X  |    |
| Bereiche mit gehäuftem Auftreten von Archivböden   |   |    |   |    |   | X  |    |
| Landflächen mit hohem natürlichen Ertragspotenzial                                       |   |    |   |    |   |    | X  |
| Hochwasserschutzanlagen an Küsten, großen Flüssen und Kanälen                            |   |    |   |    |   |    | X  |
| Verkehrsanlagen mit überregionaler Funktionen für die Erschließung                       |   |    |   |    |   |    | X  |
| Ver- und Entsorgungsanlagen mit überregionalen Funktionen                                |   |    |   |    |   |    | X  |

Die in Tab. 1 benannten Flächen mit besonderer Empfindlichkeit bzw. hohem Konfliktpotenzial für die verschiedenen Schutzgüter werden sich teils überschneiden, teils aber auch ergänzen. Daher könnte die Berücksichtigung all dieser Gebiete letztlich dazu führen, dass kaum noch potenzielle Speicherflächen verbleiben. Dies gilt umso mehr, als dass auch entsprechende Bereiche für die Schutzgüter Boden, Wasser, Klima und Luft, die nicht Gegenstand der Untersuchung waren, mit in die Betrachtung einbezogen werden müssen.

Somit ist es eine Frage der Gesamtabwägung und letztlich eine gesellschaftliche bzw. politische Entscheidung, ob das Risiko auf einem Teil der als konfliktär identifizierten Flächen akzeptiert werden soll. Bei dieser Abwägung und Entscheidung sind auch Punkte wie die Folgenden zu berücksichtigen:

- Verlässlichkeit der Modelle und Prognosen für die CO<sub>2</sub>-Speicher und ihr Verhalten;
- Eintrittswahrscheinlichkeit von Gefahren, die zu erheblichen und möglicherweise großflächigen Beeinträchtigungen der Schutzgüter führen können;
- Verfügbarkeit und Verlässlichkeit von Maßnahmen und Technologien zur Erkennung, Unterbindung und gegebenenfalls Behebung von Auswirkungen des nicht bestimmungsgemäßen Betriebs;
- Stehen die Risiken und Gefahren der CO<sub>2</sub>-Speicherung in einem angemessenen Verhältnis zu den Vorteilen dieser Übergangstechnologie zur Verminderung der Kohlendioxidemissionen?
- Gibt es Alternativen mit einem geringeren Gefährdungspotential?
- Sollten Investitionen besser in Technologien erfolgen, die zu einer langfristigen Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen?
- Welche Umweltwirkungen und Investitionen sind zusätzlich durch den erforderlichen CO<sub>2</sub>-Transport zu erwarten?

- Stehen Nutzen und ökonomische Vorteile der CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Gegenwart in einem angemessenen Verhältnis zu den ökologischen und ökonomischen Lasten und Risiken für kommende Generationen?

Eine Möglichkeit die Belange der Umweltvorsorge zu gewichten wäre z. B. über die Anzahl der Schutzgüter, für die ein Konfliktbereich von Bedeutung ist. Schließt man einen Bereich bereits aufgrund der besonderen Empfindlichkeit für ein oder zwei Schutzgüter aus, misst man der Umweltvorsorge ein größeres Gewicht bei, als wenn man dies erst bei einem hohen Konfliktpotenzial für vier oder mehr Schutzgüter tut.

Denkbar wäre auch, dabei bestimmte Flächenkategorien oder Schutzgüter stärker zu gewichten. So könnten die für den Menschen bedeutsamen Flächenkategorien – auch im Hinblick auf die herausgehobene Stellung dieses Schutzgutes in der CCS-RL und im KSpG – stärker gewichtet werden. Auch eine stärkere Gewichtung der in Anlage 1 KSpG ausdrücklich genannten Natura-2000-Gebiete und durch Erklärung geschützten Teile von Natur und Landschaft ist für den Fall denkbar, dass nicht alle identifizierten Konfliktbereiche ausgenommen werden sollen.

## 5. Bewertung im Rahmen von Zulassungsverfahren

Das KSpG regelt in den §§ 11 ff. die Planfeststellung für die Errichtung und den Betrieb von unterirdischen Kohlendioxidspeichern. Der Plan darf nur festgestellt werden, wenn Gefahren für Mensch und Umwelt nicht hervorgerufen werden können (§ 13 Abs. 1 Punkt 3 KSpG). Für die Planfeststellung ist eine UVP durchzuführen<sup>18</sup>.

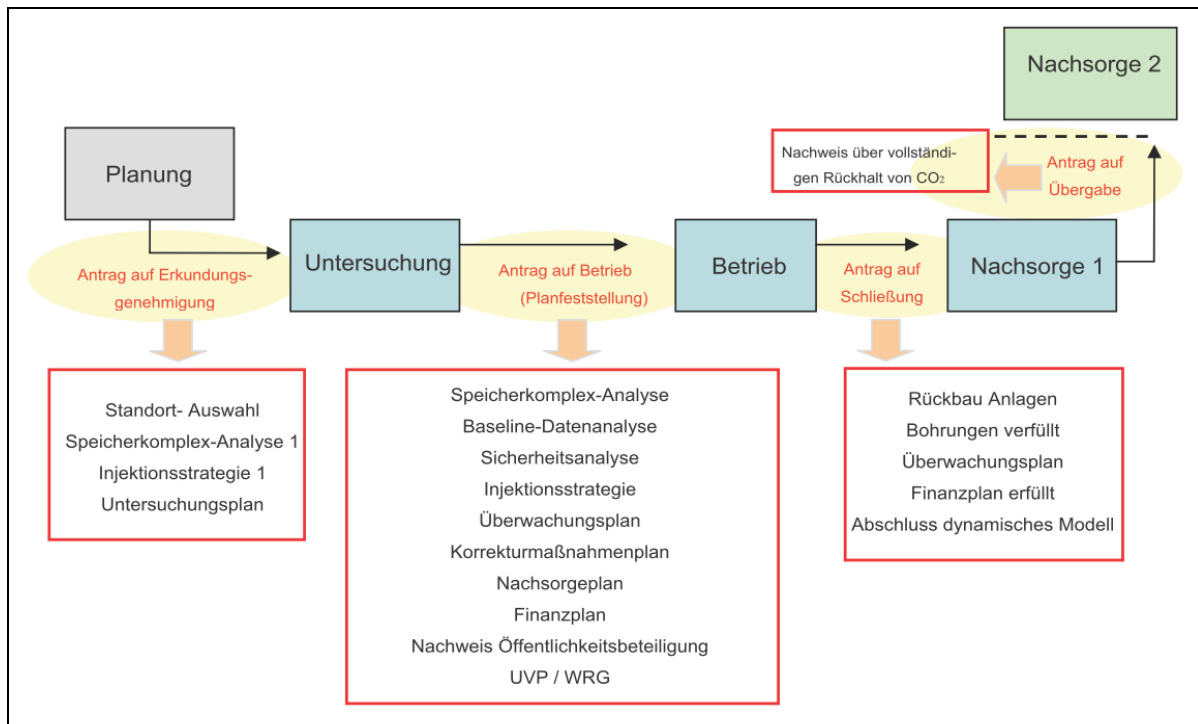
Gemäß § 13 Abs. 1 KSpG darf die Planfeststellung für ein CO<sub>2</sub>-Speichervorhaben nur erteilt werden, wenn u. a.

- die Langzeitsicherheit des Kohlendioxidsspeichers gewährleistet ist, d. h. dass das gespeicherte Kohlendioxid und die gespeicherten Nebenbestandteile des Kohlendioxidstroms vollständig und auf unbegrenzte Zeit in dem Kohlendioxidsspeicher zurückgehalten werden können,
- Gefahren für Mensch und Umwelt nicht hervorgerufen werden können und
- die erforderliche Vorsorge gegen Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt getroffen wird, insbesondere durch Verhinderung von erheblichen Unregelmäßigkeiten.

Um den entsprechenden Nachweis zu führen, sind zahlreiche Unterlagen und Gutachten erforderlich. Einige Anforderungen, wie z. B. Angaben über die zu erwartende Druckentwicklung im Speicherkomplex, die Lösung und die Freisetzung von Stoffen und die Verdrängung von Formationswasser während und nach der Injektion oder die Erbringung eines Sicherheitsnachweises, in dem auch geeignete Maßnahmen zur Verhütung und Beseitigung von Leckagen und erheblichen Unregelmäßigkeiten beschrieben sind, ergeben sich bereits unmittelbar aus § 12 KSpG. Außerdem wurden durch die BGR Vorschläge zur Erstellung von Leitfäden und Richtlinien für die CO<sub>2</sub>-Speicherung erarbeitet<sup>19</sup> (vgl. Abb. 2).

<sup>18</sup> Vgl. Ziffer 15.2 der Anlage 1 zum UVPG.

<sup>19</sup> VON GOERNE *et al.* (2010).



**Abb. 2: Phasen eines CO<sub>2</sub>-Speichervorhabens, notwendige Anträge und Genehmigungen sowie (in rot gerahmte Blöcke) wesentliche Anforderungen für einzelne Anträge**<sup>20</sup>

Um die spezifischen Umweltwirkungen einer unterirdischen Kohlendioxidspeicherung einerseits prognostizieren zu können und andererseits so gering wie möglich zu halten, sind jedoch weitere Anforderungen zu erfüllen.

Auf der Basis entsprechender Gutachten müssen maximal zulässige Raten und Absolutbeträge für **Landhebungen und -senkungen** festgelegt und auf diese Weise die Auswirkungen auf ein verträgliches Maß begrenzt werden. Hierbei sind auch vorhandene geologische Störungssysteme, Folgewirkungen der Reliefveränderungen für Grundwasserleiter, -stände und -ströme, für Oberflächengewässer einschließlich Hochwassersicherheit, Wasserwirtschaft und Schiffbarkeit von Gewässern sowie die Auswirkungen auf Bauwerke und Infrastrukturanlagen zu berücksichtigen.

In Bezug auf eine mögliche **erhöhte Seismizität** sind Aussagen zu den zu erwartenden Magnituden und zur Häufigkeit von Beben sowie der hierdurch zu erwartenden Gefährdung für den Menschen bzw. der Wirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter erforderlich.

Auf der Grundlage entsprechender Untersuchungen sind Aussagen zu den Risiken eines möglichen **Aufstiegs von Salzwasser** über vorhandene oder künftig entstehende Wegsamkeiten und eine daraus möglicherweise resultierende Infiltration von salzigem Wasser in das nutzbare Grundwasser oder an die Oberfläche zu machen. Die sich bei einem entsprechenden Salzwasseraufstieg ergebenden Auswirkungen auf Pflanzen- und Tierlebensräume, die landwirtschaftliche Nutzbarkeit von Flächen und die Verunreinigung von Oberflächengewässern ist dabei zu beleuchten. Dazu ist es auch erforderlich die Höhe möglicher Salzkonzentrationen im Grundwasser oder in Oberflächengewässern abzuschätzen.

<sup>20</sup> VON GOERNE *et al.* (2010), S. 32. Grundlage der Veröffentlichung ist die EU CCS-Richtlinie, da das KSpG zu diesem Zeitpunkt nur im Entwurf vorlag. Die genannten Phasen und Anträge finden sich jedoch auch im aktuell geltenden KSpG (vom 17.08.2012) wieder.

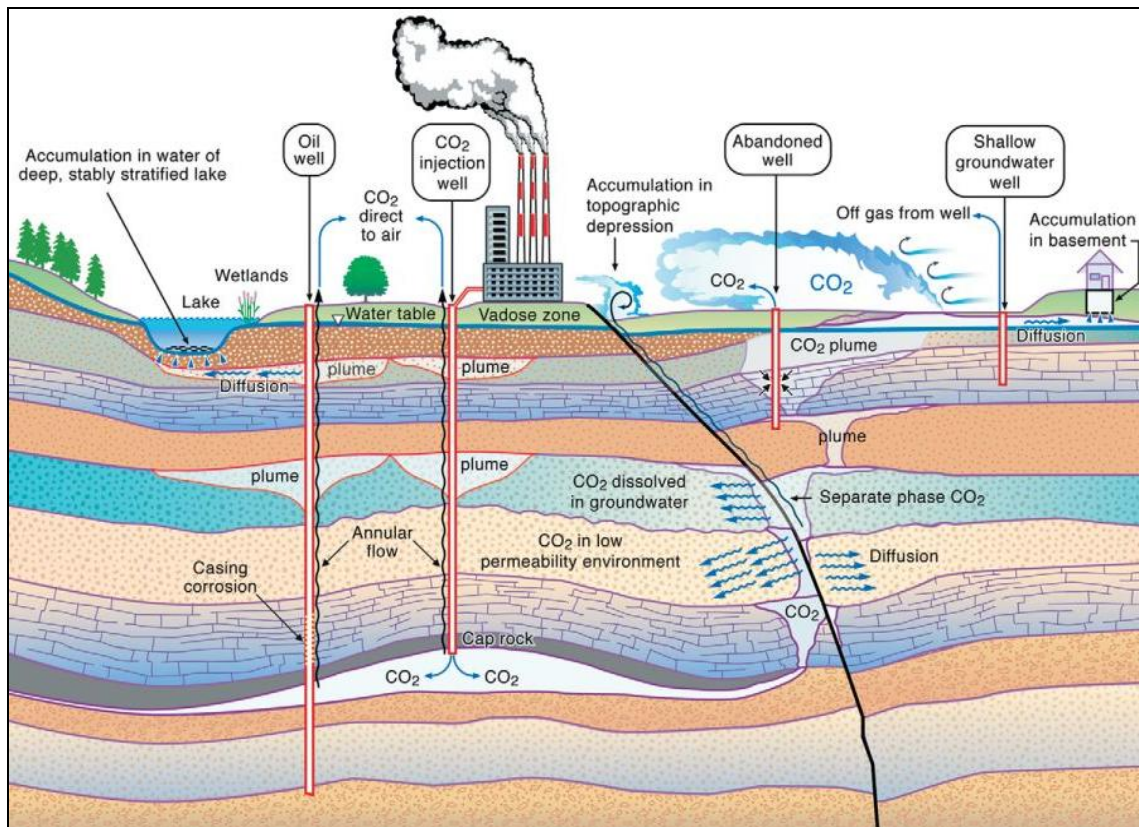


Abb. 3 Überblick über potenzielle Wege von CO<sub>2</sub> aus der Speicherstätte an die Oberfläche<sup>21</sup>

Bezüglich der **Leckage von CO<sub>2</sub> und Begleitstoffen** ist zwischen der Freisetzung aus Über- tageanlagen und bei Blowouts einerseits und andererseits der Leckage aus dem tiefen geologischen Speicher über Wegsamkeiten an die Oberfläche zu unterscheiden (vgl. auch Abb. 3). Letztlich kann nicht vorausgesagt werden, wo wann wieviel CO<sub>2</sub> und Begleitstoffe im Fall eines nicht bestimmungsgemäßen Betriebszustandes aus dem geologischen Speicher an die Oberfläche gelangen. Um die Risiken, die aus einer schleichenden Akkumulation in Bodensenken und anderen nicht oder schlecht durchlüfteten Strukturen wie Höhlen, Gruben, Tunneln, Unterführungen oder Kellern resultieren, erkennen und bewerten zu können, müssen diese Strukturen im gesamten potenziell vom Vorhaben betroffenen Raum ermittelt und bewertet werden.

Mögliche CO<sub>2</sub>-Freisetzungen aus Über- tageanlagen, etwa durch Ausbläserventile, gerissene Schlauchverbindungen oder Zerstörung von Lagerbehältern, sowie durch Blowouts an Injektionsbohrungen, sind hinsichtlich des Ortes und der voraussichtlichen Wirkung überschaubarer. Hier müssen unter Berücksichtigung der konkret geplanten Anlagen sowie der stand- örtlichen Gegebenheiten des Vorhabens Prognosen darüber erstellt werden, mit welchen Mengen an freigesetzten Stoffen gerechnet werden muss und wie sich die Stoffe am Boden und in der Luft – in Abhängigkeit von den verschiedenen Wetterbedingungen – ausbreiten werden. Es ist darzustellen, in welcher räumlichen Entfernung die relevanten Beurteilungs- werte unterschritten werden bzw. keine Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft mehr zu erwarten sind. Darüber hinaus ist die zeitliche Entwicklung zu berücksichtigen, damit deutlich wird, wie schnell das CO<sub>2</sub> sich ausbreitet, und wie lang der Zeitraum ist, der benötigt wird, bis sich wieder eine normale Konzentration eingestellt hat. Nur auf der Basis entsprechender standortkonkreter Untersuchungen können angemessene Schutzabstände

<sup>21</sup> STANGE & DUIJNISVELD (2011), S. 15.

zu besiedelten Bereichen, empfindlichen Nutzungen und Ökosystemen festgelegt und bewertet werden.

An alten Bohrungen sind grundsätzlich sowohl schleichende Leckagen als auch Blowouts denkbar. Insbesondere wenn Altbohrungen in Siedlungsnähe oder in der Nähe von Schutzgebieten liegen, geht von ihnen eine potenzielle Gefahr für den Menschen sowie für Pflanzen, Tiere und die biologische Vielfalt aus, die zu berücksichtigen ist. Alle relevanten Altbohrungen sind daher sorgfältig zu überprüfen und zu sichern. Dabei sind auch die Bohrungen einzubeziehen, die sich zwar während der Einspeicherung nicht im Einflussbereich des geologischen CO<sub>2</sub>-Speichers befinden, aber im Laufe der Jahrhunderte durch die Migration des CO<sub>2</sub> erreicht werden könnten.

Zudem muss ein Monitoringkonzept vorliegen, über das mögliche Auswirkungen überwacht werden können.

Bei der Bewertung der CO<sub>2</sub>-Speichervorhaben in der UVP sind einerseits die absehbaren Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebs und andererseits die ökologischen Risiken durch nicht bestimmungsgemäße Betriebszustände zu berücksichtigen. Das Erfordernis zur Berücksichtigung von Umweltwirkungen, die durch schwere Unfälle und Katastrophen verursacht werden, wird durch die aktuelle Änderung von Artikel 3 der UVP-Richtlinie bekräftigt.<sup>22</sup>

Für die Bewertung im Rahmen der UVP lassen sich bekannte Methoden struktureller Art generell auch auf CO<sub>2</sub>-Speicherprojekte übertragen. Als Bewertungsmaßstab sind dabei grundsätzlich auch die existierenden fachrechtlichen Grenz- oder Schwellenwerte heranzuziehen. Für Wirkfaktoren, die auch bei anderen Vorhaben regelmäßig auftreten (z. B. Flächeninanspruchnahme, Lärm) haben sich hierfür in der Praxis Methoden etabliert, die i. d. R. auch im Rahmen eines CO<sub>2</sub>-Speichervorhabens verwendet werden können. Allerdings treten bei der CO<sub>2</sub>-Speicherung außerdem Auswirkungen auf, zu denen wenig bis keine Erfahrungen vorliegen (z. B. Landhebungen/Senkungen, Mikrobeben oder die Auswirkungen des nicht bestimmungsgemäßen Betriebs, wie z. B. Versalzungen des Bodens und des Grundwassers oder die Freisetzung von Kohlendioxid).

Sofern keine allgemein gültigen Standards zur Bewertung im Rahmen einer UVP existieren, werden in solchen Fällen überwiegend verbal-argumentative Bewertungsansätze angewandt. Häufig kommen relative Bewertungen in Ordinalskalen von "sehr hoch" bis "sehr gering" zum Einsatz und die Bedeutung des Schutzgutes wird zweistufig in eine "allgemeine" oder "besondere Bedeutung" unterschieden.<sup>23</sup> Allerdings erschweren noch vorhandene Wissenslücken eine Bewertung im Rahmen der UVP. Dies gilt insbesondere für die Bewertung stofflicher Belastungen durch CO<sub>2</sub> und seine Begleitstoffe ebenso wie für tragbare Veränderungen des Grundwasserspiegels. In der Literatur (z. B. KRONIMUS *et al.* 2011) wird im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Speicherung für folgende Substanzen die Festlegung von Grenzwerten empfohlen: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Kohlenmonoxid (CO), Methanol (CH<sub>3</sub>OH), Stickoxide (stellvertretend NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub>, Schwermetalle (stellvertretend: Blei, Zink), Organika (stellvertretend: BTEX bzw. Benzol), Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) und Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Speziell für aquatische Systeme werden Grenzwerte für weitere Parameter erforderlich, wie z. B. für den pH-Wert oder Stoffe, die durch eine Versauerung mobilisiert werden und damit im Falle einer CO<sub>2</sub>-Leckage relevant werden können. Hierzu werden Aluminium, Benzol, Blei, Eisen, Zink, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Mangan gezählt. Erste Ansätze für eine Bewertung der Auswirkungen einer

<sup>22</sup> Siehe Artikel 1 Punkt 3 der Richtlinie 2014/52/EU vom 16.04.2014 zur Änderung der Richtlinie 2011/92/EU

<sup>23</sup> Vgl. GASSNER *et al.* (2010), S. 270.

CO<sub>2</sub> Leckage auf die Schutzgüter liefern die Ergebnisse von Forschungsvorhaben, wie das europäische RISKS-Projekt (Research into Impacts and Safety in CO<sub>2</sub> Storage).<sup>24</sup>

Ein geeignetes Vorbild für eine umfassende Berücksichtigung der Auswirkungen eines CO<sub>2</sub>-Speichervorhabens auf Mensch und Umwelt sind auch die kürzlich in der Richtlinie 2013/30/EU über die Sicherheit von Offshore-Erdöl- und Erdgasaktivitäten formulierten Standards für Vorhaben, die bei nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen mit ähnlich großräumigen und weitreichenden Folgewirkungen verbunden sein können (siehe Deepwater Horizon im Golf von Mexiko). Diese Richtlinie sieht vor, dass in einem 'Bericht über ernste Gefahren' sämtliche Szenarien schwerer Unfälle umfassend und systematisch zu ermitteln sind, einschließlich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt. Dabei ist auf bewährte Verfahren zurückzugreifen, die eine Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit, der Folgen und des daraus resultierenden Risikos umfassen. Es ist außerdem der Nachweis zu erbringen, dass die Maßnahmen zu ihrer Beherrschung geeignet sind, das Risiko eines schweren Unfalls auf ein vertretbares Niveau zu reduzieren, was auch eine Bewertung der Wirksamkeit der geplanten Notfallmaßnahmen einschließt.<sup>25</sup>

## 6. Fazit

Hinsichtlich der erforderlichen Umweltvorsorge in Bezug auf die Errichtung und den Betrieb von Kohlendioxidspeichern ist zwischen der bundesweiten staatlichen Potenzialanalyse und den nachgelagerten standortspezifischen Zulassungsverfahren zu unterscheiden.

Die Potenzialanalyse dient zum einen dazu, aus der Sicht des Bundes überschlägig abschätzen zu können, wie "groß" die CO<sub>2</sub>-Speichermöglichkeiten in Deutschland sind. Zum anderen soll sie darstellen, in welchen Gebieten aus der Sicht des Bundes sich aufgrund geeigneter geologischer Formationen nähere Untersuchungen lohnen könnten, bzw. – aufgrund der zu erwartenden Konflikte – sich nicht lohnen werden. Um Aussagen zum Risiko der Gefährdung der Umweltschutzgüter im Rahmen der Potenzialbewertung treffen zu können, wurden schutzgutspezifisch konfliktäre Bereiche identifiziert. Aus gutachterlicher Sicht sollten alle identifizierten Konfliktbereiche bei der weiteren Analyse von CCS-Potenzialen ausgespart werden. Eine Berücksichtigung all dieser Gebiete könnte allerdings letztendlich dazu führen, dass kaum noch potenzielle Speicherflächen verbleiben.

Die CCS-Technologien werden jedoch nach wie vor zumindest bei den kurz- und mittelfristigen Szenarien zum Klimawandel berücksichtigt (IPPC 2014), da sie energieintensiven Industriezweigen mit hohen prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (z. B. Stahl, Kalk, Zement, Chemische Industrie, Raffinerien) sowie fossil befeuerten Kraftwerken eine Möglichkeit bieten, ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre zu vermindern. Welches Risiko letztendlich tragbar ist, d. h. wie stark die möglichen Konflikte bewertet werden, wird immer auch eine gesellschaftliche Entscheidung sein. Bei der Potenzialanalyse sind daher im Rahmen der Abwägung auch die globalen Folgen eines Klimawandels, der durch die CO<sub>2</sub>-Speicherung abgemildert werden soll, in die Bewertung mit einzubeziehen.

Die abschließende Bewertung der Umweltauswirkungen konkreter Vorhaben zur unterirdischen Speicherung von Kohlendioxid erfolgt im Rahmen der Zulassungsverfahrens. Dort müssen insbesondere auch Fragen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Risiken für den nicht bestimmungsgemäßen Betrieb beantwortet werden. Erforderlich sind eine Vielzahl von Gutachten, u. a. Prognosen zur erwarteten Intensität der spezifischen Wirkfaktoren einer CO<sub>2</sub>-Speicherung, wie zu maximal zulässigen Raten und Absolutbeträgen für Landhebungen und -senkungen, zu wahrscheinlichen Magnituden und Häufigkeiten

<sup>24</sup> Abschlussbericht 2014 erschienen (BLACKFORD *et al.* 2014) und abrufbar unter [www.riscs-co2.eu](http://www.riscs-co2.eu).

<sup>25</sup> Vgl. Positionen 02/2014: Vermeidung von schweren Unfällen im Fokus – EU-Richtlinie zu Offshore-Erdöl- und Erdgasaktivitäten – von Annette Lienemann



vorhabensbedingter Erdbeben, zu möglichen Veränderungen der Salzgehalte im Grundwasser oder in Oberflächengewässern sowie zu potenziellen Wegsamkeiten bei CO<sub>2</sub>-Leckagen.

Allerdings fehlt es für die abschließende Bewertung im Rahmen der UVP in vielen Fällen auch noch an Grenzwerten in Bezug auf Beeinträchtigungen für den Menschen sowie an lebensraum- und artbezogenen Grenzwerten oder Wirkungsschwellen. An dieser Stelle besteht entsprechend weitergehender Forschungsbedarf.

Ob und inwieweit es in Europa zum Einsatz von CCS-Technologien kommen wird, ist zurzeit fraglich. Die deutschen Länder haben sich weitgehend gegen eine Umsetzung von Speichervorhaben auf ihrem Hoheitsgebiet ausgesprochen und auch EU-weit hat nur noch ein einziges von sechs EU-geförderten CCS-Projekten gute Chancen fertiggestellt zu werden. Die Hälfte der seit 2009 geförderten EU-Projekte wurde inzwischen wegen zu hoher Entwicklungskosten und fehlender Co-Finanzierung aufgegeben.<sup>26</sup> Dennoch besteht seitens der EU-Kommission weiterhin ein großes Interesse an dieser Technologie. So wurde unlängst eine Konsultation geschaltet, in der sie Maßnahmen diskutiert, die die Nutzung der Technologie bei Kraftwerken attraktiver machen sollen.<sup>27</sup>

#### Impressum:

##### © ARSU GmbH

Escherweg 1 – 26121 Oldenburg  
Postfach 11 42 – 26001 Oldenburg

Telefon (0441) 9 71 74 97  
Telefax (0441) 9 71 74 73

E-Mail: [info@arsu.de](mailto:info@arsu.de)  
<http://www.arsu.de>

#### Das Autorenteam:

##### Elith Wittrock

Dipl.-Biologin,  
Gesellschafterin der ARSU GmbH  
[wittrock@arsu.de](mailto:wittrock@arsu.de)



##### Michaela Warnke

Dipl.-Landschaftsökologin  
[warnke@arsu.de](mailto:warnke@arsu.de)



##### Annette Lienemann

Dipl.-Biologin,  
Gesellschafterin der ARSU GmbH  
[lienemann@arsu.de](mailto:lienemann@arsu.de)



<sup>26</sup> <http://www.eu-koordination.de/umweltnews/news/klima-energie/2633-ccs-ohne-erfolg> (zuletzt abgerufen am 19.05.2014)

<sup>27</sup> <http://www.eu-umweltbuero.at/cgi-bin/neu/cont.pl?contentart=eunews&id=4574> (zuletzt abgerufen am 07.07.2014)

**Dr. Malte Kohls**  
 BBG und Partner  
 Rechtsanwälte  
 Contrescarpe 75 A  
 28195 Bremen  
 kontakt@bbgundpartner.de



## 7. Literatur:

- BLACKFORD, J., S. BEAUBIEN, E. FOEKEMA, V. GEMENI, S. GWOSDZ, D. JONES, K. KIRK, J. LIONS, R. METCALFE, C. MONI, K. SMITH, M. STEVEN, J. WEST & F. ZIOGOU (2014): A guide to potential impacts of leakage from CO<sub>2</sub> storage. 70 S. [www.riscs-co2.eu](http://www.riscs-co2.eu).
- GASSNER, E., A. WINKELBRANDT & D. BERNOTAT (2010): UVP und strategische Umweltprüfung - Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltprüfung. C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 480.
- GROßMANN, J., G. NAUE, A. SCHRECK, R. WOIWODE, A. DAHMKE, D. SCHÄFER, S. BAUER, M. EBERT, K. M. REINICKE, F. SCHILLING & C. KRAWCZYK (2011): "Sicherheit und Umweltverträglichkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung - Speicherprozesse". GICON (Großmann Ingenieure Consult GmbH) im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3708 49 112 2), 31.01.2011, 74 Seiten.
- IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME (2007): Environmental Assessment for CO<sub>2</sub> Capture and Storage: Technical Study. IEA Greenhouse Gas R&D Programme, London, March.
- IPCC (2005): IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg. B. Metz, O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos und L. A. Meyer), Cambridge, 431 Seiten.
- IPCC (2014): Summary for Policymakers. In: EDENHOFER, O., R., Y. PICHIS-MADRUGA, E. SOKONA, S. FARAHANI, K. KADNER *et al.*: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press,, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KLOEPFER, M. (2004): Umweltrecht, 3. Auflage, München.
- KRONIMUS, A., T. WILDENBORG, M. NEPVEU, J. WOLLENWEBER, P. DAVID, M. VAN DER KUIP, R. SCHLÜTER & H.-J. RÜBEL (2011): Sicherheit und Umweltverträglichkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung – Risikoanalyse und systematische Risikominimierung (SUCOR). Förderkennzeichen 3708 49 112 1.
- PETERS, M. (2011): Chemical usage of CO<sub>2</sub>. Präsentation auf der Fachtagung: 2nd International Workshop "CO<sub>2</sub>: CCS and CCU in Germany, Norway, the Netherlands, Poland, and Scotland – Challenges and Chances". Düsseldorf.
- REINHOLD, K., C. MÜLLER & C. RIESENBERG (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland - Synthese -. Abschlussbericht. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin/Hannover, 132 S.
- STANGE, C. F. & W. H. M. DUIJNISVELD (2011): Mediale Anforderungen des Bodenschutzes an die Speicherung von CO<sub>2</sub> bei CCS-Maßnahmen. UBA-Forschungsvorhaben 3709 72 204, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 80 Seiten.
- VON GOERNE, G., F. H. WEINLICH & F. MAY (2010): Anforderungen und Vorschläge zur Erstellung von Leitfäden und Richtlinien für eine dauerhafte und sichere Speicherung von CO<sub>2</sub>. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover, Hannover, August.
- WEILAND, J. (1995): Sachgüter als Schutzgut in der UVP. Ein Ansatz zur Bewertung. UVP-Report 5/95: 236 - 239.

