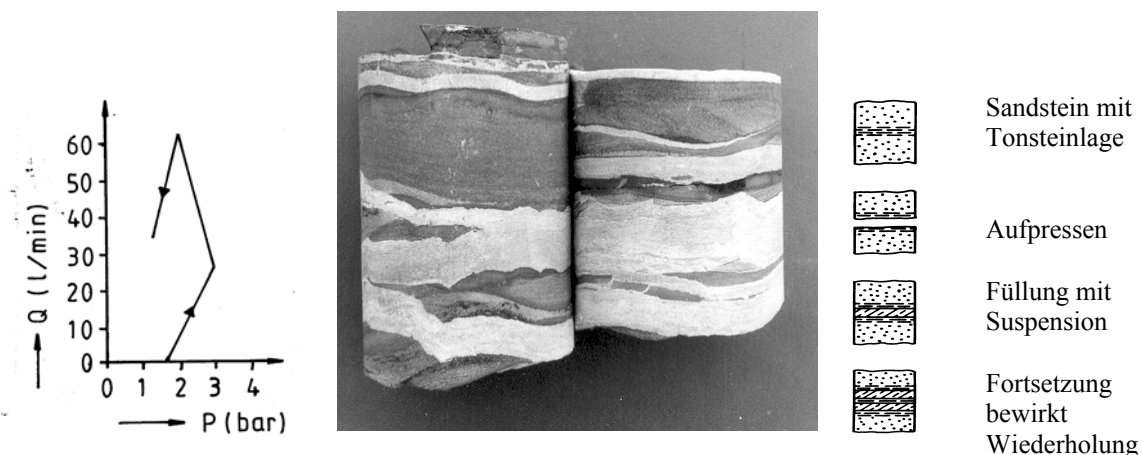


## Anmerkungen zum CCS-Projekt

Die Problematik des CCS-Projektes wird hier mit einer Analogie erläutert: mit dem Einpressen von Wasser und Zementsuspensionen in den Untergrund. Im Talsperrenbau ist das üblich, um den Fels unter der zu errichtenden Staumauer auf seine Durchlässigkeit hin zu prüfen und, falls erforderlich, abzudichten. Zunächst wird Wasser abschnittsweise und mit steigendem Druck in Bohrlöcher eingepresst. Wird es vom Fels aufgenommen, ist er durchlässig, und muss abgedichtet werden, damit später nur wenig Wasser aus der Talsperre aussickert. Zur Abdichtung der offenen Klüfte werden Zementsuspensionen eingepresst. Die Zementkörner verstopfen die Wasserwege, und die Sickerverluste werden dadurch verringert.

Bei dieser ‚Injektion‘ kommt es auf den richtigen Verpressdruck an. In dem Beispiel der Abbildung 1 war er zu groß: Zu Beginn der Einpressung war der Bohrlochabschnitt dicht, denn erst als der Druck 2 bar überstieg, wurden die im Sandstein eingelagerten weichen Tonsteinlagen aufgepresst. Die Zementsuspension konnte eindringen und einen im ursprünglich dichten Fels künstlich geschaffenen Hohlraum aufpressen. Durch die Einlagerung der Zementsteinlagen kann man den Vorgang sehr gut erkennen. Er bedeutete in diesem Fall einen besonders großen Mehraufwand an unnötigen Investitionen und Zeit.

**Abbildung 1:** Erkennbarkeit der Aufreißvorgänge von geschlossenen Trennflächen (Schichtung) durch Einpressen von Wasser oder Zementsuspensionen; kritischer Druck  $P_{crit} \leq 3$  bar



Das zweite Beispiel ist prinzipiell ähnlich, allerdings weniger spektakulär (Abbildung 2): Der Fels war ursprünglich dicht und erst als der Druck 10 bar überstieg, wurde eine geschlossene Schieferfläche aufgepresst, die dann Zement aufnehmen konnte. Bei der Aufpressung reichte dieser Druck aus, um quarzgefüllte Klüfte aufzusprengen. Auch diese Einpressung war nicht nötig, aber teuer.

<sup>\*)</sup>Diplom-Geologe Prof. Dr. Friedrich-Karl Ewert; T: 05253.3883, F: 05253-7145; Mail: [ewert.fk@t-online.de](mailto:ewert.fk@t-online.de)

**Abbildung 2:** Zementsteinlagen in aufgedrückten Schieferflächen trennen quarzgefüllte Klüfte; kritischer Druck  $P_{crit} \leq 12$  bar

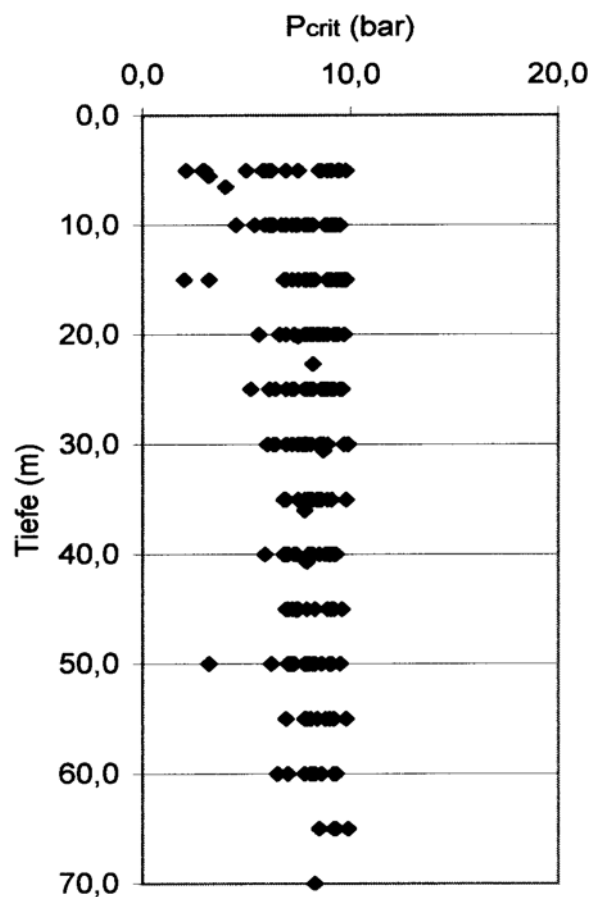


Das Aufreißen latenter Schicht- oder Schieferflächen ist in der Praxis eher die Regel als die Ausnahme, und deshalb sind Abdichtungsmaßnahmen oft sehr viel teurer als sie es sein müssten, würde man bei den Injektionen die richtigen Drücke anwenden – meist sind sie leider zu hoch. Das liegt auch daran, dass man früher annahm, die kritischen Drücke würden mit der Tiefe steigen.

Eine systematische Untersuchung an Hand von zahlreichen Beispielen aus praktisch allen Gebirgstypen hat in den letzten Jahren jedoch gezeigt, dass dies nicht der Fall ist [1]. Eines der darin enthaltenen zahlreichen Beispiele ist hier in Abbildung 3 dargestellt. Der untersuchte Granitgneis hat zwar eine große Druckfestigkeit, jedoch keine allzu große Zugfestigkeit quer zu den parallel eingeregelteten Kristallen; er besitzt deshalb eine ausgeprägte Aufreißanfälligkeit: dichte Bohrlochstrecken sind bereits bei Drücken zwischen 5 und 10 bar aufgedrückt worden; höhere Drücke waren für das Aufdrücken nicht erforderlich. Wie die Darstellung zeigt, steigen die Drücke nicht mit der Tiefe an.

**Abbildung 3:**

Tiefenverteilung der Aufpressdrücke ( $P_{crit}$ ) bei Wassereinpressversuchen im Granitgneis (Albarello-Damm/ Spanien)



Die dabei gewonnenen Schlüsse sind auch für die Problematik des CCS-Projektes anwendbar. Abgesehen vom technischen Aufwand,  $CO_2$  aus den Abgasen herauszufiltern, gibt es wohl nur eine geologische Situation,  $CO_2$  unschädlich in den Untergrund einzupressen – wenn nämlich entsprechend große Erdgaslagerstätten vorhanden sind, die nach oben durch geologische Barrieren abgedeckt werden. Für die beiden anderen zunächst denkbaren Fälle sind ungünstige Auswirkungen zu befürchten.

### *Einpressen von CO<sub>2</sub> in Gesteinszonen mit Erdgasspeicherung*

Erdgas-Speichergesteine verfügen mit ihren Poren über ein zugängliches Speichervolumen. Vorbehaltlich der Eignung ihrer anderen relevanten Eigenschaften sind sie für das Einpressen von CO<sub>2</sub> geeignet, allerdings müssen dabei die jeweils richtigen Drücke angewendet werden, die individuell zu bestimmen sind. Zu hohe Drücke können beim Vorhandensein von latenten Schichtflächen diese aufsprengen und eine Wegsamkeit nach oben herstellen. Auch die Einpressgeschwindigkeit ist wichtig. Ist sie zu groß, kann die Absorptionsfähigkeit der Poren überfordert werden. In diesem Falle würde das zu schnell eingepresste Gas sich stauen, was ebenfalls ein Aufsprengen latenter Trennflächen verursachen kann.

### *Einpressen von CO<sub>2</sub> in Gesteinskörper mit überlagernden abdichtenden Gesteinszonen*

Falls in der für das Einpressen vorgesehenen Gesteinszone kein verfügbares offenes Speichervolumen vorhanden ist, sondern nur die üblichen Trennflächen infolge Schichtung, Klüftung oder Schieferung existieren, und falls zwischen dieser Zone und der Erdoberfläche eine dichte Gesteinszone zwischengelagert ist, sind durch das Einpressen großer Mengen flüssigen CO<sub>2</sub>, die zwangsläufig unter hohem Druck stehen, zwei Entwicklungen nicht auszuschließen:

- Örtlich kommt es zu Hebungen der zwischengelagerten dichten Gesteinszone und in ihr können Risse entstehen. Die Zone wird dort undicht und das unter Druck stehende CO<sub>2</sub> kann nach oben entweichen. Es ist dann möglich, dass es die Oberfläche erreicht.
- Falls diese dichte Gesteinszone ausreichend fest ist und intakt bleibt, kann das unter hohem Druck stehende CO<sub>2</sub>-Kissen die Spannungsverhältnisse ändern. Dadurch können Erschütterungen verursacht werden. Für solche Folgen von Spannungsänderungen in der oberen Erdkruste gibt es Beispiele: Der Bau und die Füllung von Talsperren in seismisch labilen Gebieten haben dort die seismische Aktivität vergrößert.

Dank Internet ist seit November 2008 ein Vorgang bekannt geworden, der zwar einer anderen Aufgabenstellung dient, bei dem gleichwohl ähnliche Faktoren wirken, nämlich die Entwicklung von Druck, der die darüber liegenden Gesteine anhebt: In Staufen im Breisgau wurden für die geothermische Energiegewinnung Bohrungen bis in 140 m Tiefe zur Erschließung einer wasserspeichernden Gesteinszone abgeteuft. Sie sind fündig geworden, das angetroffene Wasser steht jedoch unter Druck und steigt in den Bohrungen nach oben. Es hat die abdichtende Gesteinszone erreicht, in der sich Anhydrit befindet. Das Mineral Anhydrit nimmt Wasser auf und wird dadurch zu Gips. Bei diesem Vorgang findet eine Volumenzunahme statt, die einen starken Druck entwickelt. Dieser Druck wirkt sich schädlich aus: in der Umgebung der Bohrungen haben sich Risse gebildet und die Erdoberfläche hebt sich, inzwischen seit Beginn dieser Entwicklung um viele Zentimeter. Die ungleichen Hebungen haben schon viele Häuser beschädigt. Der Vorgang setzt sich fort; es ist unbekannt, wie lange er andauert.

### *Einpressen von CO<sub>2</sub> in Gesteinszonen ohne abdichtende Zwischenschicht*

In [1] hat der Autor nachgewiesen, dass in den allermeisten Fällen latente Trennflächen im Fels schon bis zu Drücken von **< 15 bar** aufreißen, und dass diese 'kritischen' Drücke mit der Tiefe nicht ansteigen. Wenn man also CO<sub>2</sub> mit Drücken von **ca. 250 bar** in den Untergrund einpresst, werden noch geschlossene Trennflächen aufreißen und das CO<sub>2</sub> wird bald wieder aus der Erdoberfläche austreten. Dabei ist auch ein mögliches Risiko zu bedenken: Sollten sich die Austrittsstellen in abflusslosen Geländemulden befinden, wird sich dort das CO<sub>2</sub> ansammeln und die Luft mit ihrem Sauerstoff verdrängen, denn CO<sub>2</sub> ist schwerer. Für Tiere und

Menschen wäre der Mangel an Sauerstoff lebensgefährlich; Beispiele für Unfälle in CO<sub>2</sub>-Senken sind bekannt.

### *Chemische Reaktionen*

CO<sub>2</sub> ist in Verbindung mit H<sub>2</sub>O je nach dem Chemismus des Speichergesteins chemisch reaktionsfähig, wobei die hohen Drücke und die in der Tiefe herrschenden höheren Temperaturen diese Reaktionsfähigkeit verstärken können. Es ist folglich zu prüfen, ob mit chemischen Reaktionen zu rechnen ist. Sollten sie das Volumen vergrößern, könnten sich zusätzliche Spannungsänderungen ergeben.

### *Schlussbemerkung*

Das CCS-Projekt beruht auf der Annahme, anthropogenes CO<sub>2</sub> verursache den ‚Klimawandel‘, und es komme darauf an, dieses Treibhausgas klimaneutral zu entsorgen. In Anbetracht der Kosten, der Risiken und der Ungewissheiten empfiehlt es sich, die nächsten fünf Jahre abzuwarten: Sehr wahrscheinlich wird sich bis dann für einen ausreichend großen Teil der Bevölkerung, der Medien, der politischen Parteien, der Regierungen und der jetzt noch dem Zeitgeist huldigenden Wissenschaftler herausgestellt haben, dass die Prämisse falsch ist, die dem CCS-Projekt zu Grunde liegt: Weder gibt es einen globalen Klimawandel, sondern lediglich eine periodische Temperaturschwankung, die bis ca. 2003 regional eine Erwärmung mit sich brachte, und die sich danach wieder umgekehrt hat, denn die Temperaturen nehmen seitdem wieder ab, noch hat unser CO<sub>2</sub> darauf wirklich einen bestimmenden Einfluss. Außerdem ist allen, die sich bei der Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Bilanz mit physikalischen Gleichgewichten begnügen, zu empfehlen, auch die biologischen Gleichgewichte bzw. das Liebig'sche Gesetz vom Minimum zu berücksichtigen: mit einer Konzentration des atmosphärischen CO<sub>2</sub> von 300 oder 400 ppm sind längst nicht alle Pflanzen optimal versorgt und würden ein größeres Angebot ihres Grundnahrungsmittels durchaus mit einem stärkeren Wachstum belohnen, wie Versuche und die Praxis zeigen.

### Referenz

[1] Ewert F.-K. (2005): The hydrofracturing behaviour of latent discontinuities in rock and its consequences for the successful and economic execution of grouting work. Dam Engineering, Volume XVI, Issue I, P 4 – 65, 42 Figures, 5 Tables; Wilmingon Business Publishing Ltd, 2005