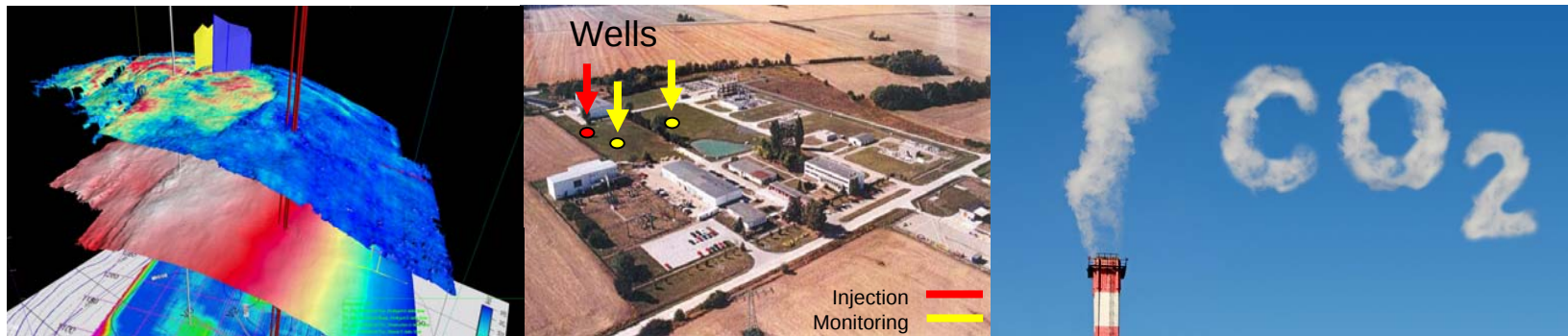


Geological Storage of CO₂

Michael Kühn

Head of Centre for CO₂ Storage

Helmholtz-Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences



Is long-term and safe storage of CO₂ in geological formations possible?

Why do we want to store carbon dioxide / CO₂ in the underground in geological formations? **Climate politics.**

Which questions are raised with regard to this technology and what are the answers? **State of technology.**

Experience from the pilot site Ketzin approve implementation on research scale. **State of science.**

Conclusion: Gained results argue for industrial tests.

Aim: Provide basis to give judgement yourself.

Why do we want to store CO₂?

Measure of climate politics

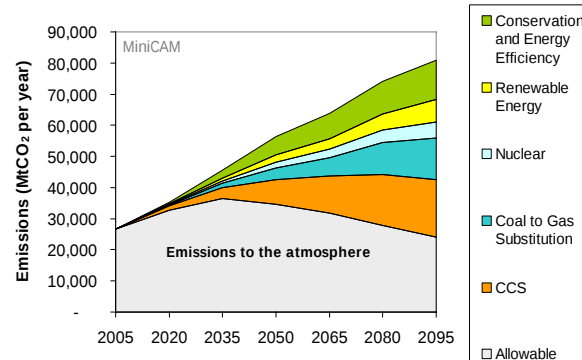
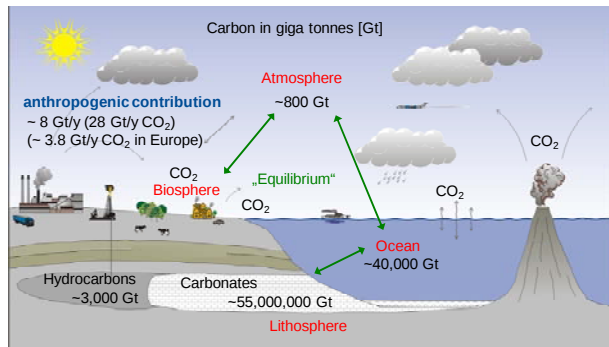
How do we interfere with the carbon cycle?

Which are the anthropogenic CO₂ sources?

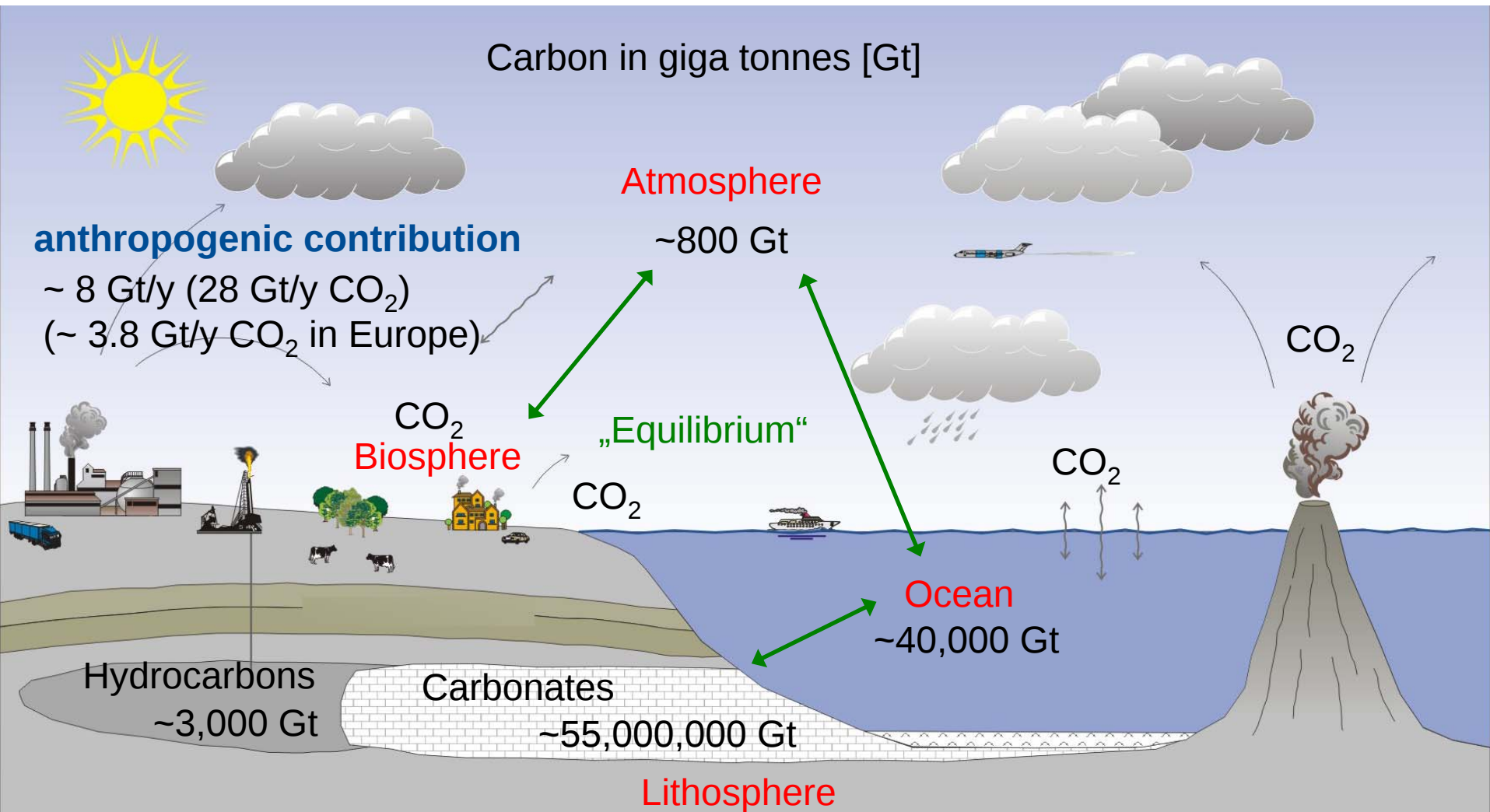
Which contribution can CO₂ storage make?

What is carbon dioxide respectively CO₂?

How dangerous is CO₂ for humans?



Mankind interferes significantly with the global carbon cycle



Reduction of CO₂ emissions from industry and energy sector

Point of departure: Climate change due to CO₂ emissions from us!?

Anthropogenic carbon dioxide emissions in Germany in 2005

Carbon dioxide needs to be captured at large point sources

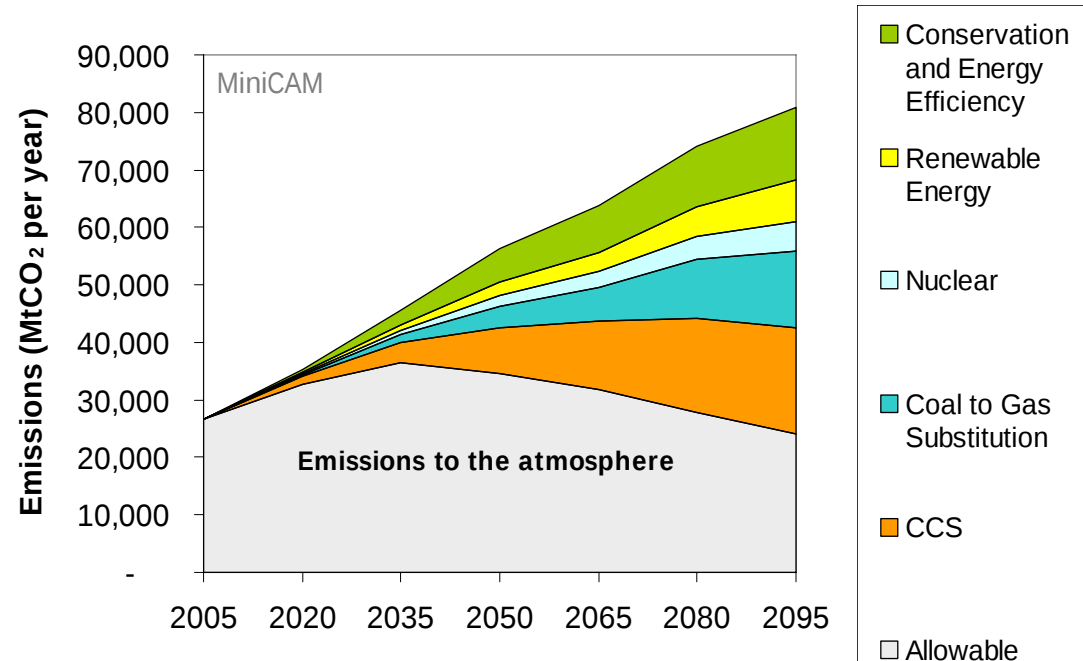


Trading: 58.1 Mio. t (6.6 %)
Transport: 167.4 Mio. t (18.9 %)
Industry: 160.7 Mio. t (18.2 %)
Residential: 115.6 Mio. t (13.1 %)
Energy: 382.3 Mio. t (43.2 %)

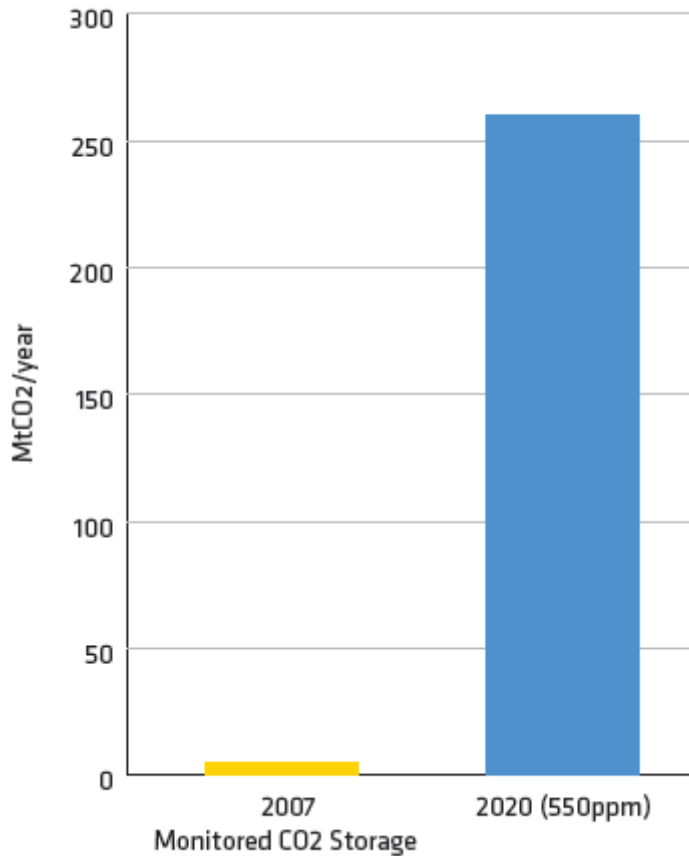
CO₂ storage (CCS) provides ca. 25 % of emission reduction potential

CO₂ storage one building block of portfolio

CCS not only for fossil energy sources but as well for cement, steel and chemistry



Current status of CO₂ storage is small compared to huge demand



Carbon dioxide = CO₂ is omnipresent in our environment

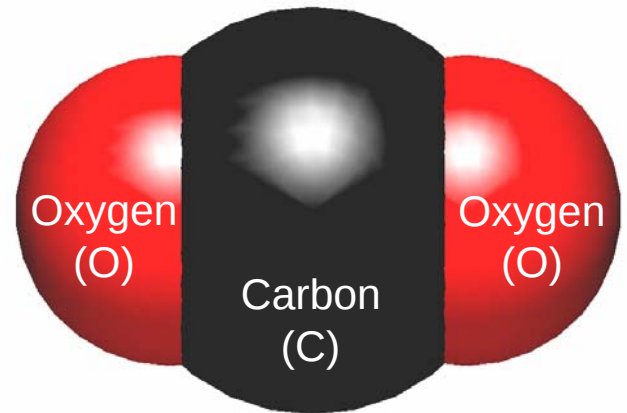
Natural, colourless, non-odorous
and flavourless gas

It forms by:

- Combustion (wood, coal, gas)
- Alcoholic fermentation
- Respiration (human, animal)

Application of CO₂:

- Food (mineral water)
- Cooling agent (air condition)
- Solvent (dry cleaning)
- Fire fighting (fire extinguisher)



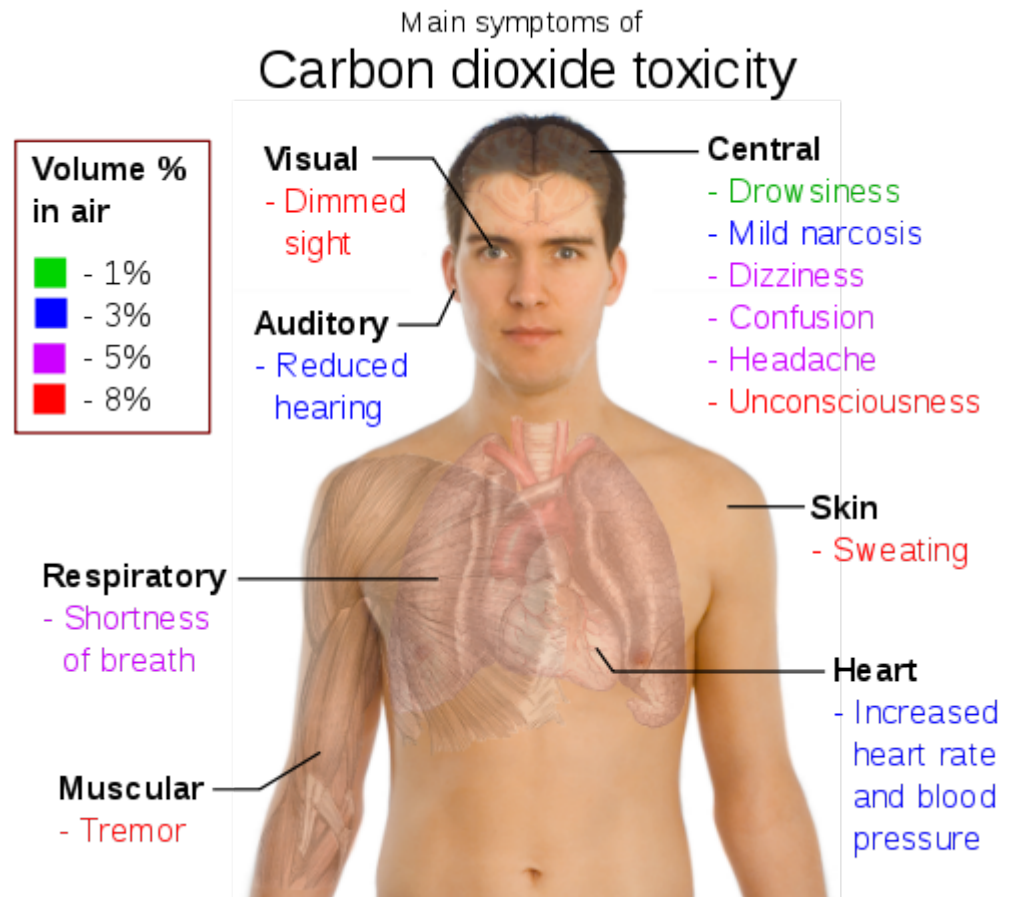
CO₂ is only under strongly increased concentrations dangerous

Natural concentration in ambient air 0,038 %

Physiological effect with concentrations > 1 %

Enrichment in troughs due to higher density than air

Are too high CO₂ concentrations to be expected?



How does this technology work?

State of technology

What is „Carbon Capture and Storage“ – CCS?

What does this technology cost?

How is separation and transport of CO₂ done?

Which options for geological storage do we have?

What happens to the CO₂ in the reservoir?

How safe is CO₂ storage?

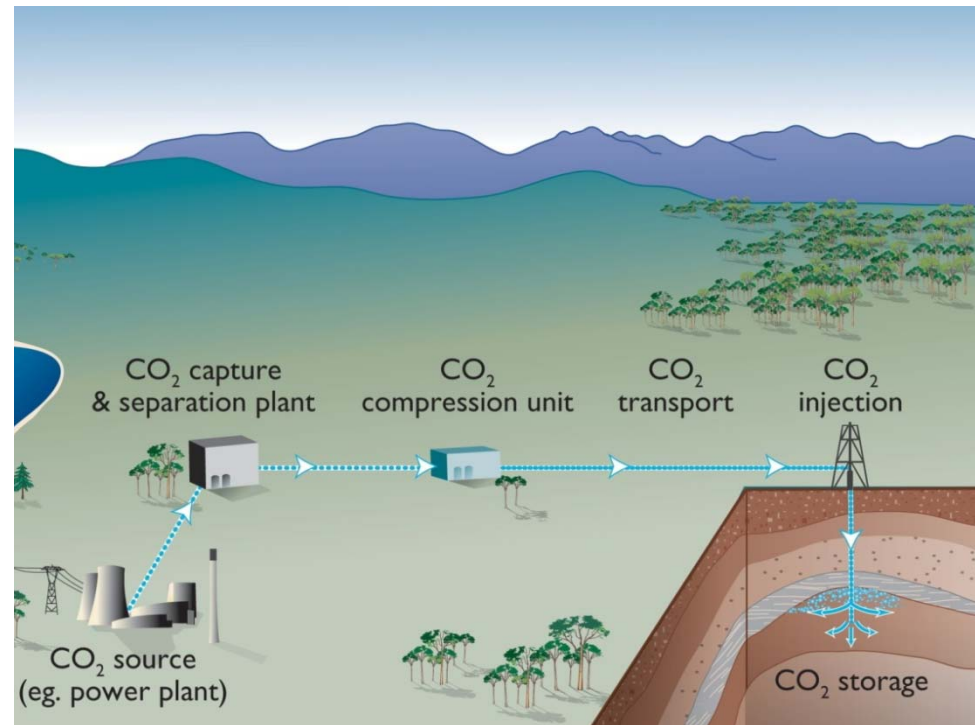
What happens if CO₂ leaks from the reservoir?

How can we monitor storage sites?

CCS – Carbon, Capture and Storage Technology consists of three parts

Operation of CCS means following three steps

- CO₂ is separated via various techniques
- CO₂ is purified, compressed and transported to potential storage sites
- CO₂ is pumped into porous rock formations for long-term storage



CCS causes additional costs due to increased energy requirements

Increased energy input required due to single process steps

- CO₂ separation at plant
- Transport to storage site
- Injection into underground

Comparison of avoidance costs with other alternatives demonstrate competitiveness

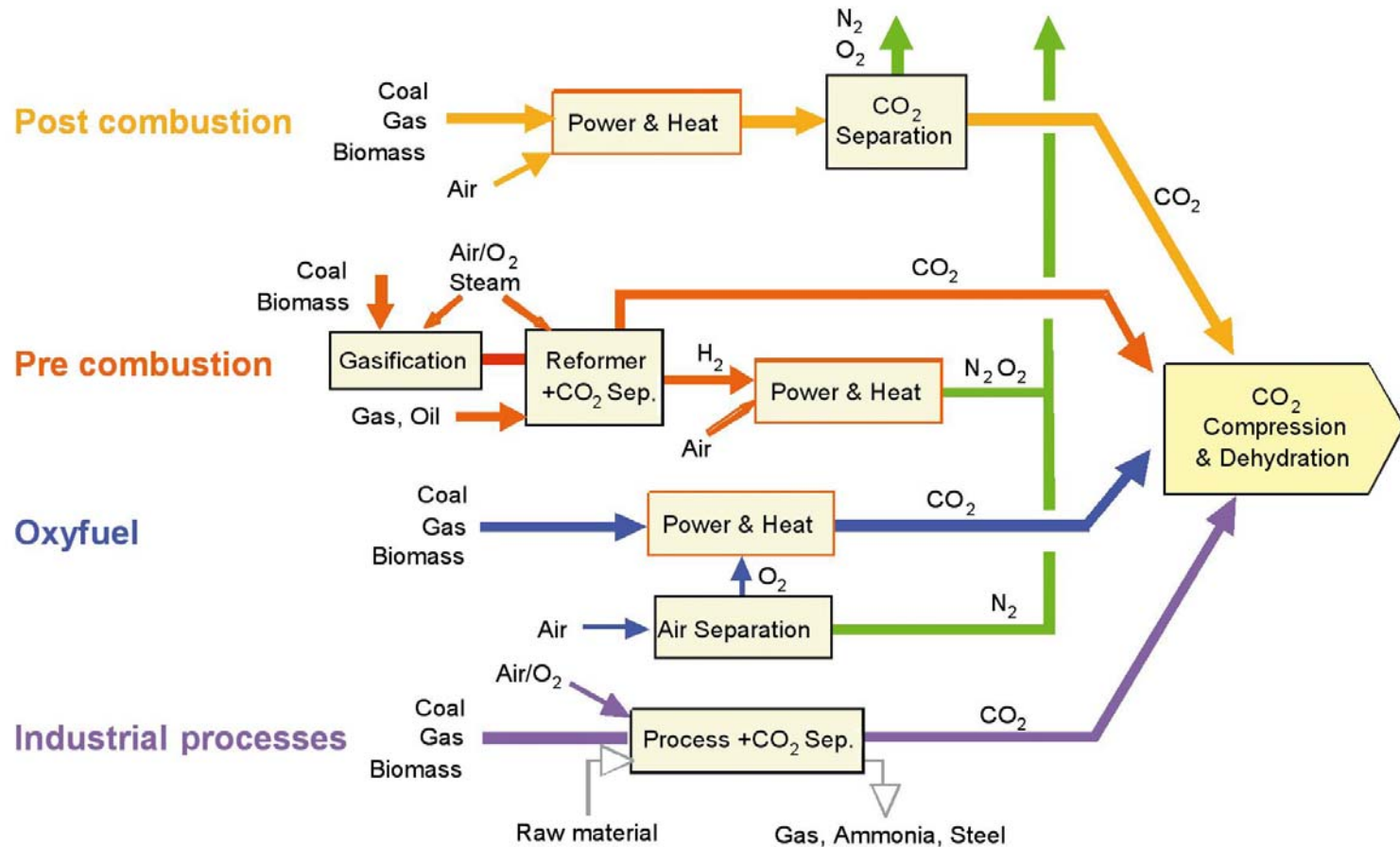
CCS Process step	Costs € / tonne
CO ₂ capture	ca. 50
CO ₂ transport	1-10
CO ₂ storage	10-24

Geotechnologien, 2005

Alternative technology	Costs € / tonne
Solar thermal	29-75
Wind energy	37-91
Geothermal	190-540
Photovoltaic	420-611

Sinn, 2008

There are different types of CO₂ capture systems under development



In the future CO₂ will be transported via pipelines from sources to sinks

Plants are not always in direct vicinity to geological storage sites

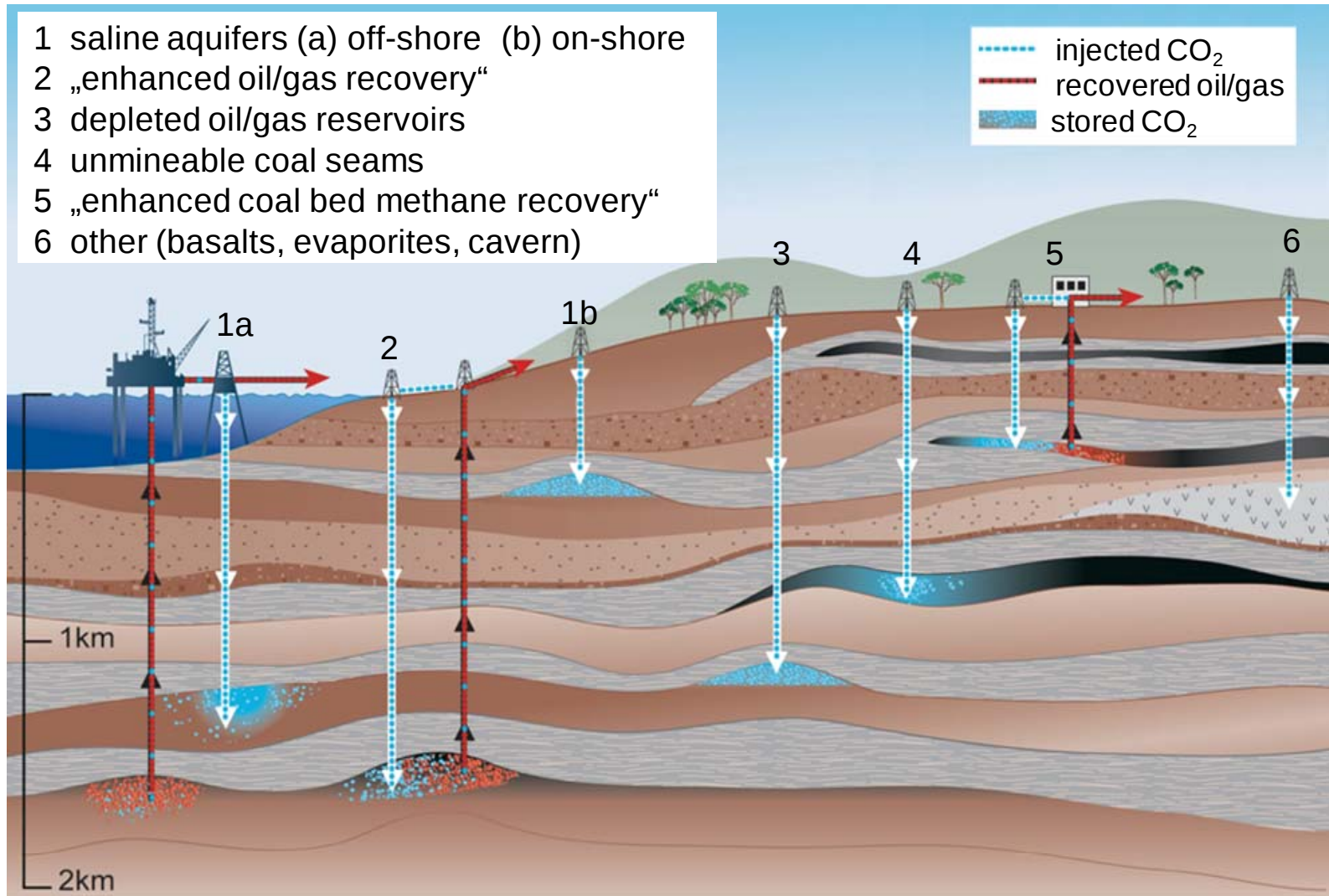
Captured CO₂ will be compressed and liquified and transported via pipelines like natural gas

Transport via	for 5 Mio. t / y
pipeline	1 (Ø ca. 0.5 m)
ships	300
trains	5,000
trucks	250,000

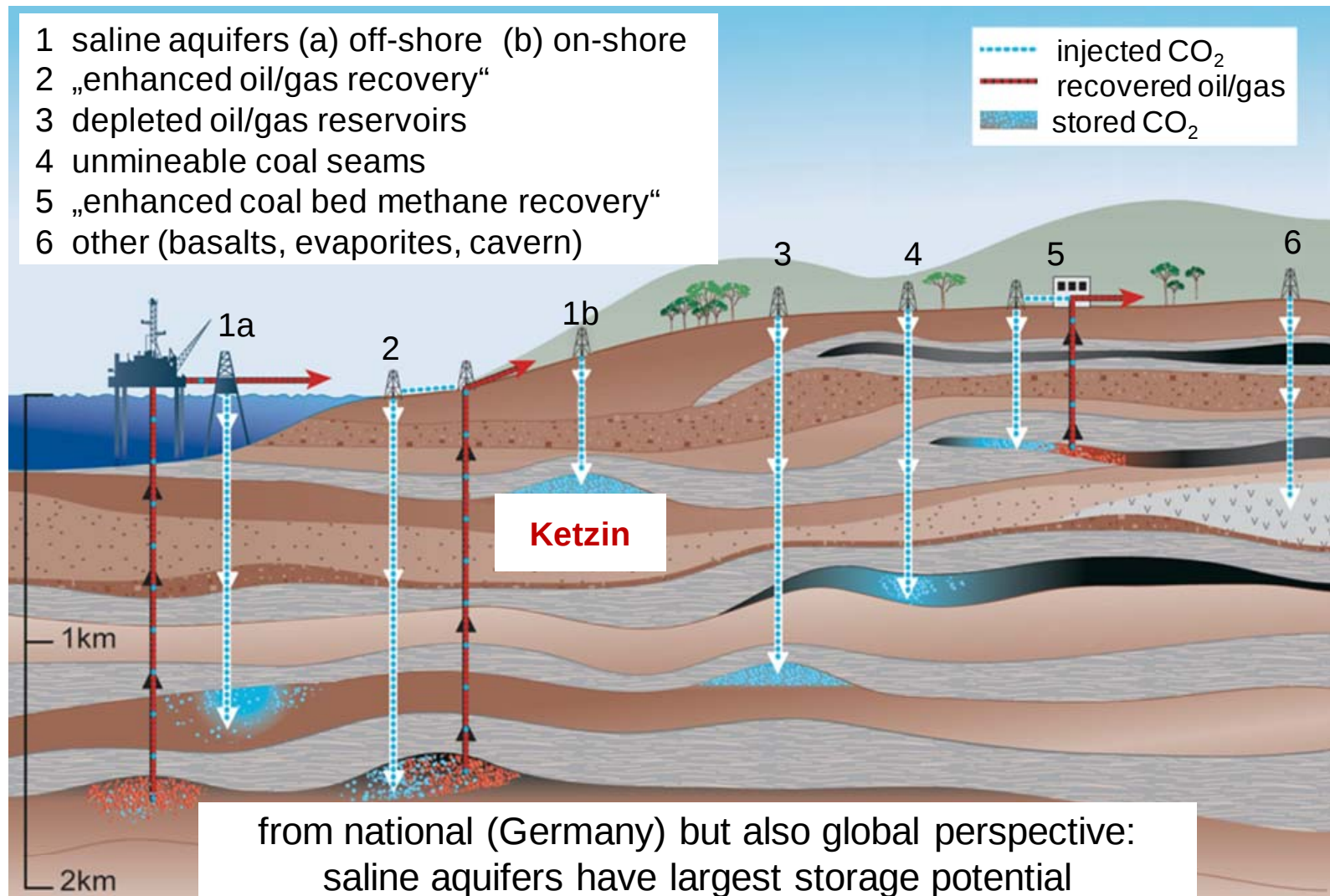


Options for geological storage

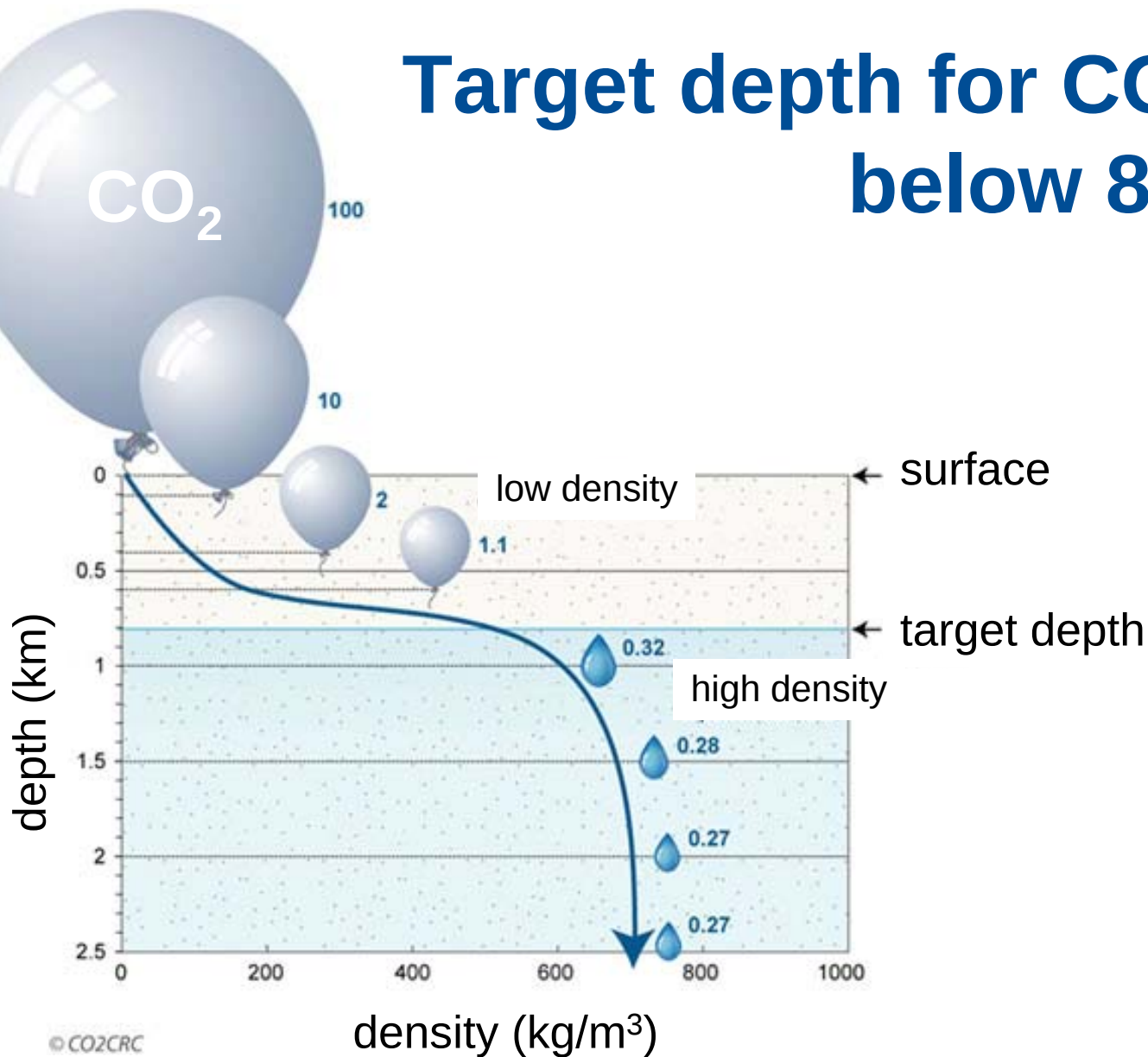
- 1 saline aquifers (a) off-shore (b) on-shore
- 2 „enhanced oil/gas recovery“
- 3 depleted oil/gas reservoirs
- 4 unmineable coal seams
- 5 „enhanced coal bed methane recovery“
- 6 other (basalts, evaporites, cavern)



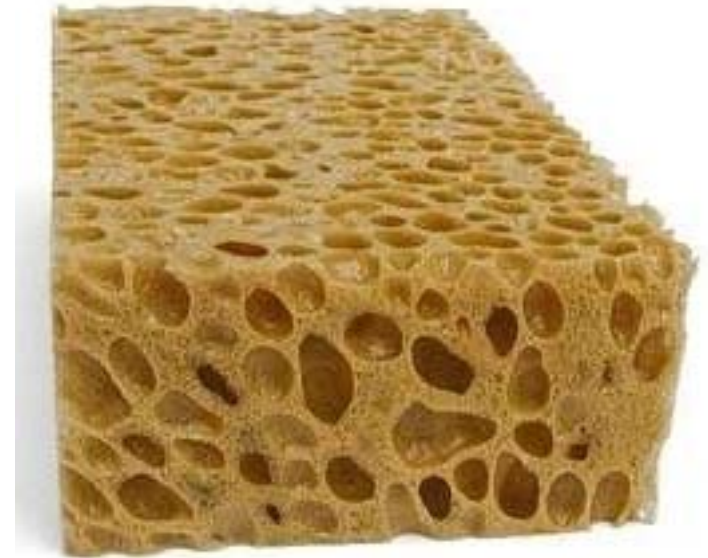
Options for geological storage



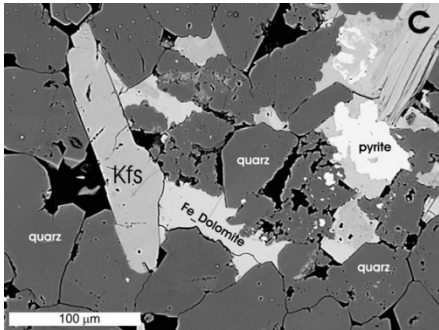
Target depth for CO₂ storage below 800 metres



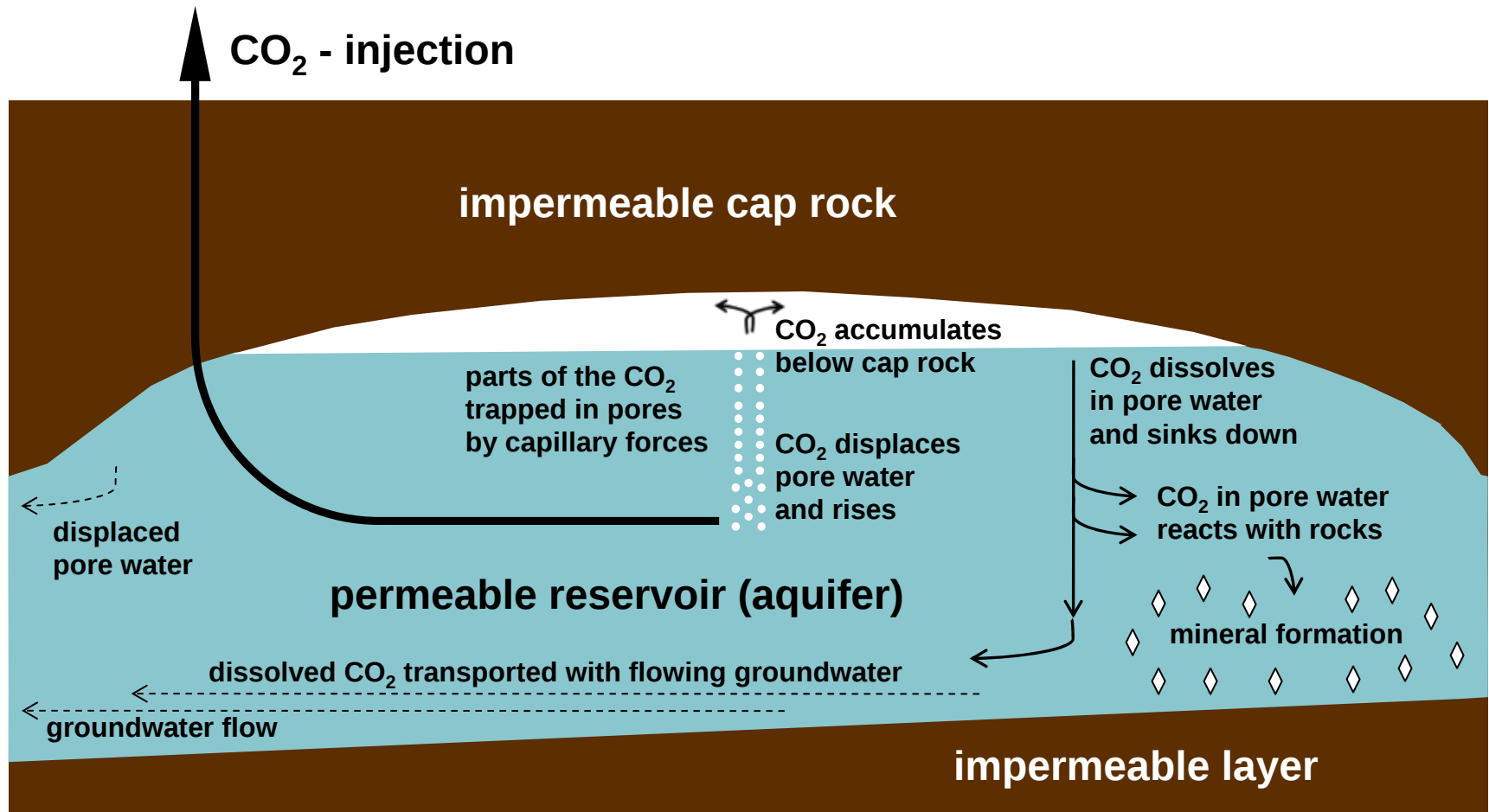
CO₂ is pumped into porous rocks and taken up like water from a sponge



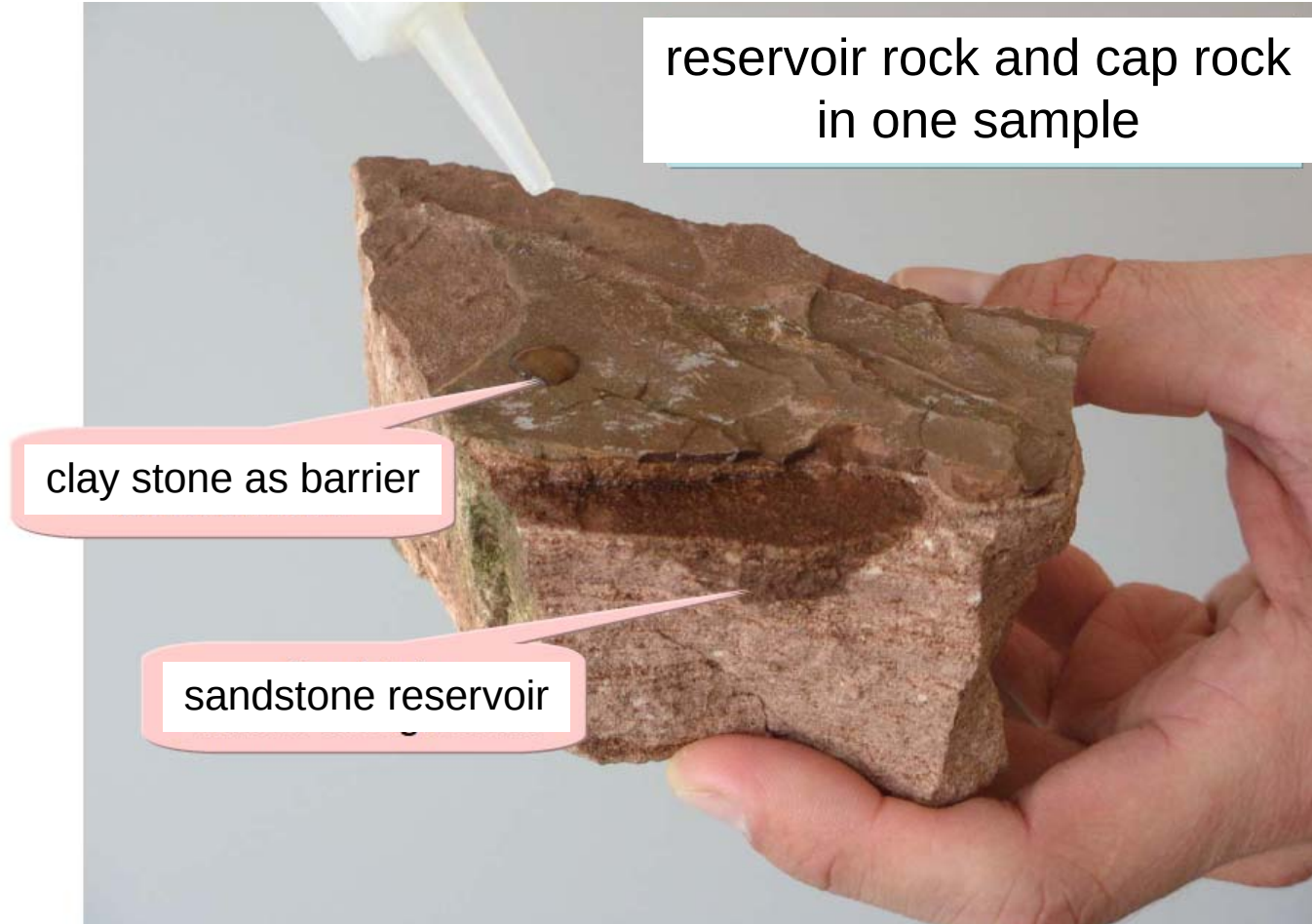
rock texture
with pore space



CO₂ is trapped / held back in porous reservoirs via four major processes



Reservoir rock and cap rock take up fluids or repel fluids, respectively



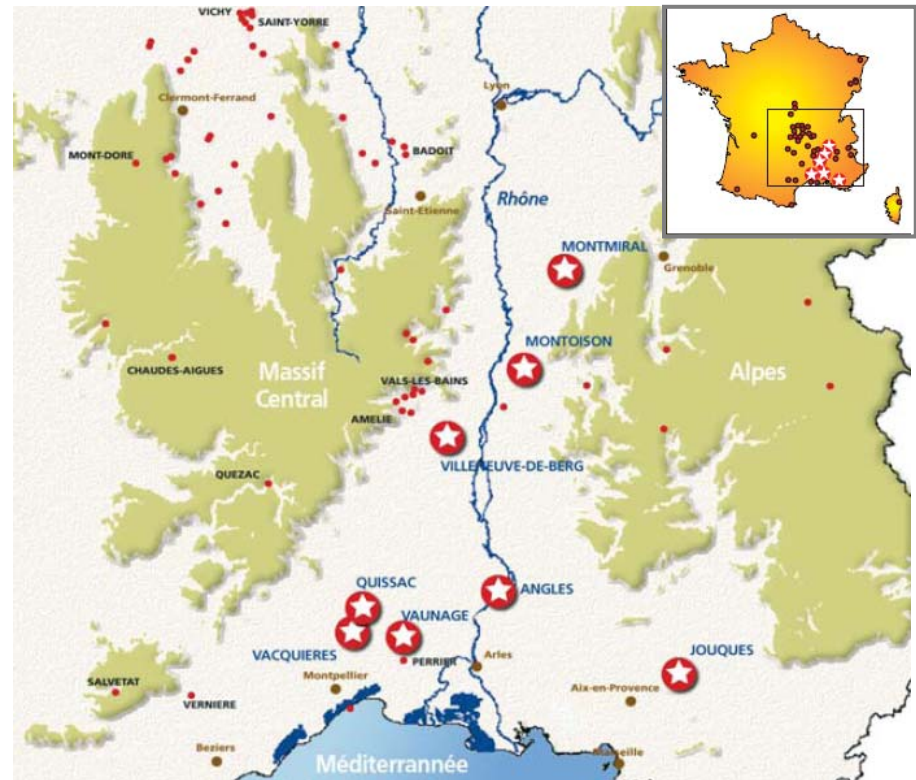
Natural analogues approve that CO₂ can be stored on the long-term

Geological storage of CO₂
invention of nature

Reservoirs exist since
millions of years

Example: Reservoirs in south-east of France

CO₂ stored over geological
time scales efficiently and
safely



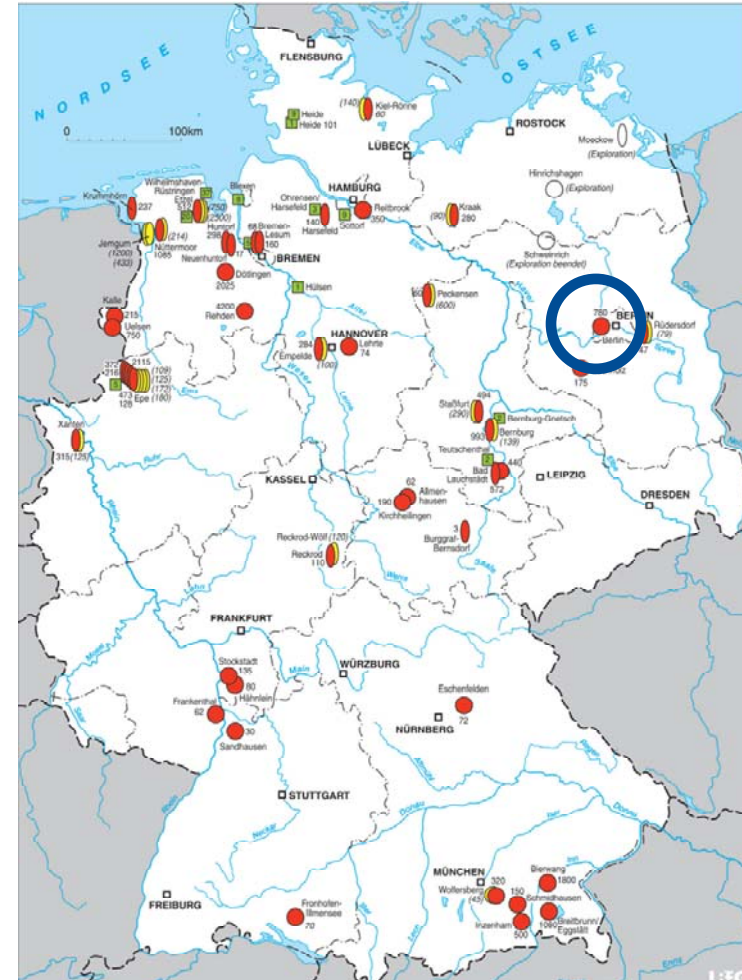
Gas storage demonstrates that technology is mature

Large amounts of natural gas stored

- Adjustment of seasonal variations
- Proven since decades
- More than 50 German locations
- Equivalent of 1-3 Gt CO₂

Example Berlin

- Gas storage in 800 metres depth
- Below natural reserve
- Vicinity to residential, sports and recreation areas

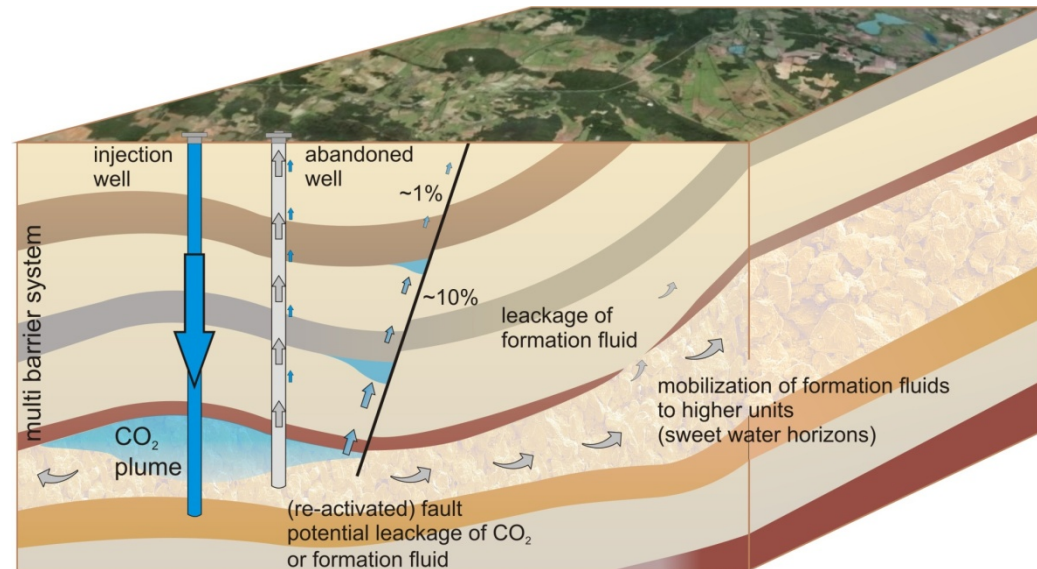


For carefully chosen locations no leakage is to be expected

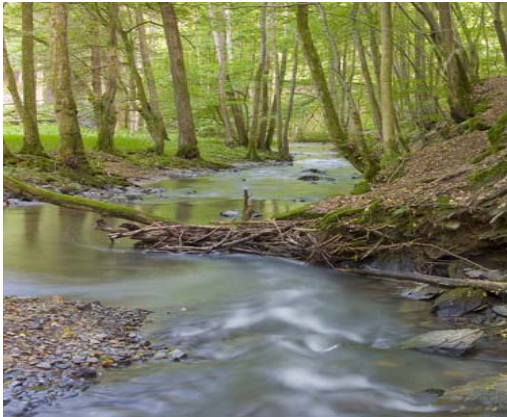
Natural occurrences help to understand constraints

Potential leakage pathways

- Anthropogenic – wells (active and abandoned)
- Natural – fractures and faults
- For CO₂ or salt water



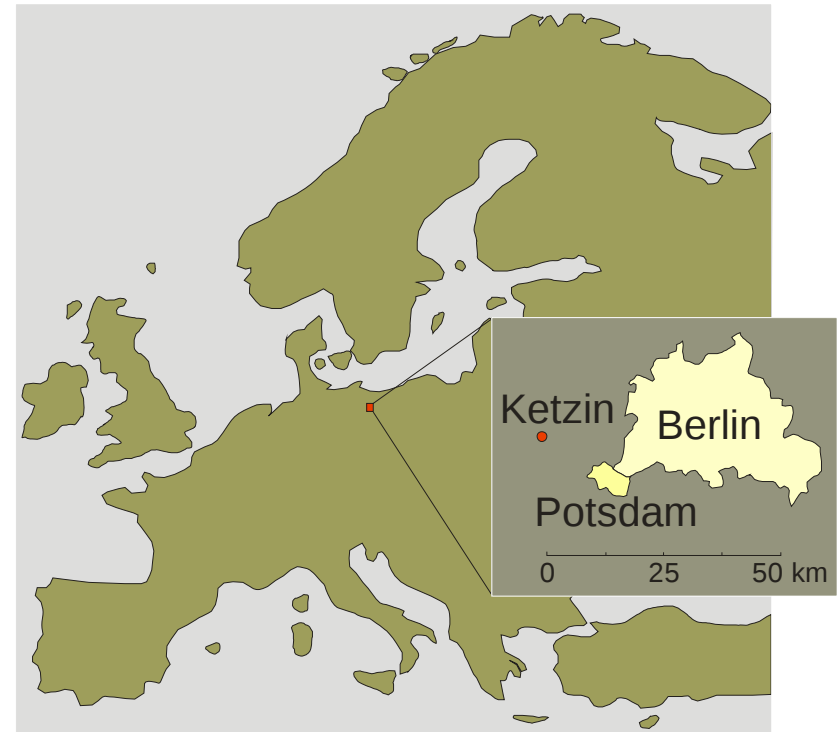
Numerous natural springs demonstrate only small potencial of risk



Due to safety reasons CO₂ storage reservoirs need to be monitored

Monitoring ensures long-term goal of storage

- Operational reasons: Control and optimise injection
- Safety reasons: Protect humans, animals and environment
- Social reasons: Transparency during operation
- Financial reasons: Inspection of stored amount (emission trading)



The CO₂SINK Project

**Coordinator: GFZ – German Research Centre for Geosciences
Centre for CO₂ Storage**

G.E.O.S. Freiberg
Ingenieurgesellschaft mbH

G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft (D)

Geological Survey of Denmark and Greenland (DK)

Mineral and Energy Economy Research Institute (PL)

Det Norske Veritas (N)

Statoil (N)

Shell International Exploration and Production (NL)

University of Stuttgart (D)

Vibrometric Finland (SF)

University of Kent (GB)

Uppsala University (S)

RWE Power AG (D)

International Energy Agency – Greenhouse Gas Programme (GB)

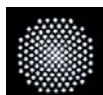
Vattenfall Europe Generation (D)

Verbundnetz Gas AG (D)

Siemens AG Power Generation (D)

E.ON Energie AG (D)

Schlumberger Carbon Services (Fr)

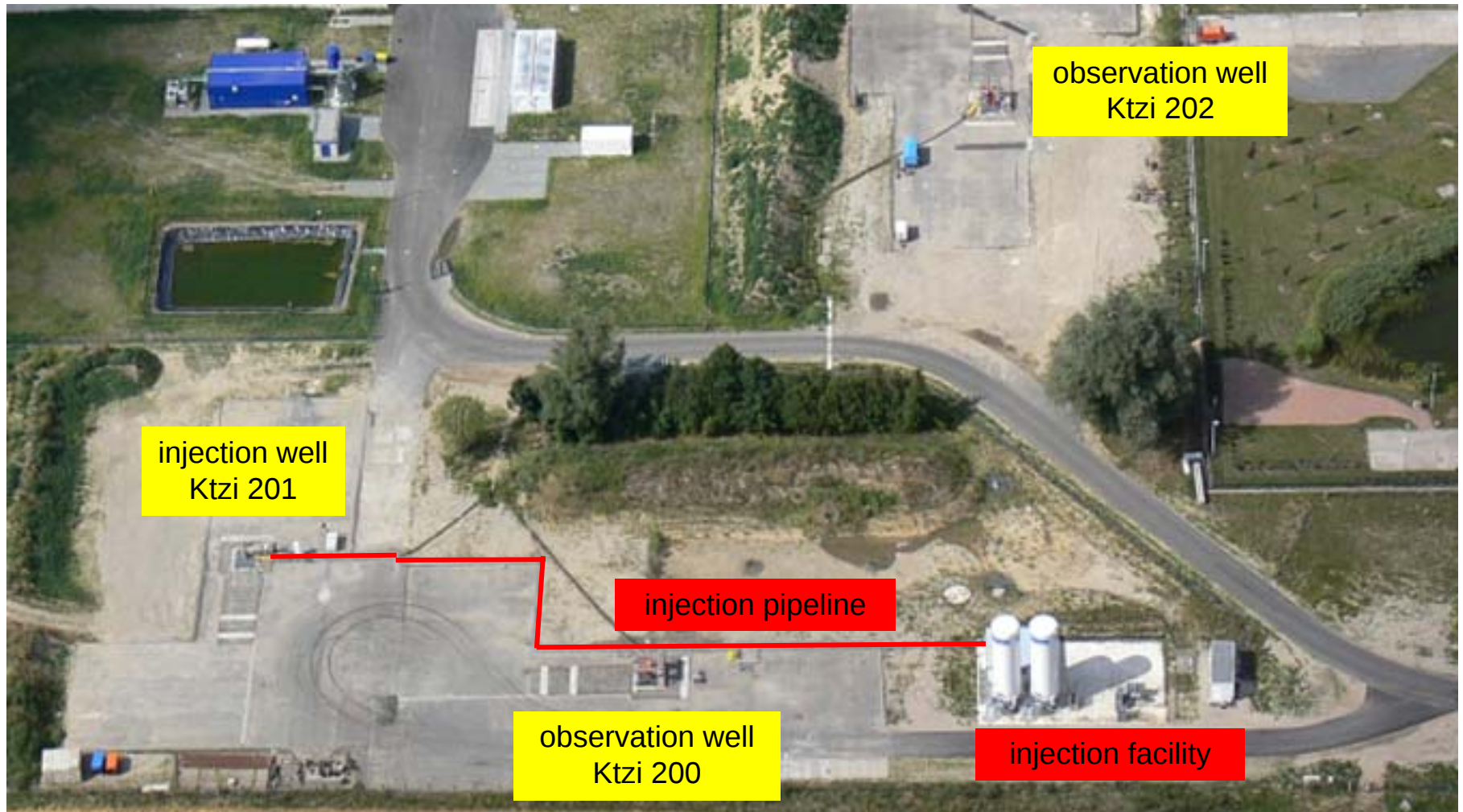


SIEMENS



Schlumberger



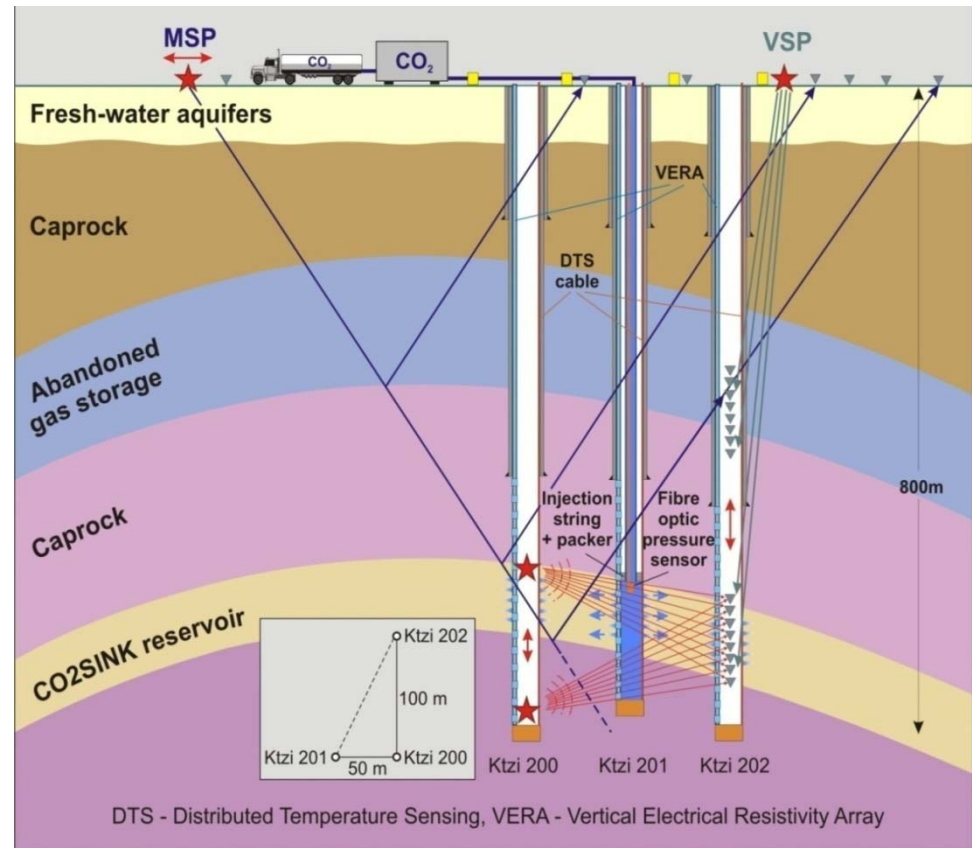


1 injection and 2 observation wells (distances: 50 and 112 m)

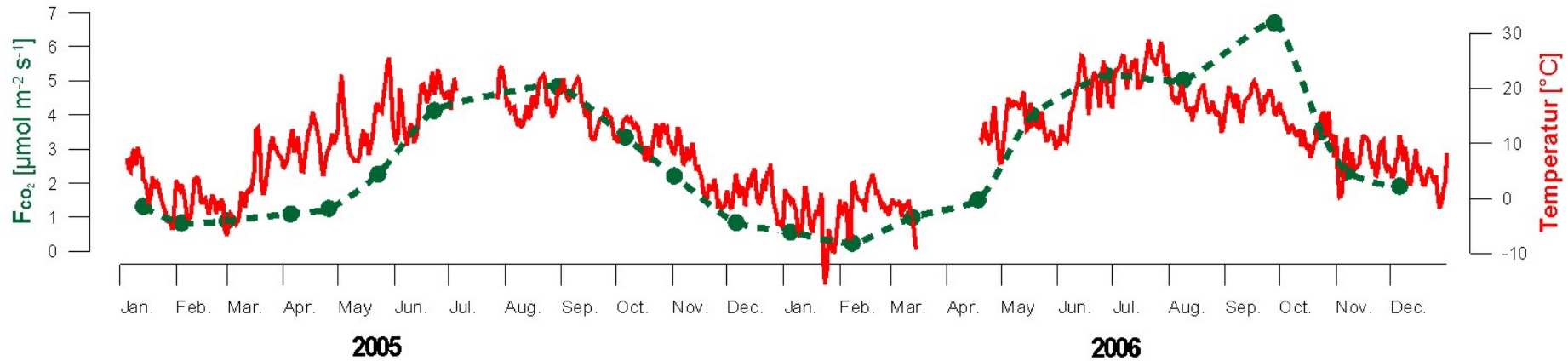
Extensive monitoring concept of Ketzin is worldwide unique

Components of the monitoring program

- **Surface CO₂ flux**
- Well head and bottom hole pressure and temperature
- Gas membrane sensor
- **Seismic measurements**
- **Electrical resistivity**
- Distributed temperature sensing (surface-reservoir)
- Down hole fluid sampling

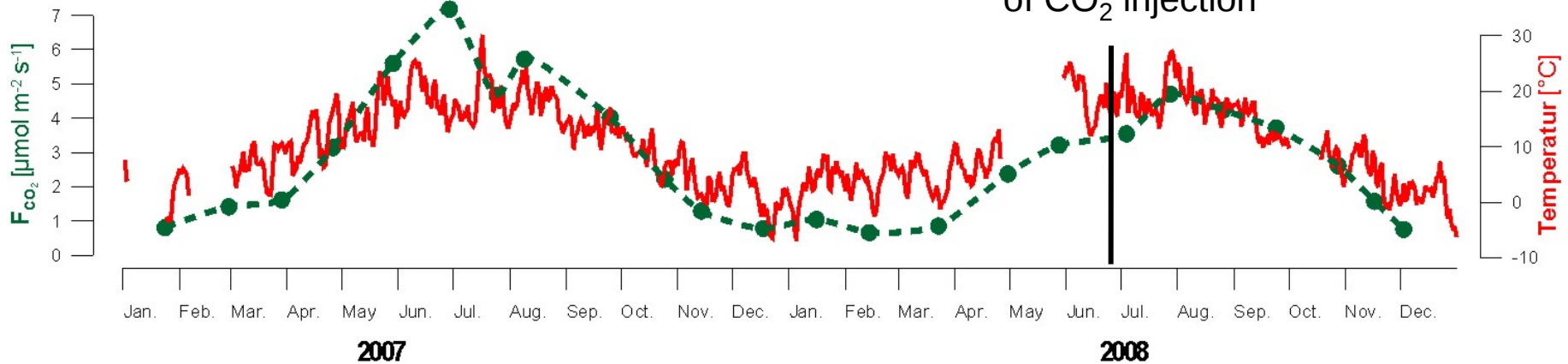


Measurement of CO₂ at the surface



Zimmer et al. 2009

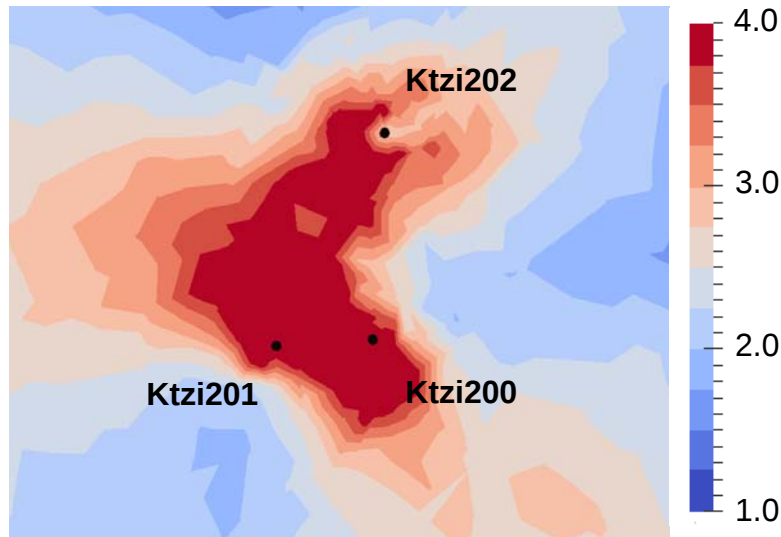
start
of CO₂ injection



no changes in surface CO₂ flux detectable (up to now)

Successful geophysical tomography of the Ketzin underground

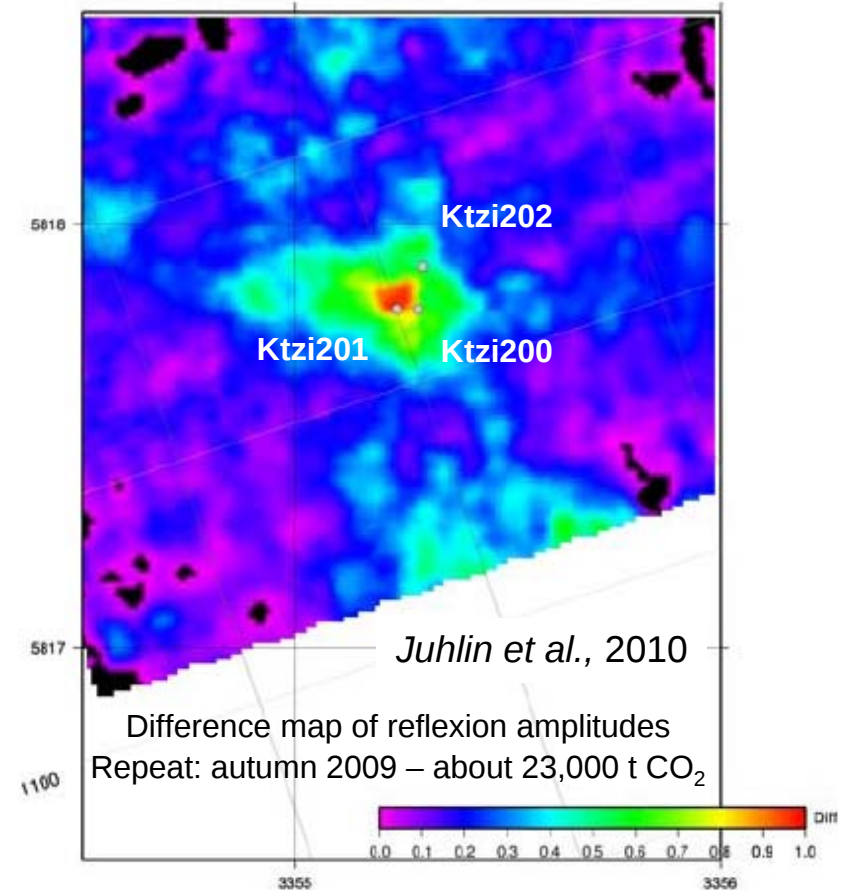
Resistivity measurements



Resistivity-Ratios 3rd Repeat vs. 2nd Baseline
3rd Repeat: 04/2009 – 13,500 t CO₂

Kießling & Rücker, 2010
(unpublished)

3D Seismic



Gained results argue for further tests on the industrial scale

„Ich hätte kein Problem, über einem CO₂-Lager zu wohnen“

Im Havelland wird Kohlendioxid 650 Meter tief in die Erde gepumpt, um zu testen, ob es hält. Forscher Michael Kühn leitet das Projekt.

Potsdam. Im europäischen Projekt „CO₂Sink“ werden Überwachungstechnologien getestet und weiterentwickelt, die notwendig sind, um die sichere Speicherung von Kohlendioxid in der Erde langfristig zu gewährleisten. Unter der Federführung des Deutschen Geo-Forschungsinstituts in Potsdam (GFZ) wird dazu in der Kleinstadt Ketzin im Havelland seit Juni 2008 CO₂ in eine 650 Meter tief gelegene Sandstein-Schicht gepumpt. Maximal 60 000 Tonnen, zurzeit sind es etwa 18 000. **Michael Kühn** (41) leitet das „Zentrum CO₂-Speicherung“ im GFZ. **Axel Borrenkott** sprach mit dem ehemaligen RWTH-Wissenschaftler.

Die aktuelle Bundesregierung verschiebt das Gesetz zur Speicherung von Kohlendioxid auf die nächste Legislaturperiode. Betrifft die Verzögerung Ihre Arbeit?

Kühn: Wir sind nicht betroffen von der Verschiebung. Das Projekt ist bergrechtlich genehmigt. Das Gesetz ist aufgeschoben, aber nicht aufgehoben, weil die EU-

Richtlinie umgesetzt werden muss. Nach der Wahl wird man wieder diskutieren.

Was ist die wesentliche Aufgabe des Projekts CO₂Sink?

Kühn: Unser Fokus liegt auf der Überwachung der physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Prozesse, die bei der Einlagerung eine Rolle spielen. Wir beschreiben diese Prozesse. Das ist das erste Projekt in Europa, das die CO₂-Speicherung an Land testet und die dazu nötige Technologie erforscht. Man braucht aber unbedingt auch größere Standorte, um die Risiken bei größeren Mengen abschätzen zu können.

Wie wahrscheinlich ist es, dass in der Erde gespeichertes CO₂ austritt?

Kühn: Völlig ausschließen kann man nicht, dass CO₂ aus einem Speicher austritt. Nichts ist 100-prozentig dicht. Es ist aber extrem unwahrscheinlich, dass größere Mengen aus entsprechend gründlich erkundeten und ausge-

wählten Speichern austreten. Katastrophale Ausbrüche sind nicht zu erwarten. CO₂ kann man nur sehr langsam nach unten pumpen, und es kann nicht schneller raus als es reingekommen ist. Die größte Menge wird unten bleiben. Es muss natürlich sichergestellt werden, dass die Mengen, die austreten, Mensch und Umwelt nicht gefährden.

Der Mensch sondert ja auch reichlich CO₂ ab. Die Menge, die Sie in Ketzin verpressen, soll etwa dem Jahresausstoß der 150 000 Einwohner von Potsdam entsprechen.

Kühn: Ja, ich glaube, die Zahl ist ungefähr richtig. Zum Vergleich: In der Eifel entweicht jeweils pro Jahr geschätzt eine Million Tonnen CO₂ auf völlig natürliche Weise durch normale Risse in dem vulkanischen Gestein. Das wurde doch noch nie als Problem betrachtet. Die geologischen Formationen in Ketzin, die wir untersuchen, sind viel ruhiger, ganz anders aufgebaut und haben aufgrund ihrer ungestörten Lagerung

keine oder kaum Risse, sondern sogar viele Schichten, die aufsteigendes Gas immer wieder stoppen würden. Wir machen uns eher Gedanken darüber, ob wir eventuell austretende Mengen überhaupt messen könnten. Man sollte nicht vergessen: Seit Millionen Jahren werden in natürlichen unterirdischen Räumen riesige Mengen Erdgas zurückgehalten.

Wie gefährlich wäre denn CO₂,



Geo-Forscher Michael Kühn.

wenn es austritt?

Kühn: Es ist nicht giftig, sondern im Mineralwasser und Bier zu finden und es brennt nicht – es ist ja auch in Feuerlöschern enthalten. Bei größeren Konzentrationen in Senken, eben weil es Sauerstoff verdrängt wie beim Feuerlöschen, besteht die Gefahr zu ersticken. Dass so hohe Konzentrationen an der Erdoberfläche auftreten, ist extrem unwahrscheinlich. Doch man sollte auch nicht sagen, dass gar kein Risiko besteht. Mein stärkstes Argument: Ich hätte kein Problem, über einem CO₂-Lager zu wohnen.

Aber die Akzeptanz in der Bevölkerung – mit den entsprechenden Reflexen in der Politik – ist denkbar gering. Die Menschen denken an Asse und überhaupt an Atomlager.

Kühn: Ja. Vielleicht müsste man CO₂ unter dem Reichstag speichern, um zu demonstrieren, wie sicher das ist... Der Vergleich mit Asse und anderen Atomlagern ist noch falscher als der von Äpfeln und Birnen. In der Asse wur-

den und werden Stoffe gelagert, die im Gegensatz zu CO₂ auf gar keinen Fall austreten dürfen.

Kritiker sagen, es wäre viel sinnvoller, CO₂ wenn man es den schon nicht verhindern kann, zu verwenden statt zu speichern.

Kühn: Es wäre toll, wenn morgen jemand käme und hätte die super Idee dafür. Das sehe ich aber am Horizont der Forschung nicht. Das Speichern ist sicherlich nicht die einzige Lösung für das Treibhausgas-Problem, es ist nur eine von vielen Möglichkeiten, wie man damit umgehen kann. Das ganz grundlegende Problem bei CO₂ sind die unglaublich großen Mengen. Weiterverwenden kann man davon, nach allem was wir bisher wissen, nur einen geringen Teil. Grundsätzlich problematisch dabei ist auch, dass man stets große Mengen Energie reinstecken muss, um CO₂ nutzen zu können. Das sieht man ja an der natürlichen Photosynthese, die für die Erzeugung von Sauerstoff jede Menge Lichtenergie braucht.

„I would not mind living above a CO₂ storage site.“