

## SP 3: Einsatz von Kohlenstoffmanagement-Technologien zur Erreichung des Schweizer Netto-Null Klimaziels 2050

Gianfranco Guidati<sup>1\*</sup>, Paula Castro<sup>2</sup>, Christina Marchand<sup>3</sup>, Malte Winkler<sup>4</sup>, Florian Landis<sup>2</sup>, Matthias Honegger<sup>4</sup>, Regina Betz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Energy Science Center, ETH Zurich, Zurich, Switzerland; <sup>2</sup> Center for Energy and the Environment, Zurich University of Applied Sciences (ZHAW), Winterthur, Switzerland; <sup>3</sup> Institute of Innovation and Entrepreneurship, ZHAW, Winterthur, Switzerland; <sup>4</sup> Perspectives Climate Change, Freiburg, Germany

\* Kontakt für weitere Fragen: [gianfranco.guidati@esc.ethz.ch](mailto:gianfranco.guidati@esc.ethz.ch)

### Zusammenfassung

- Um das Schweizer Netto-Null-Klimaziel bis 2050 zu erreichen, müssen jährlich 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>e im Inland und 5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>e im Ausland entfernt werden. Diese Studie untersucht den Einsatz von Kohlenstoffmanagement-Technologien (CMT) unter vier narrativen Zukunftsszenarien.
- **Methode:** Modellierung optimaler Investitions- und Betriebsstrategien mit dem SES-ETH-Modell zur Minimierung der Gesamtkosten des Energiesystems.
- **Hauptergebnisse:** Grenzvermeidungskosten variieren stark zwischen den Szenarien. Geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung ist bei niedrigen Transportkosten die bevorzugte Lösung. Speicherung im Holzbau ist in allen Szenarien Teil des optimalen Mixes.
- **Politikempfehlungen:** Frühzeitige Entwicklung einer CO<sub>2</sub>-Transportinfrastruktur. Regelung regulatorischer Rahmenbedingungen auf Bundesebene. Nachhaltige Bewirtschaftung von Biomasse. Verstärkte internationale Zusammenarbeit.

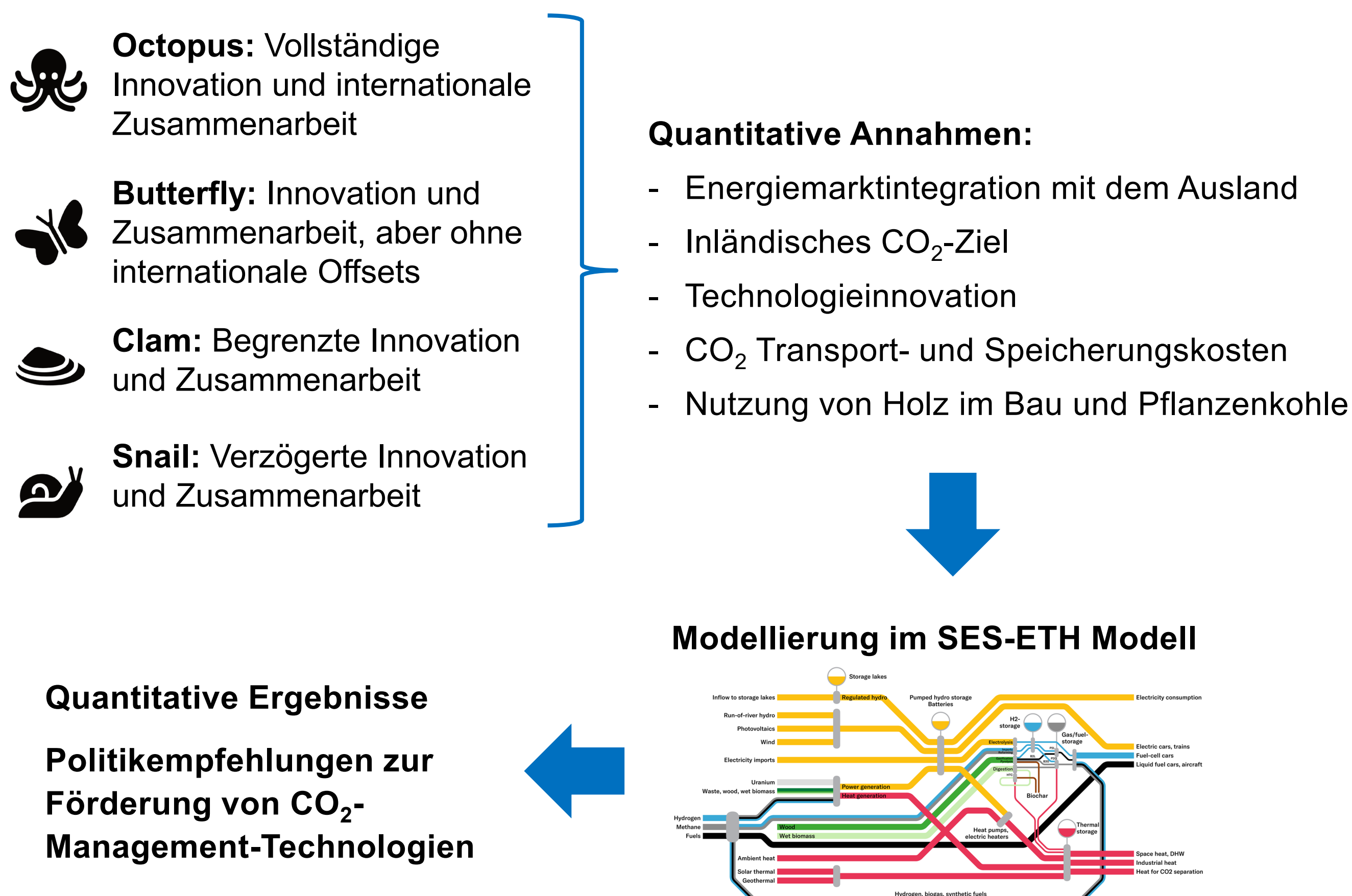
### Was war die Fragestellung?

Gemäss den Schweizer Energieperspektiven 2050+ müssen im Jahr 2050 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>e schwer reduzierbarer THG-Emissionen im Inland sowie 5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>e im Ausland entfernt werden, um das Netto-Null-Klimaziel zu erreichen. Die Skalierung der erforderlichen Technologien – nämlich CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung und/oder -Speicherung (CCUS) und Negativemissionstechnologien (NET) – erfordert erhebliche Investitionen in neue Infrastruktur sowie ein förderliches politisches Umfeld. Um zu verstehen, welche CO<sub>2</sub>-Management-Technologien (CMT) benötigt werden, müssen potenzielle Trade-offs zwischen den verschiedenen Technologien hinsichtlich der Ressourcennutzung und der Auswirkungen auf das Energiesystem abgewogen werden, sowie potenzielle Szenarien für die Entwicklung der Schweizer Gesellschaft berücksichtigt werden.

Ziel dieser Studie ist es, anhand verschiedener narrativer Zukunftsszenarien zu untersuchen, **welche CO<sub>2</sub>-Management-Technologien eine wichtige Rolle für die Erreichung des Netto-Null-Ziels der Schweiz im Jahr 2050 spielen könnten.**

### Was wurde gemacht?

Vier Narrative zur Entwicklung der Schweizer Gesellschaft und Wirtschaft wurden entwickelt und in quantitative Annahmen zur Klima- und Energiepolitik sowie zur technologischen Innovationskraft übersetzt. Diese wurden mit den SWEET-CROSS-Szenarien (REF 3) für eine Netto-Null-Schweiz im Jahr 2050 kombiniert und mit dem Swiss Energyscope-Modell der ETH Zürich (SES-ETH, REF 4) modelliert, um den Einsatz von CMT unter den vier Narrativen zu quantifizieren. Das Modell ermittelt die Investitions- und Betriebsstrategien, die die jährlichen Gesamtkosten des Energiesystems minimieren, unter Berücksichtigung des Endverbrauchsbedarfs an Strom, Wärme und Mobilität, der Effizienz und Kosten der Umwandlungstechnologien sowie der Verfügbarkeit und Kosten der Energieressourcen.



### Was waren die Ergebnisse?

- Die Grenzvermeidungskosten pro Tonne CO<sub>2</sub> variieren stark zwischen den Szenarien – von 200 CHF (Octopus) bis 1280 CHF (Clam) und zeigen, wie teuer die CMT im Vergleich zu Emissionsvermeidungen sind (Abbildung 1).
- Die Speicherung im Holzbau ist immer Teil des optimalen Mixes und sollte darum gefördert werden (Abbildung 2).
- Die Speicherung von CO<sub>2</sub> als Gas ist immer möglich und die bevorzugte Lösung, sofern die Transportkosten niedrig sind (100–200 CHF/tCO<sub>2</sub>). Darum ist es wichtig, schon jetzt mit der Planung einer Schweizer CO<sub>2</sub>-Transportinfrastruktur anzufangen.
- Bei höheren Transport- und Speicherkosten wird auf die Speicherung in Form von Pflanzenkohle und die CO<sub>2</sub>-Nutzung umgestellt. Letzteres ist mit deutlich höheren Kosten und nur mit einem höheren Energiebedarf erreichbar.

Abbildung 1: Grenzvermeidungskosten

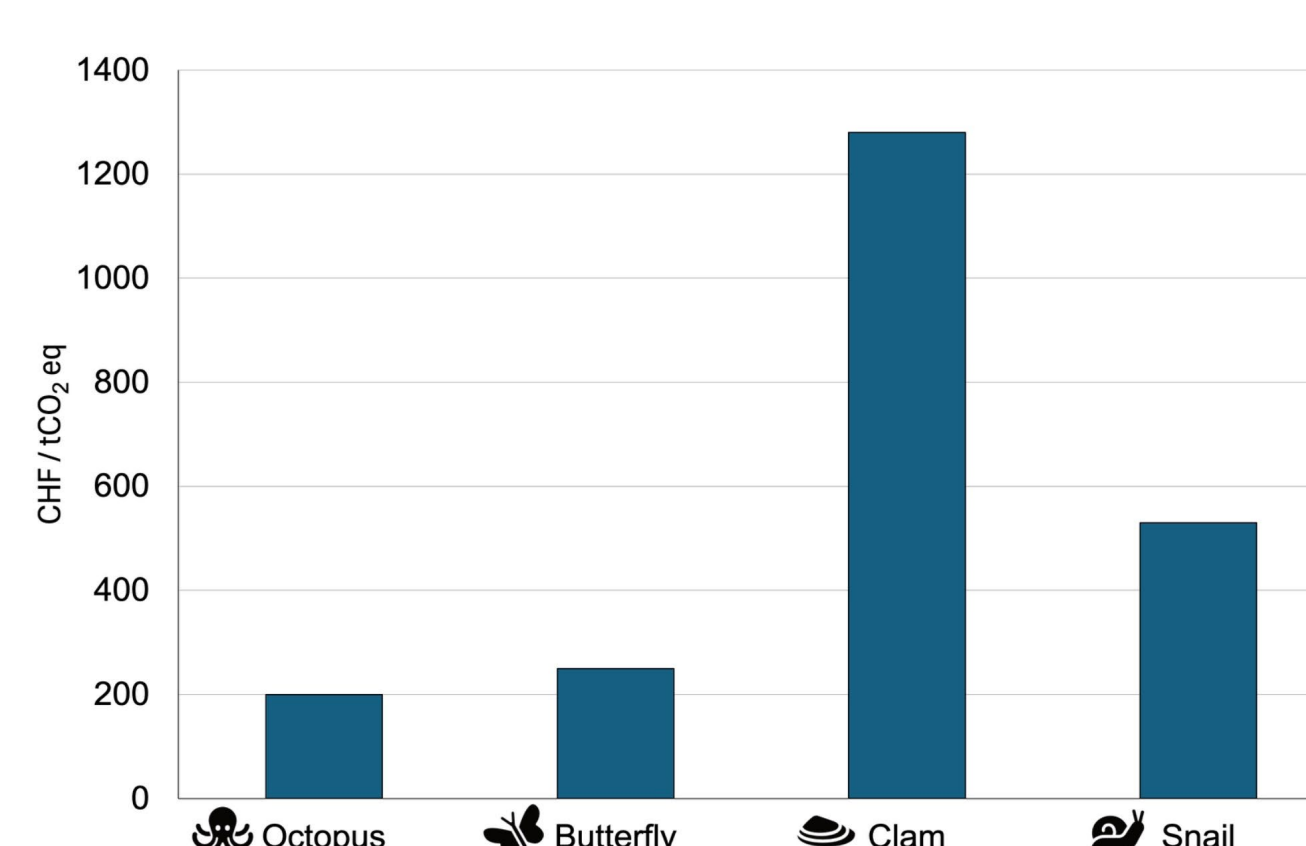
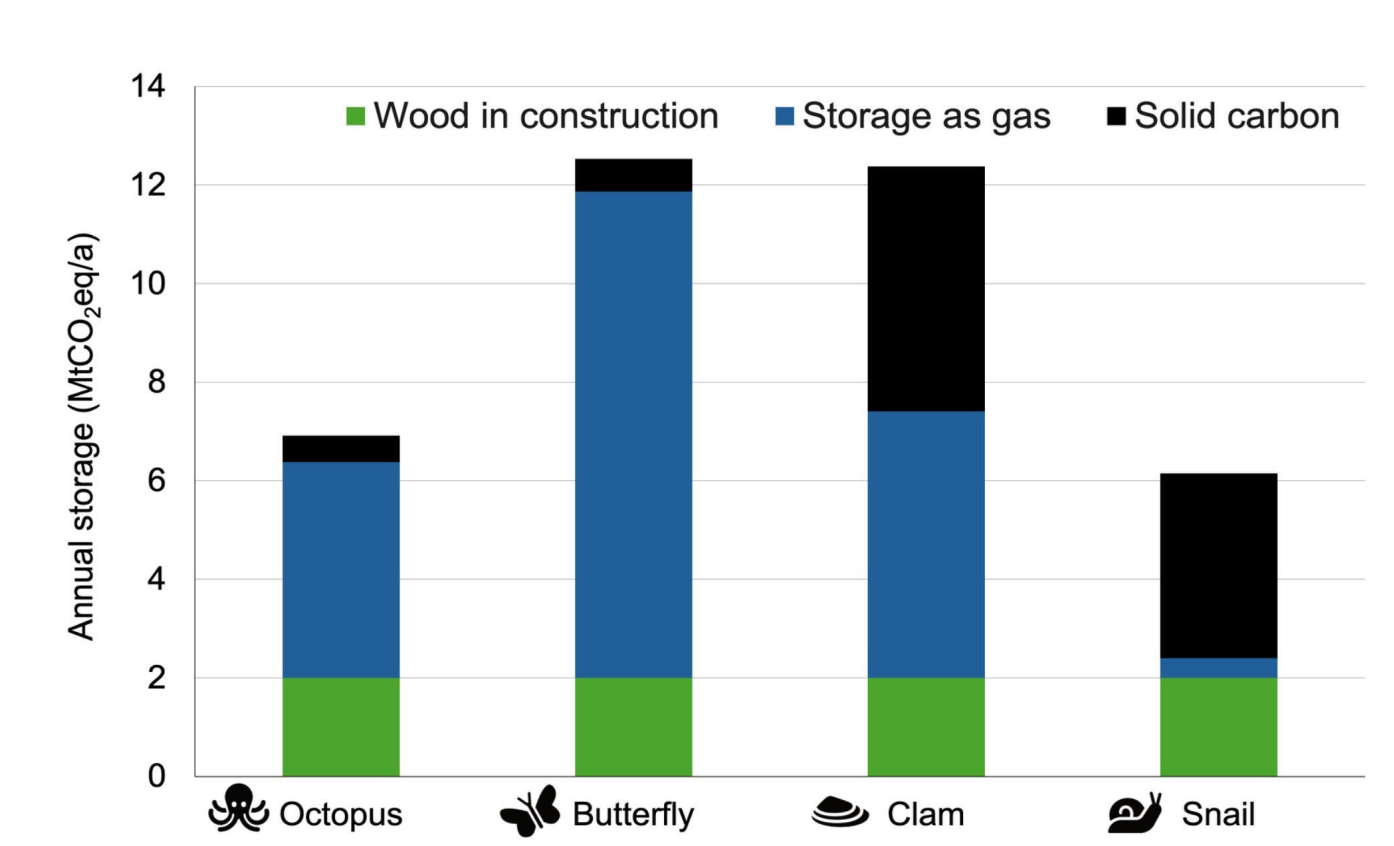


Abbildung 2: Optimale Zusammensetzung der Speichertypen



### Was ist aus dem Ergebnis geworden und wie geht es weiter?

Die Ergebnisse wurden in einem DeCIRRA Bericht veröffentlicht und bei mehreren internen und externen Veranstaltungen vorgetragen. Die entstandenen Politikempfehlungen dienen als Basis der Modellierung von Verteilungseffekten der Nutzung von CMT in der Schweiz.

### Welche Handlungsempfehlung gibt es?

- Die internationale Zusammenarbeit – z.B. beim Energiemarkt, CO<sub>2</sub>-Transport, CO<sub>2</sub>-Kompensation – ist für eine kostengünstige Erreichung des Schweizer Netto-Null Ziels sehr wichtig.
- Regulatorische Rahmenbedingungen für Abscheidung, Transport und Speicherung von CO<sub>2</sub> sollten vorzüglich frühzeitig und auf Bundesebene geregelt werden.
- Die Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Biomasse ist entscheidend, da die Biomasse ein begrenzter Faktor bei vielen Technologien ist.
- Da die Massnahmen zur Erreichung von Netto-Null sehr viele Sektoren betreffen, bedarf ihre Regulierung einer guten Koordination über viele Bundesämter hinweg.