

# Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem

H. Warmuth, T. Steffl, L. Zillner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**12/2021**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem

Mag.(FH) Hannes Warmuth, Laurin Zillner  
Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik

Ing. Thomas Steffl, MSc.  
scenario editor e.U.

Wien, März 2021

Ein Projektbericht im Rahmen der Schriftenreihe Nachhaltig Wirtschaften,  
Berichte aus Energie- und Umweltforschung.

Das Projekt wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz,  
Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) durchgeführt.



# Vorwort

Österreichs Energieforschungs- und Innovationspolitik muss alle nachhaltigen Optionen für eine zukünftige Energieversorgung — im Spannungsfeld von Klima- und Umweltschutz und Versorgungssicherheit zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten — in Betracht ziehen. Gleichzeitig muss sie sich aus dem fest verwurzelten „Denken in Silos“ befreien und Schwerpunkte der Energieforschung sowohl auf der Angebotsseite (Bereitstellung, Verteilung und Speicherung) wie auch auf der Nachfrageseite (Anreize für nachhaltige Energieversorgung, neue Business Modelle und Akzeptanz in der Gesellschaft) thematisieren. Um den Weg für die Umsetzung zukünftiger Technologieoptionen und Maßnahmen offenzuhalten, muss die Forschung die Unabhängigkeit besitzen, auch über längere Zeiträume Aspekte zu bearbeiten, die gegenwärtig nicht im Mittelpunkt der politischen Handlungsoptionen liegen. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund, dass die politischen, sozioökonomischen, ökologischen und klimatischen Randbedingungen und Handlungsoptionen der Politik für langfristige Zeithorizonte über 2050 hinaus kaum vorhersehbar sind.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse des Projekts „Popcorn-Technologien“ in dem systematischen Versuch, in die langfristige Zukunft von Technologieentwicklung, Wirtschaft und Gesellschaft zu blicken, um aufkommende Technologien und radikale Innovationssprünge zu identifizieren, die einen ökonomischen und / oder sozialen Nutzen bringen. Unter Berücksichtigung der Leitlinien der nationalen Energieforschungs- und Innovationsstrategie, ist die Entwicklung einer integrierten Systemsicht eine der zentralen Herausforderungen im zukünftigen Energiesystem, weshalb besonderer Fokus auf die Übertragbarkeit und Anwendung bestehender Technologien auf andere Anwendungsbereiche gelegt wurde.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

## Danksagung

Im Rahmen des gegenständlichen Vorhabens wurde eine ExpertInnen-Umfrage zur Einschätzung der F&E-Kapazitäten heimischer Industrie und Forschungseinrichtungen sowie kritischer und fördernder Faktoren und Rahmenbedingungen durchgeführt. Die Autoren bedanken sich bei den teilnehmenden ExpertInnen für den geleisteten Beitrag: Andreas Indinger (AEA), Andreas Krenn (Energiewerkstatt), Günter Simader (AEA), Axel Sormann (K1 Met), Christian Wögerer (Profactor) sowie 10 weiteren Personen.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Hintergrund und Definitionen</b> .....	<b>12</b>
	3.1. Definition von Popcorn-Technologien innerhalb des Innovationsbegriffes .....	13
	3.2. Foresight als Werkzeug die Zukunft zu antizipieren .....	14
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>15</b>
	4.1. Methodik.....	15
	4.2. Identifizierte und analysierte Energietechnologien.....	18
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>30</b>
	7.1. Abbildungsverzeichnis .....	30
	7.2. Tabellenverzeichnis.....	30
	7.3. Literaturverzeichnis .....	30
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>34</b>





# 1 Kurzfassung

Zukunftsszenarien und Foresight-Studien für das Energiesystem können lediglich eine Schwankungsbreite an möglichen Resultaten liefern. Gerade wenn bestimmte Technologie-Entwicklungen unterstellt werden, nehmen Unsicherheiten signifikant zu. Die Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem zielt darauf ab, eine Unterstützung für die Erstellung von Zukunftsszenarien und die Entwicklung von FTI-Strategien zu sein. Einerseits kann damit bei der Entwicklung von Szenarien auf die Vorarbeit zu entsprechenden Technologiesprüngen zurückgegriffen werden. Andererseits können strategische Maßnahmen getroffen werden, die diese Technologiesprünge gezielt hervorrufen.

Ziel des Projekts Popcorn-Technologien war die Identifizierung von Energietechnologien und Energieinnovationen, die sich derzeit in einem relativ frühen Entwicklungsstadium (TRL 3-7) befinden, technisch und wirtschaftlich jedoch ein enormes Potenzial aufweisen. Daraus abgeleitet, es sollen neue Akzente bei bereits bestehenden Themen der Energieforschung gesetzt sowie ggf. neue F&E-Themen aus der Perspektive einer öffentlichen Förderung identifiziert werden. Die Bestimmung der Kriterien (Reifegrad, Nutzen/Potenzial, F&E-Effektivität, gesellschaftliche Akzeptanz) als auch die Technologieauswahl erfolgte anhand einer Literaturrecherche. Die Aufbereitung der Ergebnisse anhand von Steckbriefen soll einen Überblick geben, in welchen Anwendungs- und welchen Technologie-Gruppen Häufungen bestehen, insbesondere deren Einflusspotenzial auf das Energiesystem und der notwendigen „Hitze“ (sprich Rahmenbedingungen), damit ein „Aufpoppen“ der Technologie idealerweise ermöglicht werden kann.

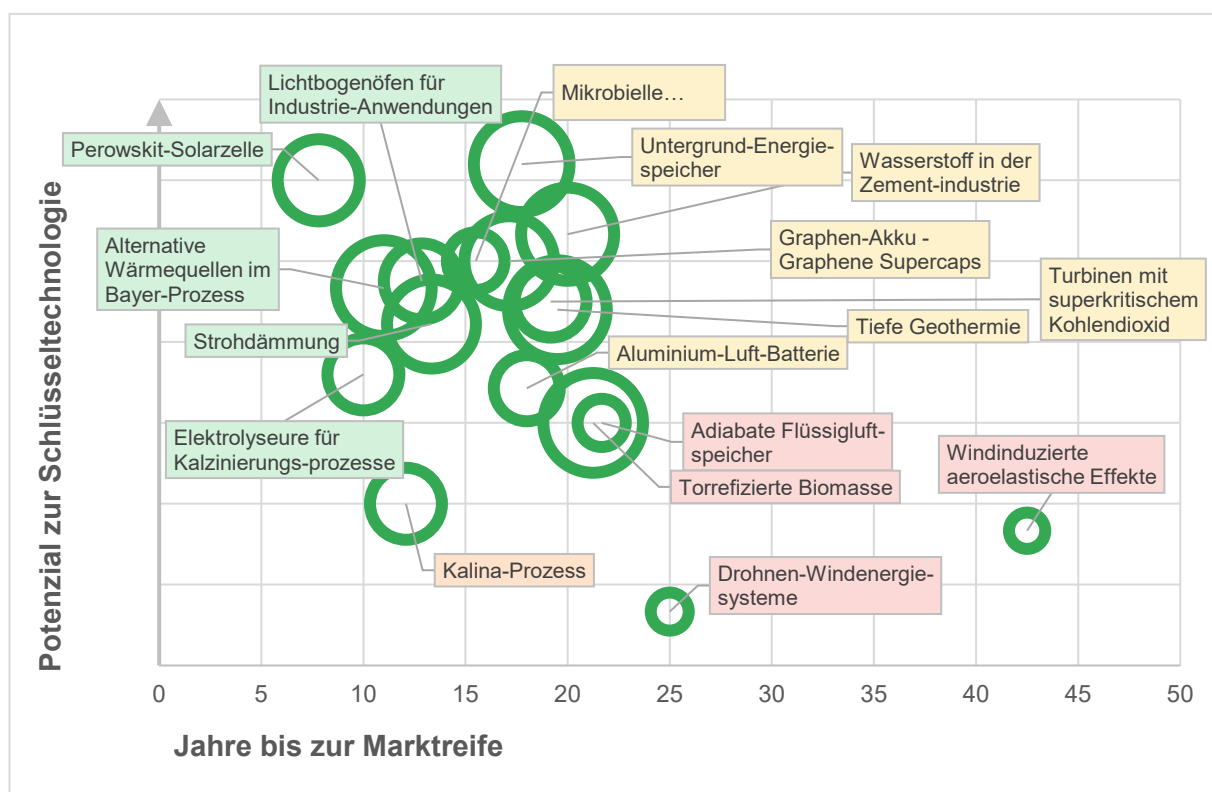


Abbildung 1: Potenzial von betrachteten Popcorn-Technologien (Kreisgröße entspricht dem F&E-Stand)

Eine Gesamtbewertung und Ableitung allgemeiner Schlussfolgerungen aller Einzeltechnologien aus unterschiedlichen Technologiefeldern wäre unangebracht. Es kann jedoch festgehalten werden, dass vor allem folgende vier Technologien relativ schnell ihr besonders hohes Potenzial zur Schlüsseltechnologie entfalten könnten.

- **Untergrund-Energiespeicher** (Technologiefeld: Energiespeicher)
- **Perowskit-Solarzellen und Tiefe Geothermie** (Technologiefeld: Energiebereitstellung)
- **Wasserstoff in der Zementindustrie** (Energieanwendungen)

**Untergrund-Energiespeicher** gewinnen aufgrund der Fluktuation der Energiebereitstellung von erneuerbaren Energien zunehmend an Bedeutung. Ein abgeschlossener Untergrund-Wasserkörper kann hierbei zum Beispiel als natürlicher Wärmespeicher dienen. Gibt es zusätzlich die Möglichkeit, Druckluft (verflüssigt oder nicht) in entsprechenden Mengen einzulagern, ist die Errichtung eines adiabaten Druckluftspeichers naheliegend. Offene Forschungsfragen beinhalten die Beurteilung möglicher Beeinträchtigungen des Grundwassers sowie Erkundungen und systematisch flächendeckende Einschätzungen des Ausbaupotenzials.

Die **Perowskit-Solarzelle** ist eine Dünnschicht-PV-Technologie auf Nicht-Siliziumbasis, die Perowskit (ein Mineral) verwendet, das sehr gut Licht absorbiert. Im Labor wurden bereits Wirkungsgrade von 24 % erreicht, jedoch bisher nur bei kleinen Zellflächen. Weitere Herausforderungen sind die relativ geringe Lebensdauer sowie die Feuchtigkeitsempfindlichkeit. Aufgrund der Dünnschicht-Technologie können diese Art von Solarzellen für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten verwendet werden (u.a. auf Textilien).

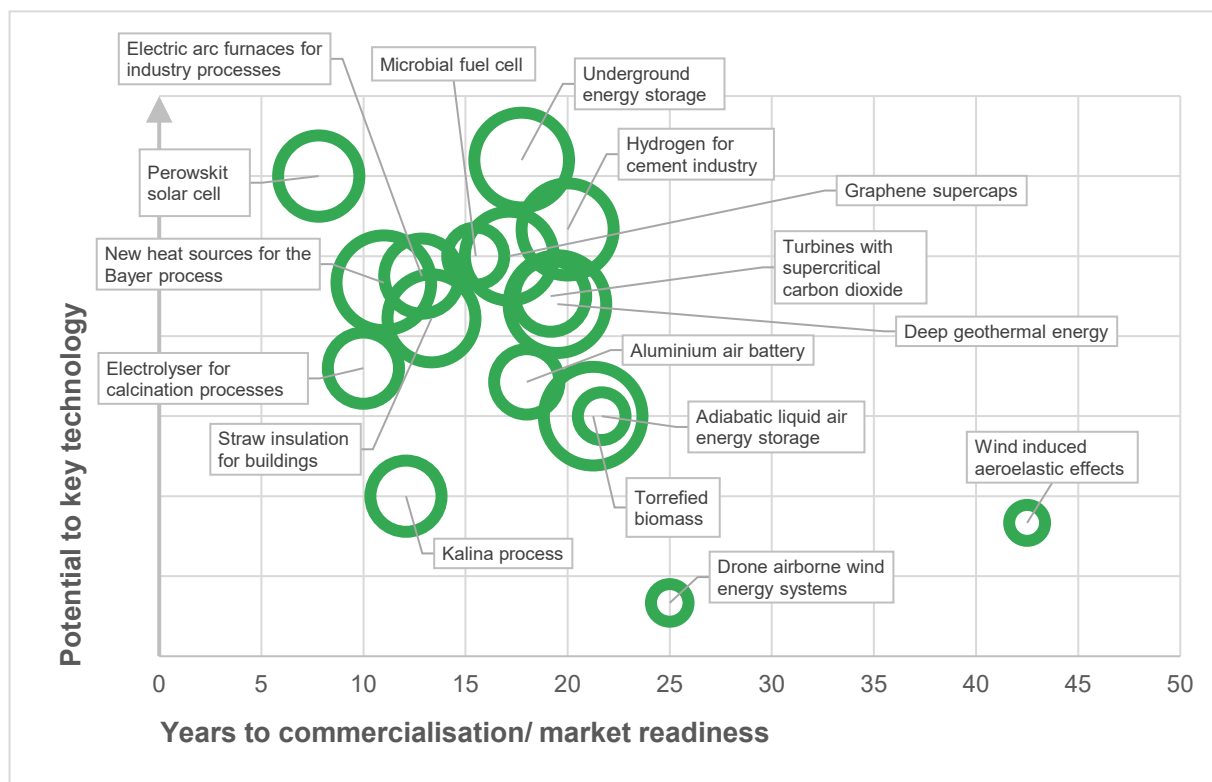
Von **Tiefer Geothermie** (oder Tiefen-Geothermie) spricht man üblicherweise ab einer Bohrtiefe von 400 Meter, wobei diese auch mehrere Kilometer erreichen können. Dadurch werden geothermische Lagerstätten mit Temperaturniveaus ab 60°C bis etwa 200°C (aber auch höher) nutzbar gemacht. Es wird grundsätzlich zwischen hydrothermalen Systemen, die natürliche Aquifere nutzen, und petrothermalen Systemen, die selbst das Wärmeträgermedium einpressen, unterschieden. Die nächsten Forschungsaktivitäten sollten sich der Minimierung des Fündigkeitsrisikos, Kostensenkungen und Risikoanalysen durch die Erschließung und Nutzung widmen.

Klinkeröfen benötigen Hochtemperaturwärme und werden normalerweise mit fossilen Brennstoffen betrieben. Somit könnte **Wasserstoff in der Zementindustrie** eine Schlüsseltechnologie werden, wobei der aktuelle Stand des Wissens eine Kombination aus 70 % Biomasse, 20 % Wasserstoff und 10 % Plasmaenergie favorisiert, um im jeweiligen Prozessschritt den bestmöglichen Brennstoff bzw. die optimale Heiztechnik einzusetzen. Pilotprojekte sind hierbei bereits angelaufen, jedoch bedarf die vollständige Integration in eine entsprechend erweiterte Prozesskette (direkte, stoffliche Nutzung des prozessbedingt entstehenden Kohlendioxids – Carbon Capture and Use) noch zahlreiche weitere F&E-Aktivitäten.

## 2 Abstract

Future scenarios and foresight studies for the energy system can only provide a range of possible results. Uncertainties increase significantly when certain technological developments are assumed. The potential study of popcorn technologies for the Austrian energy system aims to be a support for the creation of future scenarios and the development of RTI strategies. On the one hand, the preparatory work for corresponding technological leaps can be used when developing scenarios. On the other hand, strategic measures can be taken that specifically trigger these technological leaps.

The aim of the “Popcorn” project was to identify energy technologies and energy innovations that are currently in a relatively early stage of development (TRL 3-7), however they have enormous technical and economic potential. Derived from this, new accents are to be set for existing topics in energy research and, if necessary, new R&D topics should be identified from the perspective of public funding. The criteria (maturity, benefits / potentials, R&D effectiveness, social acceptance) and the choice of technology were determined on the basis of a literature search. The preparation of the results on the basis of profiles is intended to provide an overview of the application and technology groups in which there are accumulations, in particular their potential to influence the energy system and the necessary "heat" (i.e. framework conditions) so that the technology can ideally "pop up".



**Figure 2:** Potential of identified Popcorn technologies (size of bubbles represent the R&D status)

An overall assessment and the derivation of general conclusions in view of the individual technologies from different fields of technology are inappropriate. It can be stated, however, that the following three technologies with a current low level of maturity could play a key role in their field in the future.

- Underground storage
- Perovskite solar cells and deep geothermal energy
- Hydrogen in industrial processes

**Underground storage** facilities are becoming increasingly important due to the fluctuation in the supply of energy from renewable energies. A closed underground water body can serve as a natural heat store, for example. If there is also the option of storing compressed air (liquefied or not) in appropriate quantities, the construction of an adiabatic compressed air storage facility is obvious. Open research questions include the assessment of possible impairment of the groundwater as well as explorations and systematic comprehensive assessments of the expansion potential.

The **perovskite solar cell** is a non-silicon-based thin-film PV technology that uses perovskite (a type of mineral), which is very good at absorbing light. Efficiencies of 24 % have already been achieved in the laboratory, but so far only with small cell areas. Other challenges are the relatively short service life and sensitivity to moisture. Due to the thin-film technology, this type of solar cell can be used for various applications (e.g. on textiles).

**Deep geothermal energy** is usually used from a drilling depth of 400 meters, although this can also reach several kilometers. As a result, geothermal deposits with temperature levels from 60 ° C to around 200 ° C (but also higher) are made usable. A fundamental distinction is made between hydrothermal systems that use natural aquifers and petrothermal systems that inject the heat transfer medium themselves. The next research activities should focus on minimizing the exploration risk, reducing costs and analyzing risks through development and use.

Clinker kilns require high temperature heat and are usually powered by fossil fuels. **Hydrogen** could thus become a key technology in the cement industry, whereby the current state of knowledge favors a combination of 70% biomass, 20% hydrogen and 10% plasma energy in order to use the best possible fuel or the optimal heating technology in the respective process step. Pilot projects have already started, but full integration into a correspondingly extended process chain (direct, material use of the process-related carbon dioxide - carbon capture and use) requires numerous further R&D activities.

# 3 Hintergrund und Definitionen

Die Entwicklung und der Einsatz innovativer Energie- und Umwelttechnologien stehen dann im Mittelpunkt, wenn es um den Erhalt und die Stärkung der globalen Wettbewerbsfähigkeit heimischer Unternehmen geht. Aufgrund der zunehmenden Komplexität von Produkten, Verfahrensprozessen und Dienstleistungen, rückt die (System-)Integration der Technologien in den Vordergrund. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in Zukunft nicht mehr die technologische Kompetenz alleine, sondern die Auswahl und Kopplung von Technologien in einem Gesamtsystem entscheidend wird. Die Identifikation und praxisnahe Bewertung von Popcorn-Technologien soll für die österreichische FTI-Politik, eine Abschätzung der Anwendungsreife (über die des technologischen Reifegrads TRL hinaus) von Technologien vornehmen und den zukünftigen Forschungsbedarf ableiten. Die Ergebnisse der systematischen Bewertung von Entwicklungsstadien und Perspektiven der verschiedenen Technologien dienen als Input in der Diskussion zukünftiger FTI-Ausschreibungen und als Beitrag zur Energiewende. Bei der Bewertung wurden daher besonders die Komplexität im Energiesystem, verursacht durch eine Vielzahl von Wechselwirkungen (z.B. Infrastrukturabhängigkeiten) als auch gesellschaftspolitische Zielsetzungen (z.B. Akzeptanz) berücksichtigt.

**Popcorn:** Ein einzelnes Maiskorn, welches unter Hitzeeinwirkung zu einem Vielfachen an Volumen aufpoppt. Technologie-Entwicklungen verhalten sich oftmals sehr ähnlich – sektor-übergreifend und disruptiv. Technologien sind vor deren Diffusion häufig bereits lange bekannt, mitunter in anderen Anwendungsbereichen, oder erfahren die letzten Schritte in ihrer Technologiereife erst, wenn bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sind. Dadurch werden sie erst zu sogenannten „Game Changern“ oder „Breakthrough Technologies“. Transformationen in Energiesystemen sind ebenfalls langwierige Prozesse, aber können durch Technologie- und Innovationspolitik beschleunigt und in ihrer Richtung beeinflusst werden.

Die leitenden Fragestellungen und Ausgangspunkt des Projekts waren wie folgt:

- Wie groß ist das langfristige Potenzial (technisch, wirtschaftlich, sozial) von Popcorn-Technologien im Bereich Energie und Umwelt?
- Welche Themen können in Österreich vorangetrieben werden, weil sie an die Kompetenzen der österreichischen Wissenschaft und Wirtschaft anknüpfen?
- Welche potenziellen Energietechnologien gehen über ihre Felder hinaus, versprechen einen bahnbrechenden Erkenntnisgewinn in Wissenschaft und Technologie und tragen deshalb maßgeblich zur Erreichung der gesetzten Energieziele, erhöhter Lebensqualität der Menschen und zur nachhaltigen Ressourcenschonung bei?

### 3.1. Definition von Popcorn-Technologien innerhalb des Innovationsbegriffes

**Innovationen** sind im Ergebnis qualitativ neuartige Produkte oder Verfahren, die sich gegenüber dem vorangegangenen Zustand merklich unterscheiden. Die Neuartigkeit muss im Umfeld der Innovation wahrgenommen werden. Sie besteht aus einer neuartigen Kombination von Zweck und Mittel. Diese Verknüpfung muss sich auf dem Markt oder beim innerbetrieblichen Einsatz bewähren (vgl. (Hauschildt, 2005). Insgesamt werden 16 verschiedene Ausprägungen von Innovationen unterschieden, darunter Produkt-, Service-, Prozess-, Plattform- und Business-Model-Innovationen.

**Radikale Innovationen** zeichnen sich durch einen hohen Innovationsgrad aus und rufen einschneidende Veränderungen in Unternehmen oder auf dem Markt hervor. Es handelt sich dabei um neue, revolutionäre oder bahnbrechende Produkte, Technologien oder Märkte (wie zum Beispiel Dampfmaschine, Auto, Flugzeug, Computer, iPod, Nespresso aber auch neue Informationstechnologien für die betrieblichen Prozesse von Banken). Radikale Innovationen dienen der Erschließung neuer Geschäftsfelder, die manchmal mit den bisherigen Aktivitäten des Unternehmens wenig gemein haben (Goffin, 2009). Weltweit werden in etwa nur 1- 5 % aller Innovationen den radikalen Innovationen zugeordnet.

Von radikalen Innovationen sind **inkrementelle Innovationen** zu unterscheiden, die eine schrittweise Verbesserung oder Optimierung von bereits bestehenden Produkten, Services oder Modellen bedeuten. Diese Anpassungen dienen häufig der Kostenreduktion, Optimierung des Kundennutzens oder einer Neupositionierung im Markt. Weniger häufig kommt der Begriff der semi-radikalen Innovation in der Literatur vor, welcher eine Innovation bezeichnet, wenn diese entweder hinsichtlich der Technologie (oder des Prozesses) oder hinsichtlich des Geschäftsmodells neu ist, mit jeweils zu kleinen Veränderungen in der jeweils anderen Achse.

Vielfach in engem Zusammenhang mit radikalen Innovationen stehen **disruptive Technologien**, d.h. technologische Entwicklungen, die "Umbrüche" bewirken und radikale Innovationen auslösen können. Popcorn-Technologien sind diesem Begriff unterzuordnen, da mit der Analyse von Pfadabhängigkeiten, Lock-in Effekten und Unsicherheiten, von nicht linearen Technologieentwicklungen auszugehen ist und Systeminnovationen zur Forcierung der betrachteten Technologien nötig sind. Um die Technologiebewertung durchzuführen wurde bewusst auf Foresight-Methoden zurückgegriffen, welche dabei helfen, sowohl inkrementelle als auch disruptive Veränderungen zu verstehen.

Einem aktuellen Bericht der IEA zu Folge, nehmen Technologien in frühen Entwicklungsphasen (hier synonym für **Popcorn-Technologien, TRL 3-7**) eine übergroße Rolle ein. Rund 35% der kumulierten Treibhausgas-Emissionsminderungen, die für einen nachhaltigen Weg erforderlich sind, stammen aus Technologien, die sich derzeit in der Prototypen- oder Demonstrationsphase befinden. Weitere 40 % der Reduzierungen beruhen auf Technologien, die noch nicht im Massenmarkt kommerziell eingesetzt wurden. Zu den schnellsten Beispielen von Energietechnologien in den letzten Jahrzehnten zählen Verbraucherprodukte wie LEDs und Lithium-Ionen-Batterien, die vom ersten Prototyp bis zum Massenmarkt 10 bis 30 Jahre brauchten. Diese Beispiele müssen die Benchmarks für den Aufbau einer Reihe von Energietechnologien sein, um Netto-Null-Emissionen zu erreichen (IEA, 2020).

## 3.2. Foresight als Werkzeug die Zukunft zu antizipieren

Foresight ist ein systematischer und partizipativer Prozess zur Unterstützung von Politikgestaltung, der kollektive Intelligenz über die mittel- bis langfristige Zukunft schafft. Grundlegend dabei ist, dass die Zukunft zwar nicht vorhergesagt, jedoch aktiv beeinflusst oder geformt werden kann. Foresight hilft die möglichen zukünftigen Konsequenzen aktueller Trends zu verstehen, neue Veränderungssignale zu erkennen und mögliche Entwicklungen zu bestimmen. Es erleichtert die Entwicklung eines systemischen Verständnisses und erzeugt plausible und kohärente Zukunftsbilder, die von alternativen Szenarien bis zur Visionsbildung reichen (Eckhard Störmer, 2020).

Nach (Boston, 2016) werden fünf Interventionslogiken für den Einsatz von Foresight unterschieden:

- **Schaffung vorausschauender Governance-Kapazitäten** zur langfristigen Planung. Es muss eine dauerhafte Verknüpfung hergestellt werden, um sicherzustellen, dass Erkenntnisse, die durch Foresight gewonnen wurden, in die tägliche Politikgestaltung einbezogen werden. Dies beinhaltet die Änderung der Motivationen von Entscheidungsträgern (d. h. Werte, Normen, Präferenzen und Prioritäten), die Aktivierung zukunftsorientierter Interessen und Anliegen für politische Entscheidungsträger, langfristigen Überlegungen mehr Gewicht zu verleihen.
- **Sensibilisierung für zukunftsbezogene Themen**, die einigen, aber nicht allen Entscheidungsträgern bekannt sind. Die 360°-Perspektive von Foresight hilft dabei, das Verständnis für Einflüsse zu öffnen, die entstehen, wenn Treiber nicht im täglichen Mittelpunkt ihrer Arbeit stehen. Um bestimmte langfristige politische Fragen anzugehen, müssen Entscheidungsträger einen sicheren Raum haben, um über zukünftige Konsequenzen und Strategien nachzudenken, da sie für die Analyse von kurzfristigen Fragen isoliert sind.
- **Damit politische Entscheidungsträger umsichtige langfristige Entscheidungen treffen können**. Die Beratungen im Rahmen integrativer partizipativer Vorausschau-Prozesse bringen die relevanten Stakeholder zusammen und tragen dazu bei, ein gemeinsames Verständnis der möglichen langfristigen Auswirkungen der heutigen Entscheidungen aufzubauen. Dies beinhaltet die Einrichtung neuer Koordinierungsmechanismen, um Entscheidungen zu ermöglichen, die sonst nicht möglich wären.
- **Aufzeigen der Notwendigkeit politischer Maßnahmen**. Das Bewusstsein für mögliche Auswirkungen und Störungen, die sich aus der systemischen Perspektive der Foresight ergeben, macht die Interaktionen der Treiber deutlich und kann sich abzeichnende politische Probleme ans Licht bringen.
- **(Wissenschaftliche) Evidenz in politische Diskussionen einfließen lassen**. Der integrative, interdisziplinäre und partizipative Charakter der Foresight ermöglicht es, alle relevanten ExpertInnen und Stakeholder zusammenzubringen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Praxis besteht darin, dass ExpertInnen ihr Wissen auf die am besten geeignete Weise nutzen und anwenden können, um den politischen Entscheidungsprozess zu unterstützen.

Im Rahmen des Projekts Popcorn-Technologien wurde eine strukturierte Potenzialanalyse vielversprechender Technologien aus dem Bereich Energie und Umwelt vorgenommen. Zu den Grenzen von Foresight-Studien im Allgemeinen und den hier aufgestellten Potenzialszenarien von Technologien im Speziellen sei festgehalten, dass die Prüfung oder Validierung sich nur dann erschließt, wenn alle Annahmen und Modelle offengelegt und bekannt sind. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde ein Mix an quantitativen und qualitativen Methoden verwendet, der in folgenden Kapitel erläutert wird.

# 4 Projektinhalt

## 4.1. Methodik

Der Prozess bestand aus drei Schritten: In einem ersten Schritt wurden potenzielle Energietechnologien im Rahmen einer Desk Research identifiziert und quantitativ entsprechend festzulegender Kriterien bewertet. Diese wurden hinsichtlich des Reifegrads (TRL), ihrer Relevanz für Österreich sowie deren Entwicklungspotenziale analysiert und aufbereitet. In einem zweiten Schritt fand ein partizipativer Prozess mit ExpertInnen der institutionellen sowie der industriellen Forschungscommunity statt – anhand einer kurzen Online-Befragung, um zukünftige Schwerpunkte abzuleiten. Letztlich wurden die Ergebnisse konsolidiert und in Form von Technologie-Steckbriefen zusammengefasst, wobei insbesondere auf technologie- bzw. systemübergreifende Aspekte Bezug genommen wurde. In Anlehnung an das Projekt „Technologien für die Energiewende“ des Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI und IZES (Viebahn, et al., 2018), erfolgte das Technologiemonitoring anhand eines einheitlichen und adaptierten Kriterienrasters, aufgelistet in **Tabelle 1**.

**Tabelle 1:** Kriterien und Beschreibung

<b>#1: Technologie-Kurzbeschreibung</b>	Allgemeinverständliche Beschreibung der Technologie (Funktionsprinzip). Abgrenzung der Technologie im jeweiligen Technologiefeld (Wodurch unterscheidet sich die Technologie?).
<b>#2: Technology Readiness Level (TRL)</b>	Abschätzung des TRL gemäß Literatur oder, falls nicht möglich, durch eigene Einschätzung.
<b>#3: Potenzial zur Schlüsseltechnologie</b>	Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Technologie nach Erreichen der Marktreife eine Schlüsseltechnologie darstellen wird?
<b>#4: Potenzialbeschreibung</b>	Qualitative Beschreibung des relevanten Marktes (bzw. Branche oder dgl.). Abschätzung wie weit dieser Markt bedient werden kann. Beschreibung in welchen Skalierungen die Technologie Anwendung finden könnte (Kleinanlagen, Großanlagen).
<b>#5 Diffusionsverlauf</b>	Erwarteter Diffusionsverlauf während der Marktdurchdringung bis 2050.
<b>#6: F&amp;E Bedarf</b>	Qualitative Auflistung des wesentlichen Entwicklungsbedarfs.
<b>#7: Fördernde Faktoren (Beschleuniger)</b>	Beschreibung jener Aspekte bzw. Ereignisse, die eine technologische Weiterentwicklung oder



	ökonomische Marktdurchdringung der Technologie deutlich beschleunigen könnten.
<b>#8: Kritische Entwicklungshemmnisse</b>	Beschreibung jener Aspekte bzw. Ereignisse, die eine technologische Weiterentwicklung oder ökonomische Marktdurchdringung der Technologie deutlich hemmen könnten.
<b>#9: Beitrag zum Klimaschutz</b>	Beschreibung des THG-Einsparpotenzials.
<b>#10: Beitrag zum Umweltschutz</b>	Beschreibung des Potenzials zu möglichen Reduktionen bei Emissionen, beim Abfallaufkommen, Wasserverbrauch usw.
<b>#11: Infrastrukturabhängigkeiten</b>	Beschreibung der für die Marktdurchdringung notwendigen Infrastrukturen
<b>#12: Systemkompatibilität</b>	Beschreibung, wo die Technologie mit bestehenden Systemen bzw. Infrastrukturen verknüpft werden kann und an welchen nicht.
<b>#13: Aufwand-Nutzen-Abschätzung</b>	Darstellung des Aufwands für die Technologieentwicklung und Marktdurchdringung. Darstellung des wahrscheinlichen Nutzens durch die Marktdurchdringung
<b>#14: Relevanz für Österreich</b>	Beschreibung der technologierelevanten Bezüge zu Österreich. Beschreibung möglicher Maßnahmen zur Verbesserung dieser Bezüge.

Um qualitative bzw. schwer zu erfassende Kriterien zu erheben, wurde eine ExpertInnen-Umfrage durchgeführt. Diese diente dazu, das Potenzial zur Schlüsseltechnologie, die vorhandenen F&E-Kapazitäten in Österreich sowie die kritischen und fördernden Faktoren hinsichtlich geeigneter Rahmenbedingungen abzufragen. Mittels der Umfrage konnten einige der im Laufe des Vorhabens diskutierten Technologieentwicklungen in Hinblick auf ihren künftigen Beitrag zur Energiewende konkretisiert und vertieft werden. Darüber hinaus wurden zahlreiche Anregungen weiterer Popcorn-Technologien eingebracht, die in Zukunft einem Technologiemonitoring unterzogen werden könnten.

Abschließend wurden für die Technologiebewertung Langfrist-Szenarien auf Einzeltechnologieebene mit dem Modell „European Calculator“ (Luis Costa, 2021) erstellt. Berücksichtigt wurden Ergebnisse der Literaturrecherche hinsichtlich der Technologiediffusion, Kostenentwicklungen entlang von Lernkurven, Technologiediffusion anhand von Diffusionskurven (L-Kurven, S-Kurven) oder der Abschätzung der vermiedenen Treibhausgase im Zeitablauf. Um Potenziale zu berechnen wurde ein Baseline (Ambitionslevel 1) sowie ein Popcorn-Szenario (siehe Annahmen **Tabelle 2**) mit dem EU Calculator<sup>1</sup> erstellt. Folgende Technologieszenarien wurden in den Teilmodulen berechnet:

---

<sup>1</sup> This project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 730459 (EU Calculator: trade-offs and pathways towards sustainable and low-carbon European societies).

**Tabelle 2:** Annahmen und Quellen zur Berechnung der Technologieszenarien

Technologie	In den Szenarien berücksichtigte Annahmen	Quelle(n) der Teil-Modelle
Wasserstoff in der Zementindustrie	Energieträger-Mix 1990-2050 in der Zementindustrie; Einsatz Wasserstoff ab 2035; Anteil Wasserstoff 2050 -> 20%;	(Hannes Warmuth, 2020)
Lichtbogen für industrielle Anwendungen	Elektrifizierung Hochtemperaturprozesse in der Zementindustrie (50%, S-Kurvenverlauf); Einsatz ab 2035;	
Strohdämmung	Einsatz Strohdämmung anstatt XPS/EPS in der Gebäudesanierung; Annahme Material Switch Rate von 40%; Diagramm zeigt geringeren Energieverbrauch zur Herstellung von XPS/EPS; Einsatz ab 2020;	
Tiefe Geothermie	Geothermie in der Fernwärme Potenzial 2050 -> 2.000 GWh;	(Víctor Codina Gironès, 2018) (Judit Kockat, 2020)
Drohnen-Windenergiesysteme	Windenergie Ausbaupotenzial 2050 -> 28 TWh;	(Miklós Gyalai-Korpos C. H., 2019)
Nutzung windinduzierter aerolastischer Effekte	Windenergie Ausbaupotenzial 2050 -> 28 TWh;	
Perowskit-Solarzellen	PV Ausbaupotenzial 2050 -> 30 GW;	
Aluminium-Luft-Batterie	Effizienzverbesserung Batterie auf 95% (statt 80%) und Lebensdauer auf 20 Jahre (anstatt 10 Jahre); Diagramm zeigt Bedarf an Regelenergie EU27+UK+CH;	(Miklós Gyalai-Korpos C. H., 2019)
Adiabate Flüssigluftspeicher	Effizienz 70% und Lebensdauer 30 Jahre; Einsatz ab 2045. Diagramm zeigt Bedarf an Regelenergie EU27+UK+CH;	

Die Technologie- und Diffusionsszenarien stellen das technische Potenzial von Einzeltechnologien dar, unabhängig weiterer Rand- und Rahmenbedingungen (Markt, Recht, Ressourcenverfügbarkeit). Die verwendeten Annahmen wurden entsprechend den Ergebnissen der Literaturrecherche unterlegt. Nicht nur die Einschätzung zukünftiger Entwicklungen und Szenarios ist von Verzerrungen und Unberechenbarkeiten bestimmt, sondern auch die Bewertung der Effektivität und Angemessenheit der empfohlenen Handlung und die Abschätzung der zur Verfügung stehenden Handlungsressourcen. Die Popcorn-Szenarien stellen keine allgemeine Vision dar.

## 4.2. Identifizierte und analysierte Energietechnologien

### Drohnen-Windenergiesysteme

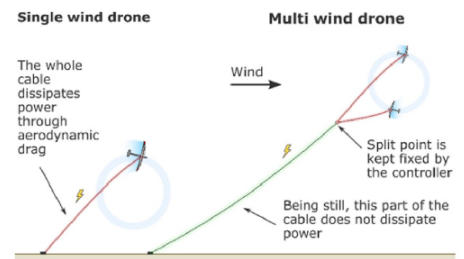
TRL: 4-5

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Stromgewinnung durch Flugbewegung der Drohnen, wobei sich durch das Kabel anstelle eines Turms wesentlich größere „Erntehöhen“ erzielen lassen, die wiederum deutlich höhere Windgeschwindigkeiten und damit mehr Stromoutput bedeuten.

Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective

Airborne Wind Energy Systems



© A. Cherubini

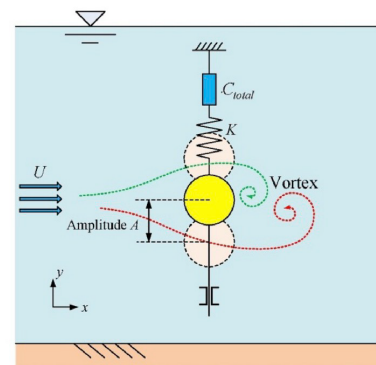
### Nutzung windinduzierter aeroelastischer Effekte

TRL: 2-4

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Aufgrund eines unterschiedlichen Strömungsverhaltens auf den Seiten eines Körpers wirkt auf diesen eine Kraft, die bei entsprechender Anordnung zu einer selbsterregten Schwingung führen kann. Diese Schwingung kann für eine eher geringe Stromgewinnung in Inselsystemen genutzt werden.

Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective; Wind induced energy harvesting from aeroelastic phenomena



© Watson et al., 2019

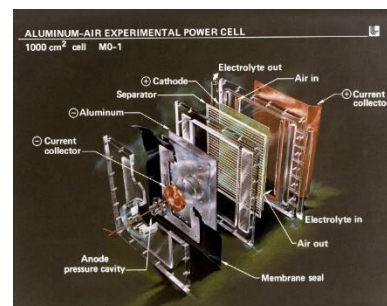
### Aluminium-Luft-Batterie

TRL: 2-3

Innovative Energiespeicher

Aluminium-Luft-Batterien sind als Primärbatterien (nicht wiederaufladbar) durchaus bekannt und weisen eine sehr hohe Energiedichte auf. Mit der Möglichkeit des Wiederaufladens und einer Verbesserung der Selbstentladung könnte ein großer Sprung in der Batterietechnik gelingen.

Aluminium-air batteries



© U.S. Department of Energy

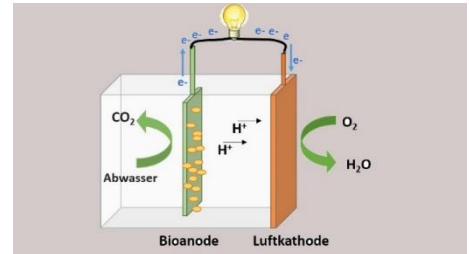
## Mikrobielle Brennstoffzellen

TRL: 2-5

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Mikrobielle Brennstoffzellen können zur Stromgewinnung oder auch zur Wasserstoffproduktion genutzt werden. Bei üblicherweise geringeren Betriebstemperaturen als bei konventionellen Brennstoffzellen ergibt sich ein sehr ähnliches Funktionsprinzip. Relevant könnte diese Technologie für Kläranlagen werden, die damit einen Abwasserreinigungsschritt und die eigene Stromversorgung gleichzeitig erledigen.

Microbial Fuel Cells



© RWTH Aachen

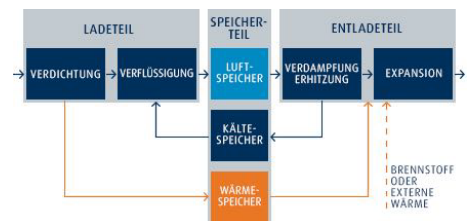
## Adiabate Flüssigluftspeicher

TRL: 2

Innovative Energiespeicher

Flüssigluftenergiespeicher nutzen die Kompression und Expansion von Luft. Luft wird hier in verflüssigtem Zustand gespeichert. Dazu wird diese in einem Luftverflüssigungsprozess auf ca.  $-190\text{ °C}$  abgekühlt und in einem kryogenen Speichertank bei niedrigem Druck gelagert. Bei der Rückverstromung wird die flüssige Luft verdichtet, verdampft und erwärmt. Bei adiabaten Flüssigluftspeichern (ALAES) wird durch die Speicherung und Wiedereinkopplung der Kompressionsabwärme eine erhebliche Wirkungsgradverbesserung (Speicherwirkungsgrad 50-65%) und lokale Emissionsfreiheit erreicht.

ALAES – Adiabatic Liquid Air Energy Storage



© Linde

## Torrefizierte Biomasse

TRL: 6-7

Innovative Energiespeicher

In einem Pyrolyse-Verfahren (Sauerstoffausschluss) bei relativ geringen Temperaturen ( $250\text{--}300\text{ °C}$ ) wird Biomasse umgewandelt, wodurch bei dieser die Energiedichte erhöht wird. Dafür wird rund 10 % des Energieinhalts der Biomasse im Verfahren benötigt. Diese „Holzkohle 2.0“ lässt sich besser lagern und transportieren als unbehandelte Biomasse-Pellets und verbrennt auch sauberer als die Biomasse direkt, da Schadstoffe bereits bei der Pyrolyse umgewandelt werden.



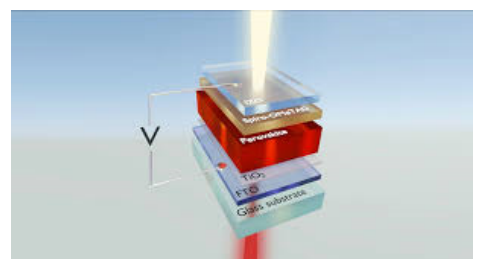
© Fraunhofer IBG

## Perowskit-Solarzellen

TRL: 4

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Eine Dünnschicht-PV-Technologie auf Nicht-Siliziumbasis, die Perowskit verwendet, eine Art Mineral, das sehr gut Licht absorbiert. Im Labor wurden Wirkungsgrade von 24% erreicht, aber bisher nur bei kleinen Zellflächen. Bemühungen, ähnliche Wirkungsgrade zu erzielen, bisher nicht erfolgreich. Perowskit-Solarzellen leiden auch noch unter kurzer Haltbarkeit.



© kit.edu

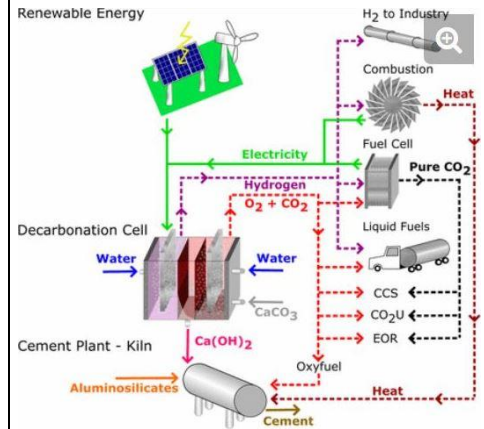


## Elektrolyseur-Verfahren zur Dekarbonisierung von Calciumcarbonat vor der Klinkerherstellung im Ofen

TRL: 3

Klimaschonende Energieanwendungen

Die Kalzinierung von Kalkstein ist ein Schlüsselprozess der Zementherstellung. Derzeit wird ein Verfahren entwickelt, um Calciumcarbonat in einem Elektrolyseur elektrochemisch in Calciumhydroxid umzuwandeln, wobei ein konzentrierter  $\text{CO}_2$  /  $\text{O}_2$ -Dampf (auf den die  $\text{CO}_2$ -Abscheidung angewendet werden könnte) und Wasserstoff (der anschließend verwendet werden könnte) erzeugt werden Produktionsstufen. Das Calciumhydroxid kann dann in Calciumsilikate umgewandelt werden, die für Zement in einem Ofen benötigt werden.



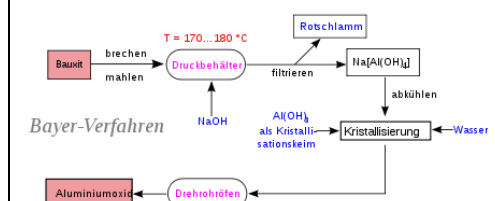
© Ellis et al., 2019

## Biomasse oder Elektrifizierung des Bayer-Prozesses

TRL: 4

Klimaschonende Energieanwendungen

Das Bayer-Verfahren - die Hauptmethode zur Raffination von Bauxit zu Aluminiumoxid (der Input für das Schmelzen von Aluminium) - erfordert Wärme und Dampf von 100 bis 250°C, die derzeit mit fossilen Brennstoffen geliefert werden. Aktuell werden in Versuchsanlagen Solarthermie-Systeme und die Abwärme von Biomasse-Verbrennungsanlagen als alternative Wärmequellen erprobt.



© Andreas Schmidt

## Strohdämmung

TRL: 7-9

Klimaschonende Energieanwendungen

Stroh (und auch andere nachwachsende Rohstoffe) eignen sich hervorragend als Dämmstoff, sind allerdings durch Industriedämmstoffe wie EPS und XPS fast vollständig verdrängt worden. Versuche zeigen, dass das Brandverhalten, Fäulnis und Insektenbefall keine Probleme darstellen, dennoch will sich die breite Anwendung nicht (wieder) einstellen.



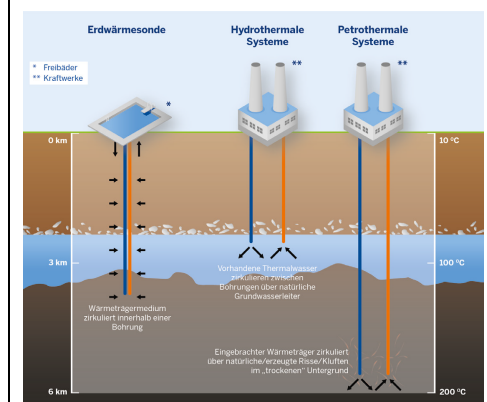
© Andrea Groisböck/Biohof Achleitner

## Tiefe Geothermie

TRL 7-9 Hydrothermal; TRL 4-7 Petrothermal

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Tiefengeothermische Anlagen nutzen die im Untergrund in etwa 1.500 m bis 5.000 m Tiefe vorhandene Wärme (Temperaturen über 60°C) zur Bereitstellung von Wärme und/oder zur Erzeugung von Strom. Obwohl innovative Erschließungskonzepte wie das „Enhanced Geothermal System“ (EGS; auch Hot Dry Rock Verfahren genannt) ein erhebliches Potenzial aufweisen, können EGS Verfahren lokal Erdstöße auslösen (z.B. bei dem Deep-Heat-Mining Projekt in der Schweiz mit einer Stärke von bis zu 3,5 Punkten auf der Richter Skala).



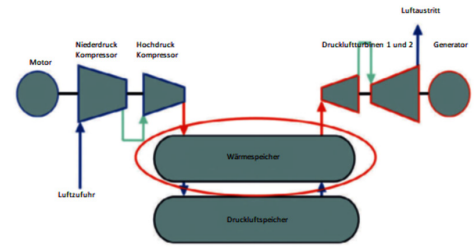
© Energieagentur NRW

## Untergrund-Energiespeicher

TRL 5-7

Innovative Energiespeicher

Kurzzeitige oder saisonale Unterschiede von (regenerativer) Energiebereitstellung und Energiebedarf müssen durch Speicher ausgeglichen werden. Es handelt sich hierbei meistens um Wärme, die in jedem nutzungsrelevanten Tiefenbereich gespeichert werden kann. Im Bereich der Energiespeicherung zur Rückverstromung sind Möglichkeiten: Druckluftspeicher (CAES- compressed air energy storage); Redox-Flow Akkus; Flüssigsalz-Latentwärmespeicher; Reversible ORC/Wärmepumpe; künstlich können diese Speicher auch als mit Wasser gefüllte Kiesbette realisiert werden, die z.B. quasi eine zusätzliche Kelleretage unter dem Gebäude darstellen.



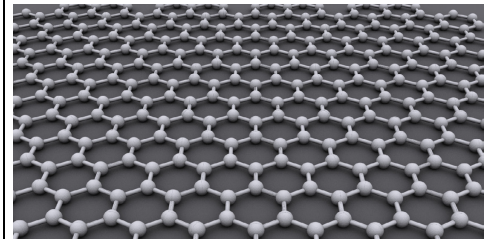
© Ernst Huenges

## Graphen-Akku – Graphene Supercaps

TRL 7-9

Innovative Energiespeicher

Graphenakkus sind wesentlich leichter als herkömmliche Akkus, da viel weniger Kohlenstoff verwendet werden muss, um dieselbe Leitfähigkeit zu erreichen. Durch die dünnere Beschichtung der Elektroden haben Graphenakkus eine längere Lebensdauer. Darüber hinaus können mit Graphen angereicherte Akkus sehr viel schneller geladen werden.



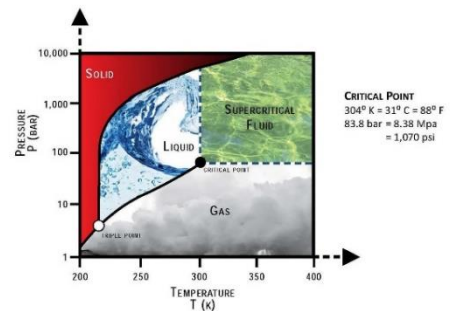
© Alexanderiaus

## Turbinen mit superkritischem Kohlendioxid

TRL 7-9

Zukunftsweisende Energiebereitstellung

Das System der SCCO<sub>2</sub> hat ein großes Potential für eine hohe Effizienz, da hohe Temperaturunterschiede möglich sind. Die hohe Dichte und volumenbezogene Wärmekapazität von SCCO<sub>2</sub> im Vergleich zu anderen Arbeitsflüssigkeiten ergeben eine höhere Energiedichte, folglich kann die Größe der meisten Systemkomponenten wie der Turbine und der Pumpe signifikant verkleinert werden, was zu kleineren Anlagen-Fußabdrücken und Investitionskosten führt.



© U.S. Department of Energy

# 5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der ExpertInnen-Befragung zum Schlüsseltechnologiepotezial, dem derzeitigen F&E-Kapazitäten in Österreich sowie den kritischen und fördernden Faktoren (Rahmenbedingungen) dargestellt. Daraus abzulesen sind einerseits die zentralen Erfordernisse bei der Weiterentwicklung der Technologien sowie die Schaffung geeigneter energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen zur Marktdurchdringung.

Abbildung 3 zeigt überblicksartig das Potenzial der jeweiligen Technologie im Zusammenhang mit der Dauer zur Erreichung der kommerziellen Marktreife. Die Kreisgröße (○ - ○) entspricht dem derzeitigen F&E-Stand österreichischer Technologieanbieter in der jeweiligen Schlüsseltechnologie oder -bereich. Daraus folgend, weisen die Technologien

- Perowskit-Solarzelle (erwartete Marktreife in 5-10 Jahren) und
- Untergrundspeicher (erwartete Marktreife in 15-20 Jahren)

das größte Potenzial zur Schlüsseltechnologie unter den betrachteten Technologien auf. Entscheidende Erfolgsfaktoren werden in dem Vorhandensein von Forschungskompetenzen und -kooperationen sowie entsprechend dotierten Forschungsförderungen gesehen (siehe jeweilige Steckbriefe). Als kritischer Faktor im bei Untergrundspeichern werden vorhandene Produktionskapazitäten (hier allgemein: Kapazitäten, Verfügbarkeit) gesehen, während die Erzielung eines wettbewerbsfähigen Marktpreises als entscheidender Erfolgsfaktor einer möglichen Diffusion der Technologie gesehen wird. In Abbildung 4 als komplementäre Übersichtskarten zeigen sich die Unterschiede zwischen dem Potenzial zur Schlüsseltechnologie und dem derzeitigen F&E-Status bei den einzelnen Technologien. Die im Projekt behandelten Technologien wurden dazu in 3 Sub-Kategorien untergliedert.

Potenzielle Schlüsseltechnologien, die hinsichtlich der erwarteten Marktreife (bis 20 Jahre) auch eine relativ starke Ausprägung laut ExpertInnen-Befragung aufweisen und es bereits entsprechende F&E-Kapazitäten in Österreich gibt, sind weiters

- Einsatz von Wasserstoff in der Zementindustrie
- Graphen-Akkus / Graphene Supercaps
- Alternative Wärmequellen im Bayer-Prozess
- Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen
- Strohdämmung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen überblicksmäßig die Ergebnisse des Technologiemonitorings. Das Monitoring ist eingebettet in Technologie-Steckbriefen, die eine jeweilige Kurzbeschreibung, F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand und kritische und fördernde Erfolgsfaktoren beinhalten (siehe Anhang). Darüber hinaus wurden für einzelne Technologien unter Verwendung des European Calculator Szenarien (Energie, THG-Emissionen) erstellt, die das jeweilige Ausbaupotenzial aufzeigen sollen.



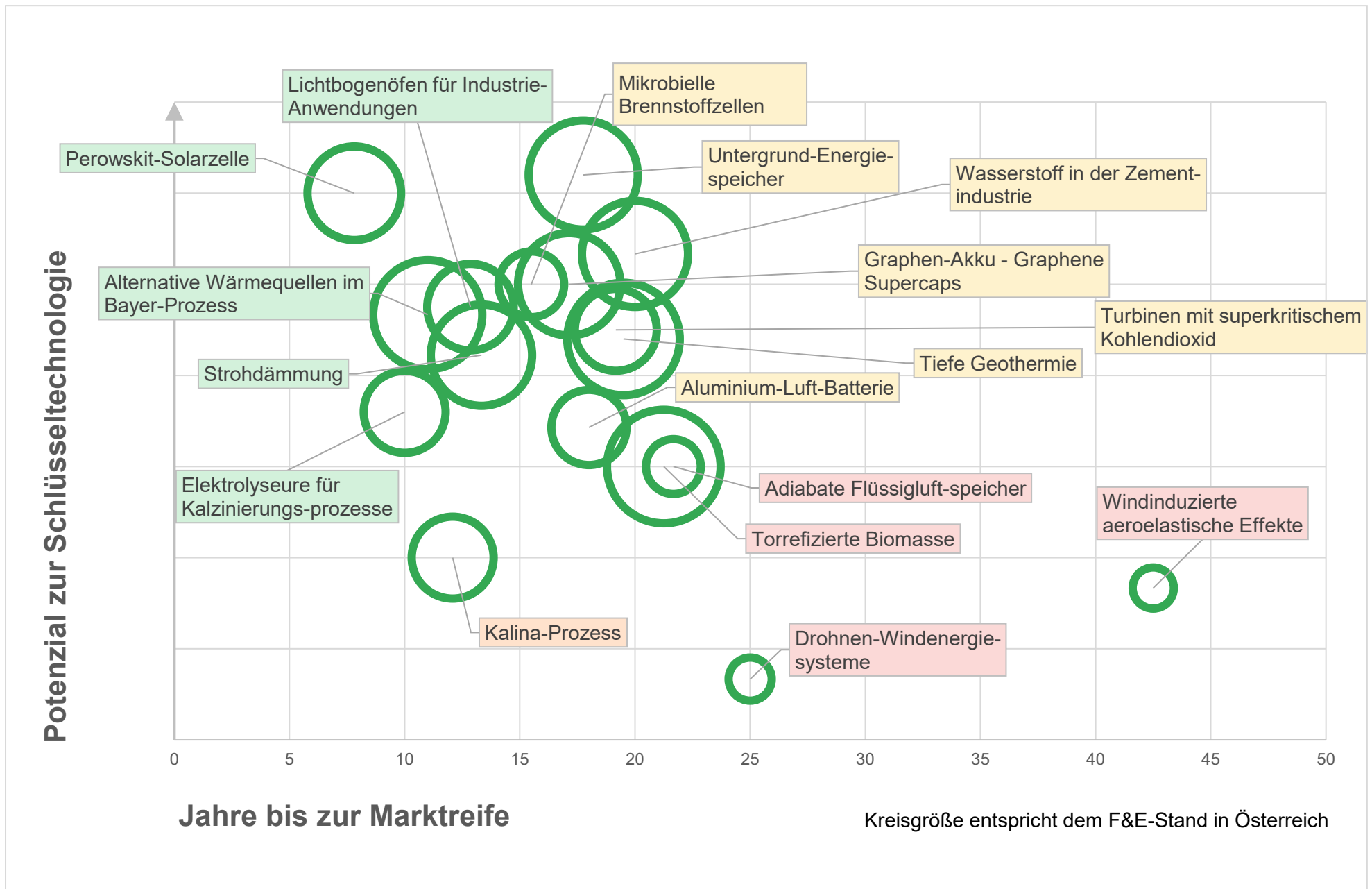
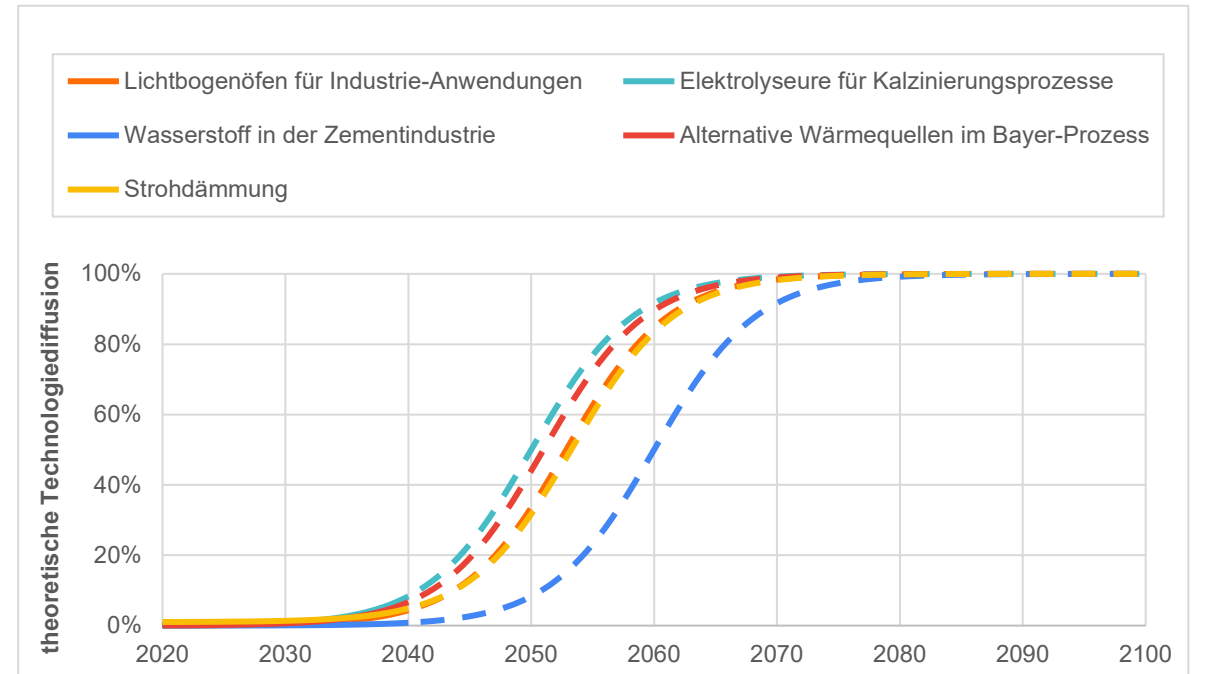
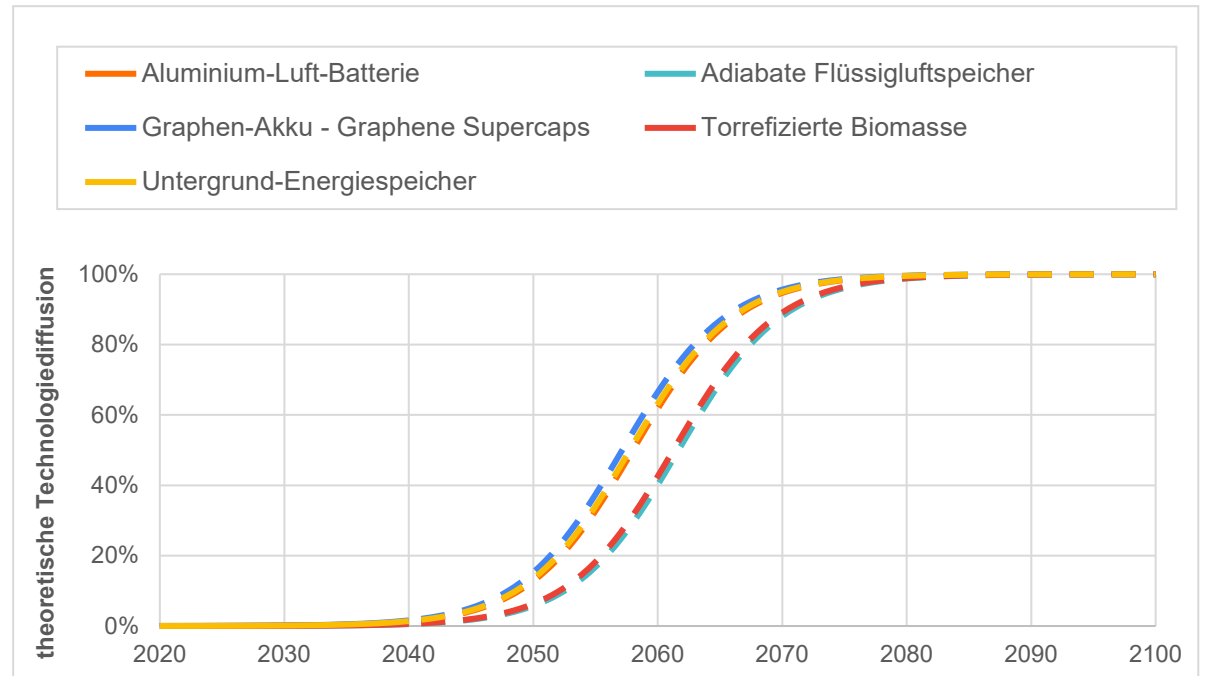
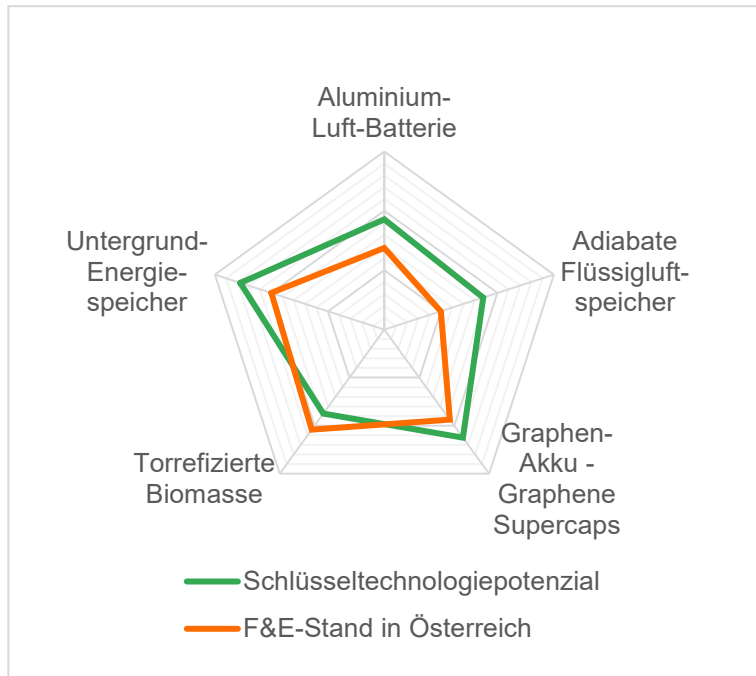
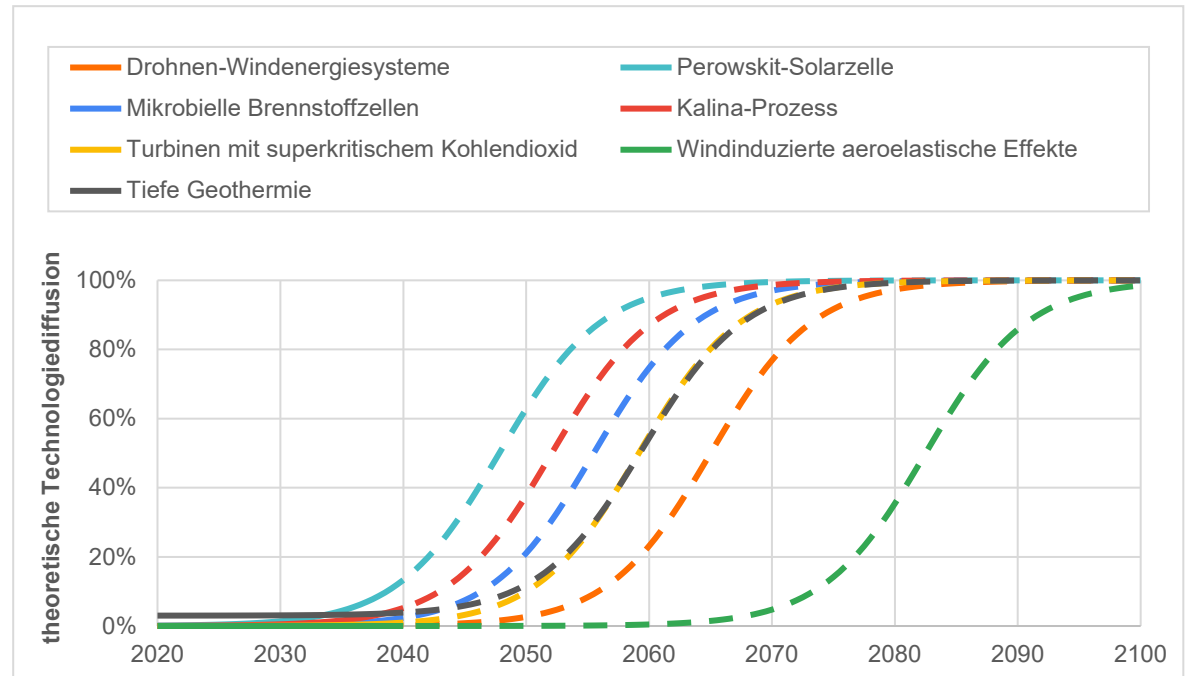
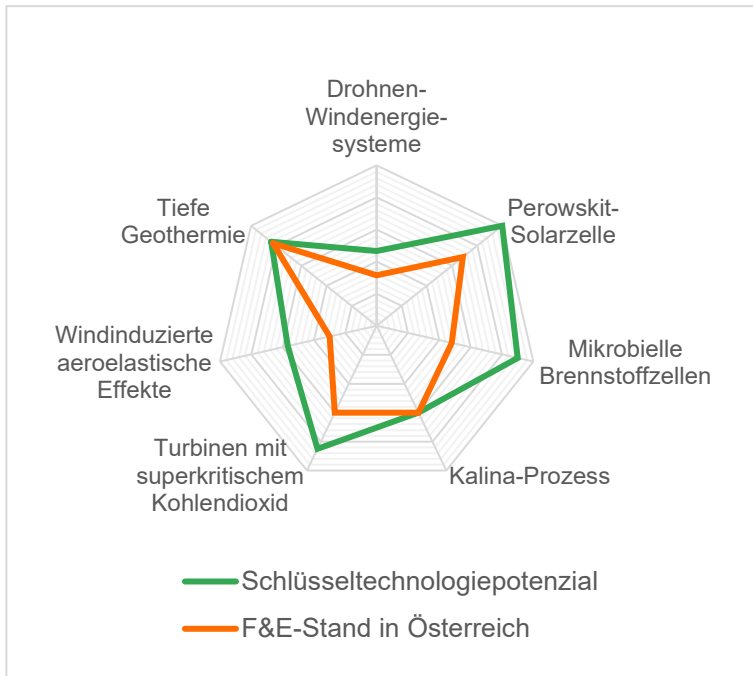


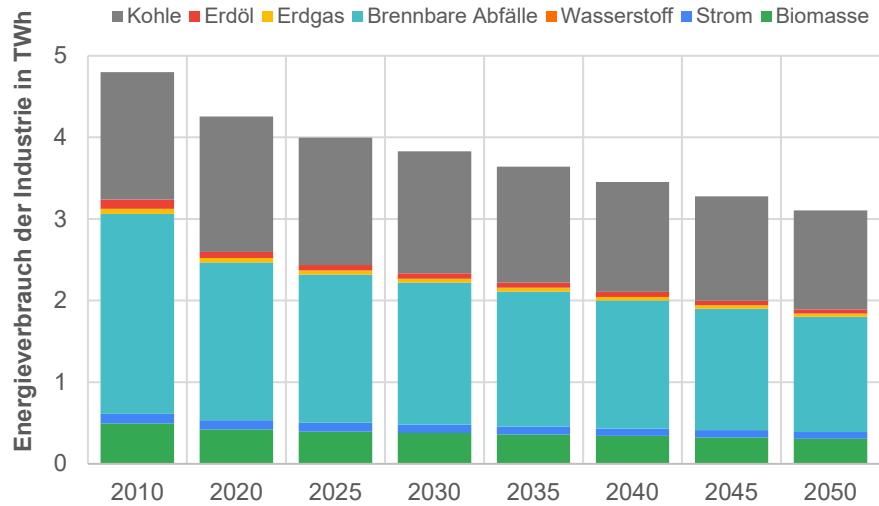
Abbildung 3: Ergebnisdiagramm Potenzielle Schlüsseltechnologien (Kreisgröße entspricht den F&E-Kompetenzen in Österreich)



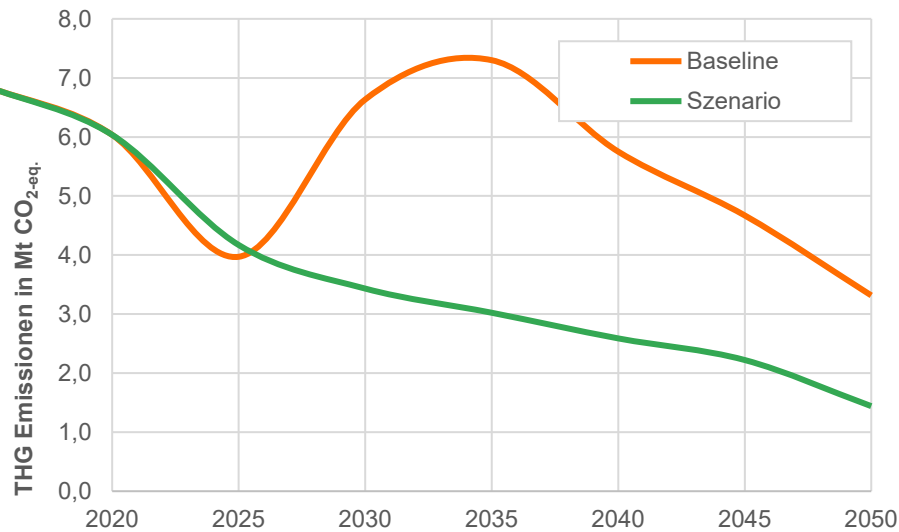
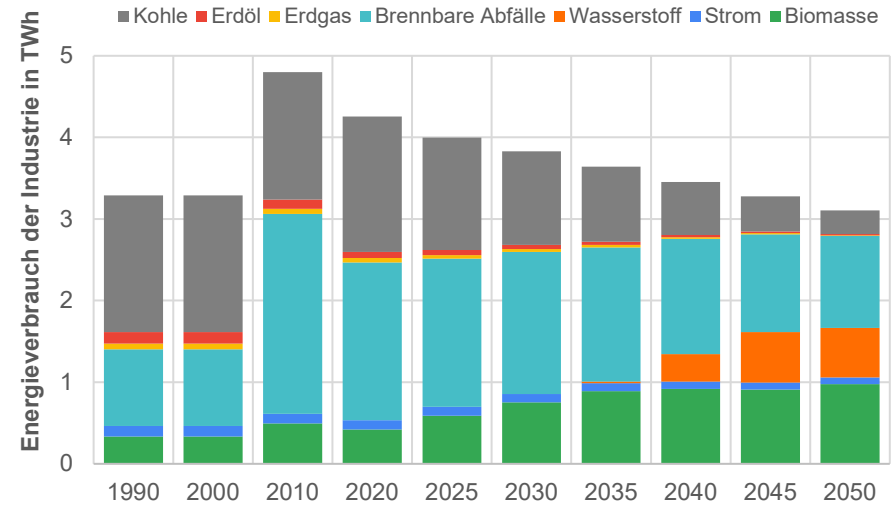


**Abbildung 4:** Potenzial zur Schlüsseltechnologie und derzeitiger F&E-Stand in Österreich in den drei Kategorien Innovative Energiespeicher, zukunftsweisende Energiebereitstellung und klimaschonende Energieanwendungen

### Baseline - Wasserstoff in der Zementindustrie



### Szenario - Wasserstoff in der Zementindustrie



**Abbildung 5:** Beispiel Szenarioberechnung: Energieverbrauch (Baseline, Popcorn-Szenario) und THG-Emissionen für den Einsatz von Wasserstoff in der Zementindustrie, erstellt mit dem European Calculator (Energieträger-Mix 1990-2050 in der Zementindustrie; Einsatz Wasserstoff ab 2035; Anteil Wasserstoff 2050 -> 20%; Weitere Annahmen EUCalc Ambition Level 1)

# 6 Schlussfolgerungen

Um Innovationen anzustoßen und die Forschungs- und Technologiepolitik zu beeinflussen, ist es wichtig, auch einen längerfristigen Blick in die Zukunft zu wagen. Dennoch scheint eine Gesamtbewertung und Ableitung allgemeiner Schlussfolgerungen angesichts der Einzeltechnologien, aus unterschiedlichen Technologiefeldern, als nicht angebracht. Es kann jedoch festgehalten werden, dass vor allem folgende vier Technologien mit derzeit geringem Reifegrad in Zukunft eine Schlüsselrolle in ihrem Bereich einnehmen könnten.

- Untergrund-Energiespeicher (Technologiefeld: Energiespeicher)
- Perowskit-Solarzellen und Tiefe Geothermie (Technologiefeld: Energiebereitstellung)
- Wasserstoff in der Zementindustrie (Energieanwendungen)

Einige der betrachteten Technologie- und Innovationsdurchbrüche sind als konzeptioneller Ansatz seit einiger Zeit bekannt und in Bezug auf Forschung und Entwicklung etabliert. Gleichzeitig verfügen sie über ein großes ungenutztes Wachstumspotenzial. Aufgrund ihrer technologischen Reife stehen sie an der Schnittstelle zwischen Forschungs- und Innovationspolitik und industriepolitischen Belangen. Hierbei sind vor allem die Technologien Untergrund-Energiespeicher, Perowskit-Solarzellen, Tiefe Geothermie und Wasserstoff in der Zementindustrie zu nennen.

Zur Methodik der Technologiebewertung bleibt festzuhalten, dass der technologieoffene und möglichst umfassende Betrachtungsansatz für das Projektvorhaben zielführend war. Die Bewertung potenzieller Popcorn-Technologien hat aber auch gezeigt, dass zu vielen Bereichen teils nur wenige Daten und Informationen vorhanden sind, weshalb eine Fokussierung auf das Schließen von Wissenslücken, gerade im Bereich des Marktpotenzials (MRL, market readiness level) und der Systemintegration (SRL, system readiness level), als sinnvoll erachtet wird.

Es gibt zusätzliche Einschränkungen der Studie, die kurz angeführt werden sollten: Erstens besteht ein potenzieller „Bias“ in der Auswahl der Technologien. Obwohl eine breite Palette von Technologien (Energiebereitstellung, Energiespeicher, Energieanwendungen) und ExpertInnen aus verschiedenen Bereichen adressiert wurden, liegt der Schwerpunkt auf Energietechnologien und weniger auf Umwelttechnologien. Zweitens fehlt der Studie aufgrund des breiten Themenspektrums im Zusammenhang mit „Gesellschaft und Akzeptanz“ eine eingehende Analyse der Veränderungen in den einzelnen Bereichen der Gesellschaft und im Bereich des täglichen Lebens. Um diese Einschränkung zu bereinigen, empfehlen wir die Durchführung vertiefender ExpertInneninterviews anhand von konkreten Technologieentwicklungsszenarien. Um die Zukunft durch eine Foresight-Übung zu gestalten, empfehlen wir außerdem, Foresight über ExpertInnen- und Forschungsgemeinschaften hinaus zu vermitteln. Sie muss politische Entscheidungsträger, Praktiker und die breite Öffentlichkeit in die Diskussion und den Aufbau möglicher Szenarien einbeziehen. Drittens wurde das Technologiemonitoring zu einem bestimmten Zeitpunkt durchgeführt, eine Betrachtung über einen längeren Zeitraum würde einen tieferen Einblick bieten.

Die Rolle einer in die Zukunft ausgerichteten FTI-Politik muss in diesem Zusammenhang besonders hervorgehoben werden. Sie umfasst die Sensibilisierung und Bewusstseinsbildung von Menschen, die Bereitstellung von Forschungsbudgets, die Bereitstellung von Infrastruktur, den Schutz des geistigen Eigentums, die Unterstützung von exportorientierten Unternehmen, den Kauf neuer Produkte (z.B.

F&E Innovationspartnerschaften, IÖB), die Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen und die Festlegung des allgemeinen Rechtsrahmens (Hekkert, 2007); (Bergek, 2008); (Kim & Wilson, 2019); (Roberts & Geels, 2018). Die wesentliche Rechtfertigung für ein Eingreifen der Öffentlichkeit in Innovationen ist, dass der Markt neue Ideen und Technologien nicht ausreichend liefert - das sogenannte Versagen des Marktes für öffentliche Güter, das Unternehmen dazu veranlasst, Ausgaben zu priorisieren, bei denen Gewinne sicherer sind. Insbesondere radikale neue Konzepte oder disruptive Technologien wie Popcorn-Technologien, die sich häufig aus der wissenschaftlichen Grundlagenforschung oder neuen Anwendungsmöglichkeiten ergeben, werden selten von etablierten Unternehmen bereitgestellt, die sich in der Regel auf schrittweise Verbesserungen ihres bestehenden Technologieportfolios oder etablierte Märkte konzentrieren. Popcorn-Technologien könnten von besonderer Bedeutung in Bezug auf soziale oder ökologische Ergebnisse sein, die von der öffentlichen Hand gewünscht werden, aber einen geringen Marktwert aufweisen. Mit dem Vorhaben wurde in erster Linie der Versuch unternommen, für die Ausrichtung zukünftiger FTI-Programme einen aktuellen Überblick besonders interessanter Technologien zu liefern, die unter den richtigen Rahmenbedingungen ihr volles Potenzial entfalten können und so einen Beitrag zur Transformation unseres Energiesystems leisten.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass heimische Stärkefelder und Technologiekompetenzen in Wissenschaft, Wirtschaft und Industrie notwendig sind, um sicherzustellen, dass Österreich wettbewerbsfähig bleibt und seine Position in Zukunft ausbauen kann, gerade in dem Bereich innovativer Energietechnologien. Um das Innovationspotenzial mittel- bis langfristig zu nutzen, müssen Prozesse zwischen relevanten Strategien und Politikbereichen auf EU-, nationaler und regionaler Ebene abgestimmt erfolgen. Wir hoffen, mit dieser Studie einen Beitrag zu leisten, Technologiepotenziale in Zukunft strategisch zu identifizieren und zu bewerten.

# 7 Verzeichnisse

## 7.1. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Potenzial von betrachteten Popcorn-Technologien (Kreisgröße entspricht dem F&E-Stand) .....	8
<b>Figure 2:</b> Potential of identified Popcorn technologies (size of bubbles represent the R&D status) ...	10
<b>Abbildung 3:</b> Ergebnisdiagramm Potenzielle Schlüsseltechnologien (Kreisgröße entspricht den F&E-Kompetenzen in Österreich) .....	24
<b>Abbildung 4:</b> Potenzial zur Schlüsseltechnologie und derzeitiger F&E-Stand in Österreich in den drei Kategorien Innovative Energiespeicher, zukunftsweisende Energiebereitstellung und klimaschonende Energieanwendungen .....	26
<b>Abbildung 5:</b> Beispiel Szenarioberechnung: Energieverbrauch (Baseline, Popcorn-Szenario) und THG-Emissionen für den Einsatz von Wasserstoff in der Zementindustrie, erstellt mit dem European Calculator (Energieträger-Mix 1990-2050 in der Zementindustrie; Einsatz Wasserstoff ab 2035; Anteil Wasserstoff 2050 -> 20%; Weitere Annahmen EUCalc Ambition Level 1).....	27

## 7.2. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Kriterien und Beschreibung.....	15
<b>Tabelle 2:</b> Annahmen und Quellen zur Berechnung der Technologieszenarien.....	17

## 7.3. Literaturverzeichnis

- Bergek, A. e. (Vol. 32/1 2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems. *Research Policy*, S. 83-117.
- Boston, J. (2016). *Governing for the Future: Designing Democratic Institutions for a Better Tomorrow*.
- Eckhard Störmer, L. B.-K. (2020). Foresight - Using Science and Evidence to Anticipate and Shape the Future. In J. R. Commission, *Backbone Tools for Science for Policy 2.0* (S. 129-142). Elsevier.
- Goffin, K. (2009). *Innovationsmanagement - Strategie und effektive Umsetzung von Innovationsprozessen mit dem Penthalon-Prinzip*. FinanzBuch Verlag.
- Hannes Warmuth, S. T. (February 2020). *Raw materials module and manufacturing and secondary raw materials module for EUCalc*. Von <https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2020/04/D3.1-Raw-materials-module-and-manufacturing.pdf> abgerufen
- Hauschildt, J. (2005). *Dimensionen der Innovation*. In: *Albers, S.; Gassmann, O. (eds) Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

- Hekkert, M. e. (Vol. 74/4 2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, S. 413-432.
- Heumann, A., & Huenges, E. (2017). *Technologiebericht 1.2 Tiefengeothermie innerhalb des Forschungsprojekts TF\_Energiewende*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungszentrum.
- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020 - A special report on Clean Energy Innovation*. Paris.
- Judit Kockat, S. W. (29. February 2020). *WP2 – Buildings module documentation*. Von European Calculator: [https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2020/06/EUCalc\\_Building\\_documentation.pdf](https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2020/06/EUCalc_Building_documentation.pdf) abgerufen
- Kim, Y., & Wilson, C. (Vol. 134 2019). Analysing energy innovation portfolios from a systemic perspective. *Energy Policy*.
- Kougiyas, Aggidis, Avellan, Deniz, Lundin, Moro, . . . Theodossiou. (2019). *Analysis of emerging technologies in the hydropower sector*. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Liu, Sun, Li, Adair, Li, & Sun. (2017). *A comprehensive review on recent progress in aluminium-air batteries*. ScienceDirect, Green Energy & Environment.
- Luis Costa, V. M. (22. February 2021). The decarbonisation of Europe powered by lifestyle changes. *Environmental Research Letters*.
- Miklós Gyalai-Korpos, C. H. (March 2019). *Storage requirements module*. Von [https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc\\_Storage\\_documentation.pdf](https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc_Storage_documentation.pdf) abgerufen
- Miklós Gyalai-Korpos, C. H. (July 2019). *WP5 – Energy supply module documentation*. Von [www.european-calculator.eu: https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc\\_Supply\\_documentation.pdf](https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/09/EUCalc_Supply_documentation.pdf) abgerufen
- Roberts, C., & Geels, F. (2018). Political acceleration of socio-technical transitions. In K. Jenkins, & D. Hopkins, *Transitions in Energy Efficiency and Demand: The Emergence, Diffusion and Impact of Low-Carbon Innovation* (S. 177-194). Routledge.
- Spath, D. (-K. (2010). *Technologiemonitoring - Technologien identifizieren, beobachten und bewerten*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Víctor Codina Gironès, X. L. (September 2018). *Data and model for the integration of district heating*. Von [www.european-calculator.eu: https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/12/EUCalc\\_D2.6.pdf](https://www.european-calculator.eu/wp-content/uploads/2019/12/EUCalc_D2.6.pdf) abgerufen
- Viebahn, P., Kobiela, G., Zelt, O., Wietschel, M., Hirzel, S., Horst, J., & Hildebrand, J. (2018). *Technologien für die Energiewende. Teilbericht 1 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.
- Watson, Moro, Reis, Baniotopoulos, Barth, Bartoli, . . . Stavridou. (2019). *Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective*. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews.



## Internetquellen:

IEA (2020), ETP Clean Energy Technology Guide, IEA, Paris <https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide>

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a874f843-c137-11e8-9893-01aa75ed71a1/language-en>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304782>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s41918-020-00065-4>

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S246802571730081X?token=9F704FE045BB8CA0D70F80013DAD821AD3EBA0F0AD952358AA07ADB9A580F57FFA491A60244F6E4EE30C61D64A1207D5>

<https://www.pv-magazine.de/2019/07/04/perowskit-solarmodule-vielleicht-schon-in-zwei-jahren-auf-dem-markt/>

[https://www.researchgate.net/publication/319161193\\_Perowskit-Solarzellen\\_Neuartige\\_Technologie\\_mit\\_groessem\\_Potenzial](https://www.researchgate.net/publication/319161193_Perowskit-Solarzellen_Neuartige_Technologie_mit_groessem_Potenzial)

<https://www.oxfordpv.com/news/oxford-pv-perovskite-solar-cell-achieves-28-efficiency>

<https://energyindustryreview.com/construction/cemzero-project-the-next-step-towards-a-climate-neutral-cement/>

<https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2019/vattenfall-and-cementa-take-the-next-step-towards-a-climate-neutral-cement>

<https://www.pnas.org/content/117/23/12584>

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/forscher-stellen-emissionsfreien-zement-her/>

<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>

<https://a3bau.at/zementproduktion-mit-gruenem-wasserstoff>

<https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20170726/patents/EP3196177NWA1/document.pdf>

<https://www.heidelbergcement.com/de/pi-26-02-2020>

<https://www.scinexx.de/news/technik/neuer-ansatz-fuer-grueneren-zement/>

[https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/309424/1/FabianMueller\\_thesis\\_HQ\\_final.pdf](https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/309424/1/FabianMueller_thesis_HQ_final.pdf)

[https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research\\_and\\_innovation/knowledge\\_publications\\_tools\\_and\\_data/documents/ec\\_rtd\\_radical-innovation-breakthrough\\_052019.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/knowledge_publications_tools_and_data/documents/ec_rtd_radical-innovation-breakthrough_052019.pdf)

<https://www.hevs.ch/media/document/3/mikrobielle-brennstoffzelle.pdf>

<https://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/626/>

<https://energyload.eu/stromspeicher/graphen-batterie/>

<https://www.powermag.com/what-are-supercritical-co2-power-cycles/>

[https://www.researchgate.net/publication/281131587\\_Review\\_of\\_Supercritical\\_CO2\\_power\\_cycle\\_technology\\_and\\_current\\_status\\_of\\_research\\_and\\_development](https://www.researchgate.net/publication/281131587_Review_of_Supercritical_CO2_power_cycle_technology_and_current_status_of_research_and_development)

<https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/mit-co2-gegen-den-klimawandel-1/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304782>

<https://vortexbladeless.com/story-vortex-bladeless-tech-startup/>

<http://baubiologie.at/strohballenbau/>

[https://www.energie-experten.org/fileadmin/Newsartikel/Newsartikel\\_04/Strohgedaemmte\\_Gebaeude\\_FNR.pdf](https://www.energie-experten.org/fileadmin/Newsartikel/Newsartikel_04/Strohgedaemmte_Gebaeude_FNR.pdf)

<https://publications.rwth-aachen.de/record/479297/files/479297.pdf>

<https://www.energy-innovation-austria.at/article/torrefizierung/>

<https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/funktionelle-inhaltsstoffe/thermische-trennverfahren/torrefizierung.html>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00556850/document>

<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/k/kalinaprozess.html>

[https://web.archive.org/web/20131019091824/http://www.oh.is/skrar/File/Skyrslur\\_og\\_greinar/Enskar/Notes\\_from\\_the\\_North.pdf](https://web.archive.org/web/20131019091824/http://www.oh.is/skrar/File/Skyrslur_og_greinar/Enskar/Notes_from_the_North.pdf)

[https://www.oegut.at/downloads/pdf/anergie-urban\\_projektbericht\\_2020.pdf?m=1598275909](https://www.oegut.at/downloads/pdf/anergie-urban_projektbericht_2020.pdf?m=1598275909)

<https://mk0positionencfuw60h.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2020/05/Study-on-energy-storage.pdf>

# 8 Anhang

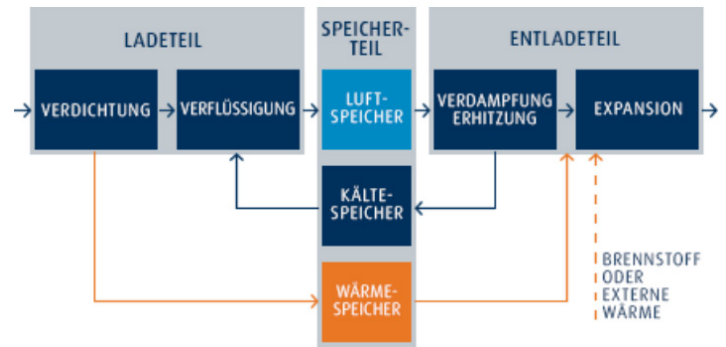
Technologie-Steckbriefe (Stand April 2021)

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Adiabate Flüssigluftspeicher

## KURZBESCHREIBUNG

Flüssigluftenergiespeicher nutzen die Kompression und Expansion von Luft. Luft wird hier in verflüssigtem Zustand gespeichert. Dazu wird diese in einem Luftverflüssigungsprozess auf ca. -190 °C abgekühlt und in einem kryogenen Speichertank bei niedrigem Druck gelagert. Bei der Rückverstromung wird die flüssige Luft verdichtet, verdampft und erwärmt. Bei adiabaten Flüssigluftspeichern (ALAES) wird durch die Speicherung und Wiedereinkopplung der Kompressionsabwärme eine erhebliche Wirkungsgradverbesserung (Speicherwirkungsgrad 50-65%) und lokale Emissionsfreiheit erreicht.

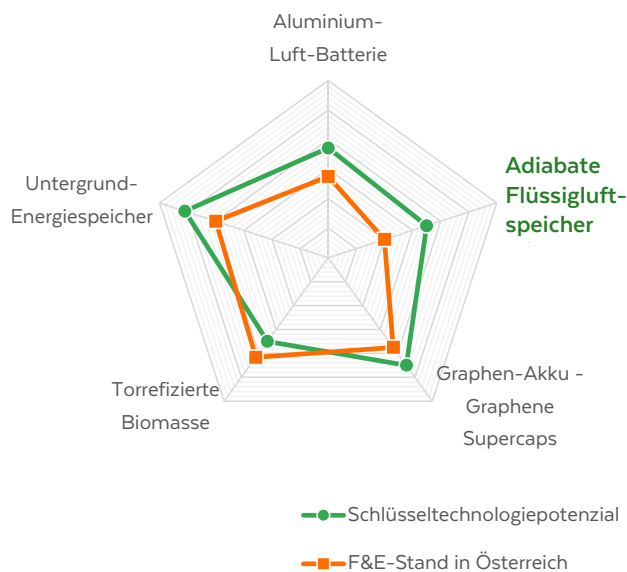


© LINDE, QUELLE: [HTTPS://EPUB.WUPPERINST.ORG/FRONTDOOR/DELIVER/INDEX/DOCID/7056/FILE/7056\\_ENERGIESPEICHER.PDF](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docid/7056/file/7056_energiespeicher.pdf)

### Technology Readiness Level (TRL)



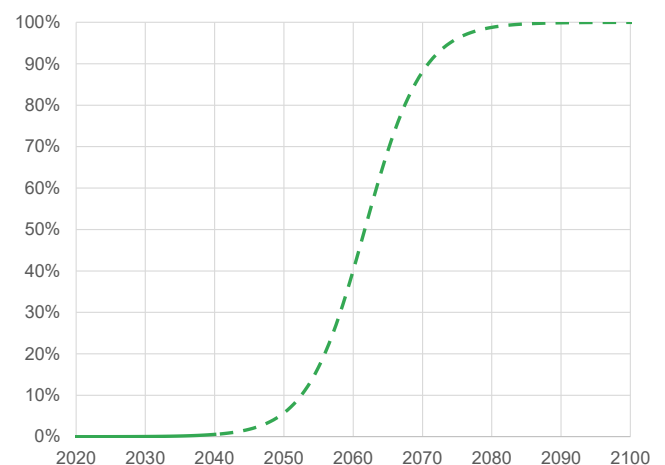
### Schlüsseltechnologiepotenzial innovativer Energiespeicher und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Z. B. im Marchfeld oder im Nordburgenland können adiabate Flüssigluftspeicher eine Alternative zum Netzausbau in Kombination mit den Pumpspeichern in Westösterreich darstellen.

### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Komponentenebene wie u. a. Turbomaschinen, Wärmespeicher und Kältespeicher
- Systemebene inkl. Betriebsführung

### Beitrag zum Klimaschutz

- als großtechnische Speichertechnologie können adiabate Flüssiglufspeicher dabei helfen, mehr volatile Stromerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien im Netz zu ermöglichen

### Beitrag zum Umweltschutz

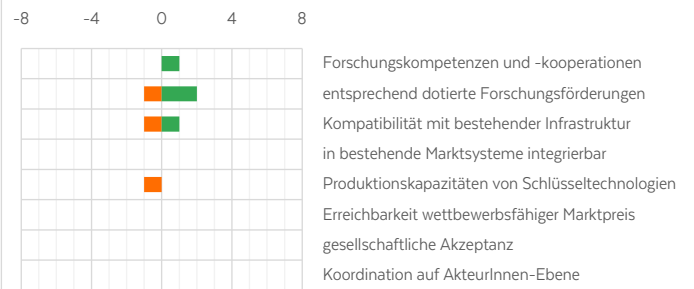
- kein besonderer Beitrag

### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- Geringe Effizienz ggü. kostengünstigeren Speichertechnologien

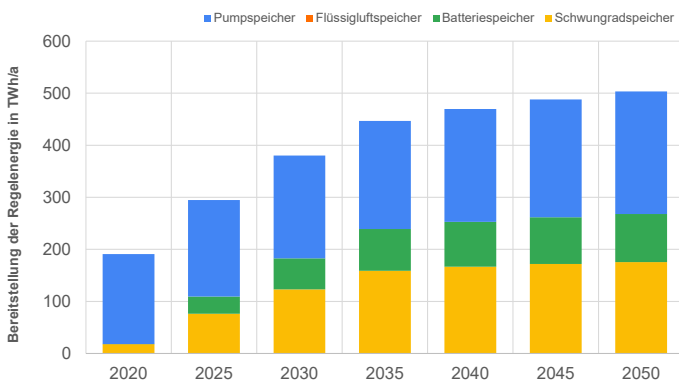
#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Adiabate Flüssiglufspeicher

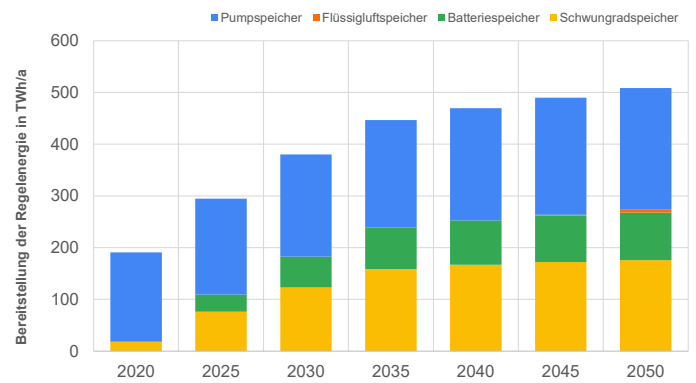


Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

#### Baseline - Adiabate Flüssiglufspeicher



#### Szenario - Adiabate Flüssiglufspeicher



TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Aluminium-Luft-Batterie

## KURZBESCHREIBUNG

Aluminium-Luft-Batterien sind als Primärbatterien (nicht wiederaufladbar) durchaus bekannt und weisen eine sehr hohe Energiedichte auf. Mit der Möglichkeit des Wiederaufladens und einer Verbesserung der Selbstentladung könnte ein großer Sprung in der Batterietechnik gelingen.

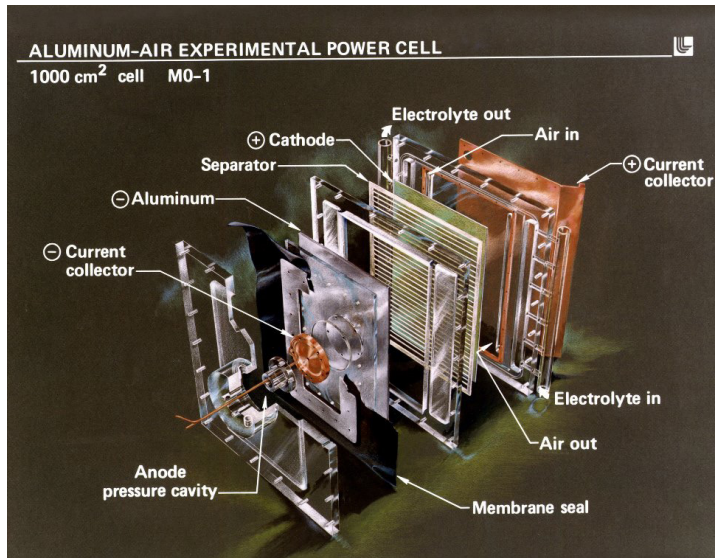
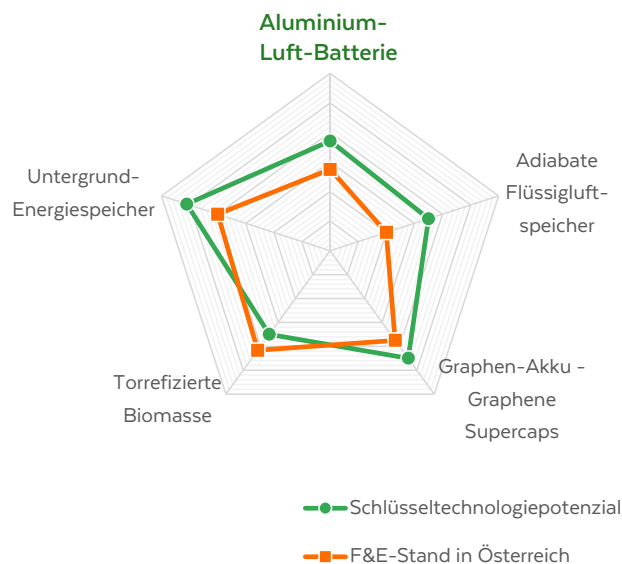
### Technology Readiness Level (TRL)



### Technologiepotenzial

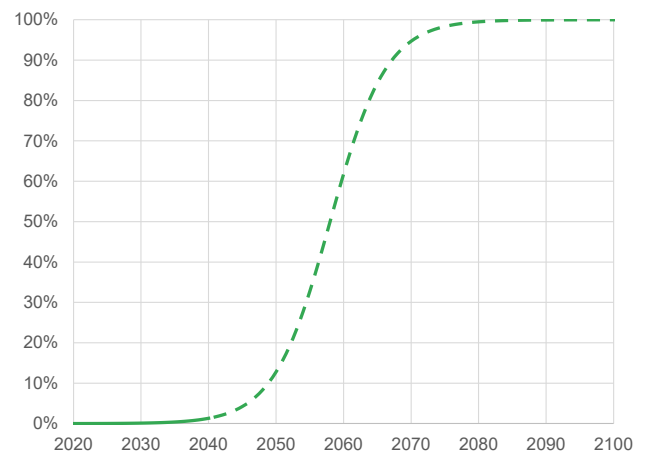
Im Vergleich zu etablierten Lithium-Ionen-Akkus haben Aluminium-Luft-Batterien eine etwa 7-fach höhere volumetrische Energiedichte (8,1 kWh/kg), gravimetrisch immer noch etwa 4-fach höher. Somit stünden sämtliche Akku-Anwendungen offen, sofern eine gute Wiederaufladbarkeit erreicht wird.

### Schlüsseltechnologiepotenzial innovativer Energiespeicher und F&E-Stand in Österreich



© U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, QUELLE: [HTTPS://WWW.UPSBATTERYCENTER.COM/BLOG/ALUMINUM-AIR-REPLACE-GASOLINE/](https://www.upsbatterycenter.com/blog/aluminum-air-replace-gasoline/)

### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Wiederaufladbarkeit erreichen und Lebensdauer erhöhen
- Selbstentladung reduzieren (Korrosionsschutz für die Aluminiumelektrode)
- Recycling von Alt-Batterien

### Beitrag zum Klimaschutz

- auch als Einwegbatterie könnten sich Anwendungen z. B. in der Luftfahrt ergeben und dadurch entsprechend Emissionen reduzieren
- wird eine robuste Wiederaufladbarkeit erreicht, entspräche das einer neuen Akku-Generation

### Beitrag zum Umweltschutz

- Herstellung, Anwendung und Recycling von Aluminium-Luft-Batterien könnte insgesamt umweltverträglicher ausfallen als bei Lithium-Ionen-Akkus (Bewertung benötigt noch entsprechende Forschung)

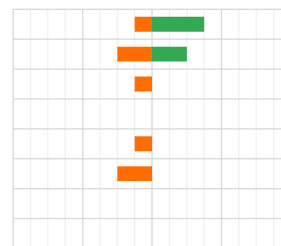
### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (-)

- + Anwendung in der Elektromobilität
- Recycling von Batterien

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Aluminium-Luft-Batterie

-8 -4 0 4 8

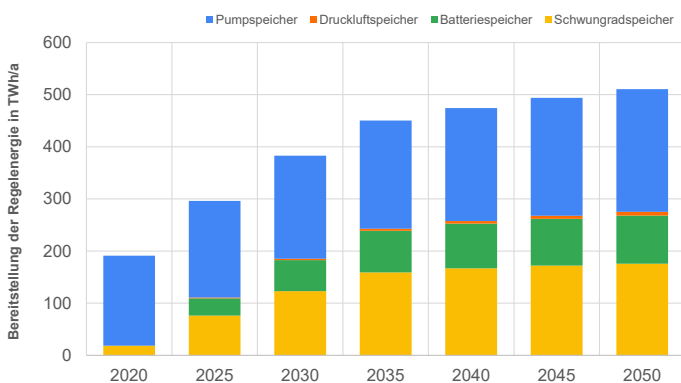


Forschungskompetenzen und -kooperationen  
entsprechend dotierte Forschungsförderungen  
Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur  
in bestehende Marktsysteme integrierbar  
Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien  
Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis  
gesellschaftliche Akzeptanz  
Koordination auf Akteuren-Ebene

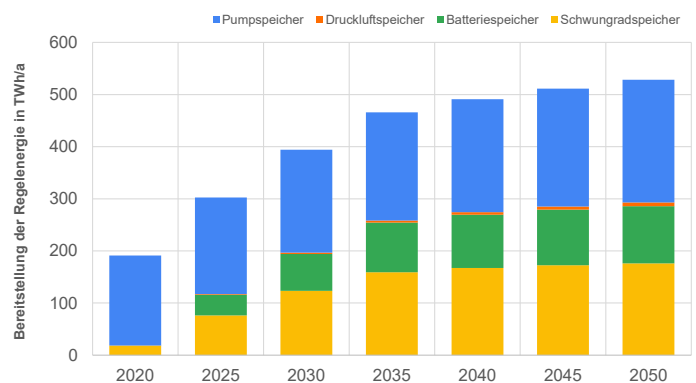
Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

#### Baseline - Aluminium-Luft-Batterie



#### Szenario - Aluminium-Luft-Batterie

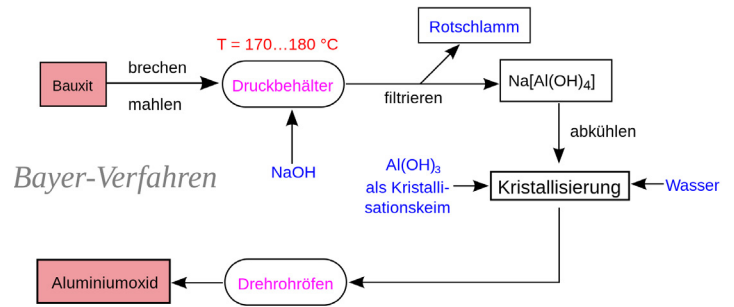


TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Alternative Wärmequellen im Bayer-Verfahren

## KURZBESCHREIBUNG

Das Bayer-Verfahren - die Hauptmethode zur Raffination von Bauxit zu Aluminiumoxid (der Input für das Schmelzen von Aluminium) - erfordert Wärme und Dampf von 100 bis 250°C, die derzeit mit fossilen Brennstoffen geliefert werden. Aktuell werden in Versuchsanlagen Solarthermie-Systeme und die Abwärme von Biomasse-Verbrennungsanlagen als alternative Wärmequellen erprobt..

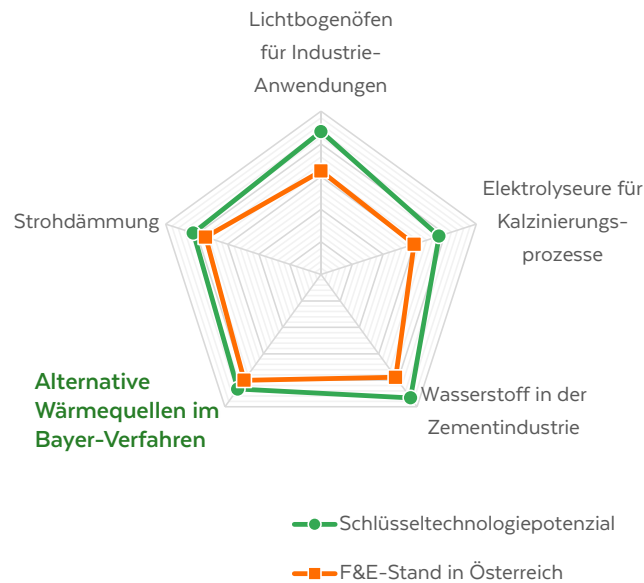


© ANDREAS SCHMIDT, QUELLE: [HTTPS://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/BAYER-VERFAHREN](https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Verfahren)

### Technology Readiness Level (TRL)



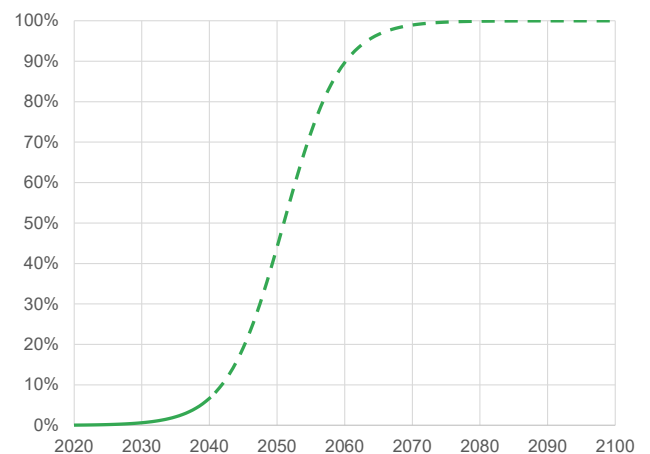
### Schlüsseltechnologiepotenzial klimaschonender Energieanwendungen und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Für das Herauslösen von Aluminiumhydroxid aus Bauxit werden Temperaturen bis 250° C benötigt, für das anschließende Brennen der Hydroxide zu Oxiden 1200° C und mehr. Die für den Löseschritt benötigte Wärme könnte durch Solarwärme, Biomasse oder Überschussstrom bereitgestellt werden.

### Erwartbare Technologiediffusion





### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Machbarkeitsstudie zur Nutzung konzentrierter thermischer Sonnenenergie
- Skalierung für die industrielle Anwendung

### Beitrag zum Umweltschutz

- kein besonderer Beitrag

### Beitrag zum Klimaschutz

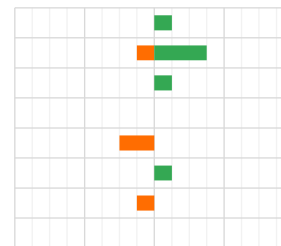
- pro Tonne Aluminiumoxid werden rund 165 kg CO<sub>2</sub> emittiert, was zum Teil durch konzentrierte Solarthermie oder Biomasse reduziert werden könnte

### Beschleuniger und Hemmnisse

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Alternative Wärmequellen im Bayer-Prozess

-8    -4    0    4    8



Forschungskompetenzen und -kooperationen  
entsprechend dotierte Forschungsförderungen  
Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur  
in bestehende Marktsysteme integrierbar  
Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien  
Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis  
gesellschaftliche Akzeptanz  
Koordination auf AkteurlInnen-Ebene

Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Drohnen-Windenergiesysteme

## KURZBESCHREIBUNG

Windkraftanlagen, bei denen die Stromgewinnung durch Flugbewegung von Drohnen erfolgt, wobei sich durch das Kabel anstelle eines Turms größere „Erntehöhen“ erzielen lassen, die wiederum deutlich höhere Windgeschwindigkeiten und damit mehr Stromoutput bedeuten.

### Single wind drone

The whole cable dissipates power through aerodynamic drag

### Multi wind drone

Wind →

Split point is kept fixed by the controller

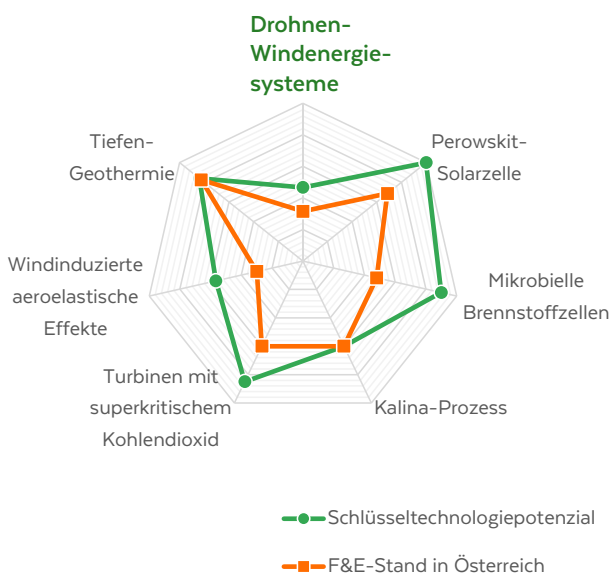
Being still, this part of the cable does not dissipate power

© A. CHERUBINI, QUELLE: [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S1364032119304782#BIB23](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304782#BIB23)

### Technology Readiness Level (TRL)



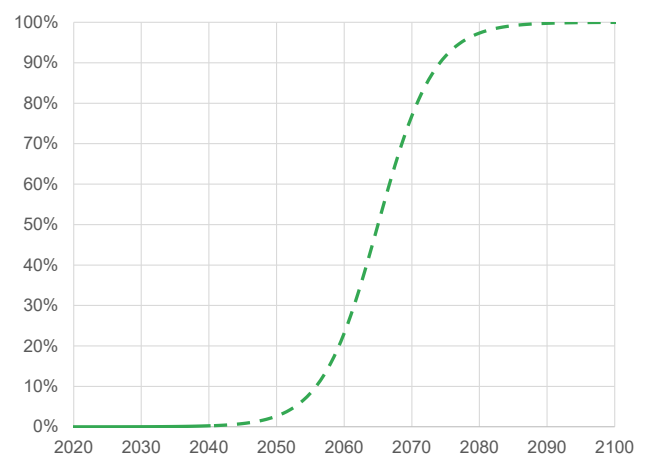
### Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Durch die gesteigerte „Erntehöhe“ wird ein größerer Stromertrag erzielt. Gleichzeitig sind weniger Flächen geeignet. Geht man davon aus, dass sich beide Effekte in etwa die Waage halten, kann man für Österreich anhand der konventionellen Windkraft ein Potenzial von 10 bis 40 TWh abschätzen.

### Erwartbare Technologiediffusion

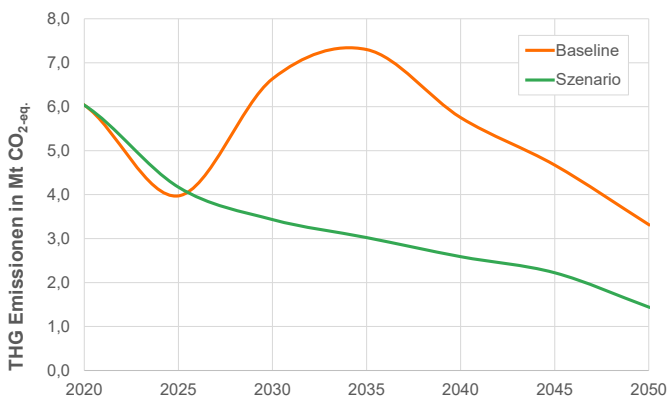


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

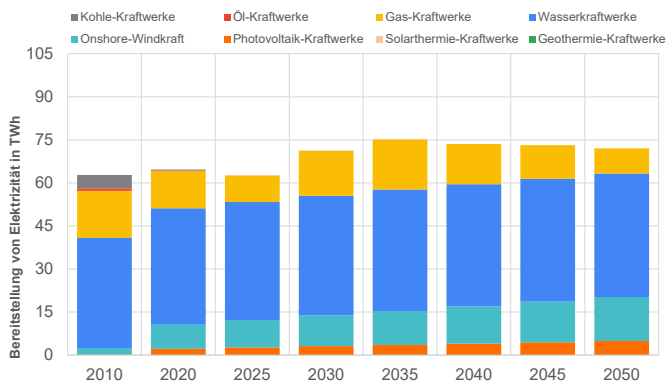
- Vorgehensweise bei extremen Wetterbedingungen
- Zusammenspiel und Zuverlässigkeit der Komponenten und des Gesamtsystems
- Automatisierungssysteme

### Beitrag zum Klimaschutz

- erhöhte Windkraftnutzung auf bzw. über geeigneten Flächen, dadurch ein erhöhtes Potenzial an klimaschonender Strombereitstellung
- gleichmäßigere Strombereitstellung und damit weniger Bedarf an evtl. emissionsbelasteter Regellenergie



Baseline - Drohnen-Windenergiesysteme

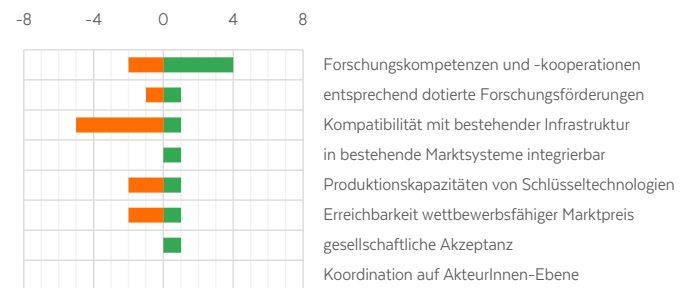


### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (-)

- Konfliktpotenzial in der Luftraumnutzung
- Extreme Wetterbedingungen (Systemsicherheit & -zuverlässigkeit)
- soziale Akzeptanz

### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

#### Drohnen-Windenergiesysteme

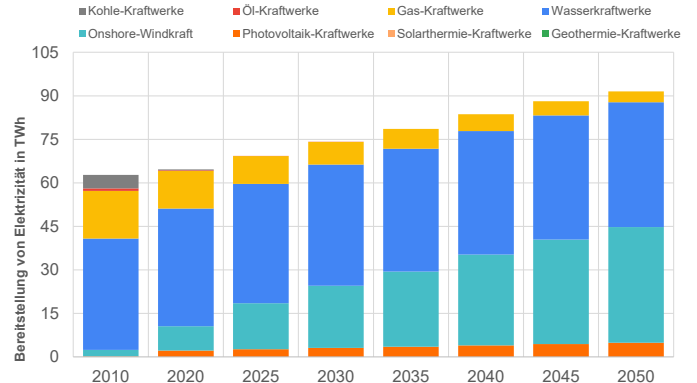


Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

### Beitrag zum Umweltschutz

- ca. 90 % weniger Materialverbrauch im Vergleich zur konventionellen Windkraft

Szenario - Drohnen-Windenergiesysteme

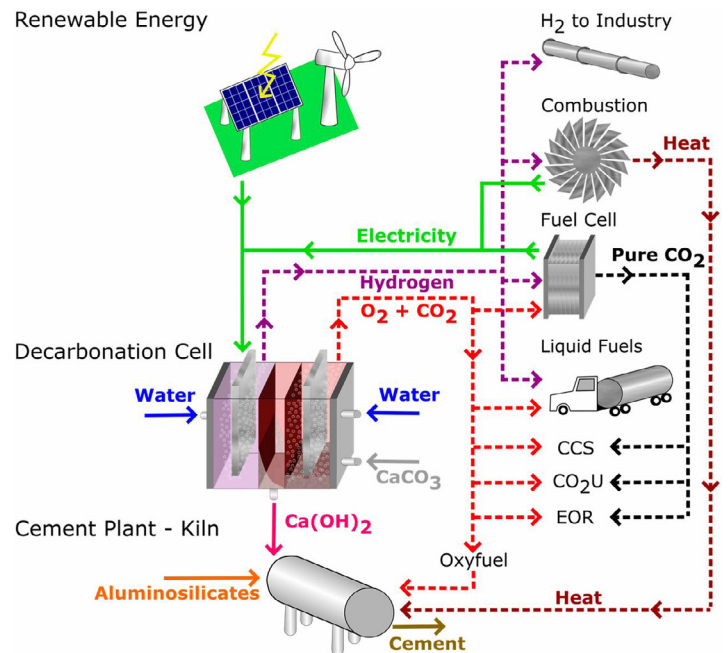


TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Elektrolyseure für Kalzinierungsprozesse

## KURZBESCHREIBUNG

Die Kalzinierung von Kalkstein ist ein Schlüsselprozess der Zementherstellung. Derzeit wird ein Verfahren entwickelt, um Calciumcarbonat in einem Elektrolyseur elektrochemisch in Calciumhydroxid umzuwandeln, wobei ein konzentrierter  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ -Dampf und Wasserstoff erzeugt werden. Das Calciumhydroxid kann dann in Calciumsilikate umgewandelt werden, die für Zement in einem Ofen benötigt werden.

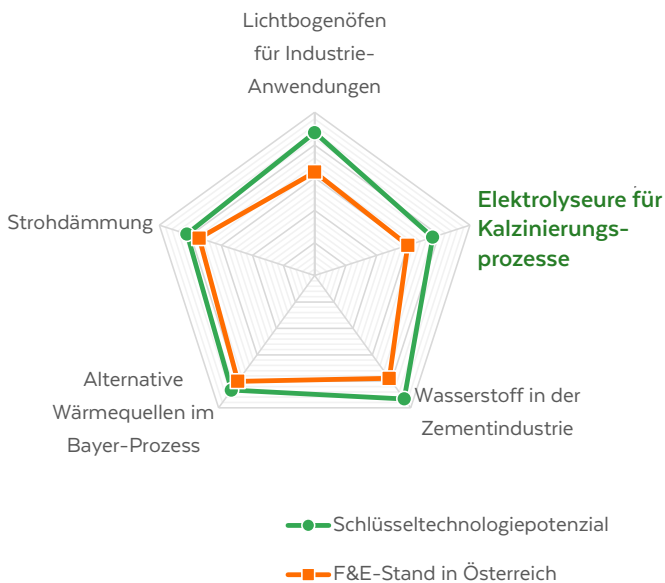


© ELLIS ET AL., 2019, QUELLE: [HTTPS://WWW.PNAS.ORG/CONTENT/117/23/12584](https://www.pnas.org/content/117/23/12584)

### Technology Readiness Level (TRL)



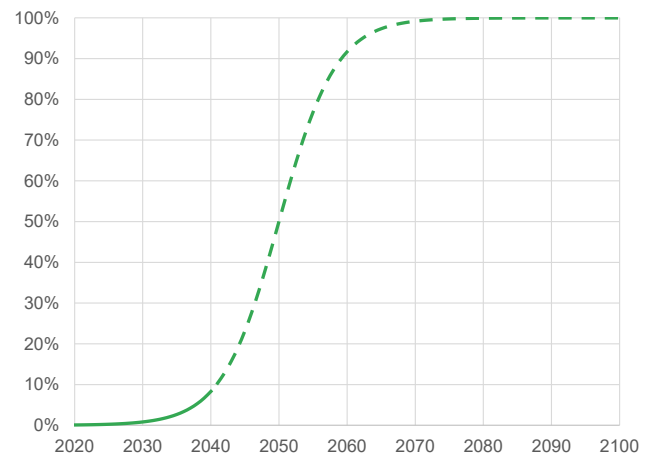
### Schlüsseltechnologiepotenzial klimaschonender Energieanwendungen und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

In Österreich werden jährlich knapp 5 Millionen Tonnen Zement hergestellt. Der Klinkeranteil konnte im Schnitt auf rund 70 % gesenkt werden, wodurch für das Elektrolyseur-Verfahren alleine in der österreichischen Zementindustrie ein Markt von über 3 Millionen Tonnen Klinker besteht.

### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Skalierung in den industriellen Maßstab
- Verfahrenreife für Koppel- und Nebenprodukte

### Beitrag zum Umweltschutz

- Nebenprodukte und Abwärme können direkt am Standort genutzt werden

### Beitrag zum Klimaschutz

- Aktuell fallen in Österreich pro Tonne Zement rund 350 kg prozessbedingte Treibhausgase (ohne Energieeinsatz) an. Diese könnten weitgehend minimiert werden.

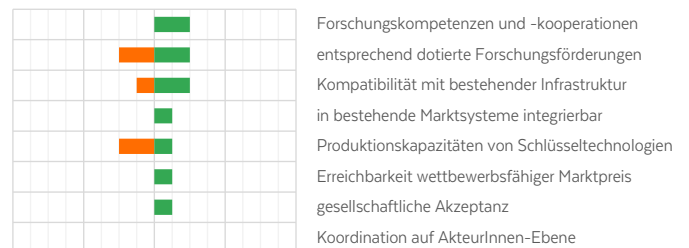
### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- + hohe Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur
- + Etablierung von Carbon Contracts for Difference
- + Realisierung der Sektorkopplung für branchenübergreifende Emissionsminderungsprojekte
- + Anpassung bestehender technischer Regeln sowie des Bau- und Vergaberechtes
- + Bewertung von Baustoffen und Bauwerken über den gesamten Lebenszyklus
- + Schaffung von Märkten, Rahmenbedingungen und Anreizen für CO<sub>2</sub>-reduzierte Zemente und Betone
- + Ausbau der Leitungs- und Speicherinfrastruktur für erneuerbaren Strom, Wasserstoff und CO<sub>2</sub>
- + Berücksichtigung der Karbonatisierung in den Treibhausgasinventuren, in der CO<sub>2</sub>-Berechnung, in CO<sub>2</sub>-Fußabdruckmethoden und in Zertifizierungsschemen für CO<sub>2</sub>-Senken
- + Verwertung vorhandener Ressourcen, d.h. Verbot des Abfalltransportes außerhalb der EU
- Verfügbarkeit von ausreichend leistbarem CO<sub>2</sub>-neutralem Strom
- Alternative Brennstoffe und alternative Rohstoffe
- Mangelnde Transport- und Speicherinfrastruktur für Strom und CO<sub>2</sub>

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Elektrolyseure für Kalzinierungsprozesse

-8    -4    0    4    8



Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

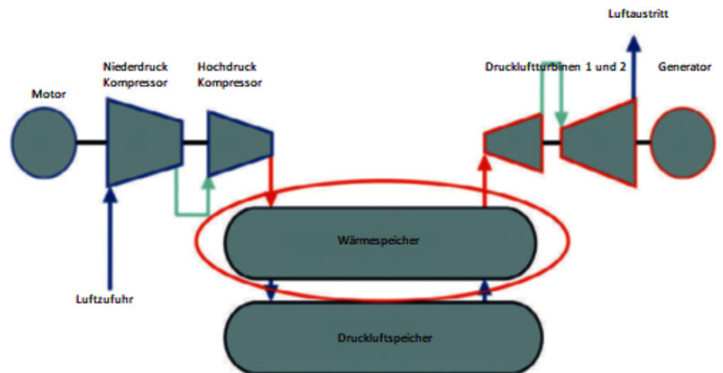
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Untergrund-Energiespeicher

## KURZBESCHREIBUNG

Mit dem vermehrten Einsatz von witterungsabhängigen Energietechnologien steigt auch der Speicherbedarf, um das Energieangebot mit der aktuellen Nachfrage abgleichen zu können. Ein abgeschlossener Untergrund-Wasserkörper kann hierbei zum Beispiel als natürlicher Wärmespeicher dienen. Gibt es zusätzlich die Möglichkeit, Druckluft (verflüssigt oder nicht) in entsprechenden Mengen einzulagern, ist die Errichtung eines adiabaten Druckluftspeichers naheliegend.



© ERNST HUENGENS, QUELLE: [HTTPS://WWW.GEOTHERMIE.DE/BIBLIOTHEK/LEXIKON-DER-GEOTHERMIE/D/DRUCKLUFTSPEICHER.HTML](https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/d/druckluftspeicher.html)

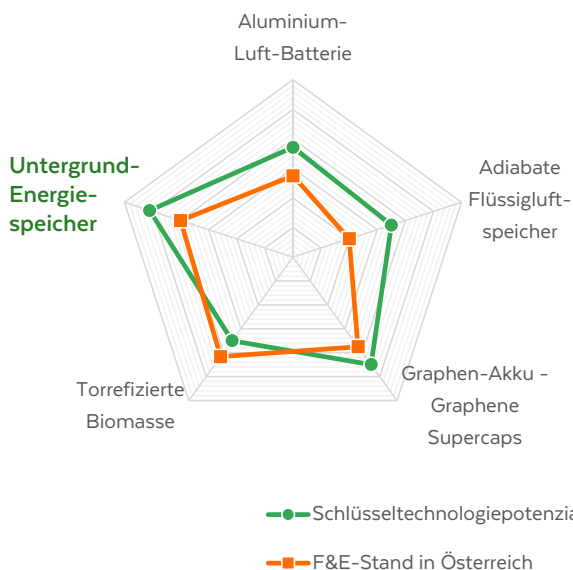
### Technology Readiness Level (TRL)



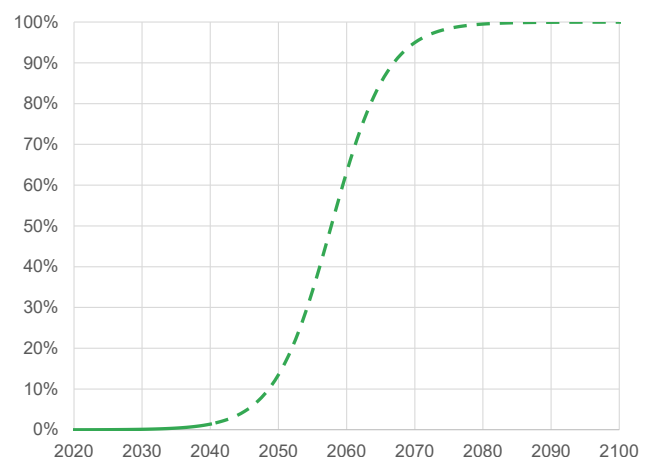
### Technologiepotenzial

Eine belastbare Potenzialstudie, in welchen Gebieten Österreichs die notwendigen geologischen Gegebenheiten wahrscheinlich sind, fehlt noch.

### Schlüsseltechnologiepotenzial innovativer Energiespeicher und F&E-Stand in Österreich



### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Beurteilung möglicher Beeinträchtigungen des Grundwassers
- stichprobenartige Erkundungen und systematische, flächendeckende Einschätzung der Ausbaupotenzials

### Beitrag zum Klimaschutz

- relativ kostengünstiger Speicher

### Beitrag zum Umweltschutz

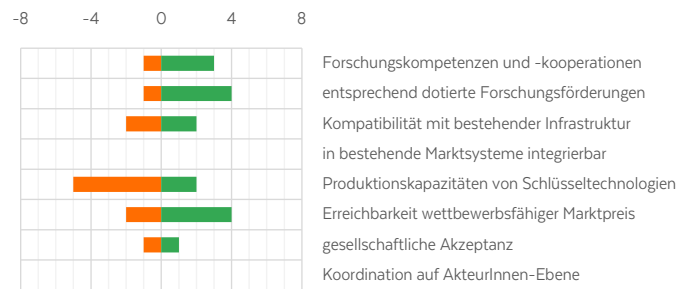
- kein besonderer Beitrag

### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- Schutz des Grundwassers
- Geologische Komplexität

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Untergrund-Energiespeicher



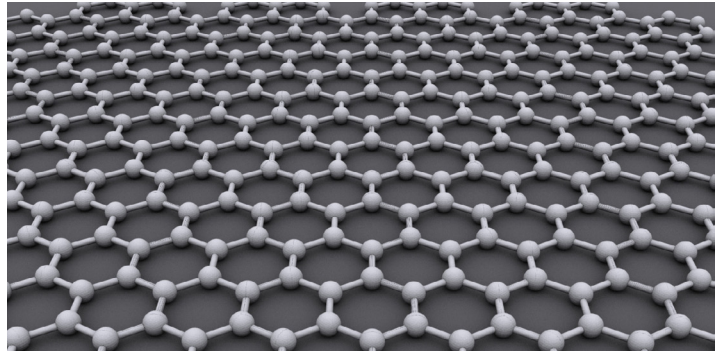
Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Graphen-Akku - Graphene Supercaps

## KURZBESCHREIBUNG

Graphen-Akkus sind wesentlich leichter als herkömmliche Akkus, da viel weniger Kohlenstoff verwendet werden muss, um dieselbe Leitfähigkeit zu erreichen. Durch die dünnere Beschichtung der Elektroden haben Graphen-Akkus eine längere Lebensdauer. Darüber hinaus können mit Graphen angereicherte Akkus sehr viel schneller geladen werden.

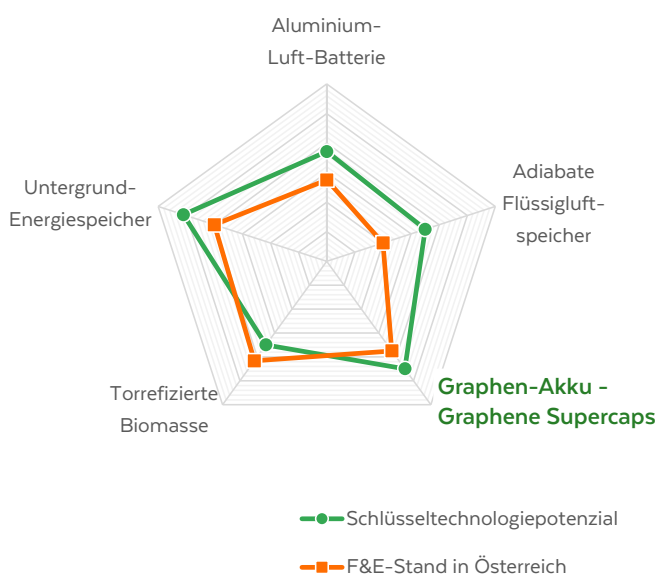


© ALEXANDERAIUS, QUELLE: [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:GRAPHEN.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graphen.JPG)

### Technology Readiness Level (TRL)



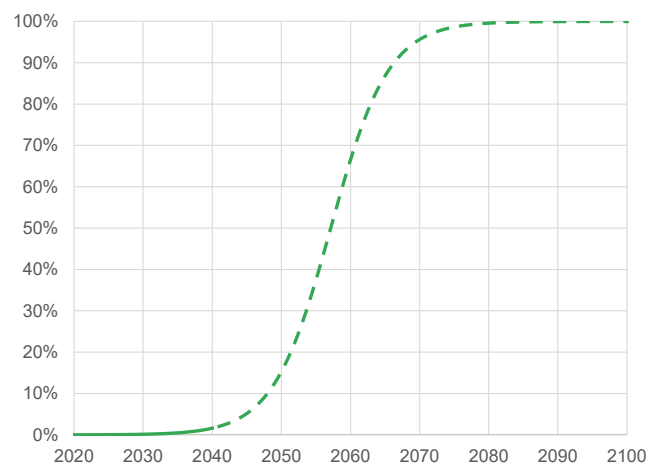
### Schlüsseltechnologiepotenzial innovativer Energiespeicher und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Graphen-Akkus haben das Potenzial, etablierte Li-Ionen-Akkus zu ersetzen, wodurch ein sehr breites Feld an Anwendungen möglich ist. Erste Marktanwendungen, z. B. in Powerbanks, wurden bereits realisiert.

### Erwartbare Technologiediffusion





### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- kostengünstigere Herstellungsverfahren
- Feldforschung für neue Anwendungen

### Beitrag zum Klimaschutz

- da auch für mobile Anwendungen grundsätzlich tauglich, könnten Graphen-Akkus die nächste Generation an Akkus für die Elektromobilität werden

### Beitrag zum Umweltschutz

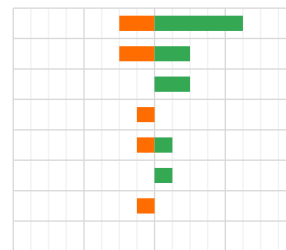
- kein besonderer Beitrag

### Beschleuniger und Hemmnisse

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Graphen-Akku - Graphene Supercaps

-8    -4    0    4    8



Forschungskompetenzen und -kooperationen  
entsprechend dotierte Forschungsförderungen  
Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur  
in bestehende Marktsysteme integrierbar  
Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien  
Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis  
gesellschaftliche Akzeptanz  
Koordination auf AkteurlInnen-Ebene

Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

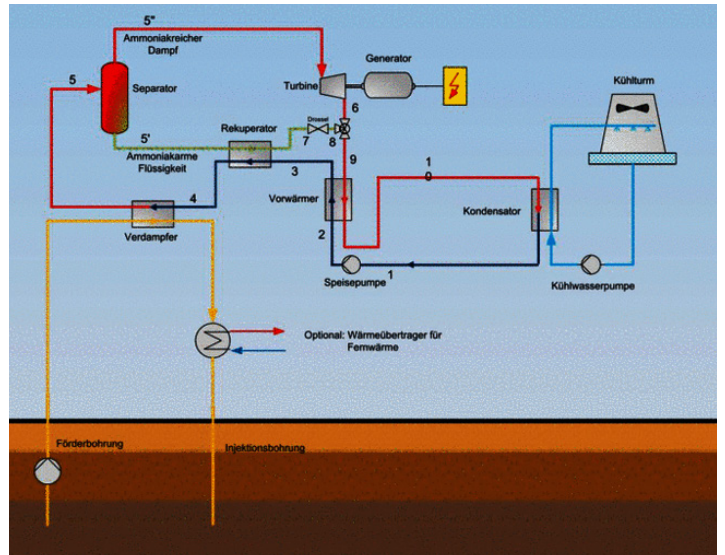
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Kalina-Prozess

## KURZBESCHREIBUNG

Die Niedertemperaturverstromung (~ 100° C) ist durch die Nutzung von Geothermie wieder mehr in den Fokus gerückt. Der Kalina-Prozess, der als Weiterentwicklung des ORC-Prozesses verstanden werden kann, kann hier einen Wirkungsgrad von rund 15 % erzielen – also in etwa dem Doppelten eines ORC-Prozesses.

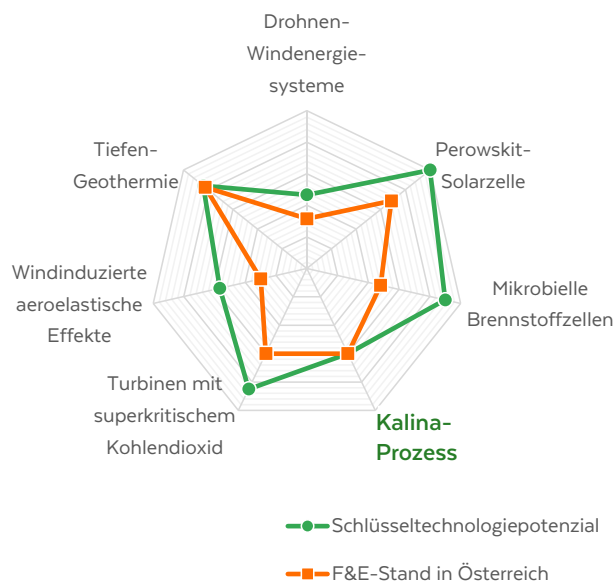


© GE-CO, QUELLE: [HTTPS://WWW.GEOTHERMIE.DE/BIBLIOTHEK/LEXIKON-DER-GEOTHERMIE/K/KALINAPROZESS.HTML](https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/k/kalinaprozess.html)

Technology Readiness Level (TRL)



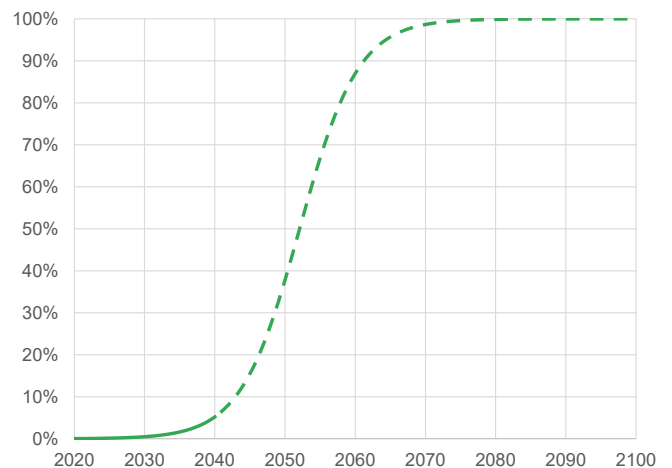
Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



Technologiepotenzial

Niedertemperaturverstromung ist bei vielen Anwendungen relevant, jedoch ist der relativ hohe Aufwand nur in einem regelmäßig - bestmöglich kontinuierlichen - Betrieb finanzierbar. Die Geothermie bietet sich hier aufgrund der Temperaturenniveaus und der Kontinuität besonders an.

Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Kostensenkungen bei den Komponenten
- begleitende Forschung bei Demonstrationsanlagen

### Beitrag zum Klimaschutz

- wesentliche Technologie, um Erdwärme mit einem vernünftigen Wirkungsgrad verstromen zu können

### Beitrag zum Umweltschutz

- kein besonderer Beitrag

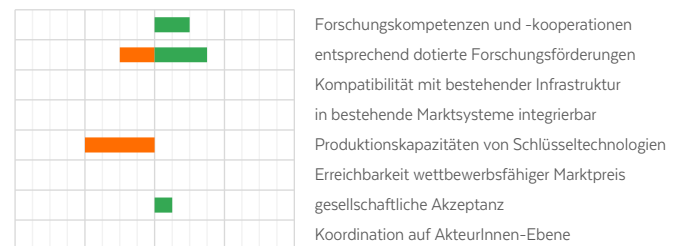
### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- Aufwändige Anlagen und Prozesstechnik
- Wartung aufgrund Ammoniak aufwändiger

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Kalina-Prozess

-8    -4    0    4    8



Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

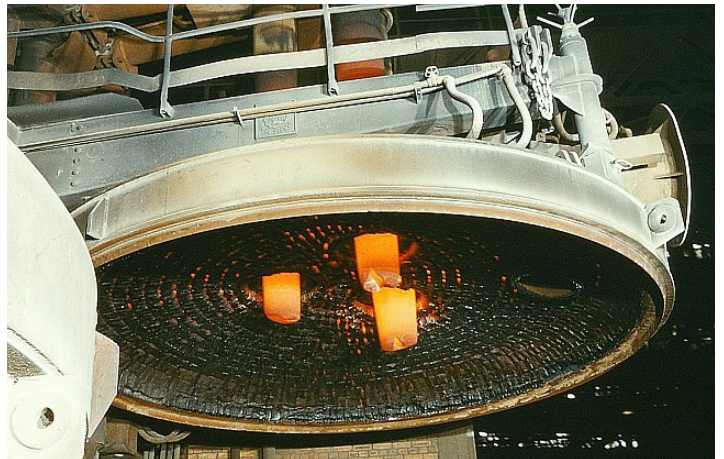
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Lichtbogenöfen für Industrie-Anwendungen

## KURZBESCHREIBUNG

Plasma-Lichtbogenöfen sind spezielle Lichtbogenöfen. Diese Öfen werden heute in einigen Anwendungen verwendet, hauptsächlich bei der Verbrennung gefährlicher Abfälle und der Verarbeitung einiger Metalle (z. B. Titan, Wolfram). Die Technologie bietet die Möglichkeit, an andere Hochtemperatur-Wärmeprozesse angepasst zu werden, die derzeit schwer zu elektrifizieren sind, wie z. B. die Herstellung von Zement und Aluminiumoxid.

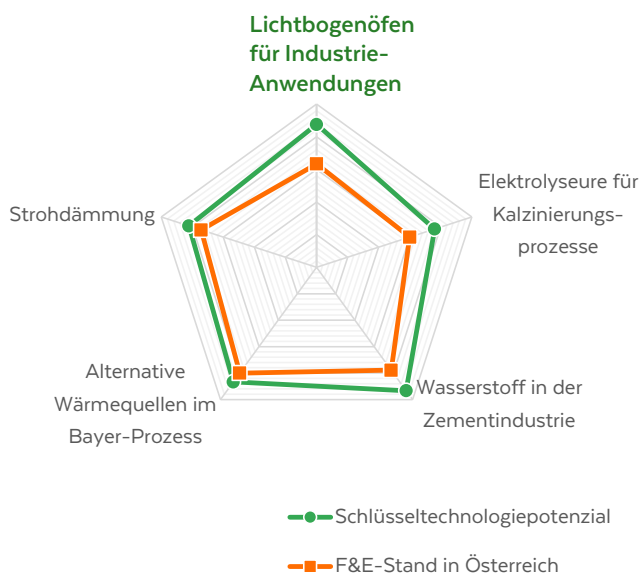


© EUGEN NOSKO, QUELLE: [https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtbogenofen#/Media/Datei:FOTOTHEK\\_DF\\_N-32\\_0000122\\_METALLURGE\\_F%C3%BCR\\_H%C3%BCTTENSTECHNIK.JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtbogenofen#/Media/Datei:FOTOTHEK_DF_N-32_0000122_METALLURGE_F%C3%BCR_H%C3%BCTTENSTECHNIK.JPG)

### ☑ Technology Readiness Level (TRL)



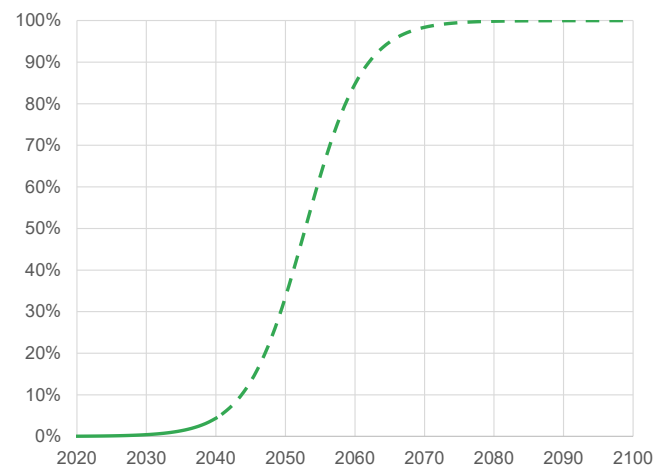
### 🔑 Schlüsseltechnologiepotenzial klimaschonender Energieanwendungen und F&E-Stand in Österreich



### ☆ Technologiepotenzial

Für eine aussagekräftige Potenzialabschätzung bedarf es spezifischen Vorstudien, die die Machbarkeit des Einsatzes von Lichtbogenöfen für die einzelnen Industrieverfahren überprüfen.

### 📈 Erwartbare Technologiediffusion

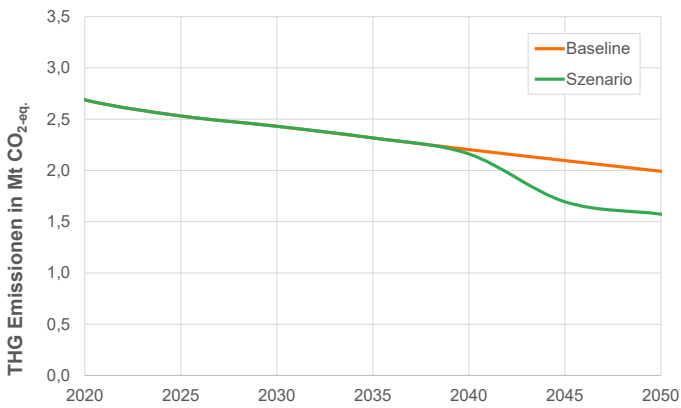


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- technische Machbarkeit und Erprobung für die unterschiedlichen Industrieverfahren
- Ermittlung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Auswirkungen für bzw. in den spezifischen Branchen

### Beitrag zum Klimaschutz

- Emissionsreduktionen durch Elektrifizierung möglich



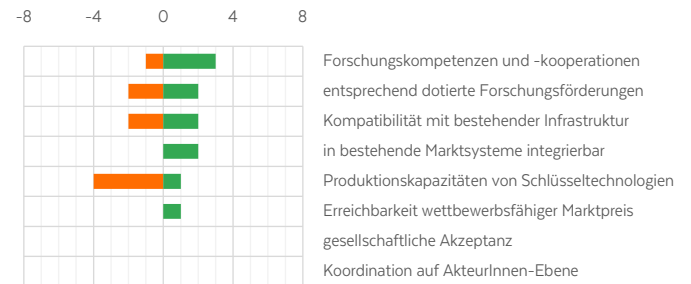
### Beitrag zum Umweltschutz

- Modernisierung der Industrieprozesse kann auch weitere Adaptionen anstoßen, z. B. Carbon Capture and Use in der Zementklinkerherstellung

### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

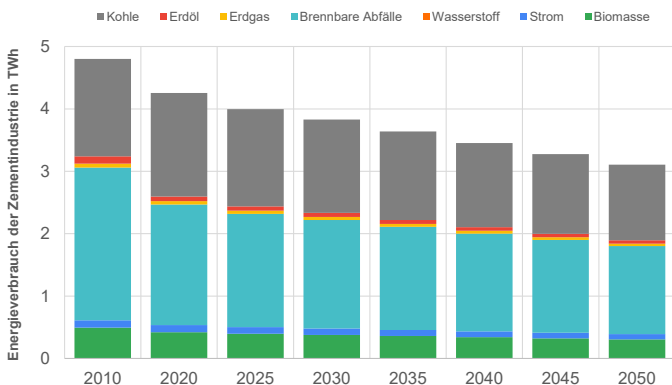
- + vorhandene Forschungskompetenzen und -kooperationen
- + Existenz von entsprechend dotierten Forschungsförderungen
- + hohe Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur
- + gut in z.B. bestehende Marktsysteme integrierbar
- fehlende Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien
- Mangel an entsprechend dotierten Forschungsförderungen
- geringe Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich Lichtbogenöfen für Industrie-Anwendungen

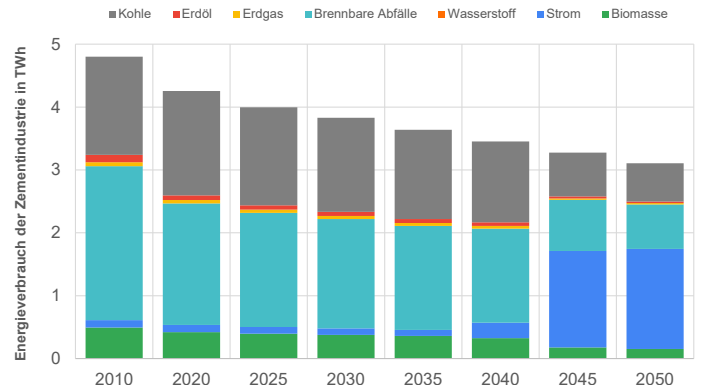


Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

#### Baseline - Lichtbogenöfen für Industrieanwendungen



#### Szenario - Lichtbogenöfen für Industrieanwendungen

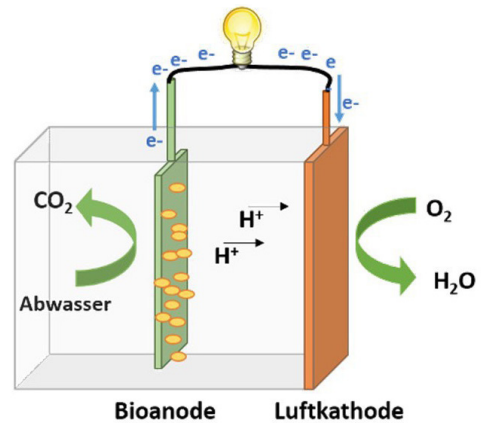


TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Mikrobielle Brennstoffzellen

## KURZBESCHREIBUNG

Mikrobielle Brennstoffzellen können zur Stromgewinnung oder auch zur Wasserstoffproduktion genutzt werden. Bei üblicherweise geringeren Betriebstemperaturen als bei konventionellen Brennstoffzellen ergibt sich ein sehr ähnliches Funktionsprinzip.



© RWTH AACHEN, QUELLE: <https://www.ita.rwth-aachen.de/cms/ita/die-organisationseinheit/aktuelle-meldungen/-oscm/f-cell-award-2017-fuer-das-institut-fuer/>

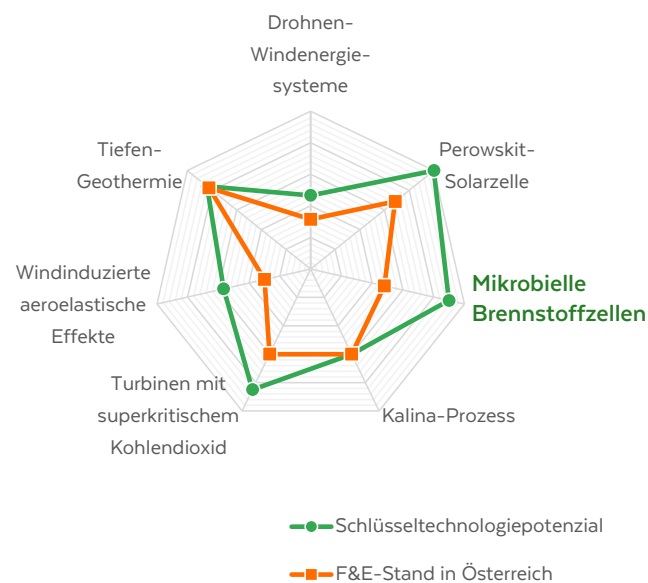
### Technology Readiness Level (TRL)



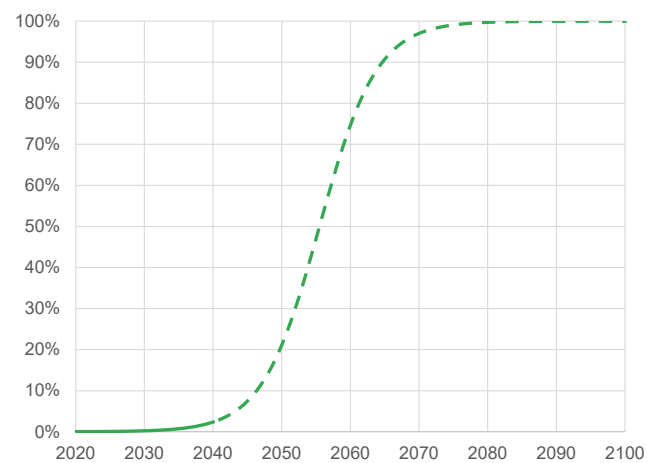
### Technologiepotenzial

In Österreich gibt es rund 220 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaupkapazität von jeweils mehr als 15.000 Einwohnergleichwerten.

### Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Angleich des Wirkungsgrads im Feldversuch (25 %) auf den Laborwert (89 %)

### Beitrag zum Klimaschutz

- in Industrieländern erfolgen ca. 2-3 % des Stromverbrauchs in Kläranlagen
- mikrobielle Brennstoffzellen können Kläranlagen sogar zu Nettostromproduzenten werden lassen

### Beitrag zum Umweltschutz

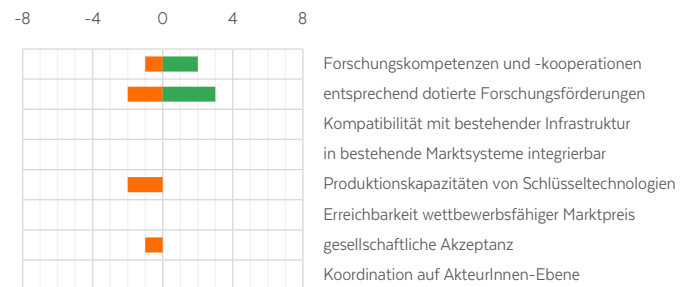
- gelingt es entsprechende Sets an stabilen und moderierbaren Enzymen zu entwickeln, könnten Abwässer sehr gezielt aufbereitet werden

### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- Methanisierung von biologischen Abfallstoffen

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Mikrobielle Brennstoffzellen



Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

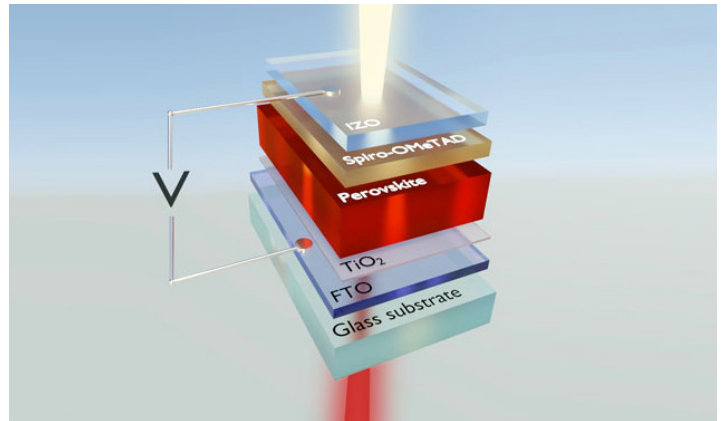
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Perowskit-Solarzelle

## KURZBESCHREIBUNG

Eine Dünnschicht-PV-Technologie auf Nicht-Siliziumbasis, die Perowskit verwendet, ein Mineral, das sehr gut Licht absorbiert. Im Labor wurden Wirkungsgrade von 25 % erreicht, aber bisher nur bei kleinen Zellflächen. Bemühungen, ähnliche Wirkungsgrade zu erzielen, waren bisher nicht erfolgreich. Perowskit-Solarzellen leiden auch noch unter einer geringen Haltbarkeit.

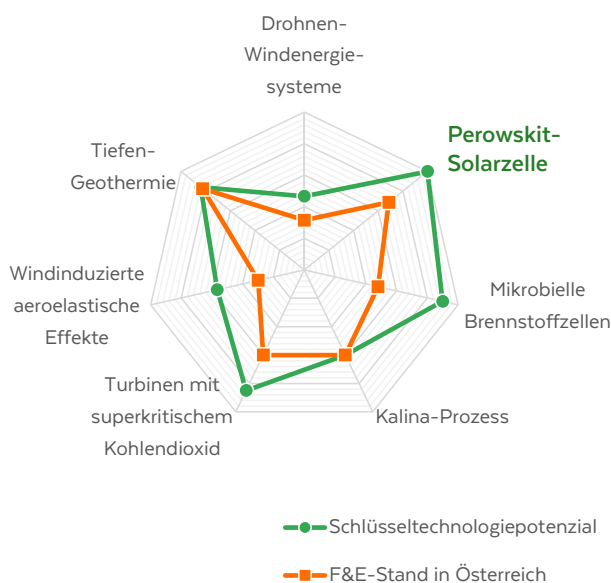


© KIT.EDU, QUELLE: [HTTPS://WWW.SONNENSEITE.COM/DE/WISSENSCHAFT/WAS-PEROWSKIT-SOLARZELLEN-SO-EFFIZIENT-MACHT/](https://www.sonnenseite.com/de/wissenschaft/was-perowskit-solarzellen-so-effizient-macht/)

### Technology Readiness Level (TRL)



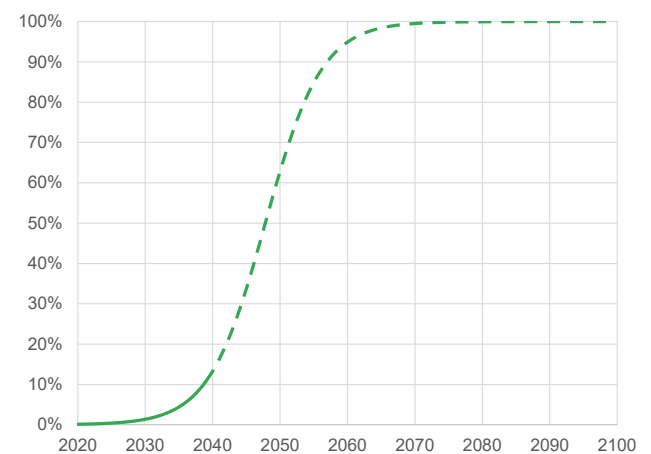
### Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Als neue und kostengünstigere Photovoltaik-Technologie steht Perowskit-Solarzellen das gesamte PV-Potenzial in Österreich offen - je nach Studie liegt dieses zwischen rund 20 und 55 TWh.

### Erwartbare Technologiediffusion



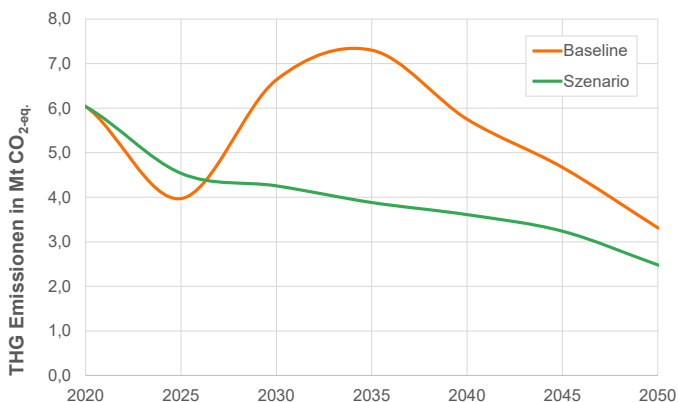


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Langlebigkeit verbessern (v. a. Feuchtigkeitsempfindlichkeit)
- mögliche Zellflächen vergrößern
- Steigerung des Wirkungsgrads
- Entwicklung von geeigneten Herstellungsverfahren

### Beitrag zum Klimaschutz

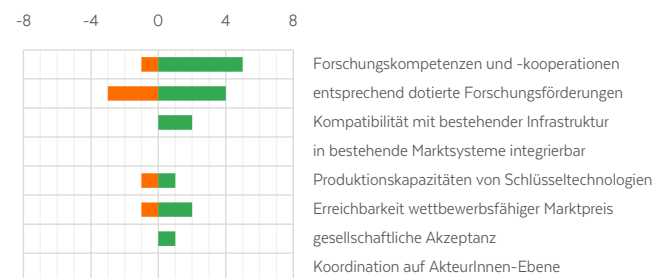
- wenn sich der Kosten- und Effizienzvorteil in die Massenproduktion übertragen lässt, wäre das ein entsprechender Boost für die Photovoltaik



### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (-)

- Vermeidung giftiger Materialien (Blei)
- Verbesserung der Lebensdauer (Lichtalterung, Feuchte-Wärme, Temperaturwechsel)

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich Perowskit-Solarzelle

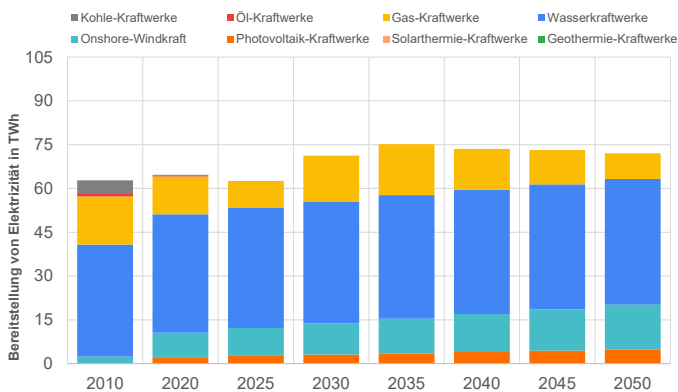


Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

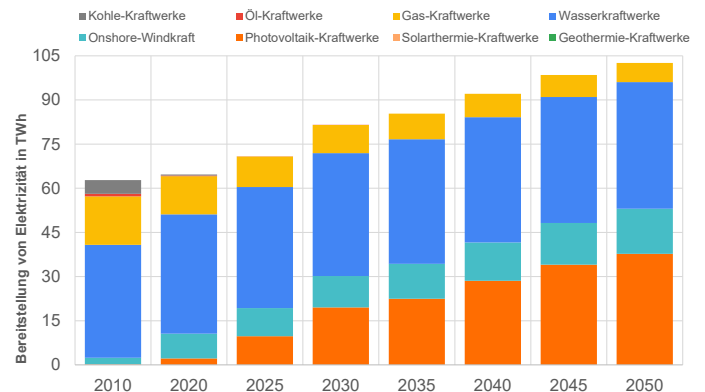
### Beitrag zum Umweltschutz

- kein besonderer Beitrag

#### Baseline - Perowskit-Solarzelle



#### Szenario - Perowskit-Solarzelle



TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Strohdämmung

## KURZBESCHREIBUNG

Stroh (und auch andere nachwachsende Rohstoffe) eignen sich hervorragend als Dämmstoff, sind allerdings durch Industriedämmstoffe wie EPS und XPS fast vollständig verdrängt worden. Versuche zeigen, dass das Brandverhalten, Fäulnis und Insektenbefall keine Probleme darstellen, dennoch will sich die breite Anwendung nicht (wieder) einstellen.

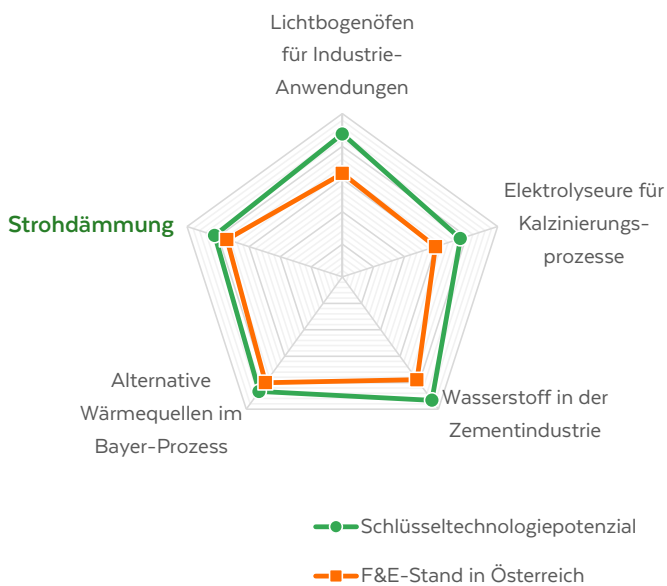


© ANDREA GROISBÖCK/BIOHOF ACHLEITNER, QUELLE: [HTTPS://NACHHALTIGWIRTSCHAFTEN.AT/DE/HDZ/PROJEKTE/BIOHOF-ACHLEITNER-GEBAUDE-AUS-HOLZ-STROH-LEHM-RAUMKLIMATISIERUNG-MIT-HILFE-VON-PFLANZEN.PHP](https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/biohof-achleitner-gebäude-aus-holz-stroh-lehm-raumklimatisierung-mit-hilfe-von-pflanzen.php)

### Technology Readiness Level (TRL)



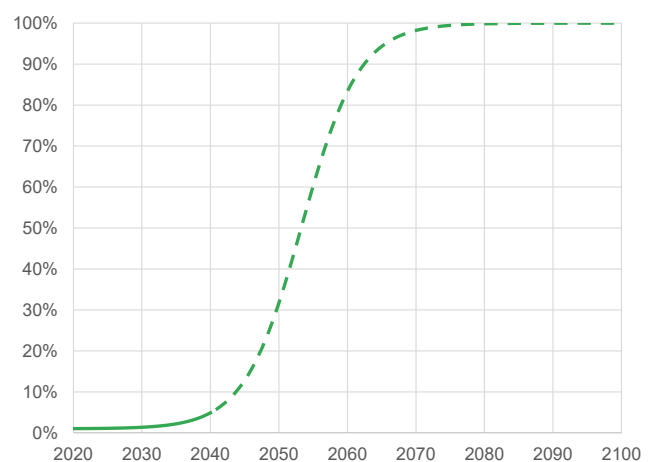
### Schlüsseltechnologiepotenzial klimaschonender Energieanwendungen und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Laut GDI werden in Österreich jährlich rund 6,3 Millionen Qubikmeter Dämmstoff verarbeitet. Gemäß dem Projekt „Austrian BioCycles“ gibt es in Österreich (nach Abzug der Menge für Einstreu usw.) ein jährliches Potenzial von 1,6 Millionen Tonnen. Theoretisch besteht also das Potenzial, den Dämmstoffmarkt doppelt zu bedienen.

### Erwartbare Technologiediffusion

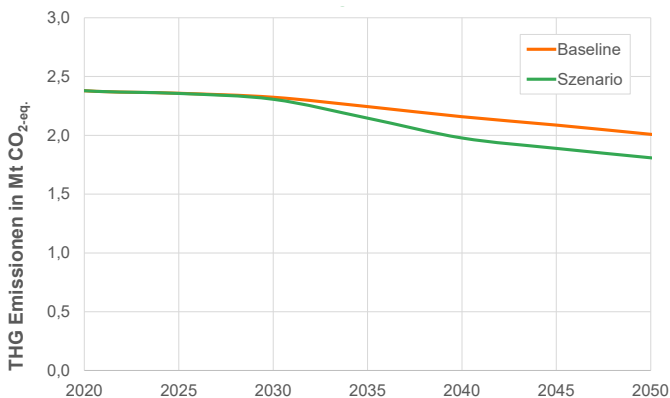


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- geeignete Bauausführung beim Wechsel zur Perimeterdämmung
- weitere Erprobungen im Bereich Strohballenbau
- bauspezifische Produktnormen

### Beitrag zum Klimaschutz

- als Dämmstoff haben Strohballen eine zentrale Rolle im Klimaschutz
- dezentrale und regionale Versorgung möglich

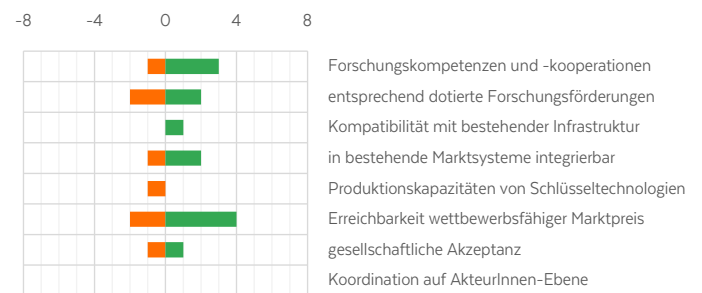


### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (–)

- + wettbewerbsfähiger Marktpreis gut erreichbar
- + vorhandene Forschungskompetenzen und -kooperationen
- + Existenz von entsprechend dotierten Forschungsförderungen
- + gut in z.B. bestehende Marktsysteme integrierbar
- Mangel an entsprechend dotierten Forschungsförderungen
- wettbewerbsfähiger Marktpreis kaum erreichbar

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Strohdämmung



Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

### Beitrag zum Umweltschutz

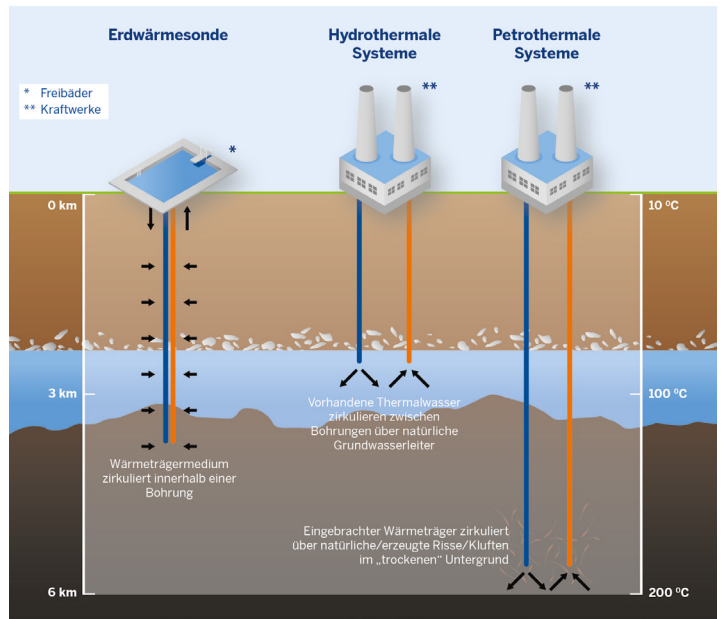
- ökologisches und biologisch abbaubares Dämmmaterial

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Tiefen-Geothermie

## KURZBESCHREIBUNG

Tiefengeothermische Anlagen nutzen die im Untergrund in etwa 1.500 m bis 5.000 m Tiefe vorhandene Wärme (Temperaturen über 60°C) zur Bereitstellung von Wärme und/oder zur Erzeugung von Strom. Obwohl innovative Erschließungskonzepte wie das „Enhanced Geothermal System“ (EGS; auch Hot Dry Rock Verfahren genannt) ein erhebliches Potenzial aufweisen, können EGS Verfahren lokal Erdstöße auslösen (z.B. bei dem Deep-Heat-Mining Projekt in der Schweiz mit einer Stärke von bis zu 3,5 Punkten auf der Richter Skala).



© ENERGIEAGENTUR.NRW, QUELLE: [HTTPS://WWW.ENERGIEAGENTUR.NRW/BLOGS/ERNEUERBARE/FAQ/WELCHE-NUTZUNGSVERFAHREN-DER-TIEFEN-GEOTHERMIE-GIBT-ES/](https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/faq/welche-nutzungsverfahren-der-tiefen-geothermie-gibt-es/)

### ☑ Technology Readiness Level (TRL)

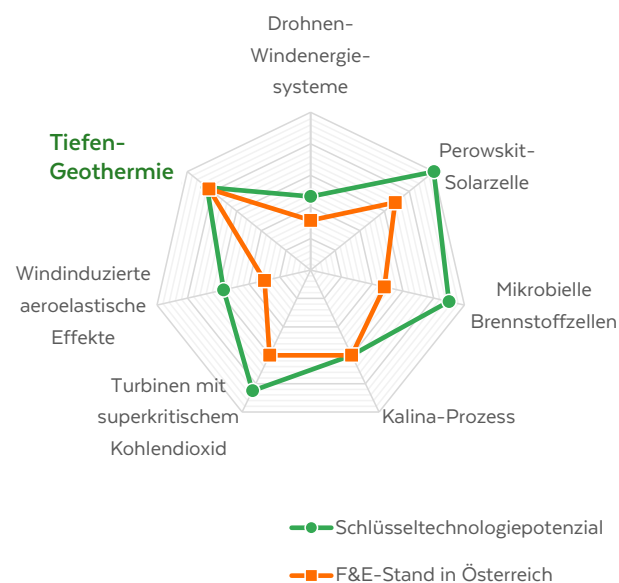
Hydrothermal



Petrothermal



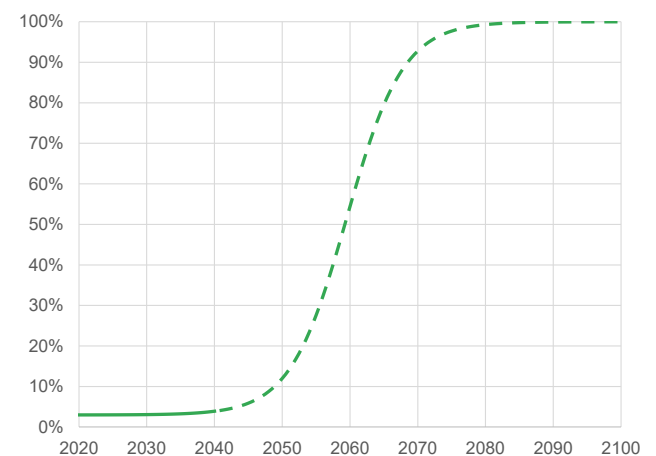
### 🔑 Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



### ★ Technologiepotenzial

Das thermische (tiefe) Geothermiepotezial wird in Studien für Österreich auf bis zu rund 60 TWh (thermisch) eingeschätzt. Somit sollte via Verstromung ein Potenzial von knapp 8 TWh (elektrisch) möglich sein.

### 📈 Erwartbare Technologiediffusion

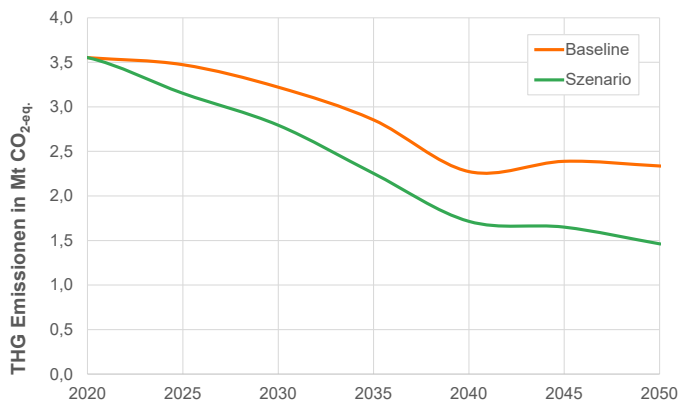


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- verbesserte Erkundungsmethoden zur Minimierung des Fündigkeitsrisikos
- Verfahren zur signifikanten Kostensenkung und Sicherung nachhaltiger Lagerstättenproduktivität
- Akzeptanz- und vergleichende Risikoanalysen zur Nutzung des unterirdischen Raumes

### Beitrag zum Klimaschutz

- THG-Reduktionspotenzial durch Geothermie liegt gegenüber Erdgas bei rund -65 %
- grundlastfähige Strombereitstellung
- strom- und wärmegeführte Betriebsweise möglich



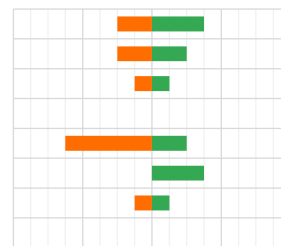
### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (-)

- Geologische Komplexitäten und hohes Fündigkeitsrisiko
- Lange Planungs- und Entwicklungszeiten
- Seismologische Gefahren durch EGS

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Tiefe Geothermie

-8 -4 0 4 8



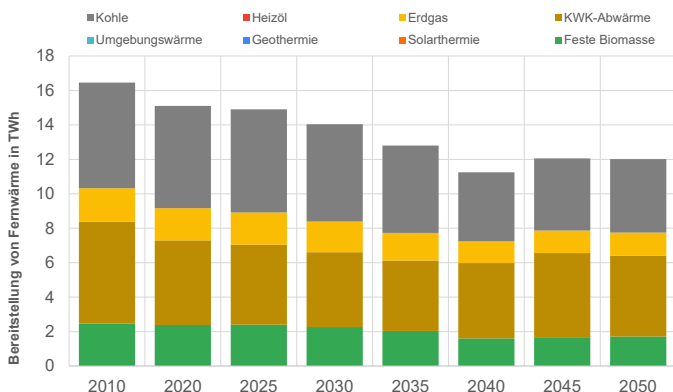
- Forschungskompetenzen und -kooperationen
- entsprechend dotierte Forschungsförderungen
- Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur
- in bestehende Marktsysteme integrierbar
- Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien
- Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis
- gesellschaftliche Akzeptanz
- Koordination auf AkteurInnen-Ebene

Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

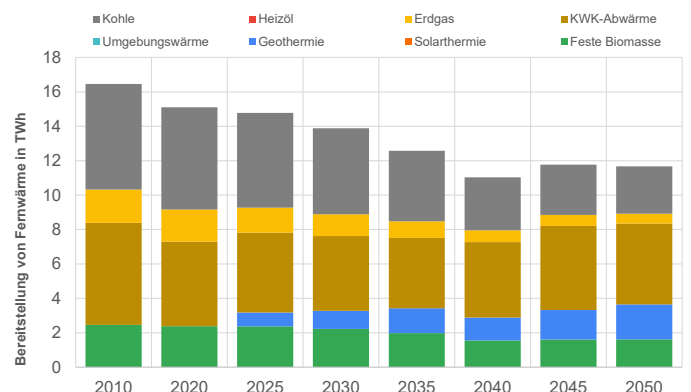
### Beitrag zum Umweltschutz

- direkte Substitution fossiler Energieträger, vor allem im Wärmesektor
- äußerst geringer Flächenverbrauch

#### Baseline - Tiefe Geothermie



#### Szenario - Tiefe Geothermie



TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Torrefizierte Biomasse

## KURZBESCHREIBUNG

In einem Pyrolyse-Verfahren (Sauerstoffausschluss) bei relativ geringen Temperaturen (250-300° C) wird Biomasse umgewandelt, wodurch bei dieser die Energiedichte erhöht wird. Dafür wird rund 10 % des Energieinhalts der Biomasse im Verfahren benötigt. Diese „Holzkohle 2.0“ lässt sich besser lagern und transportieren als unbehandelte Biomasse-Pellets und verbrennt auch sauberer als die Biomasse direkt, da diese Stoffe bereits bei der Pyrolyse umgewandelt werden.

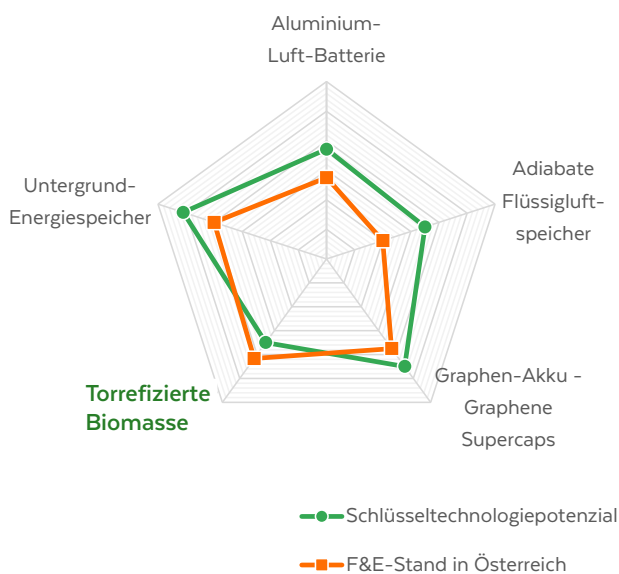


© FRAUNHOFER IGB, QUELLE: <https://www.ee-news.ch/de/article/38598/fraunhofer-igb-dampftrocknungs-verfahren-fur-biomasse-folgen-auf-torrefizierte-pellets-nun-torrefizierte-holz-hackschnitzel>

### Technology Readiness Level (TRL)



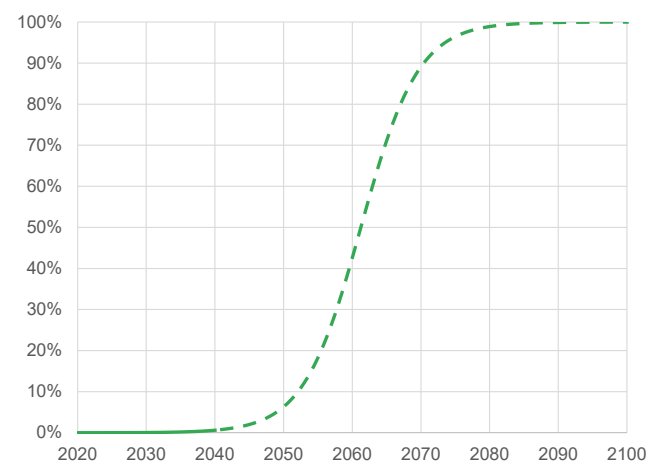
### Schlüsseltechnologiepotezial innovativer Energiespeicher und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

Rund die Hälfte der Haushalte in Österreich heizen mit Holz. Hier könnten Pellets und Briketts aus torrefizierter Biomasse ebenso eingesetzt werden. Auch ist durch die erhöhte Energiedichte torrefizierte Biomasse für mehr Haushalte (bzw. Anwendungen) interessant als normales Brennholz.

### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Demonstration großtechnischer Anlagen
- Begleitforschung zur Etablierung am Markt

### Beitrag zum Klimaschutz

- erhöhte Brennstoffausnutzung führt zu geringeren Treibhausgasemissionen
- geringerer Transportaufwand
- bessere Lagerfähigkeit und damit auch als träger Speicher nutzbar

### Beitrag zum Umweltschutz

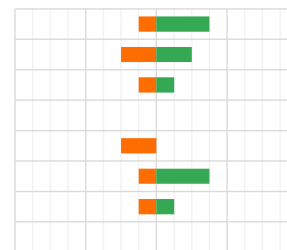
- bessere Verbrennungseigenschaften (weniger Luftschadstoffe)

### Beschleuniger und Hemmnisse

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

##### Torrefizierte Biomasse

-8    -4    0    4    8



Forschungskompetenzen und -kooperationen  
entsprechend dotierte Forschungsförderungen  
Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur  
in bestehende Marktsysteme integrierbar  
Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien  
Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis  
gesellschaftliche Akzeptanz  
Koordination auf AkteurInnen-Ebene

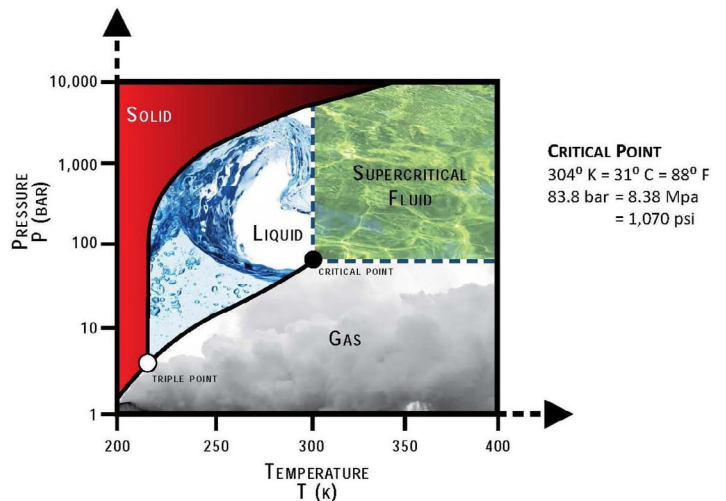
Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Turbinen mit superkritischem Kohlendioxid

## KURZBESCHREIBUNG

Das System der scCO<sub>2</sub> hat ein großes Potential für eine hohe Effizienz, da hohe Temperaturunterschiede möglich sind. Die hohe Dichte und volumenbezogene Wärmekapazität von scCO<sub>2</sub> im Vergleich zu anderen Arbeitsflüssigkeiten ergeben eine höhere Energiedichte, folglich kann die Größe der meisten Systemkomponenten wie der Turbine und der Pumpe signifikant verkleinert werden, was zu kleineren Anlagen-Fußabdrücken und Investitionskosten führt.



© U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, QUELLE: [HTTPS://WWW.POWERMAG.COM/WHAT-ARE-SUPERCritical-CO2-POWER-CYCLES/](https://www.powermag.com/what-are-supercritical-co2-power-cycles/)

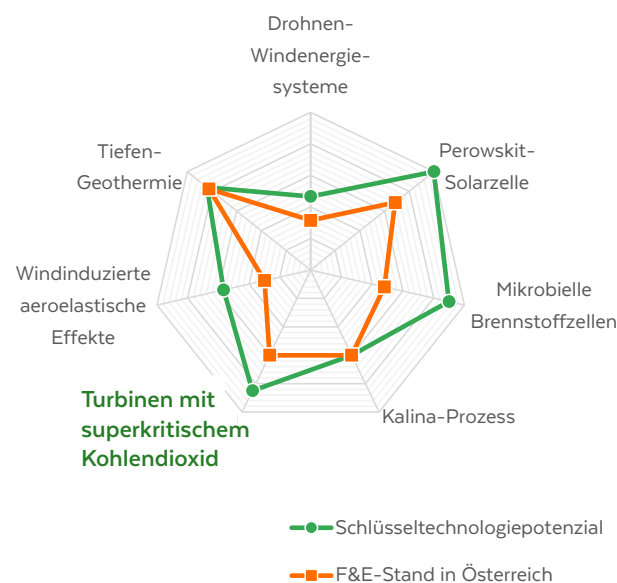
### ☑ Technology Readiness Level (TRL)



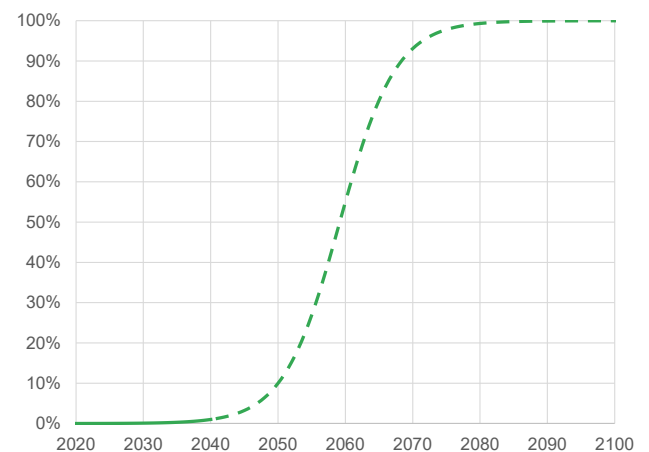
### ☆ Technologiepotenzial

Superkritisches Kohlendioxid kann in Dampfturbinen eingesetzt werden und somit in thermischen Kraftwerken.

### 🔑 Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich



### 📈 Erwartbare Technologiediffusion





### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Nachweis der ausreichenden Lebensdauer vorhandener Komponenten
- Integration und Skalierung bestehender Technologien in eine neue Anwendung
- Entwicklung robuster Betriebsverfahren für den Betrieb an kritischen Punkten

### Beitrag zum Klimaschutz

- durch die mögliche, bessere Brennstoffausnutzung werden Emissionen vermieden

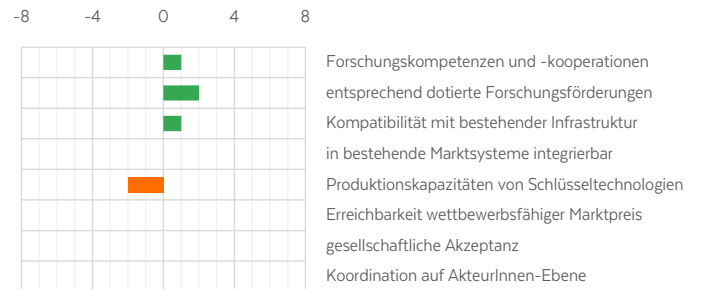
### Beitrag zum Umweltschutz

- geringerer Ressourcenverbrauch durch kleinere Bauteile
- kleinerer Wasserverbrauch durch geringeren Kühlbedarf

### Beschleuniger und Hemmnisse

#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

#### Turbinen mit superkritischem Kohlendioxid



Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.

Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Wasserstoff in der Zementindustrie

## KURZBESCHREIBUNG

Klinkeröfen benötigen Hochtemperaturwärme und werden normalerweise mit fossilen Brennstoffen betrieben. Die Eigenschaften von Wasserstoff reichen nicht aus, um den Bedarf an fossilen Brennstoffen vollständig ersetzen könnte. In einer Machbarkeitsstudie von 2019 wurde festgestellt, dass eine Kombination aus 70 % Biomasse, 20 % Wasserstoff und 10 % Plasmaenergie die CO<sub>2</sub>-Emissionen fossiler Brennstoffe aus der Zementherstellung eliminieren kann.

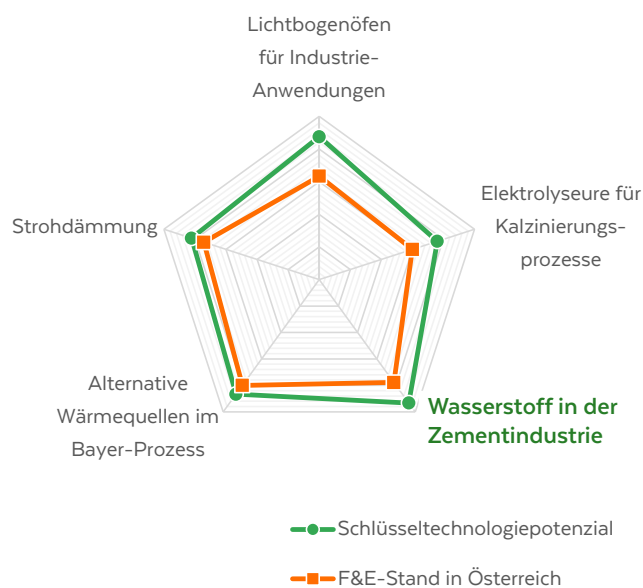


© STADT WIEN, QUELLE: [HTTPS://WWW.VIENNA.AT/STILLGELEGTES-ZEMENTWERK-RODAUN-WEICHT-450-FAMILIENWOHNUNGEN/3188811](https://www.vienna.at/stillgelegtes-zementwerk-rodaun-weicht-450-familienwohnungen/3188811)

### Technology Readiness Level (TRL)



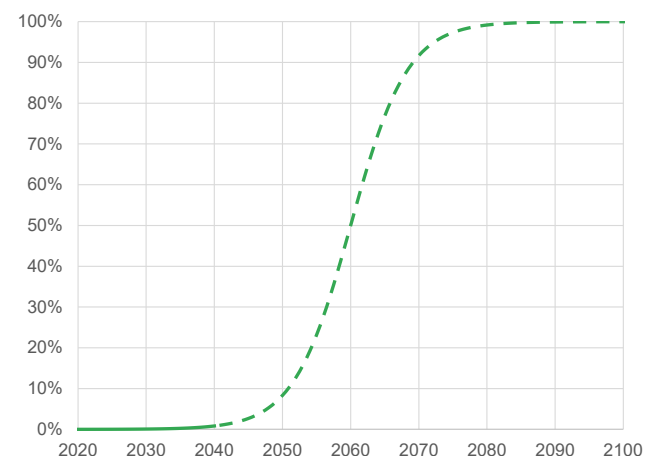
### Schlüsseltechnologiepotenzial klimaschonender Energieanwendungen und F&E-Stand in Österreich



### Technologiepotenzial

In Österreich werden jährlich knapp 5 Millionen Tonnen Zement hergestellt. Der Klinkeranteil konnte im Schnitt auf rund 70 % gesenkt werden, wodurch für die Umstellung auf Wasserstoff-Öfen alleine in der österreichischen Zementindustrie ein Markt von über 3 Millionen Tonnen Klinker besteht.

### Erwartbare Technologiediffusion



### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

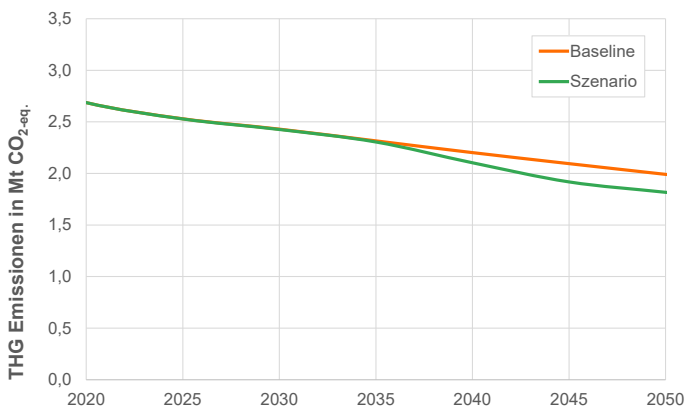
- Pilotprojekt im industriellen Maßstab (Zementwerk Ribbesdale, UK)
- CCU im Projekt C2PAT (Lafarge, Verbund, OMV, Borealis)

### Beitrag zum Klimaschutz

- Aktuell fallen in Österreich pro Tonne Zement rund 350 kg prozessbedingte Treibhausgase (ohne Energieeinsatz) an. Diese könnten weitgehend minimiert werden.

### Beitrag zum Umweltschutz

- Nebenprodukte und Abwärme werden in eine erweiterte Prozesskette integriert

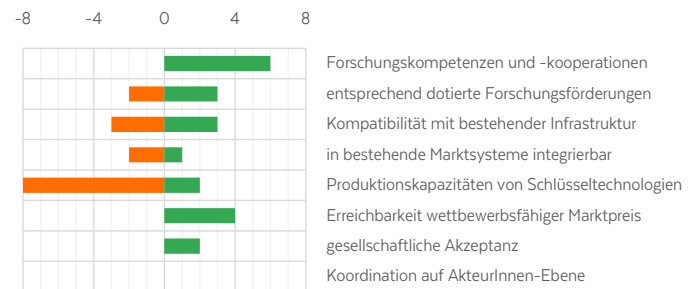


### Beschleuniger (+) und Hemmnisse (-)

- + hohe Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur
- + Etablierung von Carbon Contracts for Difference
- + Realisierung der Sektorkopplung für branchenübergreifende Emissionsminderungsprojekte
- + Anpassung bestehender technischer Regeln sowie des Bau- und Vergaberechtes
- + Bewertung von Baustoffen und Bauwerken über den gesamten Lebenszyklus
- + Schaffung von Märkten, Rahmenbedingungen und Anreizen für CO<sub>2</sub>-reduzierte Zemente und Betone
- + Ausbau der Leitungs- und Speicherinfrastruktur für erneuerbaren Strom, Wasserstoff und CO<sub>2</sub>
- + Berücksichtigung der Karbonatisierung in den Treibhausgasinventuren, in der CO<sub>2</sub>-Berechnung, in CO<sub>2</sub>-Fußabdruckmethoden und in Zertifizierungsschemen für CO<sub>2</sub>-Senken
- + Verwertung vorhandener Ressourcen, d.h. Verbot des Abfalltransportes außerhalb der EU
- Verfügbarkeit von ausreichend leistbarem Wasserstoff
- Alternative Brennstoffen und Rohstoffe
- Mangelnde Transport-/Speicherinfrastruktur für Wasserstoff und CO<sub>2</sub>

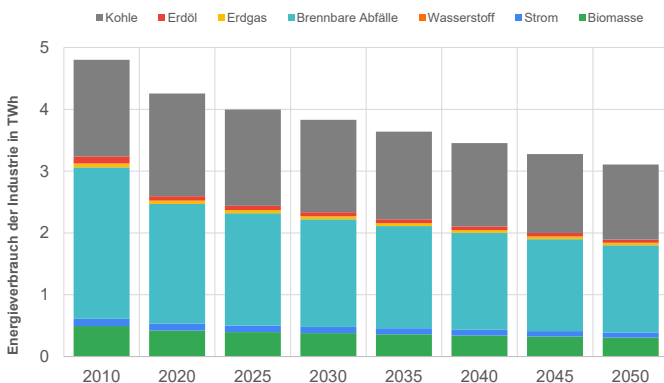
#### Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

#### Wasserstoff in der Zementindustrie

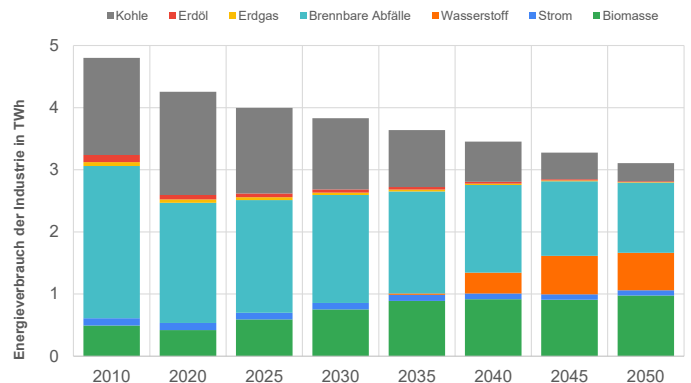


Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

#### Baseline - Wasserstoff in der Zementindustrie



#### Szenario - Wasserstoff in der Zementindustrie



TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Windinduzierte aeroelastische Effekte

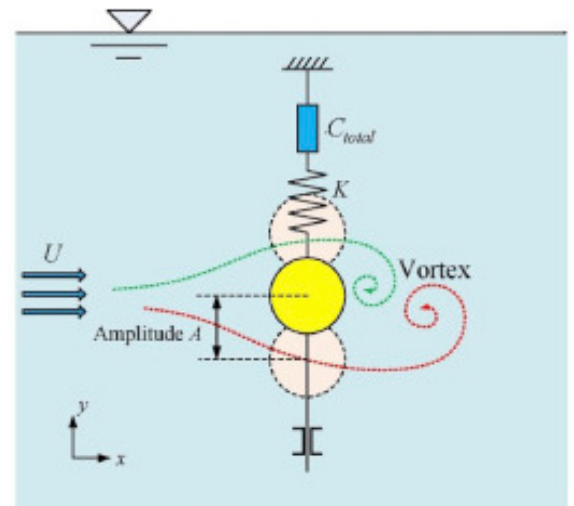
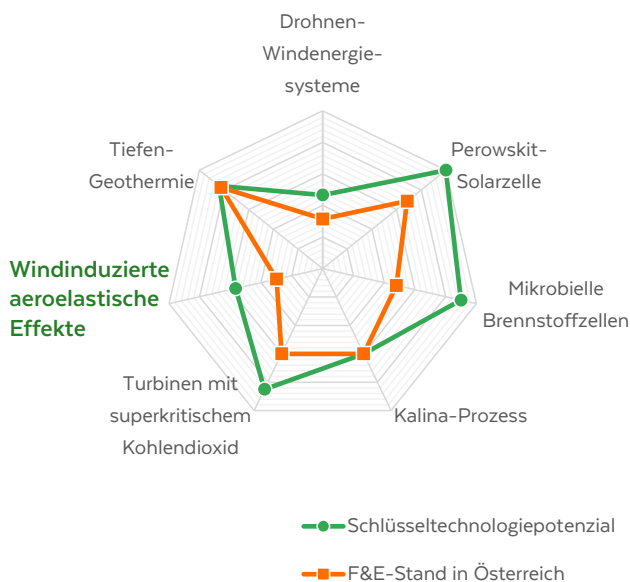
## KURZBESCHREIBUNG

Aufgrund eines unterschiedlichen Strömungsverhaltens auf den Seiten eines Körpers wirkt auf diesen eine Kraft, die bei entsprechender Anordnung zu einer selbsterregten Schwingung führen kann. Diese Schwingung kann für eine eher geringe Stromgewinnung in Inselsystemen genutzt werden.

Technology Readiness Level (TRL)



Schlüsseltechnologiepotenzial zukunftsweisender Energiebereitstellung und F&E-Stand in Österreich

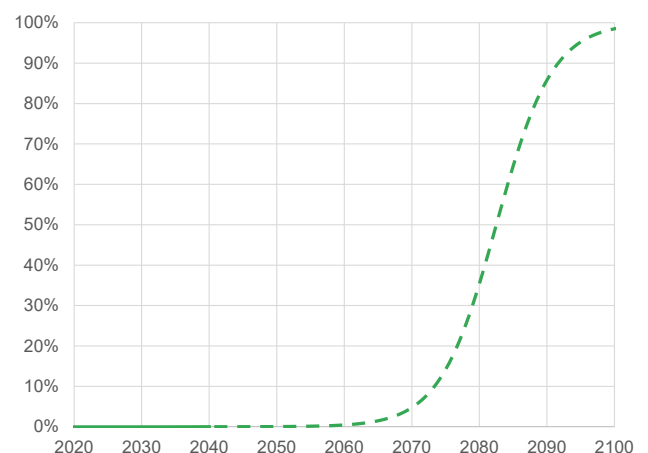


© WATSON ET AL., 2019, QUELLE: [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S1364032119304782](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304782)

Technologiepotenzial

Die Technologie wird nicht für die Stromerzeugung im großen Maßstab eingesetzt, sondern für autarke Systeme wie etwa drahtlose Sensoren.

Erwartbare Technologiediffusion

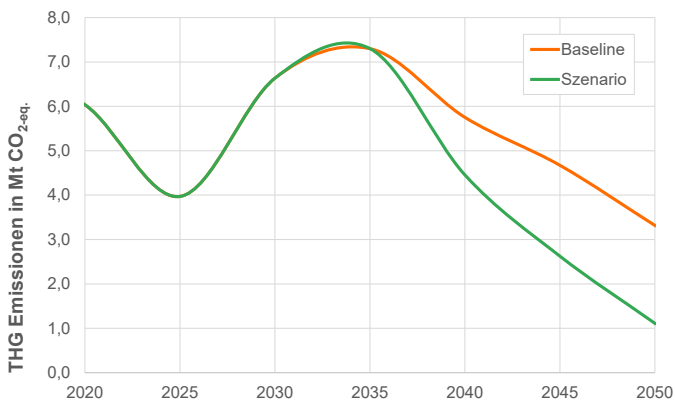


### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- aerodynamische Eigenschaften
- Optimierungen zur Verringerung des Massenverhältnisses

### Beitrag zum Klimaschutz

- kein besonderer Beitrag

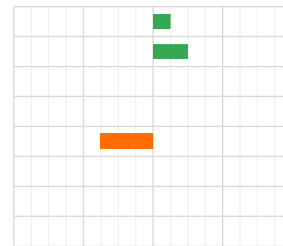


### Beschleuniger und Hemmnisse

Kritische und fördernde Faktoren für die Technologiediffusion in Österreich

#### Windinduzierte aeroelastische Effekte

-8 -4 0 4 8



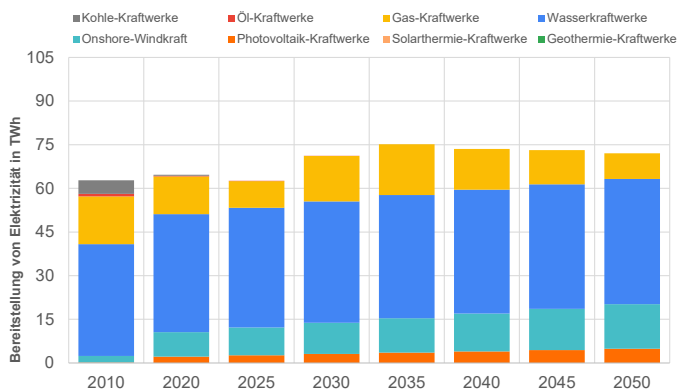
- Forschungskompetenzen und -kooperationen
- entsprechend dotierte Forschungsförderungen
- Kompatibilität mit bestehender Infrastruktur
- in bestehende Marktsysteme integrierbar
- Produktionskapazitäten von Schlüsseltechnologien
- Erreichbarkeit wettbewerbsfähiger Marktpreis
- gesellschaftliche Akzeptanz
- Koordination auf AkteurlInnen-Ebene

Anzahl Nennungen im Rahmen einer ExpertInnen-Befragung.  
Orange: kritische Faktoren; grün: fördernde Faktoren

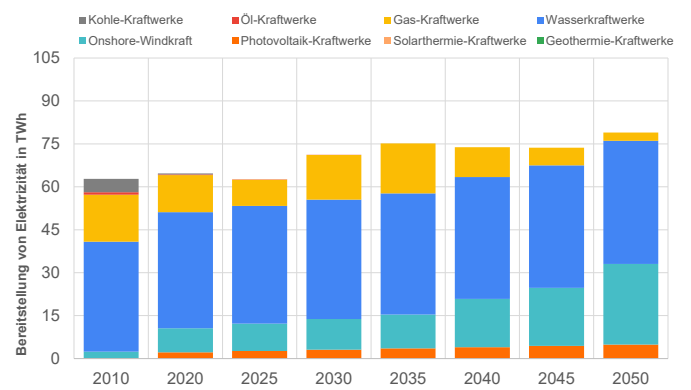
### Beitrag zum Umweltschutz

- kein besonderer Beitrag

#### Baseline - Windinduzierte aeroelastische Effekte



#### Szenario - Windinduzierte aeroelastische Effekte







**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)