

cache²

strom

+

wärme



*Sciurus
tridecemlineatus*

VORWORT Seite 03

Modulare Pumpturbinen zur dezentralen Energiespeicherung Seite 05

Große Pumpspeicherkraftwerke und damit einhergehend große Speicherseen sind oft schwer zu realisieren und stoßen auf Widerstand innerhalb der Bevölkerung. Deshalb müssen kleinere, dezentrale Pumpspeichertechnologien zum Einsatz kommen.

Hocheffiziente Schwungradspeicher (Flywheels) Seite 15

Flywheels sind eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Technologie zur dezentralen Speicherung von elektrischer Energie. Verglichen mit anderen Speichertechnologien, wie z.B. Akkumulatoren, weisen Flywheels eine wesentlich längere Lebensdauer auf.

Sonnenlichtinduzierte Wasserstoffproduktion aus Wasser durch homogene Katalyse Seite 21

Die Sonne ist eine Energiequelle, die nicht immer überall mit der gleichen Effizienz zur Verfügung steht. Wasserstoff stellt aufgrund der hohen Energiedichte eine Möglichkeit dar, solare Energie beliebig zu speichern.

Dynamische Prozessoptimierung eines innovativen Wärmespeichers Seite 29

Mit der Wärmespeicheranlage Simmering, die zukünftig mit dem bestehenden städtischen Fernwärmenetzsystem kommuniziert, wird ein weltweit einzigartiges, innovatives Konzept realisiert, bei dem Wasser unter Druck gleichzeitig als Speicher- und als Arbeitsmedium dient.

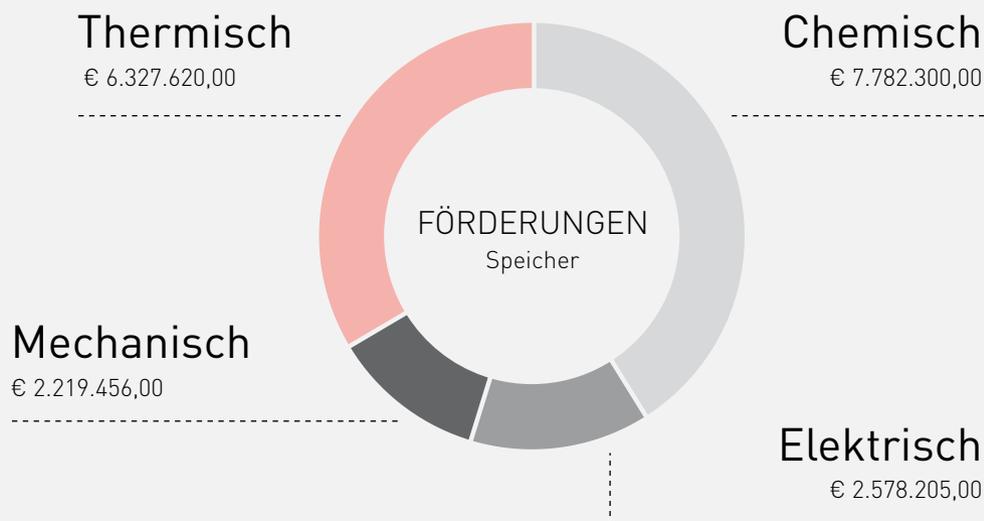
Solarspeicher mittels thermochemischer Granular-Flow-Materialien Seite 35

Thermochemische Speicher sind eine Möglichkeit den gesamten Wärmebedarf im Gebäudebereich solar zu decken. Im Rahmen des Projekts wird ein granulares thermochemisches Speichermaterial aus natürlichen Mineralien (Zeolithe) und Salzen entwickelt.

Nutzbarmachung von geologischen Strukturen, zum Zweck der thermischen Energiespeicherung Seite 39

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, die technologischen, entscheidungstheoretischen und ökonomischen Hemmnisse für die Anwendung von geologischen thermischen Energiespeichern zu reduzieren bzw. zu beseitigen, um das hohe Potenzial dieser Technologie zu nutzen.

Alle geförderten Projekte im Überblick Seite 42



QUELLE: KLIMA- UND ENERGIEFONDS, STAND: AUGUST 2013



„Der Ausbau von Energiespeichern ist wegen der hohen Entwicklungskosten und der vielfältigen technologischen Anforderungen eine Herausforderung. Mit unserem Energieforschungsprogramm geben wir gezielt Impulse für die Etablierung einer Wertschöpfungskette, in der Österreich eine wesentliche Rolle spielt“. THERESIA VOGEL, GESCHÄFTSFÜHRERIN DES KLIMA- UND ENERGIEFONDS

Forschung macht Energiespeicher fit! Sichere Energieversorgung bei Wolken und Windstille.

Der steigende Anteil fluktuierender (dezentraler) Energieaufbringung stellt neue Anforderungen an das Energiesystem. Meteorologische Faktoren – Wind und Sonne – werden künftig die Energieerzeugung genauso beeinflussen wie die Nachfrage. Die Energieversorgung ist trotzdem zu gewährleisten: sicher und leistbar.

Ein Baustein der Lösung sind Energiespeicher.

e!Mission.at, das Energieforschungsprogramm des Klima- und Energiefonds, zielt auf Innovationen durch fokussierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von zukunftsfähigen Speichertechnologien. Seit 2007 wurden für dieses Themenfeld Förderungen in der Höhe von mehr als 19 Mio. Euro vergeben. Das entspricht einem Anteil von 10%. Tendenz steigend von 6,6% im Jahr 2007 auf 25% im Jahr 2012. Das unterstreicht die Relevanz.

Das Themenfeld ist technologisch weit gespannt: hydraulische Großenergiespeicher, Wasserstoff-Gewinnung und Speicherung, Schwungräder, Beton als Energiespeicher, Druckluftspeicher am Grund eines tiefen österreichischen See oder Tests mit Redox-Flow-Batterien. Typische Akteure der Entwicklung neuer Energiespeichertechnologien sind Universitäten und Forschungseinrichtungen mit Schwerpunkten in Wien, Graz und Innsbruck. **Im Mittelpunkt stehen kooperative Projekte gemeinsam entwickelt von Unternehmen der Energiewirtschaft, Technologielieferanten sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen.**

Der Klima- und Energiefonds wählt mit seinem Energieforschungsprogramm bewusst einen breiten Ansatz und schließt bei Speichern im Grundsatz keine Technologieentwicklung aus. Die Förderung umfasst die Erforschung neuer Materialien bis zur experimentellen Umsetzung neuer Speicherkonzepte für stationäre und mobile Anwendungen.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünschen Ihnen

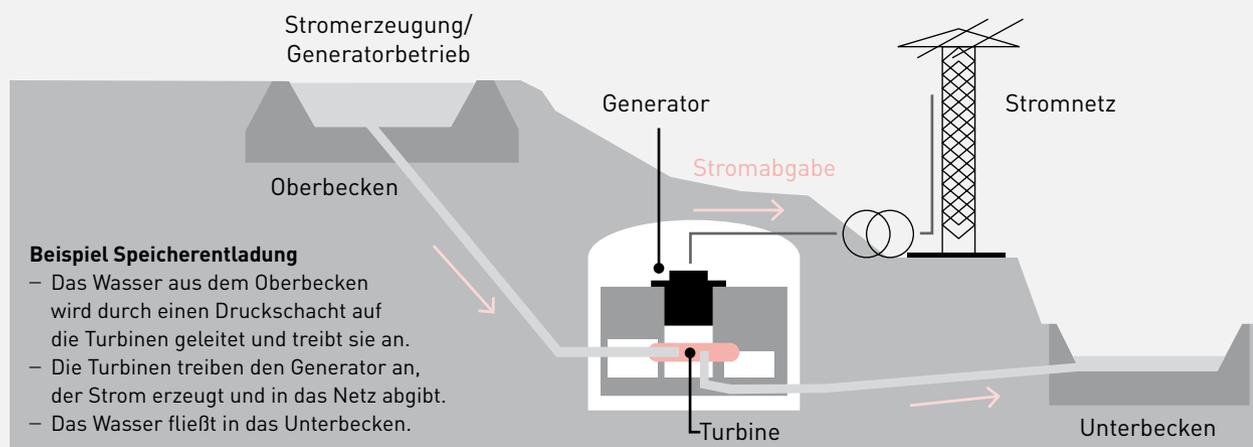
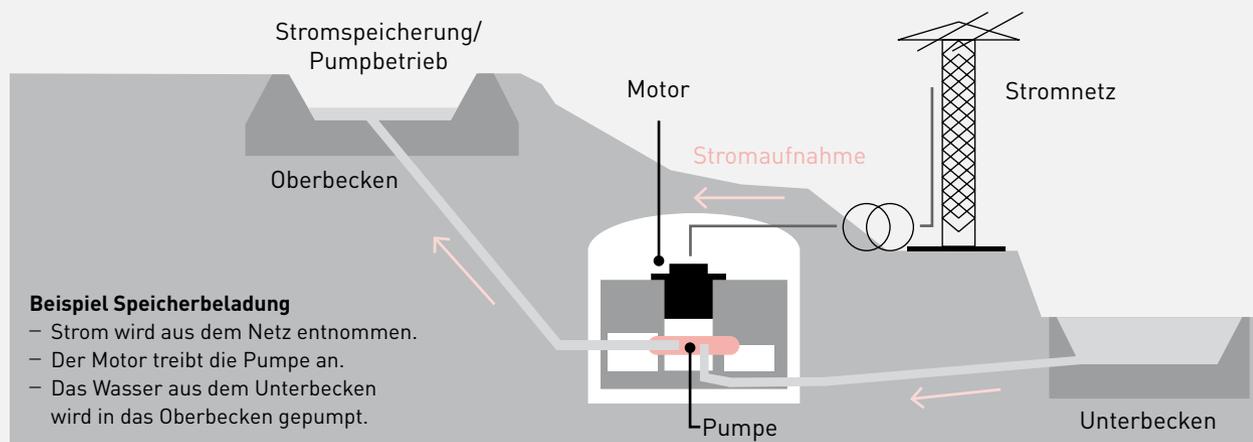
Ihr Klima- und Energiefonds



Projektleitung: CHRISTIAN BAUER
Technische Universität Wien,
Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks

ABBILDUNG 1



Modulare Pumpturbinen zur dezentralen Energiespeicherung

Erneuerbare Energie, nicht ohne Speicher!

Um erneuerbare Energiesysteme in das Stromnetz integrieren zu können, sind aufgrund ihrer volatilen Natur verschiedenste Herausforderungen zu bewältigen. Ihre Erzeugung ist vom Wetter abhängig und zusätzlich schlecht vorhersehbar. Dabei folgt ihre Einspeisung in das Stromnetz nicht den typischen Tageslastkurven und die prognostizierte Produktion unterliegt periodischen Abweichungen zur tatsächlich verfügbaren Leistung. Diese können schon mal etliche tausend Megawatt ausmachen und dann teilweise über mehrere Stunden anhalten.

Die Einbindung volatiler Erzeuger, wie Wind- oder Sonnenenergie, resultiert somit in einem nicht vorhersehbaren Anteil an der Stromproduktion. Daraus entsteht ein großer Bedarf an Energiespeichermöglichkeiten, welche eine Schlüsselaufgabe erfüllen, wenn große Anteile an alternativen Energieträgern ins Stromnetz eingebunden werden.

In einem elektrischen Netz müssen Einspeisung und Verbrauch zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen.

Dies ist jedoch in den meisten Fällen nicht zutreffend, weshalb regulierend eingegriffen werden muss. Der Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch erfolgt über die Regulierung der Netzfrequenz innerhalb eines schmalen Regelbands. Um solche Regelvorgänge zu ermöglichen, müssen künstliche Konsumenten und Lieferanten ins Verteilernetz integriert werden. Diese Aufgabe wird hauptsächlich von Pumpspeicherkraftwerken (PSKW) übernommen, welche mit Umwälzungswirkungsgraden von 70 bis 80%¹ die effektivste Form der Energiespeicherung darstellen.

Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks

Übersteigt das Angebot an Strom die Nachfrage am Markt, beschleunigen die Generatoren konventioneller Kraftwerke aufgrund der geringeren Last auf der Netzseite. Als Konsequenz steigt die Netzfrequenz und PSKW müssen angefahren werden, um den Überschuss zu kompensieren. Hierfür wird Wasser von einem niedrigeren Niveau auf ein höheres gepumpt und in Form von potenzieller Energie gespeichert. Übersteigt im umgekehrten Fall die Nachfrage das Angebot, werden die Generatoren aufgrund der höheren Last verzögert und die Netzfrequenz sinkt. **Die fehlende Energie wird kompensiert, indem das Wasser über den Druckschacht und die Turbine vom Oberbecken zum Unterbecken geleitet wird.** Dabei treibt die Turbine einen Generator an und die zuvor gespeicherte potenzielle Energie wird wieder in elektrischen Strom rückgewandelt. Die Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks ist in *Abbildung 1* dargestellt.

Die Abwesenheit der Kleinwasserkraft in Pumpspeicherstatistiken

Derzeit existieren weltweit 270 Pumpspeicherkraftwerke mit einer installierten Gesamtleistung von 127 GW². *Abbildung 2* zeigt die Anteile der kleineren Leistungsklassen bis 80 MW bezogen auf die Gesamtanzahl an Kraftwerken und bezogen auf die gesamte installierte Leistung. Bei genauerer Betrachtung wird klar, dass ca. 15 % der Installationen in den Leistungsbereich unter 80 MW fallen und diese nur ca. 1 % der weltweit installierten Leistung darstellen. Der Anteil der Kleinwasserkraft mit einer installierten Leistung unter 20 MW ist in beiden Fällen verschwindend klein.

15%

der installierten Anlagen haben
eine Leistung unter 80 MW

Bei 1%

der installierten Leistung ist der
Anteil der Anlagen unter 80 MW

- < 20 MW
- 20 - 80 MW
- Rest

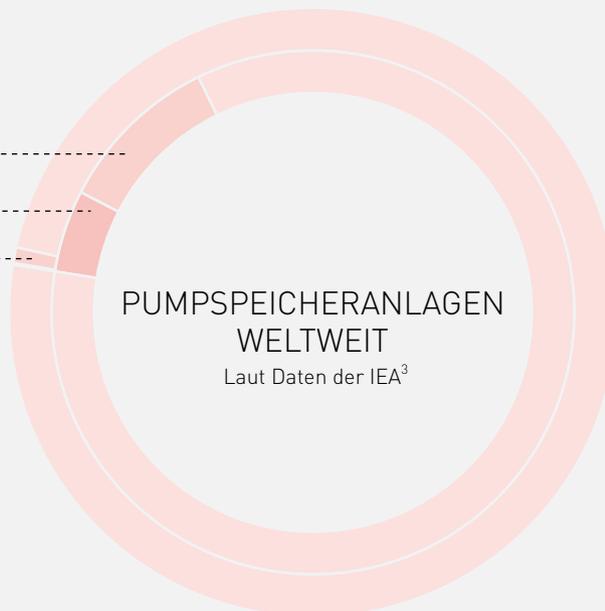


ABBILDUNG 2

→ Die Leistungsklasse bis 80 MW in den Pumpspeicherstatistiken der IEA für die weltweit installierten Pumpspeicheranlagen. Der Innere Kreis zeigt den Anteil in Bezug auf die Gesamtanzahl der installierten Anlagen, der äußere Kreis den Anteil in Bezug auf die Gesamtleistung aller installierten Anlagen.

Eine mögliche Ursache für diese „Abwesenheit der Kleinwasserkraft“ in den Pumpspeicher-Statistiken der IEA³ ist auf der ökonomischen Seite zu finden. Ein PSKW, welches im kleinen MW Bereich arbeitet, kann mit einem Kraftwerk der höheren Kapazitätsklassen nicht mithalten, wenn die Wirtschaftlichkeit mit einem Preis pro eingespeister kWh bewertet wird. Um dem entgegenwirken zu können, müssen Lösungen gefunden werden, die durch Standardisierung der Komponenten und Verwendung vorhandener Speicher die Kosten senken.

Modulares Baukastensystem für Pumpturbinen kleiner Leistung

An der Technischen Universität Wien wird deshalb ein **modulares Pumpturbinenkonzept für die dezentrale Pumpspeicherung** entwickelt. Dabei wird ein Ansatz verwendet, der durch den modularen Aufbau sowohl auf der elektrischen als auch auf der hydraulischen Seite eine Standardisierung der Komponenten und damit einhergehend eine Kostenreduktion ermöglicht. Wie in **Abbildung 3** dargestellt, besteht die erarbeitete Lösung aus einer Kombination von drei jeweils modular adaptierbaren Maschinenkomponenten. Auf der hydraulischen Seite soll eine mehrstufige, reversible Pumpturbine zum Einsatz kommen, die für den Betrieb mit variabler Drehzahl ausgelegt ist. Je nach Anwendungsfall können bis zu fünf Stufen vorgesehen werden, um die gewünschte Förderhöhe erreichen zu können. Dabei sind die Grundmodule wie Saugrohr, Spirale, Turbinendeckel usw. immer anzuordnen und die Kombinationen von Laufrad und Umlenker entsprechend zu wählen. Die Einzelkomponenten sind in **Abbildung 4** abgebildet. Auf der elektrischen Seite ist das Ziel bezüglich der Modularität, eine Aufteilung der Antriebsleistung auf mehrere parallele Übertragungspfade. Dies ermöglicht eine Reduktion der notwendigen Leistung der Einzelkomponenten und damit den Einsatz von Standardkomponenten. Ein drehzahlvariabler Antrieb besteht dabei aus den Grundkomponenten Leistungstransfor-

mator, Frequenzumrichter und der Synchronmaschine (**Abbildung 3** oben). Um den Einsatz von entsprechend billigeren Frequenzumrichtern für kleinere Leistungsklassen zu ermöglichen, ist die Anwendung einer Axialflussmaschine mit Scheibenläufer angedacht.

Eine solche Maschine besteht aus mehreren Stator- und Rotorscheiben. Durch das Verbinden jeder Statorscheibe mit einem eigenen Frequenzumrichter kann die Gesamtleistung auf die verzweigten Übertragungspfade aufgeteilt werden. Dabei ergeben je ein Frequenzumrichter, ein Stator und die benachbarten Rotorteile ein Modul. Durch die Variation der Scheibenzahl kann dabei die Leistung angepasst werden.

Spezifische Investitionskosten:

Was darf ein Baukastensystem kosten?

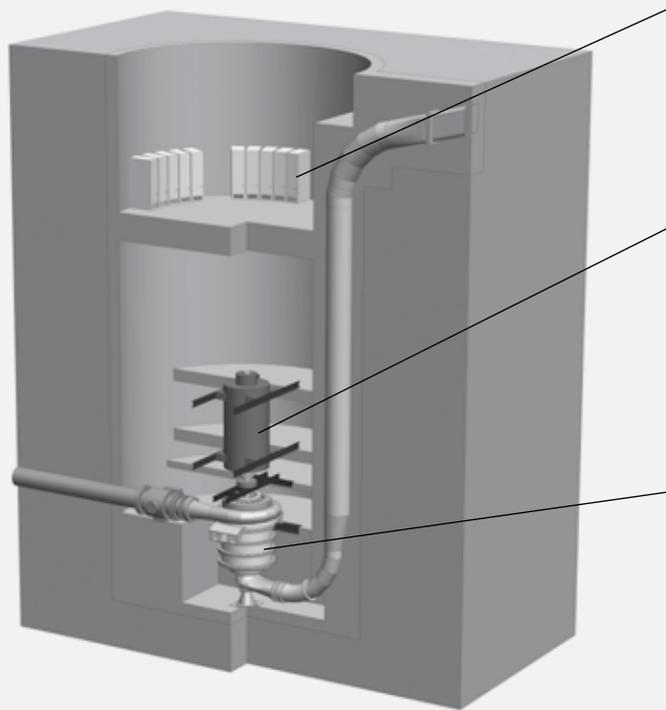
Gerade in der jüngsten Vergangenheit wird die Investition in Pumpspeichieranlagen in Frage gestellt. Speziell durch die erhöhte Subventionierung von Photovoltaik wird es zunehmend schwieriger eine Rentabilität von großen Pumpspeichieranlagen zu bewerkstelligen. Aktuelle Großprojekte rechnen sich zum Teil bei einer kurzfristigen Betrachtungsweise meist nur sehr schwer.

Auch bei kleinen Anlagen, unter der Voraussetzung der Anwendung konventionellen Technik, scheint eine ökonomische Anwendung heutzutage unmöglich. Die spezifischen Kosten für die elektromaschinelle Ausrüstung sind in einem Gesamtkostenvergleich zu großen Anlagen deutlich höher. Einen ersten Anhaltspunkt für eine Investitionsverteilung der Komponenten einer Pumpspeichieranlagen der oberen Leistungsklasse (300 MW – 1200 MW) gibt Panatscheff in⁵.

In **Abbildung 6** sind diesen Daten die Kostenverteilung einer Beispielanlage mit 15 MW aus⁶ gegenübergestellt. Hierbei erfolgt der Vergleich für zwei Kostenkategorien der elektromaschinellen Ausrüstung. Einmal sind diese Kosten mit 800 €/kW und schließlich noch mit 300 €/kW gegenübergestellt.

Grundkomponenten des modularen Anlagenkonzepts
(Jede der drei Komponente ist in sich modular aufgebaut)

ABBILDUNG 3



FC Module

Die elektrische Versorgungseinheit, speziell der Frequenzrichter, wird durch die Leistungsfähigkeit der Einzelmodule entsprechend an die MG Module angepasst.

MG Module

Für die Motor-/Generatormodule wird die elektrische Maschine in Abhängigkeit von der benötigten Leistung im Pumpbetrieb adaptiert. Hierfür wird die Leistung durch die Anzahl an Statorscheiben angepasst.

PT Module

Durch Variation der Anzahl an Pumpturbinen-Modulen erfolgt die Anpassung der notwendigen Förder- bzw. Fallhöhe und damit einhergehend des Durchflusses und des Leistungsbereichs.

Modularität auf der hydraulischen Seite. Maximale Anzahl an Pumpstufen Komponenten: Fünfstufige Variante

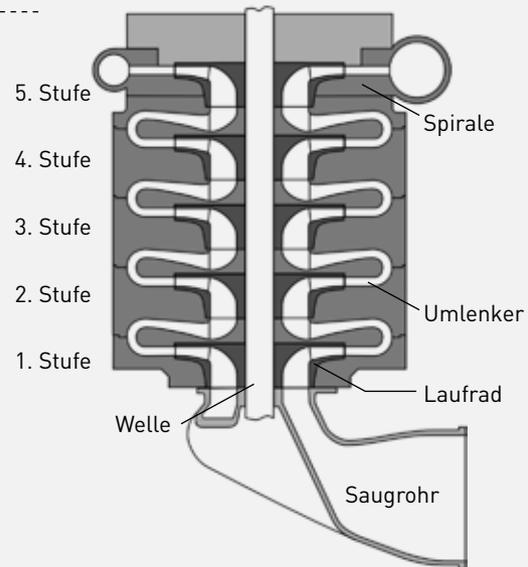
Bei genauerer Betrachtung wird deutlich, wie wichtig es ist, durch ein modulares Konzept und Verwendung von standardisierten Bauteilen die Maschinenkosten zu senken. Während für das 800 €/kW-Beispiel die Maschinenkosten fast die Hälfte der Gesamtinvestitionen ausmachen, erreicht das 300 €/kW-Beispiel eine ähnliche Kostenverteilung wie konventioneller Großanlagen⁷. Hierbei schlagen die Maschinenkosten schließlich mit rund einem Drittel der Kosten zu Buche. Nur durch eine solche Reduktion der elektromaschinellen Kosten können kleine Pumpspeicheranlagen in Zukunft rentabel werden.

Einsatzmöglichkeiten für kleine Pumpspeicheranlagen

Ein großes Problem bei der Neuerrichtung von PSKW stellt der enorme Platzbedarf dar. Damit einhergehend ergibt sich eine schlechte Akzeptanz für Neuprojekte. Aus diesem Grund wird an der TU Wien untersucht, wie bereits vorhandene Speicher von Beschneigungs- oder Beregnungsanlagen in PSKW integriert werden können. Neben der höheren Akzeptanz trägt die Verwendung solcher bereits vorhandener Speicherbecken zusätzlich zur Kostenreduktion bei, da keine Errichtungskosten für den Oberwasserspeicher berücksichtigt werden müssen.

Es existieren bereits Untersuchungen zum Einsatz von Schneespeicherteichen als Oberwasser für Pumpspeicherwerke für das Bundesland Salzburg. Die Ergebnisse zeigen, dass von den 102 untersuchten Speicherteichen 47 das Potential besitzen, um als Oberwasserspeicher für Pumpspeicheranlagen eingesetzt zu werden⁸. Eine interne Studie mit der gleichen Methode erhebt ein sehr großes Potential für den Einsatz von PSKW kleiner Leistung, mit einer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten in Österreich, der Schweiz und dem Norden Italiens⁹.

ABBILDUNG 4

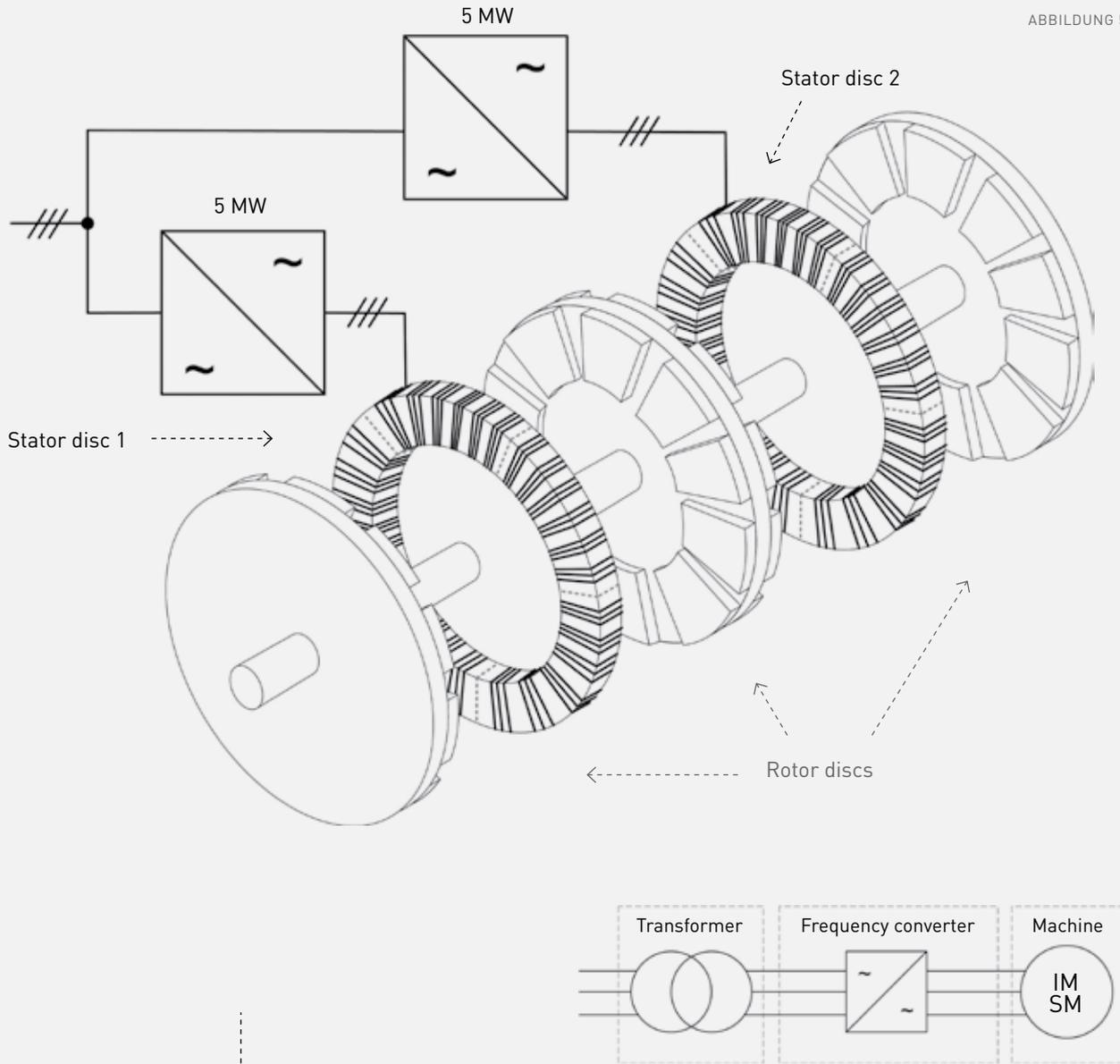


Der Gedanke, bereits vorhandene Speicher für PSKW zu benutzen, kann auch weit entfernt von den gebirgsreichen Gebieten zur Anwendung kommen. Ein interdisziplinäres Team der Universität Duisburg-Essen und der Ruhr-Universität Bochum untersucht die Anwendungsmöglichkeit von sogenannten „Unterflur-Pumpspeicherwerken“. Dabei kommen u.a. Schachtanlagen ehemaliger Steinkohlebergwerke zum Einsatz, in denen Höhenunterschiede von bis zu 1000 m genutzt werden können¹⁰.

In Abbildung 7 sind analytisch berechnete Einsatzkennlinien dargestellt. Sie kennzeichnen das Einsatzgebiet für die Verwendung von 1 bis 5 Stufen und einem Leistungsbereich von 5 MW bis 15 MW.

Die Berechnungen zeigen die Einsatzmöglichkeit für Förderhöhen im Pumpbetrieb von ca. 200 m bis fast 1000 m bei möglichen Durchflüssen von etwa 1 m³/s bis 2,5 m³/s. In Abhängigkeit von der gewünschten Pumpdauer ergeben sich dabei notwendige Speichergrößen von 10.000 m³ bis 100.000 m³ für die Benutzung als Tagesspeicher und größere Becken für Wochen- oder Monatsspeicher. Dieser Einsatzbereich liegt deutlich unterhalb des Leistungsbereichs konventioneller Pumpspeicherkraftwerke.

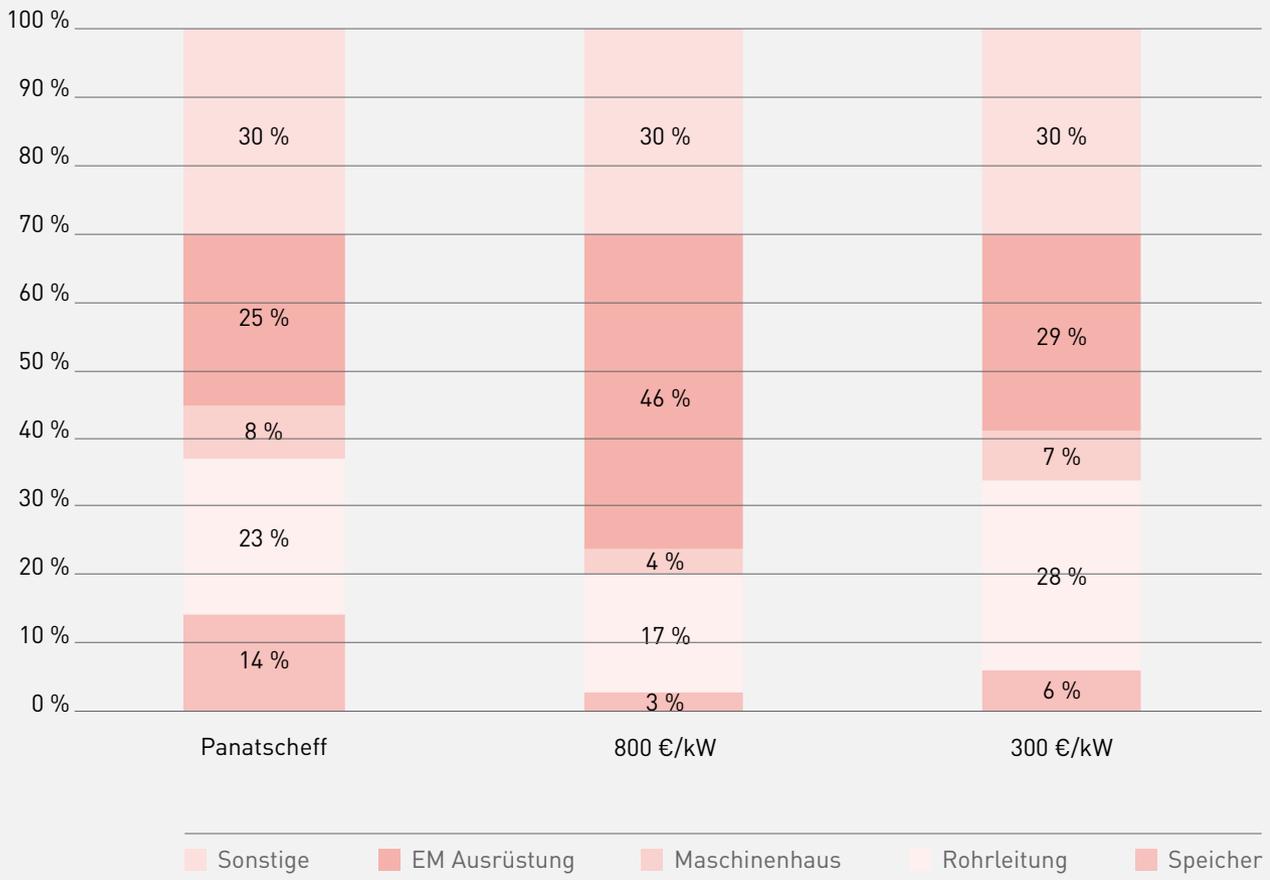
ABBILDUNG 5



Modularität auf der elektrischen Seite. Oben: Grundkomponenten für einen drehzahlvariablen Antrieb. Unten Scheibenläufer Axialflussmaschine⁴

Kostenverteilung der konventionellen Pumpspeicheranlage

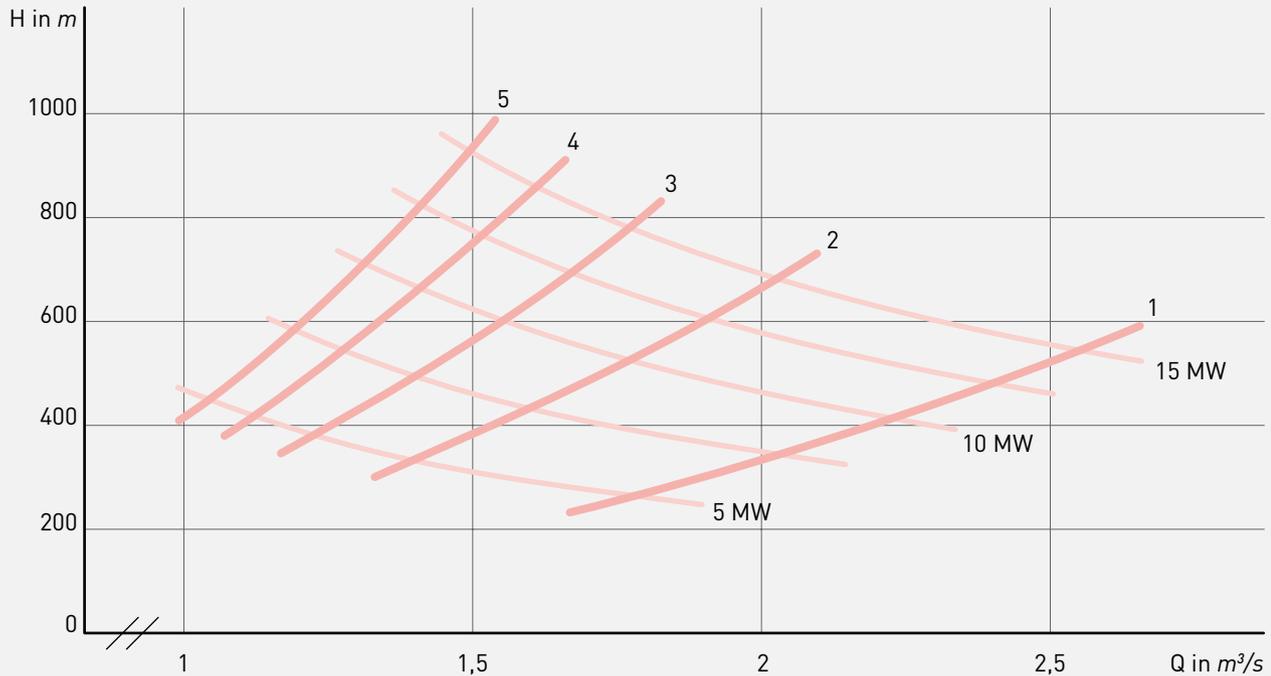
ABBILDUNG 6



→ Kostenverteilung einer konventionellen Pumpspeicheranlage laut⁵ im Vergleich zu jenen kleiner Pumperturbinen laut⁶ für verschiedene Kosten der elektromaschinellen Ausrüstung (EM).

Berechnete Kennlinien im Pumpbetrieb

ABBILDUNG 7



→ Berechnete Kennlinien im Pumpbetrieb bei Variation der Drehzahl, in Abhängigkeit von der Anzahl der PT-Stufen (1 bis 5 Stufen)¹¹



„Das modulare Pumpsturbinenkonzept verkörpert eine Investition in die lückenlose Stromversorgung der Zukunft. Auf diese Weise können große Fallhöhen bei geringem Durchfluss sowie einer Leistungsausbeute im mindestens Kleinwasserbereich realisiert werden. Durch den modularen Ansatz des Maschinentyps lassen sich Anwendungsgebiete erschließen, die einen geringen Eingriff in die Natur bedeuten.

Modulare Pumpsturbinen tragen nicht nur zur Entlastung und Stabilisierung der Übertragungsnetze im unteren Spannungsbereich bei, sondern können auch zur effizienteren Gestaltung von Smart Grid Lösungen genutzt werden.“ PROJEKTLEITER: CHRISTIAN BAUER



Zusammenfassung

Gerade die öffentlich geführten Diskussionen der letzten Zeit zeigen, wie schwierig es wird, in Zukunft rentable Pumpspeicheranlagen zu realisieren. Dennoch darf man den Bedarf an Speichermöglichkeiten für aus erneuerbaren Energieträgern erzeugte elektrische Energie nicht außer Acht lassen, da sie wesentlich zur Netzstabilisierung beitragen. Somit stellen Investitionen in den Ausbau von Pumpspeicheranlagen nicht nur eine kurzfristige Kapitalveranlagung, sondern eine Investition in die lückenlose Stromversorgung der Zukunft dar. Speziell unter diesem Gesichtspunkt wurde das neue, modulare Pump-turbinenkonzept für große Fallhöhen bei geringem Durchfluss und einer Leistungsausbeute bis ca. 20 MW entwickelt, da es diese Maschine noch nicht am Markt gibt. Der Einsatz dieses Maschinentyps könnte durch den speziellen, modularen Ansatz in gewissen Anwendungsbereichen, wie z.B. der Sekundärnutzung von Beschneigungsteichen in alpinen Skizentren oder Bewässerungsbecken für die Obstkultivierung, die vorhandene Lücke im unteren Leistungsbereich schließen.

Letztendlich tragen solche Anlagenprojekte und Ideen zur Entlastung und Stabilisierung der Übertragungsnetze im unteren Spannungsbereich bei, und können auch zur effizienteren Gestaltung von Smart Grid Lösungen beitragen.

Quellen

- ¹ DENA., Pumpspeicherwerke und ihr Beitrag zum Ausbau erneuerbarer Energien, Berlin, 2012
- ² National Hydropower Association – HNA: Challenges and Opportunities for New Pumped Storage Development, 2012
- ³ Inage, S.-I., Prospects for Large-Scale Energy Storage in Decarbonised Power Grids, OECD/IEA, 2009
- ⁴ Doujak E., Unterberger P., Bauer C., Samonig M.A.: Modular concept for decentralized pump storage systems, ISROMAC 14, Honolulu, HI, USA, 2012
- ⁵ Panatscheff, C.: An Empirical Formula for the Probable Specific Cost of Pumped-Storage Power Stations, in: Wasserwirtschaft 79 (1989) pp. 74-79.
- ⁶ Unterberger, P., Doujak, E., and Bauer, C.: Small Hydro Approach for Pump-Turbines, in: Proceedings of the 17th International Seminar on Hydropower Plants, VIENNA, 2012.
- ⁷ Unterberger P., Doujak E., Bauer C.: Entwicklung kleiner Pumpturbinen – Vorteile eines modularen Ansatzes, Wasserwirtschaft 7/8, 2013, pp. 47-51.
- ⁸ Kraml J.: Energetisches Potential durch die Sekundärnutzung von Schneespeicherteichen als Pumpspeicher im Land Salzburg, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 2010
- ⁹ Gadermaier G.: Potentialstudie über die Verwendung von Beschneigungsspeicherseen als Oberwasser für Pumpspeicheranlagen, Bachelorarbeit, TU Wien, 2012
- ¹⁰ Niemann, A.; et.al.: Pumpspeicherkraftwerke in den heute noch aktiven in Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 230, 2012, pp. 63-3-63/13
- ¹¹ Doujak, E., Unterberger, P.; Bauer, C., Samonig M.: Modular Concept for Decentralized Pump Storage Systems- A Small Hydro Approach, in: Proceedings of the ISROMAC-14, Hawaii, USA, 2012.

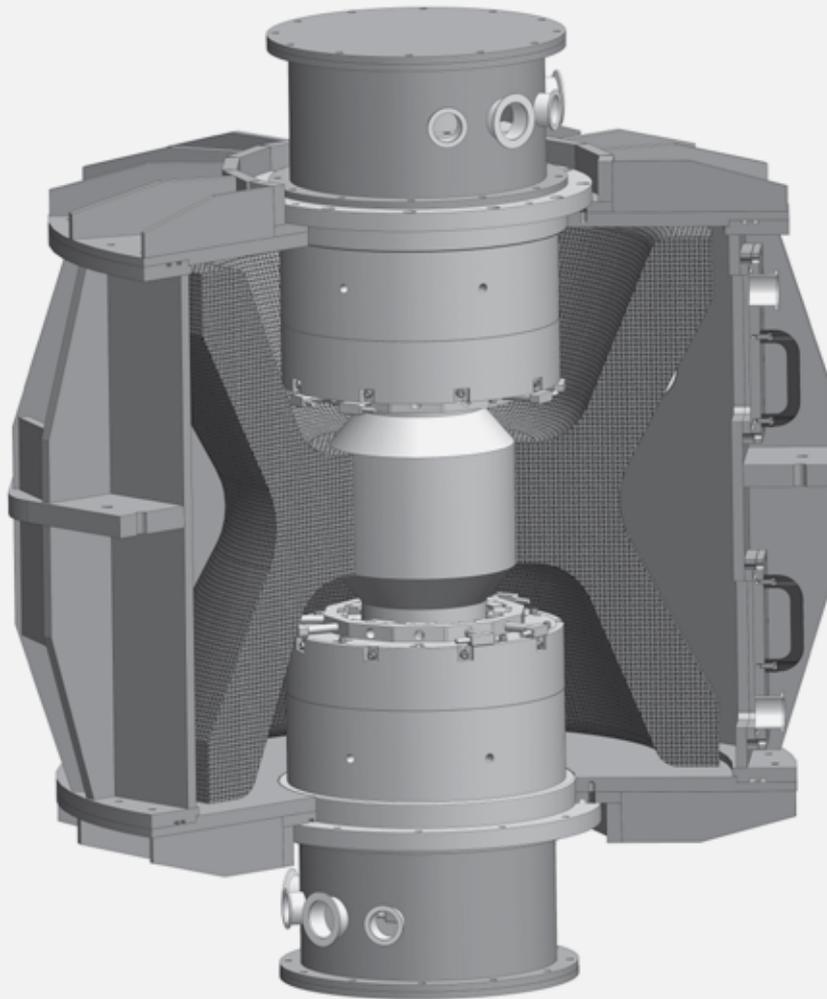
DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Pumpspeicheranlagen der kleinen Leistungsklassen können heute aus ökonomischer Sicht nicht umgesetzt werden. Die dem Projekt zugrundeliegende Idee des modularen Baukastensystems kann durch Kostenreduktion eine solche Anwendung ermöglichen.
- Dezentrale Speichermöglichkeiten sind heute so gut wie gar nicht vorhanden. Durch kleine Anlagen kann der Strom dort gespeichert werden, wo er produziert wird, dafür müssen keine neuen Netze gebaut werden.
- Der Einsatz vorhandener Speicherbecken reduziert den Eingriff in die Natur, was aus ökologischer Sicht einen entscheidenden Vorteil bietet.





Projektleitung: ALEXANDER SCHULZ
Technische Universität Wien
Institut für Mechanik und Mechatronik



Skizze des Flywheels

Hocheffiziente Schwungradspeicher (Flywheels)

KOSTENREDUKTION DURCH NEUE KONSTRUKTIONSANSÄTZE, ROTORBAUFORMEN UND FERTIGUNGSVERFAHREN

Energiewende:

Wir brauchen kostengünstige Speicher!

Die Energiewende hin zu Erneuerbaren Energien bewirkt aufgrund deren fluktuierender Netzeinspeisung einen steigenden Bedarf an dezentralen Energiespeichern. Flywheels stellen eine ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Technologie zur dezentralen Energiespeicherung dar.

Flywheels bestehen im Wesentlichen aus einer Schwunghasse, die zum „Laden“ des Flywheels mittels elektrischer Maschine im Motorbetrieb beschleunigt wird, beim „Entladen“ durch die elektrische Maschine im Generatorbetrieb abgebremst wird und beim Halten der Ladung mit möglichst minimalen Verlusten rotiert. Gegenüber anderen dezentralen Speichertechnologien, beispielsweise Akkumulatoren, weisen Flywheels eine wesentlich längere Lebensdauer sowie eine um vieles höhere Lade-/Entladezyklenzahl auf. Da Flywheels aus ökologisch unbedenklichen Werkstoffen bestehen, ist deren Aufstellung unproblematisch möglich.

Daher wären Flywheels speziell zur Netzstabilisierung die optimale Speicherlösung. Die zurzeit verfügbaren Flywheels weisen für einen breiten Einsatz als dezentrale Zwischenspeicher jedoch zu hohe Kosten auf.

Projektziele

Im Rahmen des Forschungsprojekts Optimum Shape Flywheel werden in einer Kooperation zwischen der TU-Wien und der Fa. FWT Wickeltechnik GmbH

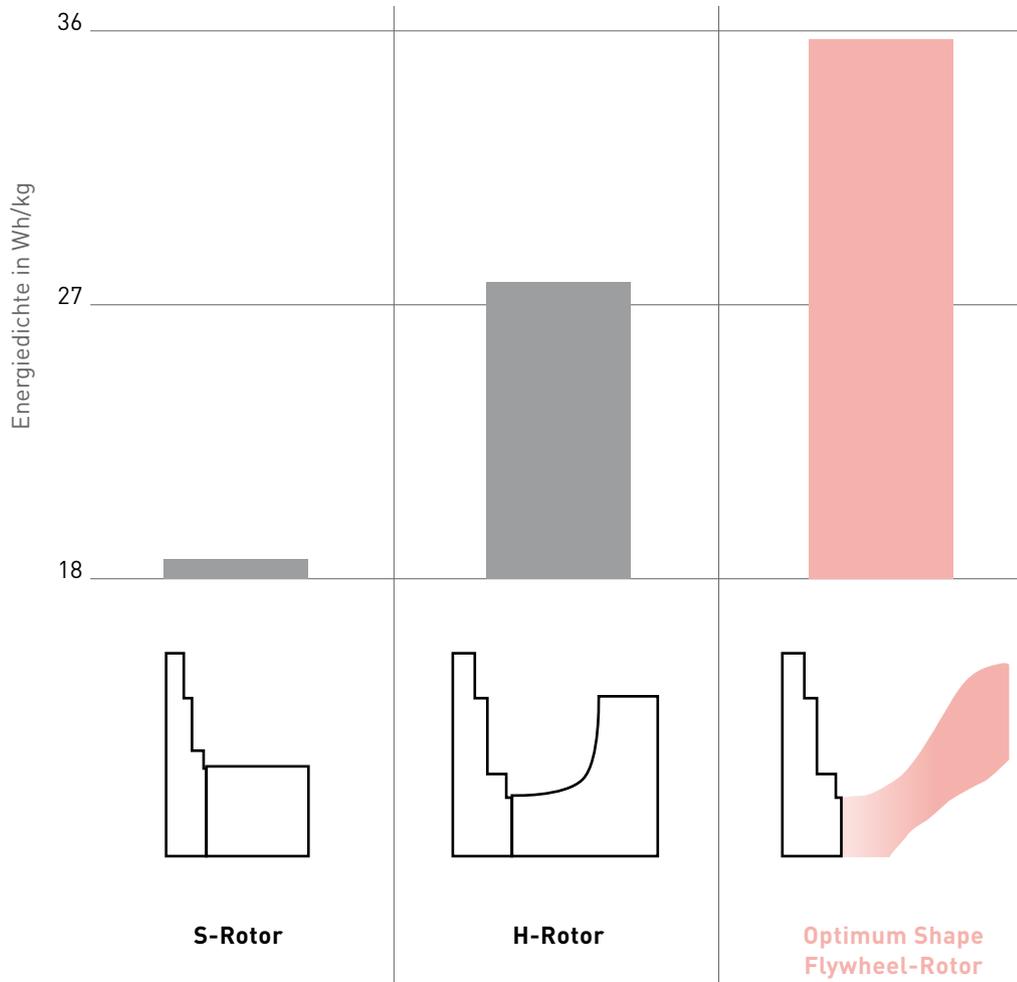
innovative Ansätze zur optimalen Formgebung sowie des optimalen Materialaufbaus der zentralen Komponente jedes hocheffizienten Flywheels, dem Schwungrad, inklusive optimaler Integration aller erforderlichen Komponenten (elektrische Maschine, magnetische Lagerung, etc.) sowie geeignete Fertigungstechniken erarbeitet. Durch die damit wesentlich bessere Materialausnutzung („Fully-Stressed-Design“) bei fertigungsoptimiertem Aufbau lassen sich zum einen die Investitionskosten wesentlich reduzieren und zum anderen die Gesamtenergieeffizienz nochmals steigern, wodurch hocheffiziente Flywheels für ein breites Anwendungsfeld wirtschaftlich nutzbar werden.

Modellbildung zur Finite-Elemente basierten Festigkeitsrechnung von Komposit-Werkstoffen mit komplexem Lagenaufbau

Wie bei allen Komposit-Bauteilen sind korrekte Materialdaten (E-Moduli, Querkontraktionszahlen, Festigkeit, etc.) von essenzieller Wichtigkeit. Je genauer diese ermittelt werden, desto besser ist auch die Berechnung der Strukturfestigkeit.

Zur Bestimmung der Materialparameter ist es erforderlich, dass dieselben Fertigungsverfahren für die Probenkörper eingesetzt werden, die letztlich auch zur Fertigung des gesamten Rotors zum Einsatz kommen (Temperaturverlauf-, Vorspannungs-, Lagenaufbau-, Faserwinkel-, Faserdaten-Abhängigkeit). Daher werden in enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut

Vergleich der Energiedichten unterschiedlicher Rotorformen



für Mechanik und Mechatronik, dem Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU-Wien sowie der Fa. FWT Wickeltechnik GmbH Probengeometrien entwickelt und geprüft, um die Steifigkeits- und Festigkeitsparameter, die zur Beschreibung von transversal isotropen Materialien unter der Annahme von linear elastischem Verhalten nötig sind, sowie die Wärmeausdehnungskoeffizienten in und quer zur Faserrichtung, zu bestimmen.

Zur Auslegung der Komposit-Flywheel-Schwungmasse hinsichtlich Festigkeit wird das Puck-Kriterium verwendet. Dieses basiert auf der Mohr'schen Bruchhypothese für spröde Materialien, hat daher eine physikalische Grundlage und dessen Prädiktion der Versagenswahrscheinlichkeit ist genauer als beispielsweise das nicht so rechenaufwändige und daher häufig eingesetzte Tsai-Wu-Kriterium.

Innovative Schwungmassenformgebung mit Wellen-Integralbauweise

Der Energieinhalt steigt quadratisch mit der Drehzahl. Geringste Schwungmassenkosten ergeben sich daher bei möglichst hohen Rotordrehzahlen und demzufolge geringer Rotormasse. Der Einsatz von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen (CFK) ermöglicht hierbei gegenüber Metallen einen wesentlich höheren Energieinhalt bei gleicher Masse. Trotz der hohen massebezogenen Materialkosten resultieren aus der wesentlich geringeren erforderlichen Materialmenge letztlich um ein Vielfaches geringere Materialkosten als beispielsweise bei Stahlschwungrädern.

Grundsätzlich kann bei den Rotorbauformen zwischen Innen- und Außenläufer unterschieden werden. Beim Innenläufer dient eine Vollwelle als Trägerstruktur von Lager- und Motor/Generator-Komponenten, während beim Außenläufer eine Hohlwelle für die Anbindung der Lager- und Motor/Generator-Komponenten verwendet wird. Unter Vernachlässigung aller erforderlichen Komponenten, wie Lagerung und elektrische Maschine, ist die ideale Schwungmassenform bei Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen ein

Außenläufer ausgeführt als dünner Hohlzylinder. Beim Außenläufer stellt es jedoch ein generelles Problem dar, dass der Luftspalt der magnetischen Lagerung sowie der elektrischen Maschine aufgrund der auftretenden Dehnung des Rotors drehzahlabhängig zunimmt. Um auch bei Minimaldrehzahl einen ausreichenden Luftspalt zu gewährleisten, ergibt sich somit bei Höchstdrehzahl ein wesentlich größerer Luftspalt, der zu einer Reduktion der Energieeffizienz aufgrund der größeren erforderlichen Durchflutung bzw. zu einer Leistungsreduktion führt. Ein weiteres großes Problem stellt der fast direkte Kontakt des Motors/Generators mit dem CFK dar. Die Verlustwärme des weichmagnetischen Motor/Generator-Läufers kann aufgrund des Vakuums ohnedies nur durch Strahlung abgegeben werden und zusätzlich kann CFK nur geringer Temperaturbelastung ausgesetzt werden, da andernfalls die Festigkeit stark abnimmt bzw. stark beschleunigtes Kriechen und Relaxationsvorgänge auftreten.

Aufgrund oben angeführter Probleme ist eine Ausführung als Innenläufer, bestehend aus einer Metallwelle zur Anbringung der Lager- und Motor/Generator-Komponenten zu bevorzugen. Typischerweise werden hierbei Schwungmassen mit rechteckigen- bzw. H-förmigen CFK-Schwungrad-Querschnitten eingesetzt. Eine H-förmige Schwungmasse ermöglicht es, dass ein Großteil der Masse für ein möglichst großes Trägheitsmoment weit außen angeordnet ist. Die auftretenden Eigenfrequenzen beschränken hierbei eine Anbindung mit sehr geringer axialer Länge bezogen auf die Länge des zylinderförmigen Teils. Die höchstbelasteten Bereiche sind auf Höhe der Anbindung da hier die größten Massenkräfte auftreten. Die Außenbereiche der H-Form, wo die größten anteiligen Trägheitsmomente erzielt werden können, sind nur gering belastet. Eine direkte Folgerung daraus ist, dass die Festigkeitseigenschaften des CFK bei, mit herkömmlichen Fertigungsverfahren herstellbaren, Geometrien der CFK-Schwungmasse nur unzureichend genutzt werden können. Damit entstehen höhere direkte Materialkosten der Schwungmasse und aufgrund der schweren



„Hocheffiziente und kostenoptimierte Flywheels sind die Lösung für Energiespeicher mit hoher Zyklenzahl und Lebensdauer.“

PROJEKTLLEITER ALEXANDER SCHULZ

Schwungmasse eine größere erforderliche Lagerdimensionierung, damit wiederum höhere Kosten und eine Reduktion der Energieeffizienz der Lagerung. Aus der Optimum Shape Flywheel-Topologieoptimierung resultiert eine vollkommen neuartige Schwungmassenformgebung, die ein „Fully-Stressed-Design“ ermöglicht. Bezogen auf eine Schwungmasse mit rechteckförmigem Standardquerschnitt ergibt sich bei gleichem Materialeinsatz eine Erhöhung des Energieinhalts um etwa 100 %, bezogen auf eine H-Form um etwa 25 %.

Aus dem Ergebnis der Topologieoptimierung werden Geometrieparameter zur Optimierung des kompletten Rotors (Schwungmasse, Welle, inklusive aller erforderlicher Komponenten für die elektrische Maschine sowie der Lagerung) hinsichtlich maximalem Energieinhalt erarbeitet. Neben der Sicherheit gegen Versagen, die mittels COMSOL Multiphysics FE-Modell berechnet wird, sind die Eigenfrequenzen der Gesamtstruktur wesentliche weitere Nebenbedingungen bei der Optimierung. Diese werden mittels ANSYS FE-Modell berechnet und müssen für höchste Energieeffizienz des Flywheels mit genügend Sicherheitsabstand über der maximalen Flywheel-Drehzahl liegen.

Eine weitere wichtige Nebenbedingung ist die zulässige Maximaltemperatur der CFK-Schwungmasse. Hierzu wird ein thermisches FE-Modell des Flywheels in COMSOL Multiphysics gelöst, um auch bei maximaler Leistung der elektrischen Maschine über einem vorgegebenem Lastzyklus bzw. bei Dauerlauf einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Fertigungstechnik für die optimale Schwungradtopologie

Aufgrund der innovativen Schwungmassengeometrie ergeben sich diverse Herausforderungen für die Fertigung. Erforscht werden daher die Grenzen aktueller Fertigungstechnologien und die Möglichkeiten zur Erhöhung der maximal möglichen Steigung der Geometrie, die ohne Abrutschen der Faser bzw. des Prepregs (vor-impregnierte Fasern), bei der Fertigung kegelförmiger Bereiche, erzielt werden kann, die Formgebungsgenauigkeit in Bezug zur Fertigungszeit sowie die Möglichkeit zur exakten Platzierung und der sicheren Integration von metallischen Inserts.

Messtechnische Verifikation aller Forschungsergebnisse

Zur sicheren Verifikation der FE-Festigkeitsberechnung wird ein statischer Messaufbau entwickelt, der eine möglichst gute Abbildung der Rotorbelastung, die bei Rotation der Schwungmasse auftritt, ermöglicht. Die Gesamtverifikation aller Modelle sowie der Interaktion aller Komponenten, die Erfassung der Effizienzsteigerung und die Implementierung einer magnetlagerbasierten Wuchtung erfolgt an einem OptimumShapeFlywheel-Messaufbau.

Kommerzielle Umsetzung

Die kommerzielle Umsetzung der hocheffizienten und kostenoptimierten Flywheel-Technologie soll, um den Wissensvorsprung optimal zu nützen, parallel im Rahmen des Start-Ups Smart Mechatronic Technology erfolgen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Ökonomisch nachhaltig: Durch die innovative Schwungmassengeometrie leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Kostenreduktion von Flywheel-Speichern, wodurch deren Anwendung zur dezentralen Netzstabilisierung, speziell im Hinblick auf den steigenden Anteil an erneuerbaren Energien, näher rückt und damit die Netzausbaukosten gesenkt werden können.
- Ökologisch nachhaltig: Flywheel-Speicher weisen eine lange Lebensdauer bei höchster Zyklusfestigkeit auf und bestehen aus ökologisch unbedenklichen Werkstoffen.
- Sozial nachhaltig: Die dezentrale Energiegewinnung aus regenerativen Primärenergieträgern am Ort des Verbrauchs wird unterstützt und hilft damit, den Bedarf an importierten Primärenergieträgern zu reduzieren und Verteilungskonflikte, aufgrund knapper werdender Ressourcen, zu mildern.



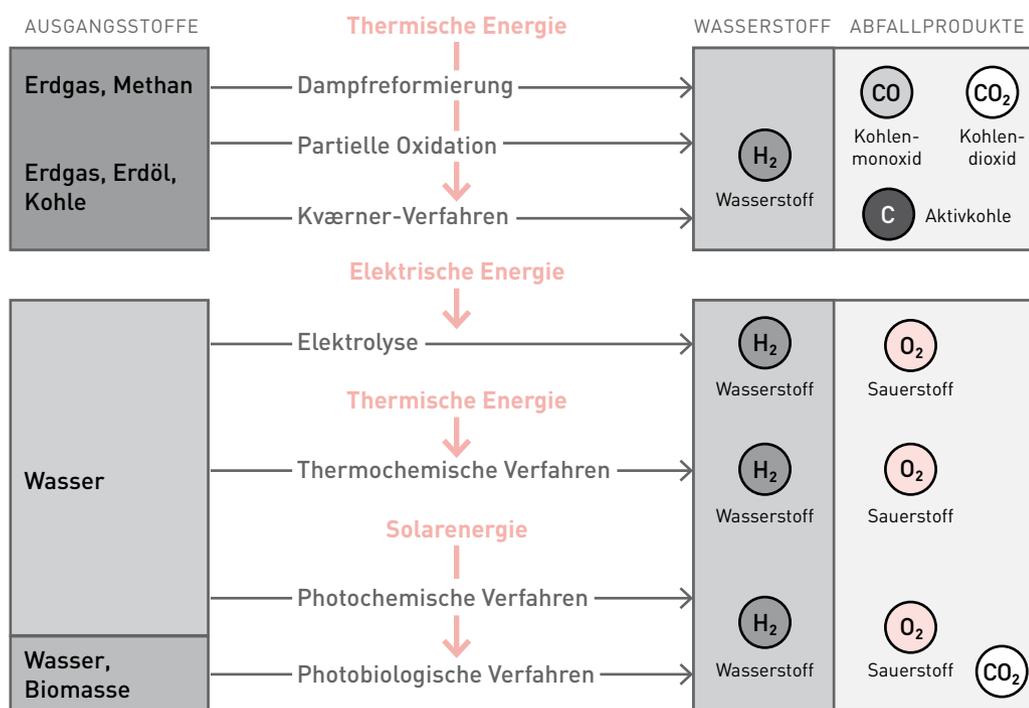


Projektleitung: PETER BRÜGGELLER

Universität Innsbruck, Institut für Allgemeine, Anorganische und Theoretische Chemie, Centrum für Chemie und Biomedizin

„State of the art“ bei den Methoden der Wasserstoffproduktion weltweit

TABELLE 1



Sonnenlichtinduzierte Wasserstoffproduktion aus Wasser durch homogene Katalyse

SOLARER WASSERSTOFF

Wasserstoff als Speichermedium

Auch wenn Wasserstoff noch meistens mit konventionellen Methoden hergestellt wird, wurde doch längst erkannt, dass er ein **ideales Speichermedium** darstellt. Dies hat dazu geführt, dass die Infrastruktur der Wasserstofftechnologie (Wasserstofftankstellen, Brennstoffzellen, Prototypen bei Wasserstoffautos, Flugversuche mit Brennstoffzellen, etc.) bereits im Aufbau begriffen ist.

Zudem stellt Wasserstoff eine Möglichkeit dar, solare Energie beliebig zu speichern. Die Sonne ist eine Energiequelle, die nicht immer überall mit der gleichen Effizienz zur Verfügung steht. Darum benötigt man ein Medium, das Energie speichern kann, wenn sie vorhanden ist und dann verbraucht wird, wenn Energie benötigt wird. Wasserstoff ist, aufgrund der hohen Energiedichte, ein ideales Speichermedium. Ziel dieses Projekts ist, die solare Wasserspaltung zur Erzeugung von **Wasserstoff effizienter und kostengünstiger zu gestalten**.

Erst die Verwendung von Solarenergie beantwortet die Frage nach der Primärenergie in der Wasserstofftechnologie zufriedenstellend (Tabelle 1). Werden Erdöl, Erdgas, Methan oder Kohle für die Wasserstoffproduktion verwendet, hat man nach wie vor das Problem, nicht kohlenstoffneutral Energie zu produzieren und man trägt weiterhin zur Erderwärmung bei. Zweifellos ist die Umwandlung von elektrischer Energie in Wasserstoff ein Beitrag zur Lösung des Speicherproblems bei Strom, aber sie stellt keine zusätzliche Energiegewinnung dar. **Erst thermo-**

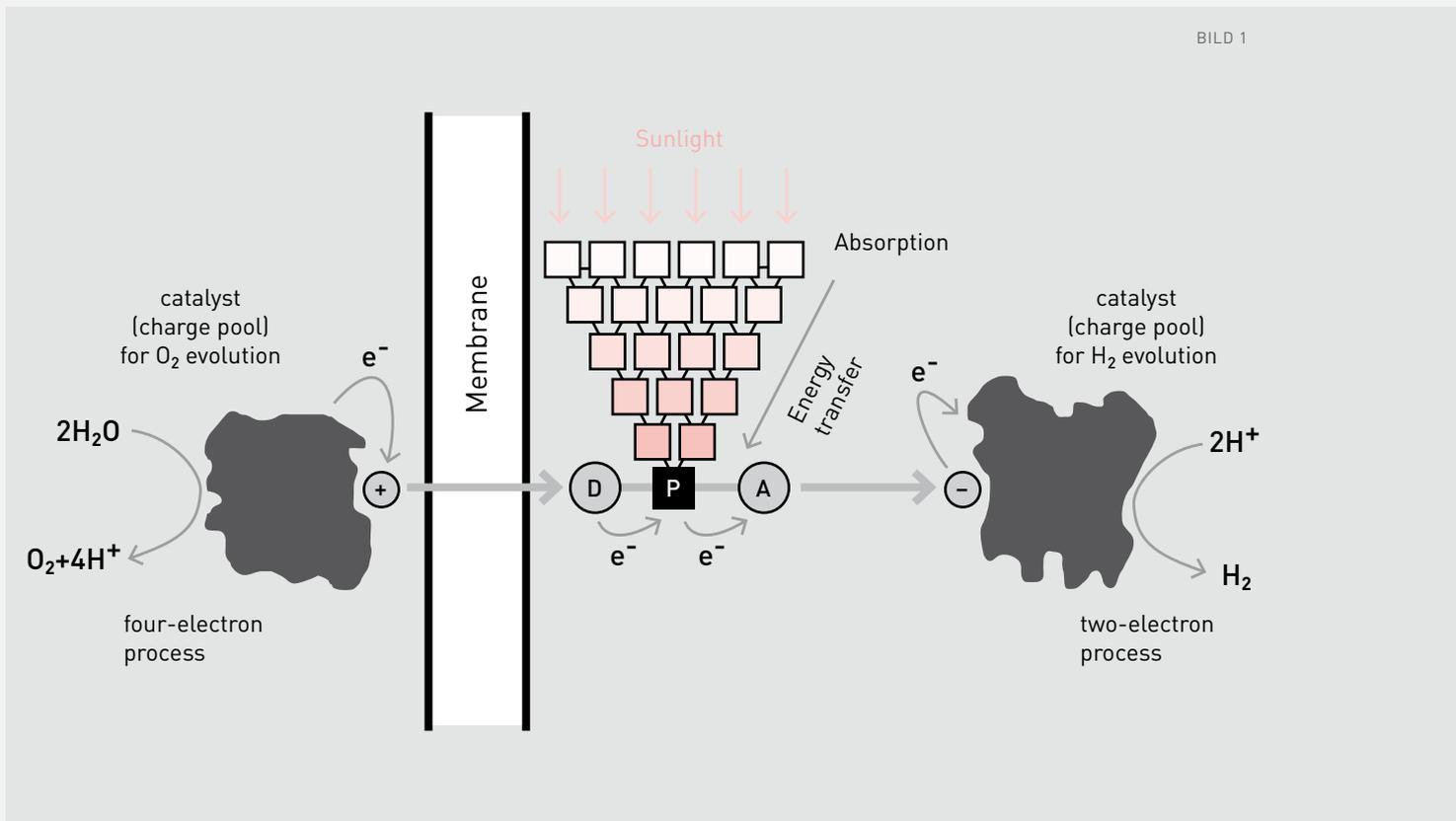
chemische, photo-chemische und photobiologische Verfahren erschliessen hier neue Energiequellen, sobald sie Solarenergie als Primärenergie verwenden.

Problemstellung

Weißes Licht, das dem Sonnenspektrum möglichst nahe kommt, trifft auf Lösungen, die homogene Katalysatoren enthalten. Diese sind in der Lage, Wasser nach folgendem Schema zu spalten (Bild 1). Dabei ist allerdings festzuhalten, dass Bild 1 die „ganze“ Wasserspaltung zeigt, also sogenannte kombinierte Systeme, wie sie in der Natur vorkommen. Der „state of the art“ bei diesen Systemen, wie erst neulich in der renommierten Zeitschrift „Science“ publiziert, liegt noch nicht im katalytischen Bereich. Dies bedeutet, dass die Produktion von Wasserstoff sehr gering ist. Da für die Erzeugung des Energieträgers Wasserstoff es aber eigentlich nicht notwendig ist, gleichzeitig Sauerstoff zu produzieren, konzentriert sich unsere Arbeitsgruppe auf die reduktive Seite der Wasserspaltung.

Bild 2 zeigt einen von uns hergestellten Präkatalysator für diese reduktive Seite der Wasserspaltung. Diese Komplexe können vollständig charakterisiert werden, sodass keine Zweifel über deren Zusammensetzung bestehen.

Dieser homogene Präkatalysator (Bild 2) zeigt in einer Versuchsanordnung eine katalytische Wasserstoffproduktion. Dabei entsteht aus dem Präkatalysator der eigentliche Katalysator, der aber nicht bekannt ist.



Auf der linken Seite wird Wasser oxidiert und es entsteht Sauerstoff, während auf der rechten Seite Wasser reduziert wird und sich Wasserstoff bildet.

Wasserstoffproduktion

Zweifellos könnte Wasserstoff der ideale Energieträger der Zukunft werden, da er die höchste Energiedichte besitzt. Aus chemischer Sicht hat er gegenüber anderen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Methanol den entscheidenden Vorteil, keinen Kohlenstoff zu enthalten. Wer die Wetterverhältnisse im Juli 2013 in Österreich erlebt hat, sollte nicht mehr zweifeln, ob es eine Erderwärmung gibt. In der ZIB2 vom 5.8.13 wurde von einem bekannten Meteorologen Österreich in naher Zukunft ein Klima wie in Indien mit Monsun und Trockenzeiten in Aussicht gestellt. Die Zahl der ÖsterreicherInnen, die das wollen, hält sich wahrscheinlich in Grenzen. Wasserstoff produziert bei der Verbrennung kein Kohlendioxid sondern nur Wasser, das auf unserem Planeten temperaturbedingt in allen drei Aggregatzuständen vorliegt und deshalb nicht wie Kohlendioxid einfach in die Atmosphäre abgegeben wird.

Unser Projekt versucht deshalb neue Quellen von Wasserstoff zu erschliessen, wobei die Primärenergie saubere Sonnenenergie ist. Die Nachahmung der

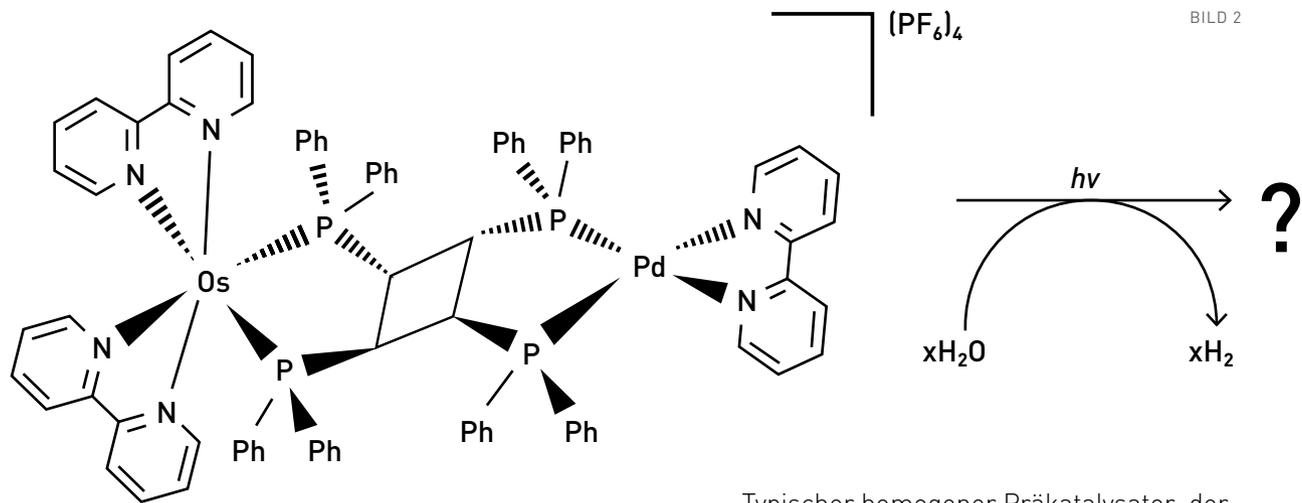
natürlichen Photosynthese soll auf katalytischem Weg größere Mengen an Wasserstoff liefern. Beschäftigt man sich mit Katalyse, sollte man immer den bekannten Satz des Nobelpreisträgers Robert H. Grubbs im Gedächtnis haben: „Catalysis is always a battle between stability and reactivity.“ Dies soll an folgender Tabelle veranschaulicht werden, die den momentanen weltweiten Stand der Dinge bei der photokatalytischen Wasserstoffproduktion zeigt.

Tabelle 2 stellt ein Schulbeispiel für den Satz von Grubbs dar. Unsere Intention durch Verwendung von Phosphinen die Stabilität der Katalysatoren zu erhöhen, hat sich als richtig erwiesen. Trotzdem sieht man, dass Katalysatoren, die relativ schnell kaputt gehen, eine höhere Aktivität (TON = turnover number, Zahl der Moleküle Wasserstoff pro Molekül Katalysator) zeigen. Gelingt es aber, unsere hohe Stabilität, die weltweit ganz vorne liegt, mit der Aktivität kurzlebiger Systeme zu verbinden, könnten daraus exzellente TON-Werte resultieren. Daran wird in unserem Labor momentan intensiv gearbeitet.

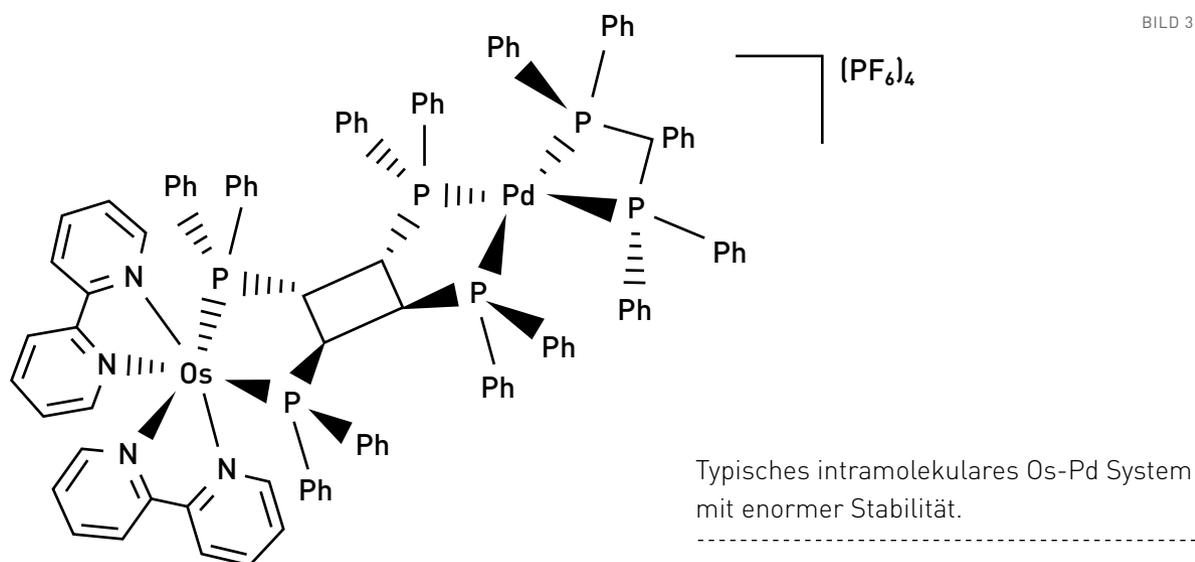
„State of the art“ bei der photokatalytischen Wasserstoffproduktion weltweit

TABELLE 2

Arbeitsgruppe	Chemikalien	Stabilität	Elektronen- transfer	verwendete Wellenlängen	TON	Kosten	Zitat
Eisenberg	Ru/ Ni	16 h	inter	520 nm	5500	mittel	W. R. McNamara et al., Angew. Chem., 2012, 124, 1699-1702
Eisenberg	Ru/ Co	12 h	inter	520 nm	9000	mittel	W. R. Mc. Namara et al., Proc. Am. Chem. Soc., 2012, 109(39), 15594-15599
Fontecave	Ir/ Co	10 h	inter	gesamtes Sonnenspektrum	700	mittel	P. Zhang et al., Inorg. Chem., 2012, 51, 2115-2120
Vos/ Rau	Ru/ Pd	18 h	intra	470 nm	400	teuer	S. Bindra et al., Dalton Trans., 2011, 40, 10812-10814
Brüggeller	Os/ Pd	>1000 h	intra	gesamtes Sonnenspektrum	132	teuer	in Bearbeitung
Brüggeller	Os/ Ni	318 h	inter	gesamtes Sonnenspektrum	13	teuer	in Bearbeitung



Typischer homogener Präkatalysator, der in unserer Arbeitsgruppe hergestellt wurde.



Typisches intramolekulares Os-Pd System mit enormer Stabilität.

ECKDATEN:

Lösungsmittel
Elektronendonator
Anregung

ACN/H₂O 4:5
Ascorbinsäure
Hg-Dampflampe
mit cut-off Filter

TON
Stabilität

37,2
1412 h

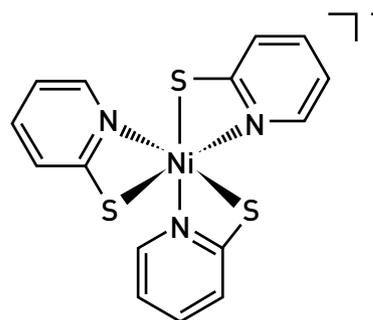
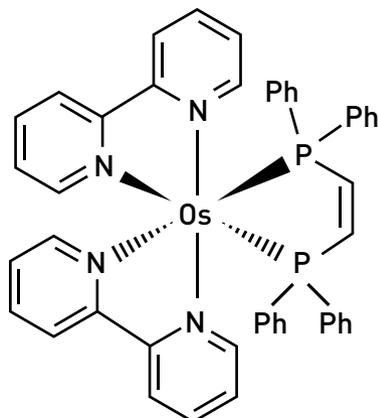


BILD 4

Typisches intermolekulares Os-Ni System mit guter Stabilität.

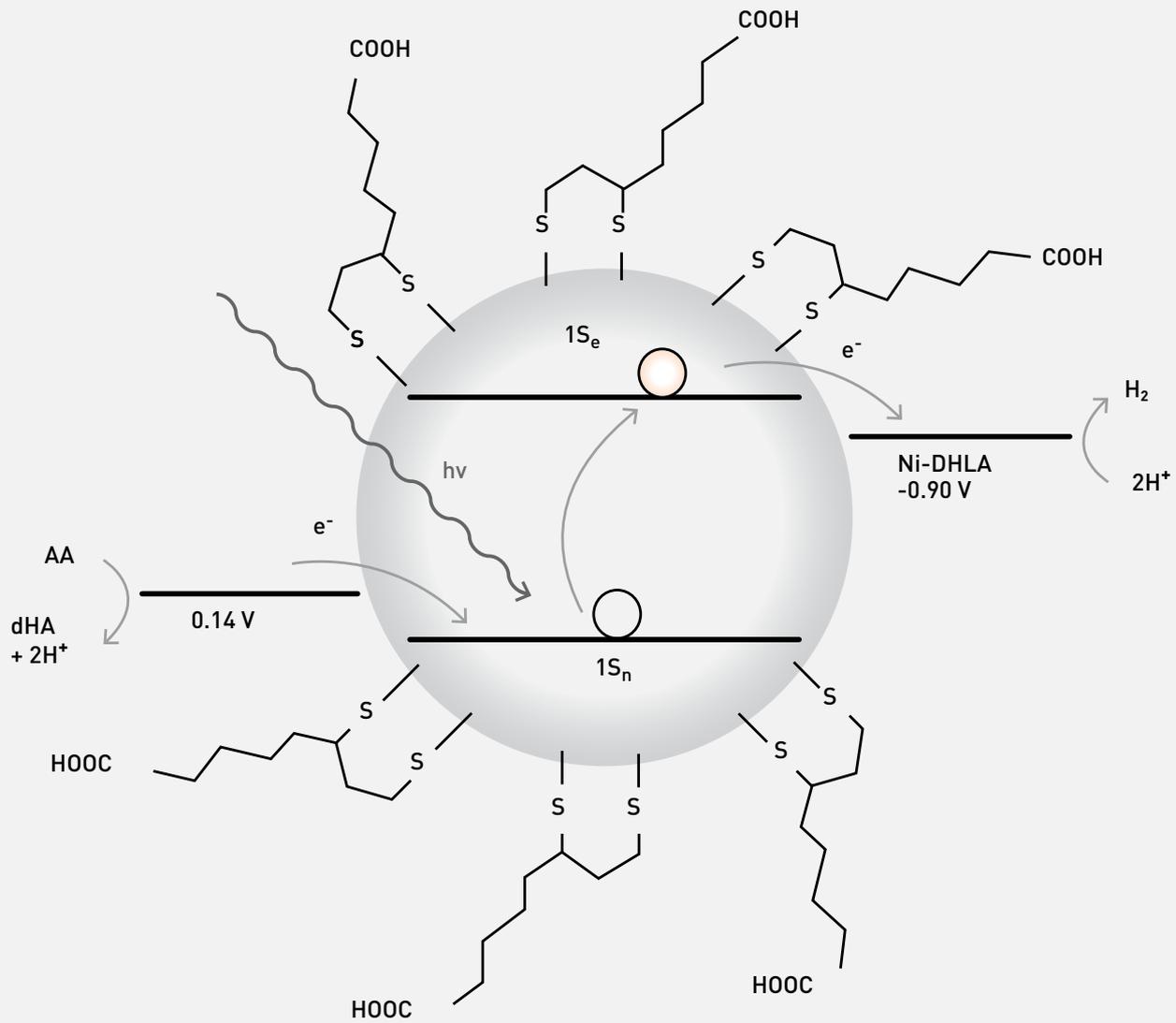
ECKDATEN:

Lösungsmittel	ACN/H ₂ O 4:5
Elektronendonator	Ascorbinsäure
Anregung	Hg-Dampflampe mit cut-off Filter
TON	13
Stabilität	318 h

Unsere Systeme, die in Tabelle 2 enthalten sind, sollen genauer vorgestellt werden: das erste ist ein sogenanntes intramolekulares System, bei dem der für die Wasserstoffproduktion notwendige Elektronentransfer in einem Supramolekül stattfindet und deshalb sehr schnell ist (Bild 3).

In Tabelle 2 ist für dieses System ein höherer TON-Wert angegeben. Dies hat damit zu tun dass ein 400 nm cut-off Filter die Aktivität herabsetzt. Offenbar ergibt die Verwendung des gesamten Sonnenspektrums bei diesem Katalysator die höchste Aktivität. Tabelle 2 zeigt aber auch, dass das nicht immer so ist. Deshalb ist unsere Arbeitsgruppe gerade dabei ein ausgeklügeltes LED-System, das eine renommierte Firma baut, anzuschaffen, um die TON wellenlängenabhängig untersuchen zu können.

Das zweite in Tabelle 2 enthaltene System ist bereits ein Versuch, kostengünstige 3d-Metalle ins Spiel zu bringen. Man erkennt, dass der Austausch des teuren Palladium gegen das kostengünstige Nickel sofort die Stabilität des Systems reduziert, obwohl sie verglichen mit anderen Systemen immer noch gut bleibt. Bild 4 zeigt dieses System, wobei durch die Verwendung eines Osmium-Chromophors es immer noch teuer bleibt. Im weiteren Verlauf des Projekts sollen die kostengünstigen Metalle Eisen und Kobalt als Reduktionskatalysatoren untersucht werden. Zudem wird auf der Chromophorseite nun das ebenfalls kostengünstige Metall Kupfer eingesetzt. Dies soll zu einem System führen, in dem überhaupt keine teuren Metalle mehr verwendet werden. Auch für das System in Bild 4 liegen die Kristallstrukturen bereits vor.



→ Typischer oberflächenmodifizierter Quantenpunkt aus CdSe, der in Kombination mit $Ni(NO_3)_2$ photochemisch Wasserstoff produziert.

Quantenpunkte

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, dass die TON der wasserstoffproduzierenden Systeme gesteigert werden kann, wenn es gelingt wenigstens eine Komponente sehr stabil zu machen. Dies ist der Ansatz bei den Quantenpunkten (siehe Bild 5).

Bild 5 zeigt ein Beispiel eines Quantenpunkts, der aus CdSe besteht und als Nanopartikel zu verstehen ist. Seine Nanoeigenschaft verleiht ihm verglichen mit molekularen Systemen eine erhöhte Stabilität. Diese Arbeit wurde erst neulich in „Science“ publiziert, da die resultierende TON sich erstmals im Bereich der wasserstoffproduzierenden Enzyme archaischer Bakterien befindet. Allerdings stößt man hier auf ein

anderes Problem: die verwendeten Cadmiumchalcogenide sind so giftig, dass sie innerhalb der EU bereits verboten sind. Deshalb ist es momentan ein Bestreben unserer Arbeitsgruppe, ein ähnliches System unter Verwendung des ungiftigen und kostengünstigen Kupfer(I)sulfids zu konstruieren. Erste Erfolge bestehen darin, dass es bereits gelungen ist, aus diesem Material wasserlösliche Quantenpunkte herzustellen, die stabil sind. Weiters sind sie kombiniert mit einfachen Nickel- und Kobaltverbindungen aktiv und produzieren Wasserstoff. Natürlich muss dieses System noch optimiert werden, bemerkenswert ist aber bereits, dass es ausschließlich aus kostengünstigen und ungiftigen Komponenten besteht.

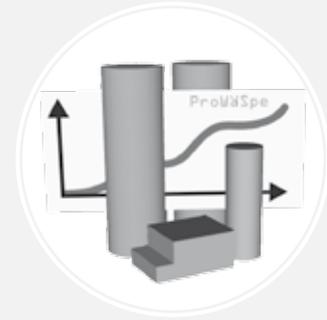
DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Wasserstoff könnte das Energiespeichermedium der Zukunft werden.
- Die künstliche Photosynthese erschliesst eine neue Energiequelle.
- Wasserstoff verbrennt sauber zu Wasser ohne Produktion von Kohlendioxid.





Projektleitung: ARMIN STEINER
Wien Energie GmbH, Kraftwerkstechnik



→ Baustelle Wärmespeicheranlage Simmering, Juli 2013

Dynamische Prozessoptimierung eines innovativen Wärmespeichers

HOCHDRUCK-WÄRMESPEICHER SIMMERING

Flexibler Speicher

Das Konzept der Wärmespeicherung erlangt durch die Möglichkeit der zeitlichen Trennung von Wärme-
produktion und Wärmeverbrauch immer größere Bedeutung. Mit der, in Bau befindlichen, Wärmespeicheranlage Simmering von Wien Energie, die zukünftig mit dem bestehenden städtischen Fernwärmesetzsystem kommuniziert, wird ein weltweit einzigartiges, innovatives Konzept realisiert, bei dem Wasser unter Druck gleichzeitig als Speicher- und als Arbeitsmedium dient. Das Herzstück der Wärmespeicheranlage, der Anlagenbau und die Verfahrenstechnik des Speichers wird von den Unternehmen *Bilfinger Bohr- und Rohrtechnik GmbH* und *Bilfinger VAM Anlagentechnik GmbH* geplant und errichtet. Mit dem Forschungsprojekt ProWäSpe soll durch den Einsatz eines Prozesssimulationsprogramms das komplexe Speichersystem vollständig abgebildet werden und in weiterer Folge sollen transiente Betriebszustände simuliert werden. Neben den genannten Industrieunternehmen hat der Konsortialführer *Wien Energie GmbH* als Betreiber des Wärmespeichers das *Institut für Energietechnik und Thermodynamik* der TU Wien mit in das Projektteam einladen können.

Die Ziele der dynamischen Simulationsrechnungen sind eine Reduktion des elektrischen Eigenbedarfs, eine Beschleunigung der Be- und Entladezeiten und eine erhöhte Betriebssicherheit des Wärmespeichers, mit dem Resultat der Einsparung an fossilem Brennstoff und einer Reduktion von CO₂-Emissionen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen bei der Inbetriebnahme des Wärmespeichers mit Ende 2013 einbezogen, validiert und umgesetzt werden. Somit besteht die

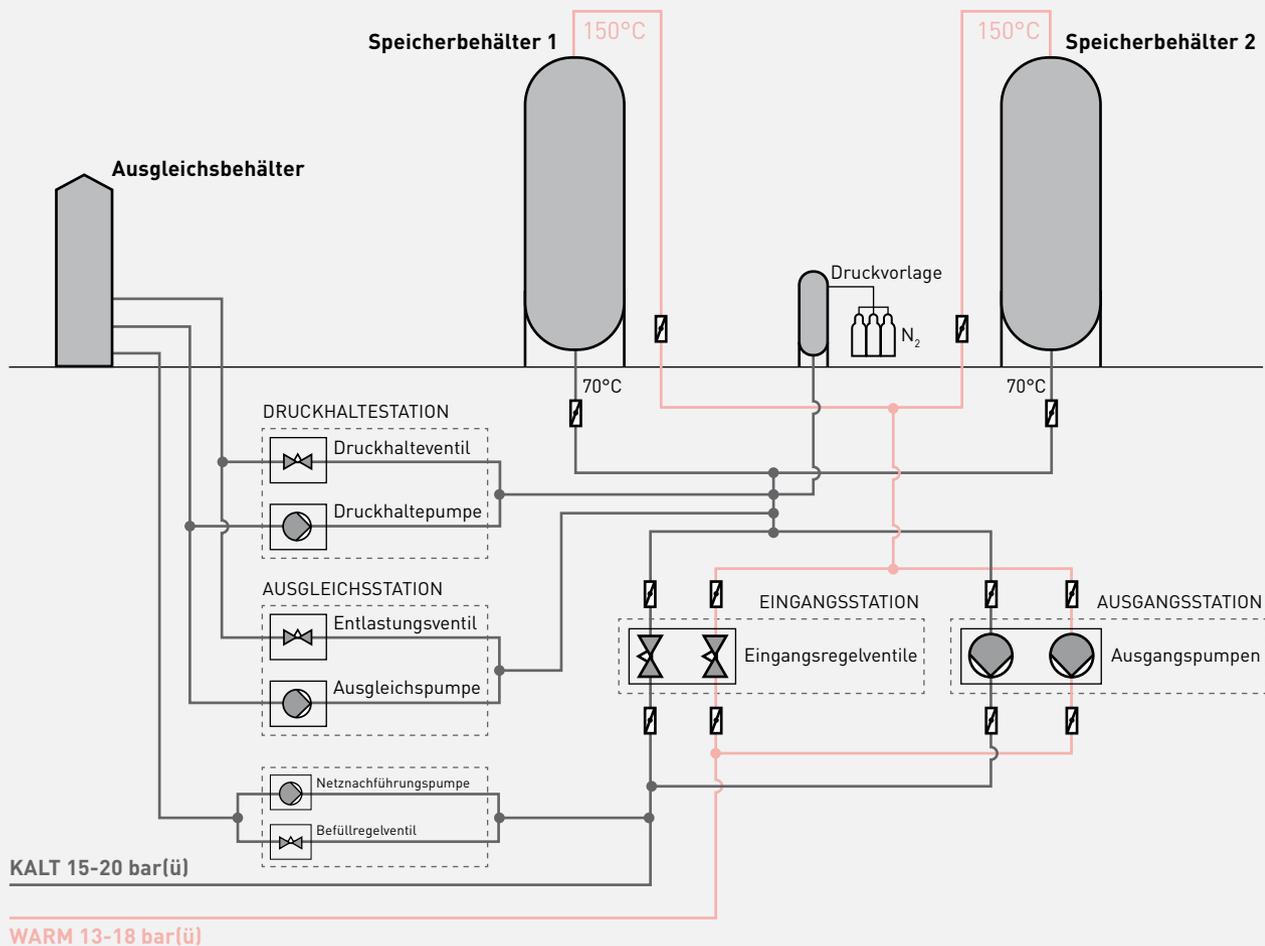
einzigartige Möglichkeit, die Simulationsergebnisse in Echtbetrieb zu nutzen, um so den Betrieb des Wärmespeichers von Beginn an zu optimieren.

Der Wärmespeicher Simmering arbeitet unter Hochdruck!

Die Wärmespeicheranlage Simmering besteht aus zwei baugleichen Speicherbehältern mit einem Durchmesser von ca. 14m, einer Höhe von über 45m und mit einem Volumen von je ca. 560 m³, einer Druckvorlage, einem Ausgleichsbehälter mit einem Volumen von ca. 1250 m³ samt Ausgleichspumpen, sowie dem Pumpenhaus mit Ein- bzw. Ausgangstation und dem Elektrogebäude.

Die zeitliche Entkoppelung zwischen Wärme-
erzeugung und Wärmeverbrauch erfolgt mittels Schichtenspeicherprinzip. Der Speicher ist immer mit Wasser gefüllt. Um die maximale Vorlauftemperatur des Wiener Fernwärmesetzes von 150°C direkt speichern zu können muss durch einen gesteigerten Behälterdruck ein Ausdampfen verhindert werden. Im Vergleich zu einem atmosphärischen Speicher bedeutet dies zwar einen deutlich komplexeren Aufbau der Wärmespeicheranlage, aber ein notwendiges unökologisches Nachheizen des Speichermediums kann dadurch vermieden werden. Im oberen Teil des Speichers befindet sich somit warmes Wasser mit bis zu 150°C. Im unteren Teil ist kaltes Wasser aus dem Fernwärmerücklauf eingelagert. Aufgrund des Dichteunterschieds von warmen und kalten Wasser bildet sich eine sogenannte Trennschicht. Die Höhe dieser Trennschicht ist mit bestimmend für die speicherbare

Wärmespeicher – vereinfachtes Schema



„Die gewonnenen Erkenntnisse sollen direkt im Zuge der Inbetriebnahme der Wärmespeicheranlage Simmering mit Ende 2013 einbezogen und umgesetzt werden“
 PROJEKTLEITER ARMIN STEINER

Wärmemenge und soll möglichst klein bleiben. Die Befüllung, bzw. das Be- und Entladen des Speichers erfolgt über spezielle Verteildüsen. Bei der Konstruktion der Verteildüsen wird darauf geachtet, dass sich keine Vertikalströmungen ausbilden und es keine Durchmischung von warmem und kaltem Wasser gibt.

Aufgrund der Druckniveaus im Vor- und Rücklauf des Fernwärmenetzes (bis zu 20 bar) muss der Druck des Speichermediums über die Eingangsstation (Regelventile) reduziert und über die Ausgangsstation (Pumpen) erhöht werden, um einen Angleich an das konstante Druckniveau im Speicher (rund 10 bar am Behälterboden), das aufgrund der Parameter Wassertemperatur und Behälterfestigkeit optimal gewählt wurde, zu erreichen. Mittels der Ein- und Ausgangsstationen kann der Wärmespeicher be- und entladen werden. Der Temperaturunterschied des Speichermediums zwischen den Zuständen „Beladen“ und „Entladen“ führt zu einer Änderung der Dichte und somit auch zu einer Massenänderung von ca. 7%. Mit dem Ausgleichsbehälter kann sichergestellt werden, dass bei Be- und Entladevorgängen der Massenstrom im Fernwärmenetz konstant bleibt. Um den Druck im Wärmespeicher in einem sicheren Betriebsfenster zu halten ist ein Druckhaltesystem vorgesehen. Das Druckhaltesystem besteht aus zwei redundanten Druckhaltepumpen und Druckhalteventilen sowie einem Druckvorlagebehälter mit einem Stickstoffpolster.

Beim *Beladevorgang* wird heißes Vorlaufwasser mit einer Temperatur von 95°C bis 150°C über die Eingangsstation durch die obere Verteildüse des Wärmespeichers eingebracht und kaltes Wasser mit demselben Volumen über die untere Verteildüse mittels Ausgangsstation in das Fernwärmenetz gepumpt. Um den Massenstrom im Netz konstant zu halten wird die Massenstromdifferenz zwischen kaltem und warmem Wasser über die Entlastungsventile in den Ausgleichsbehälter geleitet. Der Speicher ist voll aufgeladen wenn die Trennschicht den unteren Düsenbereich erreicht hat.

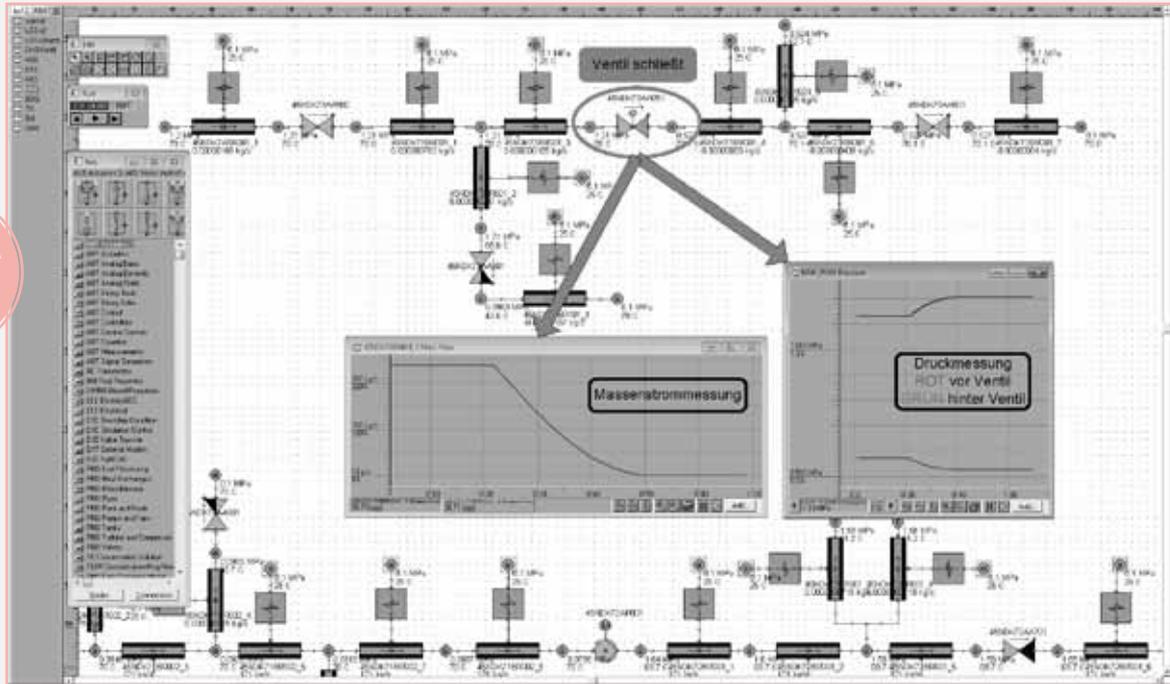
Beim *Entladevorgang* wird kaltes Rücklaufwasser (von 58°C bis 70°C) über die Eingangsstation durch die untere Verteildüse des Wärmespeichers eingebracht und warmes Wasser mit demselben Volumen über die obere Verteildüse mittels Ausgangsstation in das Fernwärmenetz gepumpt. Die resultierende Massenstromdifferenz zwischen kaltem und warmem Wasser wird aus dem Ausgleichsbehälter über die Ausgleichspumpen in den Speicher eingebracht. Der Speicher ist voll entladen wenn die Trennschicht den oberen Düsenbereich erreicht hat. Die Verschaltung der Ein- und Ausgangsstation ermöglicht ein rasches Umschalten von Be- auf Entladen.

Energie einsparen!

Im Zuge der Konzeptplanung wurden Simulationsrechnungen auf Basis der Ist-Daten (Temperaturen, Fernwärmebedarf, Preise) des Jahres 2009 durchgeführt. Diese ergaben, dass zur optimalen Nutzung häufige, rasch aufeinanderfolgende Lade- und Entladevorgänge notwendig sind. Daraus folgt, dass das gesamte Speichersystem auf häufigen und raschen Wechsel von Be- auf Entladen auszulegen ist. Aus den Simulationsrechnungen ist erkennbar, dass der Speicher rund 2200 Stunden im Jahr beladen und rund 2200 Stunden im Jahr entladen wird. Die über das Jahr kumulierte eingespeicherte (bzw. entnommene) Wärmemenge beträgt rund 145000 MWh.

Der Wärmespeicher ist eine Innovation!

Erstmals wird eine Wärmespeicheranlage in ein Hochtemperatur-Fernwärmenetz dieser Größe und Komplexität, in das Anlagen verschiedenster Technologien (KWK-Anlagen, thermische Abfallbehandlungsanlagen, Biomasse-Anlagen, zukünftig Geothermie sowie Spitzenlastkessel) einspeisen, integriert. Mithilfe einer vorausschauenden Kurzfrist-Optimierung auf Basis von genauen Kraftwerksmodellen und Last- sowie Preisprognosen kann ein idealer Betrieb aller genannten Anlagentypen im ressourcenschonendsten Betriebspunkt je nach deren spezifischen Eigenschaften



und Erfordernissen erreicht werden. Durch die Einsparung an fossiler Primärenergie und durch die optimale Betriebsführung werden der Abgasausstoß und die CO₂-Emissionen minimiert.

Forschungsergebnisse umsetzen „just in time“

Ziel dieses Projekt ist es den Betrieb des Wärmespeichers Simmering zu optimieren. Ein Speichersystem in der Dimension wie gerade beschrieben muss als Zusammenspiel vieler verschiedener Komponenten in einer komplexen Verschaltung funktionieren. Um einen sicheren Betrieb des Speichersystems zu gewährleisten sind prozessbedingt mit Verlusten behaftete Druck- und Zeitfenster notwendig. Dieses Projekt soll diese Druck- und Zeitfenster auf ein Minimum reduzieren und so vor allem transiente Vorgänge wie Be- und Entladen optimieren. Dazu muss das innovative Speichersystem inklusive aller relevanten Komponenten wie z.B. Behälter, Pumpen, Ventile, etc. mittels numerischer Prozesssimulation abgebildet werden.

Im Zuge dessen wird es notwendig sein, Modelle für gewisse Bauteile des Speichers neu zu entwickeln und das komplexe Rohrleitungssystem abzubilden.

Mittels der dynamischen Prozessberechnung wird es möglich, transiente Zustände, bei denen sich z.B. der Massenstrom in den Leitungen des Speichers ändert, zu bewerten. Dabei wird die Betriebscharakteristik der Komponenten des Speichers abgebildet. So hat ein erhöhter Massenstrom einen höheren Druckverlust in der Rohrleitung zur Folge.

Mit dem Modell des Speichersystems soll dann das Betriebsverhalten des Speichers analysiert werden. Die aus der Analyse gewonnenen Daten bilden den Grundstein für eine generelle Optimierung des Speichersystems bei transienten Betriebszuständen. Weiters können Störfallsituationen wie Druckschwankungen am Ein- und Austritt des Speichersystems oder Dampfblasenbildung im Speichersystem analysiert und für den realen Betrieb Maßnahmen zur Einflussreduzierung eingeleitet werden.

In einer ersten Sondierung haben sich folgende Punkte als mögliche optimierbare Optionen herausgestellt:

- *Beladen des Wärmespeichers*: hier im Speziellen die Optimierung der Anfahrrampe der Ausgangspumpe kalt und der Leitungstemperierung.
- *Entladen des Wärmespeichers*: hier im Speziellen die Optimierung der Anfahrrampe der Ausgangspumpe warm.
- *Ruhezustand des Speichers*: hier muss wie in allen anderen transienten Vorgängen die Druckhaltung gewährleistet sein. Dabei soll der Eigenbedarf der Druckhaltung reduziert werden. Ein Detail in dieser Betrachtung liegt auf der Bedampfung des Ausgleichsbehälter und der daher notwendigen Netznachführung.
- *Störanalyse*: Wichtig für die Nutzung der Vorteile eines Wärmespeichers ist die Verfügbarkeit. Je robuster das Wärmespeichersystem auf Druckschwankungen im Vor- und Rücklauf des Fernwärmenetzes reagiert, desto geringer wird der Betrieb eingeschränkt.
- *Druckunterschreitung*: Aufgrund von Störungen könnte es zu einer Druckunterschreitung in den Wärmespeicherbehältern kommen. Die Ausdampfung von Speicherwasser ist die Folge und der Betrieb des Speichers muss gesichert beendet werden. Diese Ausfallszeiten können durch gezielte Maßnahmen, die durch dieses Projekt dargestellt werden, minimiert werden.

Diese Optimierungsansätze des Prozesses können die beschriebenen ökologischen Vorteile zusätzlich verbessern und können diese Form der Wärmespeicherung am Markt ökonomischer darstellen.

Die Anlagenmodellierung schreitet voran

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die Anlagenteile des Wärmespeichers mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad im Prozesssimulationsprogramm APROS abgebildet worden. Die Gesamtanlage wurde in sinnvolle Untergruppen unterteilt und Geometriedaten, Kennlinien und physikalische Eigenschaften der Anlagenteile wurden aus den Planungsunterlagen zusammengestellt und in das Simulationsprogramm eingegeben. Erste Funktionstest mit Teilsystemen wurden erfolgreich durchgeführt.

In einem nächsten Schritt werden die Untergruppen miteinander verbunden und danach wird das regeltechnische Konzept der Wärmespeicheranlage umgesetzt. Für ausgewählte Betriebszustände werden dann dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Analysen von ProWäSpe sind eine weitere **Einsparung des Energiebedarfs, eine beschleunigte Be- und Entladezeit und die Erhöhung der Betriebssicherheit**. Als Resultat kann dadurch direkt (Senkung des Energiebedarfs) und indirekt (optimierte Betriebsweise des Speichers steigert dessen Vorteile der Wärmespeicherung und kann z.B. den Einsatz von Spitzenlastkessel reduzieren) fossiler Brennstoff einspart und CO₂-Emissionen vermieden werden.

Somit kann das Modell vor Fertigstellung des realen Wärmespeichers ein Gefühl für das Betriebsverhalten der Anlage geben und die Ergebnisse der Berechnung können direkt in der Inbetriebsetzungsphase des Wärmespeichers umgesetzt werden.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Durch die Optimierung des Wärmespeichers können CO₂-Emissionen weiter reduziert werden.
- Noch vor der Inbetriebnahme der Wärmespeicheranlage kann das Betriebsverhalten mittels Prozesssimulation getestet werden.
- Das Prozessmodell ermöglicht eine Simulation von Störfällen, welche in der Realität nicht getestet werden können.





→ **Projektleitung:** BERNHARD ZETTL
Austria Solar Innovation Center



→ „Die Realisierbarkeit von verlustlosen Solarspeichern wird von manchen Kritikern – auch innerhalb des Forschungsfeldes – noch immer bezweifelt, sie stellt aber gleichzeitig einen ungeheuren Anreiz dar: Die im Sommer auch in Mitteleuropa reichlich anfallenden Solarerträge für den Winter zu speichern ist eine faszinierende Idee!“ PROJEKTLEITER BERNHARD ZETTL

Solarspeicher mittels thermochemischer Granular-Flow-Materialien

Innovatives Speicherprinzip

Thermochemische und Sorptions-Wärmespeicher nutzen die Eigenschaften hygroskopischer Materialien, Wärme frei setzen zu können, während sie Wasser aufnehmen. Dieser Vorgang kann zur Realisierung einer verlustlosen Wärmespeicherung und Bereitstellung von thermischer Energie für Niedertemperatur-Anwendungen genutzt werden. Die verlustlose Langzeitspeicherung von Solar- oder Abwärme ist eine Schlüsseltechnologie für eine vollständig erneuerbare Wärmeversorgung in vielen Einsatzbereichen.

Da Langzeitspeicher eine vergleichsweise geringe Anzahl an Speicherzyklen aufweisen, sollten technische Konzeptentwicklungen immer vor dem Hintergrund von geringen Materialkosten und relativ hoher Betriebssicherheit stattfinden. Neben der herkömmlichen Wärmespeicherung in Form von sensibler Wärme (z.B. bei konventionellen Wasserspeichern) mit verbesserten Dämmungen, sind in den letzten Jahren vermehrt Untersuchungen zu thermochemischen Speicherverfahren in den Vordergrund gerückt, welche ein höheres Wärmespeichervermögen bzw. ein vorteilhafteres Langzeitverhalten als das der sensiblen Wärme besitzen sollten.

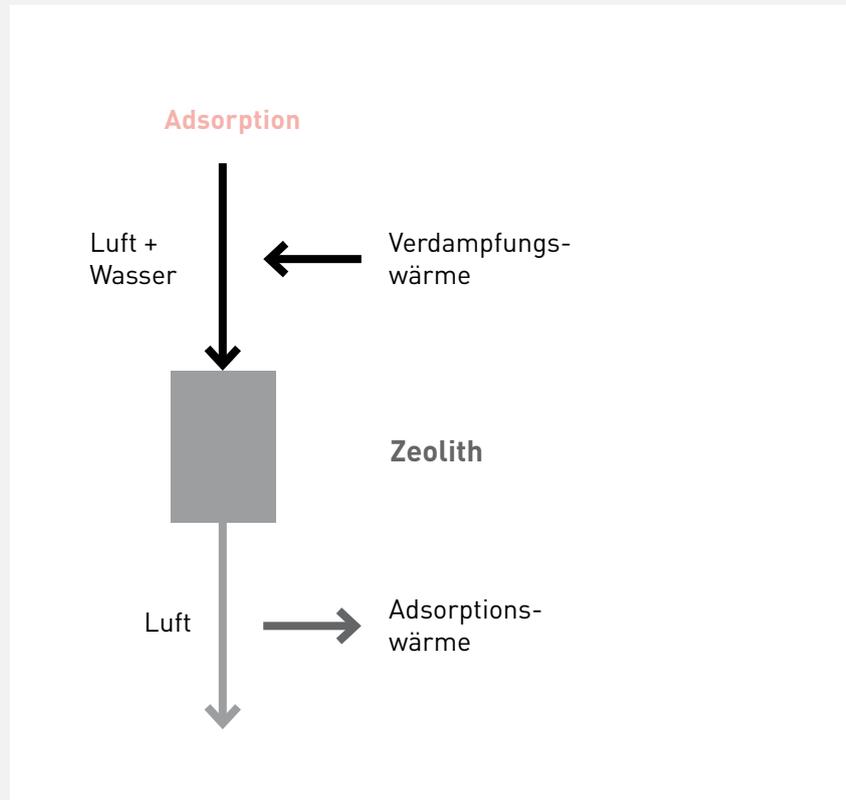
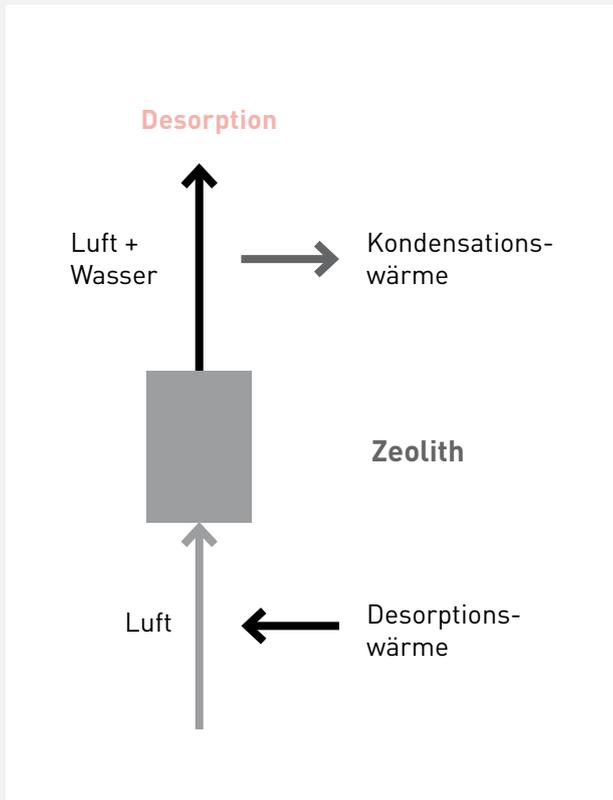
Zusätzlich zum Langzeitverhalten der Wärmespeicher ist es im Besonderen die Energiedichte und damit verbunden der maximale Raumbedarf eines Speichers, der als Beschreibungsmerkmal herangezogen wird.

Üblicherweise wird der Vergleich mit Wasserspeichern als Referenz herangezogen, deren Energiespeicherdichte von 50 bis 70 kWh/m³ (bei 60 K nutzbarer Temperaturspanne) übertroffen werden soll.

Materialien

Als Speicherstoffe kommen nach dem aktuellen Stand der Technik Molekularsiebe, natürliche Gerüst- und Schichtsilikate und Salze in Betracht. Besonders den Salzen und deren Hydraten wird das größte Potenzial als Speichermaterial im Niedertemperaturbereich zugeschrieben, allerdings ist das Materialverhalten deutlich problematischer als das der mineralischen Stoffe. Korrosion, Schmelzen, Volums-Änderung, Zerfall der Kristalle, kinetische Reaktionshemmungen, thermische Zersetzung (Hydrolyse) sind einige verfahrenstechnische Herausforderungen bei der Verwendung dieser Materialklasse. Dem stehen allerdings sehr geringe Materialkosten und hohe Energiespeicherdichten gegenüber.

Im Projekt FLOW-TCS wird daher gemeinsam mit den Projektpartnern ein Material entwickelt, das potenziell geringe Herstellungskosten aufweisen soll: natürliche Gerüstsilikate und Salzmischungen aus Metall-Chloriden und Sulfaten. Die Aufnahme und Abgabe von Wasserdampf in einem granularen Feststoff bietet die Möglichkeit der relativ leichten Trennung und Zusammenführung der Stoffe während der Speicherbe- und entladung. Die Verwendung von kostengünstigen, umweltneutralen Rohstoffen und die Herstellung eines – in allen Stadien des Speicherzyklus-rieselfähigen Granulates mit hoher Energiedichte – sind dabei die Projektziele.



→ Sorptives System (Graphik: Hauer/EA)

Verfahren

Das wichtigste thermo-physikalische Prinzip der innovativen Speicher ist: **nur nutzbare Energie (sog. Exergie) speichern und die nicht nutzbare Energie (sog. Anergie) mit der Umgebung austauschen.**

Dieses Prinzip wird in den Forschungsprojekten auf zwei unterschiedlichen Arten umgesetzt:

- Geschlossene Systeme: Tauschen mit der Umgebung Wärme aus (Kondensationswärme im Sommer, Verdampfungswärme im Winter)
- Offene Systeme: Tauschen mit der Umgebung Wärme und Wasserdampf aus (Abluft aus Trocknung im Sommer, Zuluft für Absorption im Winter)

Eine der Herausforderungen der Entwicklungsphase im Projekt FLOW-TCS liegt in der Prozesstechnik für die Adsorption, also die Reaktionsführung für eine möglichst effiziente Wärme-Freisetzung und gute Nutzung des Materials. Konkret wird im bearbeiteten

Projekt eine Wärmetrommel als Reaktionsraum eingesetzt, mit der batch-weise, gut steuerbare thermische Prozesse möglich sind. Mit diesem Verfahrenskonzept kann, bei Verwendung eines angepassten und optimierten Composite-Material aus natürlichem Zeolith und Salzhydrat, ein effektives und kostengünstiges Wärmespeichersystem realisiert werden.

Begleitet werden die Entwicklungen durch intensive Unterstützung von thermo-physikalischer Grundlagenforschung, der Messung von Stoffdaten und der Formulierung von Stoffgesetzen, die auf die hochdynamischen thermokinetischen Prozesse anwendbar sind. Die numerische Simulation der Strömungsmechanik, der Materialbewegung und der Sorptionsvorgänge in einem vereinten Modell ermöglicht die Optimierung der Reaktionsdynamik, Entwicklung von Steuerungsmechanismen, Vorhersage von Erträgen und Richtlinien für die Integration in haustechnische Einrichtungen.

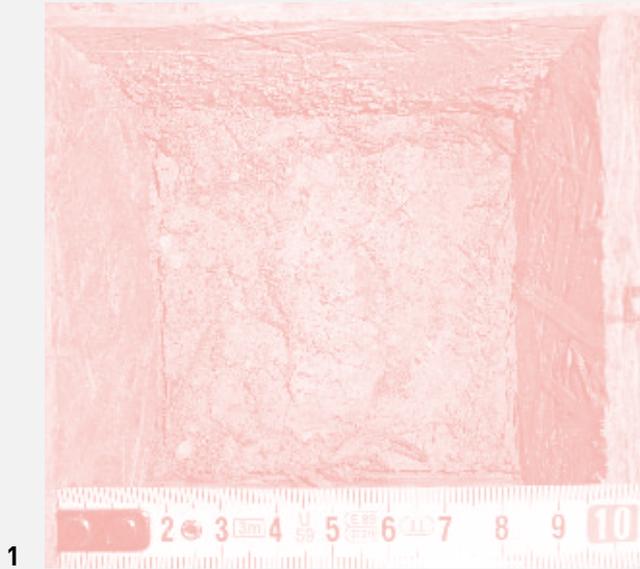
DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Mittels thermochemischer Wärmespeicher können Solarerträge langfristig gespeichert werden.
- Wärmespeicher sind ein wichtiger Bestandteil für zukünftige Energiemanagement-Konzepte in Haushalten aber auch im industriellen Einsatz.
- Der Nutzungsgrad von solar-thermischen Anlagen wird durch Speicherung der Erträge deutlich erhöht.





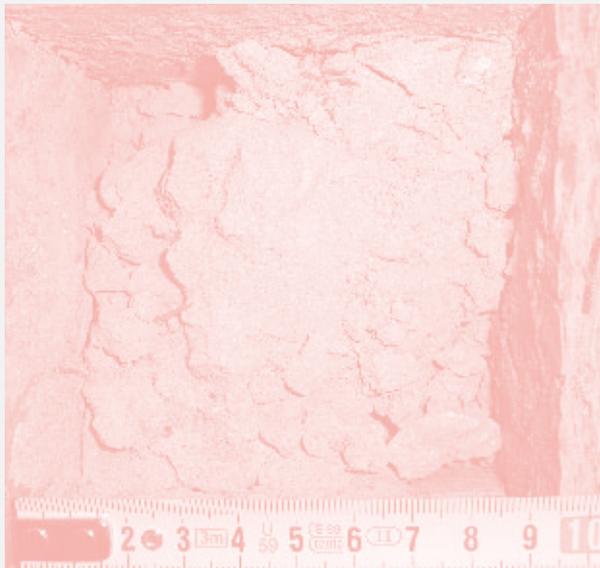
Projektleitung: FLORIAN AICHINGER
Advanced Drilling Solutions GmbH



1



2



3



4

1-4 Lokale Bodenproben aus dem Tiefenbereich 0 - 30 [m]

Nutzbarmachung von geologischen Strukturen, zum Zweck der thermischen Energiespeicherung

Einleitung

Saisonale Wärmespeicher stellen speziell für fluktuierende erneuerbare Energien eine wichtige Schlüsseltechnologie dar. Dies betrifft sowohl erneuerbare Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen als auch Nahwärmenetze mit hohem solaren Deckungsgrad. Davon abgesehen kann unter Umständen auch elektrische Überschussenergie mit Hilfe von Wärmepumpen sinnvoll zum Durchladen der Speicher verwendet werden.

Stand der Technik

In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren, sind unter anderem in Deutschland und Dänemark verschiedene Großspeichertypen entwickelt, erbaut und betrieben worden, welche Wasser beziehungsweise Sediment als Speichermedium nutzen. Es konnte im Rahmen der Betriebserfahrungen gezeigt werden, dass eine saisonale Wärmespeicherung von Solarwärme im Siedlungsmaßstab technisch umsetzbar ist und funktioniert. Besonders in Dänemark sind Großwärmespeicher auch als Schnittstelle zwischen Strom und Wärmemarkt etabliert. Hierbei werden einerseits dank Wärmespeicher, trotz überwiegend stromorientierter Fahrweise, KWK Anlagen effizient betrieben. Außerdem besteht die Möglichkeit einer elektrischen Beheizung mit Großwärmepumpen um momentane Stromüberschüsse abzubauen. Bei der Nutzung dieser Technologie traten allerdings auch zahlreiche Probleme auf, in vielen Projekten waren die Wärmeentstehungskosten viel zu hoch; oft wurden die erhofften Netzzücklauftemperaturen

nicht erreicht und so konnten die Speicher nicht optimal entladen werden. Davon abgesehen waren die Wärmeverluste oft höher als gedacht und die Langlebigkeit der Dicht- und Dämmmaterialien nicht immer gegeben.

Insgesamt ist das Bild aber positiv, speziell der Erdbeckenspeicher konnte sowohl bezüglich der Errichtungskosten, der Effizienz als auch (vermutlich) der Langlebigkeit verbessert werden. Es sind weitere Projekte in der Planung und Bauphase.

Allerdings bieten speziell auch die geologischen Speichertypen (Sondenspeicher und Aquiferspeicher) hohes Potenzial, besonders aufgrund ihrer unvergleichlich niedrigen relativen Investitionskosten (Faktor 5-20 gegenüber Tank und Erdbeckenspeichern) sowie der hohen wartungsarmen Lebensdauer. Als spezifische Charakteristika haben sich beim Sondenspeicher aufgrund der vorherrschenden konduktiven Wärmetransportvorgänge einerseits eine verhältnismäßig gute Effizienz, andererseits ein schlechtes Be- und Entladeverhalten herausgestellt. Der Aquiferspeicher hingegen verfügt aufgrund des hauptsächlich konvektiven Wärmetransportes über eine gute Be- und Entladeleistung, allerdings auch insbesondere bei Grundwasserströmungen über eine entsprechend schlechtere Effizienz.

Projektbeschreibung

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, einen geologischen Speichertyp zu entwickeln, der unter Bewahrung der geringen Herstellungskosten die Vorteile beider bisherigen geologischen Speichertypen eint.

Das Prinzip ist einfach, es werden im obersten Grundwasserstockwerk durch Spezialtieftbautechnik Schmalwände aus Tonsuspension, in Form eines Doppelringes errichtet und in einem natürlichen Stauer gegründet. Die Schmalwände sind eine zuverlässige, selbstheilende Form der Abdichtung und in der doppelten Ausführung sogar zur Sicherung von Deponien zugelassen. Außerdem sind sie ab einer gewissen Mindestfläche sehr kostengünstig herstellbar. Im inneren Bereich entsteht so ein hydraulisch geschlossener künstlicher Aquifer, in dem daher Be- und Entladeleistung entsprechend hoch sind. Im Ringbereich kann zur Reduktion der Wärmeleitfähigkeit das vorhandene Wasser abgepumpt werden, Wärme die in der Ladeperiode vergleichsweise langsam konduktiv in diesen Speicherbereich entweicht, kann in der Entladeperiode durch zirkulieren von Rücklaufwasser teilweise wiedergewonnen werden – die Größe des Ringraumes muss entsprechend angepasst werden. Wesentlich für die Realisierung von derartigen Speichersystemen ist ein bestmögliches Ausnutzen der gegebenen Geologie, sowie deren kostengünstige Erschließung. Hierzu muss die geologische Situation zuerst im Hinblick auf speicherfähige und abdichtende Elemente erkannt, beschrieben, modelliert und simuliert werden – um so eine Basis für eine Speicherplanung unter Berücksichtigung des Gesamtsystems zu schaffen. Der Speicher soll mit kosteneffizienten Prozessen errichtet und schließlich anhand der vorgegebenen Optimierungskriterien betrieben und überwacht werden.

Aktueller Stand

Das Forschungsprojekt befindet sich im zweiten von drei zur Verfügung stehenden Jahren, es wurde anhand einer Biogas-KWK Anlage, welche die entstehende Abwärme unter Anderem zum Trocknen landwirtschaftlicher Güter nutzt, alle notwendigen Grundlagen untersucht und entwickelt. Zunächst wurde die KWK-Anlage technisch und wirtschaftlich analysiert und so ein Wärmespeicher

gestütztes Abwärme-Konzept entwickelt. Dabei soll ungenutzte Abwärme in den Sommermonaten eingespeichert und in den Monaten Oktober und November zur Maistrocknung verwendet werden. Es wurde ein Konzept für eine umfassende Charakterisierung des Sedimentprobenraumes und der Fließeigenschaften basierend auf Laboruntersuchungen und neu entwickelten mathematischen Modellen erstellt. An vor Ort entnommenen Bodenproben, wurde eine experimentelle Versuchsreihe durchgeführt, die einerseits zur Erstellung eines geologischen Modells des Untersuchungsgebietes und gleichzeitig zur methodischen Entwicklung geeigneter Untersuchungstechniken diente.

Im Rahmen einer ausführlichen Recherche hinsichtlich der Problematik einer wasserrechtlichen Bewilligung für die Speichererrichtung wurden Kriterien festgelegt, die in einem Monitoring-System zur Beweissicherung und Überwachung umgesetzt werden müssen.

Das neu erstellte Abwärme-Konzept sowie die das hydrogeologische Modell bildeten die Grundlage für ein Simulationsmodell. Die verwendete numerische Simulationssoftware nützt einen Hybridsimulationsansatz, welche den konduktiven Wärmefluss mit der Methode der finiten Elemente und den konvektiven Wärmefluss mit der Methode der finiten Volumen simuliert. Der Simulator wurde durch Benchmark-Tests verifiziert.

Es wurde eine Software entwickelt, welcher die Kommunikation der Simulationssoftware mit einer Steuerungssoftware bzw. einem realen Heizkreisregler erlaubt. Eine Embedded System Plattform ist bereit, Grundwassersensoren direkt anzusprechen und die Daten an einen bereitstehenden Datenkonzentrator bzw. an die Anlagenvisualisierung zu senden. Es wurde eine Literaturstudie im Bereich der Spezial-Tieftbautechnik durchgeführt, außerdem Gespräche und Beratungen mit Fachleuten aus der Branche abgehalten um die optimale Erschließungstechnik zu erarbeiten.

Parallel dazu wurde für die Bestimmung der Fließparameter direkt in einer Bohrung ein neues Konzept erstellt, das ohne Verwendung substanzialer Tracer in einem Bohrloch die Bestimmung von Richtung und Geschwindigkeit erlaubt. Diese befinden sich gegenwärtig in der Phase einer Prüfung der Realisierbarkeit.

Weitere Ziele im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist die Verwendung der Entwicklungen zur Bewertung weiterer möglicher Anwendungsfälle, wie ein Nahwärme-Netzwerk mit inkludiertem Verstromungsprozess. Beziehungweise ein Beispiel für ein Netzwerk mit hohem solaren Deckungsgrad.

Als unmittelbares Nahziel soll ein Prototyp realisiert werden.

Als Fernziel sollen die entwickelten Werkzeuge für Exploration, Modellierung, Simulation, Steuerung und Monitoring auch für die Erschließung von tiefen, salinen Aquiferen zum Zweck der thermischen Energiespeicherung Anwendung finden beziehungsweise weiterentwickelt werden. Diese verfügen über eine entsprechend hohe Ausgangstemperatur und meist geringe Grundwasserbewegungen. Das macht sie unter Umständen ebenfalls zu sehr kostengünstigen und effizienten Wärmespeichern.

Erste Ergebnisse

Als vorläufiges Ergebnis ergaben Simulationen am genannten Beispiel der KWK Anlage, dass im wirtschaftlich optimalem Fall, bei einer Speicherung von ca. 680 MWh (100%) Abwärme, ca. 340 MWh (50%) ohne Wärmepumpenunterstützung direkt einer

Nutzung zugeführt werden können. Etwa 125 MWh (18%) entweichen in die Speicherumgebung und ca. 215 MWh (32%) verblieben am Ende der Maistrocknungsaison im Speicher. (Der Be- und Entladezyklus betrug ca. 22 Wochen). Berechnungen zeigten, dass die Maistrocknungskapazität der Anlage damit verdoppelt werden könnte.

Durch Erweiterung des äußeren Ringes und Rückgewinnung der den Speicherkern verlassenden Energie, beziehungsweise einbringen von Dämmung an der oberen Deckfläche, kann die Effizienz verbessert werden. Allerdings wären diese Investitionen im vorliegenden Fall aufgrund der ausreichend und annähernd kostenfrei zur Verfügung stehenden Abwärme wirtschaftlich nicht gerechtfertigt. Aktuell werden weitere Simulationen beziehungsweise eine Sensitivitäts-Analyse durchgeführt um die Effizienz durch Variation der Speichergeometrie bzw. der Be- und Entladevorgänge zu optimieren.

Eine Baufirma erstellte ein Angebot, welches die erwarteten Einsparungen bezüglich der Errichtungskosten gegenüber anderen Speichertypen nach unten korrigierte. Auch erreicht der Speicher mit zunehmender Größe eine starke relative Verringerung der Kosten, da die baulichen Arbeiten nicht proportional zum Volumen sondern zur Mantelfläche sind.

Es erscheint aus heutiger Sicht durchaus realistisch einen derartigen Speicher in dem beschriebenen oder einem vergleichbaren Fall wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll anzuwenden. Allerdings sind potentiellen Kunden für die Investition in einen Prototyp naturgemäß nur schwer zu gewinnen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Nutzung von Abwärme aus erneuerbaren KWK Anlagen
- Nutzung von Solarenergie in Nahwärmenetzen mit hohen solaren Deckungsgraden
- Nutzung von Strom in Schwachlastzeiten





Modulare Pumpturbinen zur dezentralen Energiespeicherung

Projektnummer	829745
Koordinator	Technische Universität Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik
Projektleitung	Christian Bauer: cbauer@ite.tuwien.ac.at
Partner	Technische Universität Wien, Institut für Elektrische Antriebe und Maschinen
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 4. Ausschreibung
Dauer	01.03.2011 - 28.02.2014
Budget	296.315 €



Hocheffiziente Schwungradspeicher (Flywheels)

Projektnummer	834539
Koordinator	Technische Universität Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik
Projektleitung	Alexander Schulz: alexander.schulz@tuwien.ac.at
Partner	FWT - Wickeltechnik GmbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 5. Ausschreibung
Dauer	01.06.2012 - 31.05.2015
Budget	730.189 €



Sonnenlichtinduzierte Wasserstoffproduktion aus Wasser durch homogene Katalyse

Projektnummer	834430
Koordinator	Universität Innsbruck, Institut für Allgemeine, Anorganische und Theoretische Chemie, Centrum für Chemie und Biomedizin
Projektleitung	Peter Brüggeller: peter.brueggeller@uibk.ac.at
Partner	Verbund AG, D. Swarovski KG.
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 5. Ausschreibung
Dauer	01.10.2012 - 30.09.2015
Budget	162.224 €



Dynamische Prozessoptimierung eines innovativen Wärmespeichers

Projektnummer	838667
Koordinator	Wien Energie GmbH
Projektleitung	Armin Steiner: armin.steiner@wienenergie.at
Partner	Bilfinger Bohr- und Rohrtechnik GmbH, Bilfinger VAM Anlagentechnik GmbH, Technische Universität Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik
Förderprogramm	e!Mission+.at - Energy Mission Austria, 1. Ausschreibung
Dauer	01.03.2013 - 28.02.2014
Budget	146.909 €



Solarspeicher mittels thermochemischer Granular-Flow-Materialien

Projektnummer	834423
Koordinator	Austria Solar Innovation Center - ASIC
Projektleitung	Bernhard Zettl: zettl.bernhard@asic.at
Partner	IPUS Mineral- und Umwelttechnologie GmbH, ÖFPZ Arsenal Ges.m.b.H
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 5. Ausschreibung
Dauer	01.01.2012 - 31.12.2014
Budget	480.161 €



Nutzbarmachung von geologischen Strukturen, zum Zweck der thermischen Energiespeicherung

Projektnummer	834533
Koordinator	Advanced Drilling Solutions GmbH
Projektleitung	Florian Aichinger: florian.aichinger@drillingsolutions.com
Partner	Montanuniversität Leoben, Dept. of Drilling and Completion Engineering und Dept. of Reservoir Engineering; SOLID - Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 5. Ausschreibung
Dauer	30.10.2011 - 29.10.2015
Budget	779.975 €

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90, Fax: (+43 1) 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiterentwicklung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Druck

Druckerei Janetschek GmbH. Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Verlags- und Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





In Kooperation mit:

