

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Knoll BSc
geboren am 22.08.1989, in Wien

erkläre, hiermit

1. dass ich meine Master's Thesis selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe,
2. dass ich meine Master's Thesis bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. dass ich, falls die Arbeit mein Unternehmen betrifft, meine/n ArbeitgeberIn über Titel, Form und Inhalt der Master's Thesis unterrichtet und sein Einverständnis eingeholt habe.

Wien, 13.09.2019
Ort, Datum

	Unterzeichner	Christian Knoll
	Datum/Zeit-UTC	2019-08-29T12:20:07+02:00
	Prüfinformation	Informationen zur Prüfung der elektronischen Signatur finden Sie unter: https://www.signaturpruefung.gv.at
Hinweis	Dieses mit einer qualifizierten elektronischen Signatur versehene Dokument hat gemäß Art. 25 Abs. 2 der Verordnung (EU) Nr. 910/2014 vom 23. Juli 2014 ("eIDAS-VO") die gleiche Rechtswirkung wie ein handschriftlich unterschriebenes Dokument.	

Unterschrift

Machbarkeitsstudie zur Kommerzialisierung eines Wärmespeichers auf Basis thermochemischer Energiespeicherung

Master's Thesis zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Business Administration (MBA)

an der Universität für Weiterbildung (Donau-Universität Krems)

und der Technischen Universität Wien, Continuing Education Center

eingereicht von

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Knoll BSc

BetreuerIn

Hon.-Prof. Mag.(FH) Gernot Kreiger MBA

Wien, 13.09.2019

Kurzzusammenfassung

Die globale Klimaerwärmung und die Reduktion der großen Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre zählen heutzutage zu den größten Herausforderungen des globalen Energiesystems. Viel diskutierte Lösungen sind etwa die Förderung erneuerbarer Energiequellen oder die Steigerung der Effizienz bestehender Energieumwandlungsprozesse, um eine drastische Reduzierung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zu erreichen. Eine Schlüsseltechnologie zur Effizienzsteigerung ist die Speicherung von Abwärme für die spätere Nutzung.

Als konkretes Beispiel einer Technologie zur Speicherung von Wärme wird die thermochemische Energiespeicherung anhand des Reaktionssystems von wasserfreiem Kupfersulfat mit Ammoniak als Reaktivgas betrachtet. Dieses System erfüllt in besonderem Maße die vorgegebenen Kriterien der hohen Energiespeicherdichte, der Reversibilität der chemischen Reaktion und der Zyklenstabilität.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung und Untersuchung eines Geschäftsmodelles zur Kommerzialisierung solcher Energiespeichersysteme anhand eines konkreten Businessplanes. Im Vorfeld dazu wurden eine umfangreiche Literaturstudie und eine Umfrage mittels Fragebogen zu den technischen Gegebenheiten und zum angestrebten Markt durchgeführt.

Abstract

Global warming and the reduction of large greenhouse gas emissions into the atmosphere are now among the greatest challenges of the global energy system. For example, much-discussed solutions include promoting renewable energy sources or increasing the efficiency of existing energy conversion processes in order to drastically reduce the consumption of fossil fuels. A key technology for increasing efficiency is the storage of waste heat for later use.

As a concrete example of a heat storage technology, the thermochemical energy storage technology is considered using the reaction system of anhydrous copper sulfate with ammonia as the reactive gas. This system particularly meets the given criteria of high energy storage density, the reversibility of the chemical reaction and the cycle stability.

This thesis deals with the creation and investigation of a business model for the commercialization of such energy storage systems based on a concrete business plan. In advance, an extensive literature study and a survey were carried out by means of questionnaires on the technical conditions and the desired market.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung.....	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Executive Summary.....	IX
Zielsetzung der Arbeit.....	X
Verwendete Methodik	XI
Ergebnisse	XII
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die thermische Energiespeicherung	1
1.2 Unterschiedliche Methoden der Wärmespeicherung.....	2
1.2.1 Sensible Wärmespeicherung.....	2
1.2.2 Latente Wärmespeicherung	3
1.2.3 Thermochemische Energiespeicherung	5
1.3 Vorteile von thermochemischer Energiespeicherung	6
2 Literaturüberblick	8
2.1 Economic Analysis of Thermal Energy Storage Systems.....	8
2.2 Techno-economic assessment of solidgas thermochemical energy storage systems for solar thermal power applications.....	8
2.3 Thermo-economic optimization of the impact of renewable generators on poly-generation smart-grids including hot thermal storage.....	9
2.4 Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy storage systems for cooling capacity	10

3	Hauptteil.....	13
3.1	Umfrage Thermische Speicher.....	13
3.1.1	Beschreibung der angewendeten Methodik.....	13
3.1.2	Fragebogen Thermische Energiespeicher.....	14
3.1.3	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.....	16
3.2	Businessplan.....	22
3.2.1	Überblick über das Unternehmen.....	22
3.2.2	Beschreibung der Industrie.....	26
3.2.3	Technologieplan.....	34
3.2.4	Marketingplan.....	46
3.2.5	Finanzplan.....	49
3.2.6	Produktionsplan.....	53
3.2.7	Organisationsplan.....	57
3.2.8	Betriebsplan.....	59
3.2.9	Zusammenfassung.....	59
4	Zusammenfassung.....	60
5	Literaturverzeichnis.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschätzte Umsätze in den ersten 5 Jahren	XII
Abbildung 2: Interesse an thermischen Speichersystemen	16
Abbildung 3: Anwendbarkeit thermischer Speicher	17
Abbildung 4: Kriterien für thermische Speichersysteme	18
Abbildung 5: Hindernisse für thermische Speichersysteme	19
Abbildung 6: Vorteile von thermischen Speichersystemen.....	20
Abbildung 7: Akteure bei der Implementierung von thermischen Speichersystemen.....	21
Abbildung 8: Jährlicher Primärenergieverbrauch in TWh zur Stromerzeugung - orangefarbene Pfeile addieren sich zu einem Gesamtverlust von 2/3 der eingesetzten Primärenergie (International Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation Development 2018)	28
Abbildung 9: Reversible Reaktion zur thermochemischen Energiespeicherung am Beispiel von NH ₃ als Reaktivgas	30
Abbildung 10: Vergleich zwischen sensiblen, latenten und thermochemischen Speichermaterialien (Ding und Riffat 2012: 106-116).....	31
Abbildung 11: Demonstration der Zyklenstabilität durch kontinuierliche Lade- und Entladezyklen	36
Abbildung 12: Wechsel zwischen dreistufigem oder einstufigem Lagerungsprozess	39
Abbildung 13: Plan des geplanten Demonstrators von 3 dm ³	41
Abbildung 14: geschätzte Umsätze für die ersten 5 Jahre.....	48
Abbildung 15: Kumuliertes Nettogesamteinkommen für die ersten fünf Jahre	52
Abbildung 16: Organigramm des Unternehmens.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitsplan für das erste Jahr an Entwicklung	43
Tabelle 2: Risikoanalyse.....	44
Tabelle 3: Fixkostenplanung	49
Tabelle 4: Erfolgsplan	49
Tabelle 5: Bargeldumlauf.....	50
Tabelle 6: Planbilanz.....	51

Executive Summary

Die Speicherung von Wärme ermöglicht in Kombination mit erneuerbaren Energiequellen eine bessere Abstimmung zwischen Angebot und Nachfrage von Energie, da Zeiten niedriger Produktion (z. B. für solarthermische Systeme in der Nacht oder bei schlechten Wetterbedingungen) nicht unbedingt mit Zeiten niedriger Nachfrage übereinstimmen. Speichertechnologien gelten daher als Gamechanger für die Verbreitung erneuerbarer Energien in die tatsächliche Energielandschaft. Insbesondere thermochemische Energiespeichersysteme (TCES), die bisher hauptsächlich in der Grundlagenforschung untersucht wurden, wird aufgrund ihrer hohen Speicherdichten, variablen Anwendungstemperaturen und dem Potenzial kleinerer Speichersysteme ein beachtliches Potenzial zugeschrieben. Bisher wurde TCES nie in einer Prototypanlage eingesetzt. Forscher der TU Wien ermöglichten den Durchbruch mit der Entwicklung des $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 / \text{CuSO}_4$ TCES-Systems als perfekt zyklenstabiles, schnell reagierendes System, welches innerhalb von 20 Sekunden einen Temperaturanstieg von über 300 °C erreichen kann. Aufgrund dieser Eigenschaften ist dieses System ideal für den Einsatz in Kombination mit Solarthermie oder Abwärmenutzung geeignet. Am Ende eines einjährigen Entwicklungsprojektes steht ein Prototyp eines Speichersystems mit $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ mit einer Speicherkapazität von 5,5 GJ zur Verfügung. Um die Flexibilität des Systems zu gewährleisten, wird ein Plug-and-Store-Design angestrebt, bei dem das Speichersystem als geschlossener Kreislauf nur mit dem Wärmemedienkreislauf der Wärmequelle verbunden ist. Daraus ergibt sich die technologische Anwendbarkeit thermochemischer Speichersysteme.

„Plug-in-HeatStorage“ führt innerhalb von einem Jahr zum ersten kommerziellen thermochemischen Speichersystem, das zur reversiblen

Speicherung von 5,5 GJ Wärmeenergie in einem 3 m³ Maßstab geeignet ist. Das innovative "Plug-in-HeatStorage" -Design ermöglicht Flexibilität, die für eine vielseitige Anwendung prädestiniert ist, da das Speichersystem als mobile Komplettlösung für den Einsatz nur mit dem Kreislauf eines Wärmeträgermediums verbunden ist und somit aufwändiger Installationsaufwand entfällt. Das System eignet sich damit nicht nur für Neubauprojekte, sondern kann auch in bestehende Industrieanlagen integriert werden.

Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeit der Etablierung eines Geschäftsmodelles für die kommerzielle Nutzbarmachung eines thermochemischen Energiespeichersystems abzuwägen. Die Arbeit ist eine Machbarkeitsstudie und Businessplan für den möglichen Einstieg in ein derartiges Geschäft. Es sollen einerseits die notwendigen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung, sowie Personal und Immobilien ermittelt werden. Dazu soll die Wirtschaftlichkeit eines solchen Unternehmens mithilfe einschlägiger aus dem Studium bekannter wirtschaftlicher Planungsinstrumente, wie Erfolgsplanung, Bargeldumlauf und Planbilanz analysiert werden.

Aus dieser Zielsetzung ergibt sich folgende Forschungsfrage mit anschließenden Unterfragen:

Inwieweit ist die Nutzbarmachung der thermochemischen Energiespeicherung als wirtschaftliche Grundlage für ein zu gründendes Unternehmen wirtschaftlich durchführbar und profitabel?

- Wie müsste ein solches Business Modell aussehen?
- Welcher Markt existiert in Österreich/Europa für ein solches Unternehmen?

- Wer sind die Mitbewerber?
- Wer sind die Zielgruppen für die thermochemische Energiespeicherung?
- Welche technischen Voraussetzungen müssen erfüllt werden?
- Welche Kosten stehen welchen zu erwartenden Einnahmen gegenüber?

Verwendete Methodik

Zu Beginn soll eine Literaturrecherche bezüglich der aktuellen wirtschaftlichen Situation zum thermischen Energiesektor durchgeführt werden. Hierzu sollen Artikel und Publikationen aus wissenschaftlichen Datenbanken, wissenschaftlichen Publikationsmedien herangezogen werden.

Zusätzlich soll nach Möglichkeit eine Umfrage mittels eines Fragebogens erstellt werden, die zum Ziel hat einen Überblick über die derzeitige Marktsituation und Meinungen von potenziellen Interessenten zu erfassen.

Zur Erstellung des Finanzplans und einer zukunfts betrachtenden Bilanzierungsrechnung sollen an der Praxis orientierte Annahmen getroffen werden und Kosteninformationen eingeholt werden. Über die ersten fünf Geschäftsjahre soll der Cashflow sowie Gewinn und Verlust abgeschätzt werden. Daraus abgeleitet soll der Finanzierungsbedarf abgeschätzt und geplant werden.

Zur Erstellung des Businessplans soll gängige Fachliteratur herangezogen werden und ein den praktischen Erfordernissen entsprechender Businessplan erstellt werden.

Ergebnisse

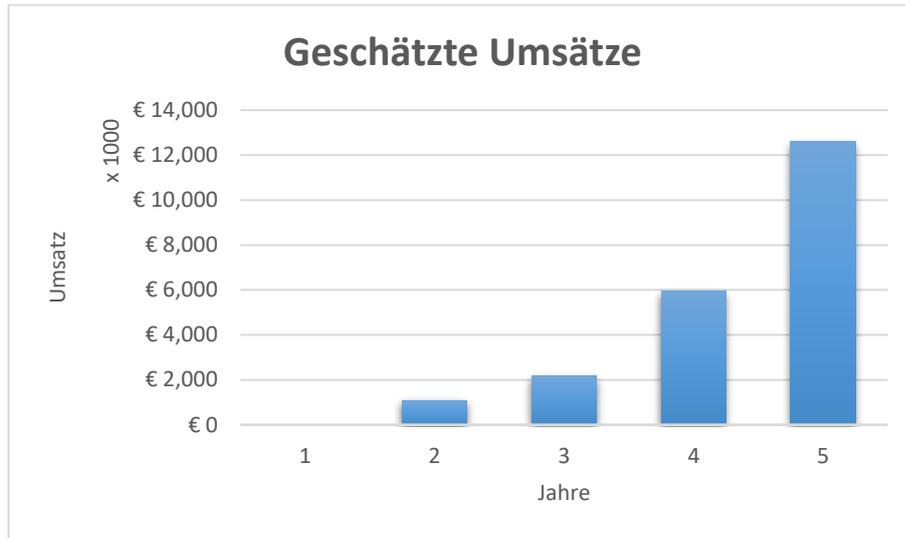


Abbildung 1: Geschätzte Umsätze in den ersten 5 Jahren

Aus den Ergebnissen der Arbeit soll abschätzbar sein, ob mithilfe der Kommerzialisierung der thermochemischen Energiespeicherung auf dem aktuellen Stand der Technik ein wirtschaftlich überlebensfähiges Unternehmen gegründet werden könnte und es soll ein praxisrelevanter Businessplan für ein derartiges Unternehmen entstehen.

1 Einleitung

1.1 Einführung in die thermische Energiespeicherung

Weltweit ist Wärme die am häufigsten vorkommende Form von Energie. Alle Energieumwandlungsprozesse fossiler Brennstoffe einschließlich der Stromerzeugung oder industrieller Prozesse und natürlich auch jeglicher Form von Heizungen für Industrie und Haushalte setzen Wärme frei.(Cot-Gores *et al.* 2012: 5207-5224) Die internationalen Vereinbarungen, das Kyoto-Protokoll (United Nations 1997) und die im Pariser Abkommen (United Nations Treatie 2015) festgelegten Klimaziele zur Verringerung des weltweiten CO₂-Ausstoßes und der gefährlichen langfristigen Folgen im Hinblick auf die Klimaerwärmung müssen erfüllt werden. Der Verbrauch fossiler Brennstoffe und die damit einhergehende Emission von Treibhausgasen müssen drastisch reduziert werden.

Ein zweiter wesentlicher Teil, der in der internationalen Diskussion weit weniger präsent ist, ist die Steigerung der Effizienz von Energieumwandlungsprozessen und damit die Reduktion der eingesetzten Primärenergie. Eine mögliche Option zur Steigerung der Gesamteffizienz besteht darin, Abwärme für eine spätere Nutzung zu speichern, anstatt diese direkt an die Umwelt abzugeben und anschließend wieder Primärenergie zu verwenden.(Arce *et al.* 2011: 2764-2774; IEA 2014) Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzte 2011 zur Energieeffizienz im Bericht mit dem Titel „Lösungen für eine kohlenstoffarme Energiezukunft“, dass der weltweite Energieverlust durch Abwärme 2/3 der gesamten Energieerzeugung ausmacht.(IEA 2011) Daher könnten Methoden, die für eine Wiederverwendung von Abwärme geeignet sind, wesentlich zu einem nachhaltigeren Energiemanagement beitragen.(Hasnain 1998: 1127-1138;

Rahm 2002; Shine *et al.* 2005: 281-302) Es gibt verschiedene Ansätze der thermischen Energiespeicherung für diese Herausforderung.

1.2 Unterschiedliche Methoden der Wärmespeicherung

1.2.1 Sensible Wärmespeicherung

Wärmeenergie in sensiblen Wärmespeichersystemen wird entweder in einem festen oder in einem flüssigen Material gespeichert, indem die Temperatur des Speichermediums erhöht wird. Daher ist es für ein anwendbares Speichermedium erforderlich, eine hohe spezifische Wärmekapazität, Langzeitstabilität bei thermischer Wechselbeanspruchung und Kompatibilität mit dem Behältermaterial zu haben. Idealerweise fallen zusätzlich auch nur niedrige Beschaffungs- und Instandhaltungskosten an. Bei der sensiblen Wärmespeicherung kann zwischen flüssigen Speichermedien (wie Wasser, Flüssigkeiten auf Öl Basis, geschmolzene Salze usw.) und festen Speichermedien (wie Gesteine, Metalle und andere) unterschieden werden. (Hasnain 1998: 1127-1138) Ein sehr prominentes Beispiel für die Verwendung flüssiger Medien ist die Nutzung von Wasser zur Wärmespeicherung. Bei relativ niedrigen Temperaturen ist Wasser das beste Speichermedium, da es eine höhere spezifische Wärmekapazität als die meisten anderen Materialien aufweist, billig und weit verbreitet ist. Wasser kann in einem weiten Temperaturbereich von 25 - 90 °C verwendet werden. Bei einer Temperaturänderung von 60 °C kann Wasser etwa 250 kJ/kg speichern. Aufgrund seines Dampfdrucks sind jedoch eine thermische Isolierung und ein dichter Einschluss erforderlich. Für Anwendungen oberhalb des Siedepunkts ist die Lagerung unter erhöhtem Druck notwendig, was besondere Anforderungen an den Reaktor stellt und folglich die Kosten massiv erhöht. Wasser kann entweder als Speicher oder als Transportmedium für Energie verwendet werden, zum Beispiel in Solarsystemen. Daher ist es

heute das am häufigsten verwendete flüssige Speichermedium für solare Warmwasser- und Raumheizungsanwendungen.(Wyman *et al.* 1980: 517-540)

Für die thermische Energiespeicherung bei hohen Temperaturen können feste Speichermaterialien eine Option sein, bei denen Stoffe wie Gesteine, Metalle, Beton, Sand, Ziegelsteine usw. verwendet werden können. In diesem Fall kann die Energie auf einem beliebigen Temperaturniveau unterhalb der Zersetzungstemperatur gespeichert werden, da die Materialien keine Phasentransformation erfahren. Zu den Feststoffen mit den höchsten Energiedichten für die Speicherung sensibler Wärme gehört Gusseisen, welches selbst die Energiedichte des Wasserspeichers übersteigt.(Hasnain *et al.* 1996) Gusseisen ist jedoch teurer als Stein oder Ziegel. Kieselbetten oder Steinhäufen werden aufgrund ihrer geringen Kosten im Allgemeinen als Speichermaterial bevorzugt.(Hasnain 1998: 1127-1138) Der Hauptnachteil von Feststoffen als Wärmespeicher ist das Konzept des Lade- oder Entladevorgangs, bei dem die Verwendung eines Energieträgers erforderlich ist, was wiederum erforderlich ist zu thermischen Wärmeflussverlusten führen.

Das größte Problem bei der Speicherung sensibler Wärme ist die Notwendigkeit der Wärmeisolierung und die Unmöglichkeit, eine Langzeitspeicherung durchzuführen, da trotz idealer Isolation ständig Wärme verloren geht.(N'Tsoukpoe *et al.* 2009: 2385-2396)

1.2.2 Latente Wärmespeicherung

Im Vergleich zu reinen sensiblen Wärmespeicherkonzepten sind Latentwärmespeicher eine attraktivere Technik, da die Speicherdichte deutlich erhöht wird. Es besteht die Möglichkeit, Wärme als latente Schmelzwärme bei konstanter Temperatur des Phasenübergangs von

Phasenwechselmaterialien (PCM) zu speichern. Zum Beispiel benötigt Wasser etwa 80 Mal mehr Energie, um 1 kg Eis zu schmelzen, als um die Temperatur von 1 kg um 1 °C zu erhöhen. Dies bedeutet, dass ein viel geringeres Gewicht und Materialvolumen erforderlich sind, um die gleiche Energiemenge zu speichern.

PCMs können, Flüssig-Gas- oder Fest-Flüssig-Phasen-Umwandlungen durchlaufen. Flüssig-Gas-PCMs haben zwar normalerweise eine hohe Umwandlungswärme, aber die damit einhergehende große Volumenänderung durch Freisetzung eines Gases während der Umwandlung verhindert praktische Anwendungen.

Daher sind nur Fest-Flüssig-PCMs anwendbar, da sie relativ große Wärmemengen über einen engen Temperaturbereich speichern können, ohne dass sich große Volumenänderungen ergeben. Ein Beispiel für die Speicherung von Sonnenwärme könnte darin bestehen, dass das PCM in langen dünnen Rohren untergebracht ist, die in einem Behälter als Wärmetauscher angeordnet sind. Während des Ladezyklus wird die vom Kollektor gesammelte Sonnenwärme durch den Wärmetauscher zirkuliert, das PCM schmilzt. So speichert das PCM die Wärme sowohl als sensible Wärme als auch als latente Schmelzwärme. Während des Entladezyklus würde die Zirkulation von Luft mit niedriger Temperatur die Wärme vom PCM zur Wärmelast transportieren. Daher nutzen die Latentwärmespeicher die latente Wärme aufgrund einer Phasenänderung während des Schmelzens oder Gefrierens des Speichermediums und zusätzlich die sensible Wärme in der festen und flüssigen Phase.

PCMs können in die folgenden Hauptkategorien eingeteilt werden: anorganische Verbindungen, organische Verbindungen und Eutektika anorganischer und/oder organischer Verbindungen. Anorganische Verbindungen umfassen Salzhydrate, Salze, Metalle und Legierungen,

während organische Verbindungen aus Paraffinen, Nichtparaffinen und Polyalkoholen bestehen.(Hasnain 1998: 1127-1138)

Der Vorteil von Latentwärmespeichersystemen ist ihre erhöhte Speicherdichte und ihre im Vergleich zu sensiblen Wärmespeichersystemen meist perfekte Zyklenstabilität aufgrund der unveränderlichen physikalischen Prozesse. Andererseits kann die Wärme nur bei der festgelegten Temperatur des Schmelzpunkts der ausgewählten Substanz gespeichert werden, und die Notwendigkeit der Isolierung ist die gleiche wie für sensible Speichersysteme, andernfalls würde der sensible Teil des Wärmespeichers verloren gehen.(N'Tsoukpoe *et al.* 2009: 2385-2396)

1.2.3 Thermochemische Energiespeicherung

Eine neu entwickelte Technologie, die die Nachteile latenter und sensibler Wärmespeicher überwinden kann, ist die thermochemische Energiespeicherung (TCES). Es können zwei Gruppen von thermochemischen Speichertechnologien unterschieden werden. Zum einen thermochemische Reaktionen und zum anderen Sorptionsprozesse, welche beide thermische Energie für den Ladevorgang benötigen, meistens die Trennung zwischen dem Speichermaterial und der reaktiven Komponente.(Lefebvre und Tezel 2017: 116-125)

Sorptionsspeichersysteme umfassen sowohl Adsorption als auch Absorption.(Abedin und Rosen 2011: 42-46) Absorption ist das Phänomen, das auftritt, wenn eine Flüssigkeit oder ein Gas in ein anderes Material eindringt und von seinem Volumen aufgenommen wird. Bei Speicheranwendungen umfasst die Absorption üblicherweise ein Gas, das in eine Flüssigkeit eintritt,(N'Tsoukpoe *et al.* 2009: 2385-2396) die Adsorption beinhaltet die Bindung eines Gases oder einer Flüssigkeit an der Oberfläche eines festen oder porösen Materials.

Für den Businessplan wird eine thermochemische Reaktionen zwischen einem festen Speichermaterial und einer gasförmigen reaktiven Komponente verwendet, wegen der sehr einfachen Separation und ihrer Langzeitspeichermöglichkeit. In TCES wird die Energie durch eine Reaktion gespeichert und bei umgekehrter Reaktion wiedergewonnen. Viele thermochemische Speichersysteme haben deutlich höhere Energiedichten als die anderen zuvor genannten thermischen Energiespeichertechnologien. Hohe Energiedichten ermöglichen die Speicherung großer Energiemengen in kleineren Volumina, wodurch sie für Wohnbereiche oder mobile Anwendungen, beziehungsweise für Anwendungen, bei denen ein kleines Volumen oder ein geringes Gewicht erforderlich ist, besser geeignet ist.

1.3 Vorteile von thermochemischer Energiespeicherung

Ein großer Vorteil der Speicherung von Energie in thermo-chemischen Systemen besteht darin, dass die Wärme als chemisches Potenzial gespeichert wird und nicht mit der Zeit während der Lagerung verloren geht. Dies ermöglicht eine Langzeitspeicherung, da die thermochemische Energie theoretisch unbegrenzt bei Umgebungstemperatur gespeichert werden kann, ohne dass eine teure Isolierung erforderlich wäre, was diese Technologie sehr attraktiv macht.(Cot-Gores *et al.* 2012: 5207-5224) Aufgrund der hohen Energiedichten, die durch die Reaktionen von erhalten werden können, ist der Beitrag der sensiblen Wärme im Gegensatz zu der in der Reaktionsenthalpie gespeicherten Wärme vernachlässigbar. Mögliche Materialien umfassen Salze und Salzhydrate sowie Übergangsmetalloxide bei verschiedenen Oxidationsstufen möglich sind. Die höchsten Energiedichten können durch Reaktionen von Übergangsmetallsalzen mit Ammoniak erhalten werden.(Haynes 2016)

Wenn die Freisetzung der gespeicherten Wärme erforderlich ist, kann die Entladereaktion einfach durch Kombination des Speichermaterials mit der

reaktiven Verbindung ausgelöst werden. (Abedin und Rosen 2011: 42-46; Arce *et al.* 2011: 2764-2774; Bauer *et al.* 2012: 131-177; Zhang *et al.* 2016: 1-40) Je nach reaktiver Verbindung kann dieser Zyklus entweder in einem offenen System durchgeführt werden z. B. Oxidation mit Sauerstoff oder Luft und Reduktion unter Stickstoffatmosphäre oder in einem geschlossenen System, das für jede Reaktion mit Ammoniak anwendbar wäre.

Der zweite große Vorteil von thermochemischen Energiespeichersystemen ist die Möglichkeit, die Ladungs- und Entladungstemperaturen des Betriebs durch einfaches Ändern des Partialdrucks der reaktiven Gaskomponente zu ändern und somit das chemische Gleichgewicht in die gewünschte Richtung zu verschieben. Dies ermöglicht die Entwicklung einer chemischen Wärmepumpe (CHP), das aus einem Festgasreaktor besteht, der mit einem Kondensator / Verdampfer gekoppelt ist.

2 Literaturüberblick

Der Literaturüberblick gibt eine kurze Zusammenfassung über aktuelle wissenschaftliche Publikationen, die die ökonomische Anwendbarkeit von thermischen Energiespeichersystemen beleuchten.

2.1 Economic Analysis of Thermal Energy Storage Systems

Dieser Aufsatz beschreibt eine Untersuchung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit einer zentralen Kälteanlage mit thermischem Energiespeicher Betrieb in einem Hotel in Kalifornien und einem Bürogebäude in Wisconsin für die folgenden drei konventionellen Steuerungsstrategien:

Die Speicher- und Kühlkapazitäten als primäre Auslegungsparameter wurden über einen weiten Bereich variiert und der Lebenszyklus war wirtschaftlich

Die Realisierbarkeit eines möglichen Designs wurde über einen Zeitraum von 20 Jahren unter Verwendung der Barwertmethode bewertet. Gemessene Abkühlung und Wetterdaten für beide Gebäude wurden in jährlichen Berechnungen verwendet, um die jährlichen Energiekosteneinsparungen zu ermitteln. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Stromverbrauch bei starker Lastverschiebung steigt, Anreize, thermische Energiespeicher zu installieren können zu erheblichen Lebenszyklusvorteilen gegenüber alternativen Anlagen führen. (Henze 2002: 133-141)

2.2 Techno-economic assessment of solidgas thermochemical energy storage systems for solar thermal power applications

Thermochemische Energiespeichersysteme (TCES) sind eine vielversprechende Alternative zu herkömmlicher Salzschnmelze Systemen zur Integration in solarthermische Kraftwerke. TCES-Systeme können hohe

Speicherdichten bieten und hohe Lagertemperaturen. Sie haben somit das Potenzial, den Wirkungsgrad zu steigern und reduzieren Stromkosten von solarthermischen Kraftwerken. Die vorliegende Studie untersucht reagierende Systeme mit alkalischen Carbonaten und Hydroxiden und Metalloxiden, die Redox- und chemische Zyklen bilden. Die technoökonomische Analyse zeigt, dass der Energieverbrauch von Nebenaggregaten und die Kosten von Rohstoffen die wichtigsten Faktoren, die die Kapitalkosten des Systems beeinflussen, sind. Acht TCES-Systeme mit geschmolzenen Salzen werden in naher Zukunft als wettbewerbsfähig: 1: Hydroxidzyklus mit $\text{Ca(OH)}_2/\text{CaO}$, $\text{Sr(OH)}_2/\text{SrO}$ und $\text{Ba(OH)}_2/\text{BaO}$; Carbonatzyklus mit CaCO_3/CaO und SrCO_3/SrO ; Redoxzyklus mit BaO_2/BaO und chemische Kreislaufverbrennung mit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeO}$ und NiO/Ni .

Die Autoren schlussfolgern, dass von den 17 analysierten Systemen zeigen 8 ein hohes Potenzial für kommerzielle Anwendungen bei geringeren Kosten als 25 \$/MJ. Die volumetrische Energiedichte erwies sich als wesentlich um die Kosten der Lagerbehälter und das Volumen der TCES-Systeme zu kategorisieren. Eine höhere Energiedichte führt zu einer niedrigeren Rohstoff- und Lagerbehälterkosten. Der Energieverbrauch von Hilfsausrüstung ist ein weiterer kritischer Faktor, um entweder hohe Effizienz oder geringere Kosten zu erreichen. Der thermische Wirkungsgrad der TCES-Systeme war weniger signifikant für ihr wirtschaftliches Potenzial. (Bayon *et al.* 2018: 473-484)

2.3 Thermo-economic optimization of the impact of renewable generators on poly-generation smart-grids including hot thermal storage

In diesem Artikel wird der Einfluss nicht steuerbarer Generatoren für erneuerbare Energien (Windturbinen und Solar-Photovoltaik-Module) auf die thermoökonomisch optimale Leistung von Smart Grids zur

Mehrfacherzeugung mithilfe eines ursprünglichen zeitabhängigen hierarchischen Ansatzes untersucht. Das für die Analyse verwendete Raster ist das an der Universität von Genua für Forschungsaktivitäten installierte. Es basiert auf verschiedenen Antriebsmaschinen: einer Mikrogasturbine mit einer Leistung von 100 kW, einem Verbrennungsmotor mit einer Leistung von 20 kW, der mit Gasen angetrieben wird, um sowohl elektrische als auch thermische (Heißwasser-) Energie zu erzeugen, und einer Adsorptionskältemaschine mit einer Leistung von 100 kW Kühlenergie. Das Stromnetz enthält Wärmespeicher zur Steuerung der Wärmebelastung während des Jahres. Die untersuchte Anlage ist außerdem mit zwei erneuerbaren, nicht steuerbaren Generatoren ausgestattet: einer kleinen Windkraftanlage und Photovoltaik-Solarmodulen. Die Größe und das Management des in dieser Arbeit untersuchten Systems wurden optimiert, um sowohl die Kapitalkosten als auch die variablen Kosten zu minimieren. Ein von den Autoren entwickelter zeitabhängiger thermoökonomischer hierarchischer Ansatz wurde verwendet, wobei die zeitabhängigen elektrischen, thermischen und Kühllastanforderungen während des Jahres als problematische Einschränkungen betrachtet wurden. Die Ergebnisse zeigen die starke Wechselwirkung zwischen fossilen und nachwachsenden Rohstoffen sowie die Bedeutung eines geeigneten Speichersystems zur Optimierung der erneuerbaren Energie unter Berücksichtigung des Multiproduktcharakters des untersuchten Netzes. (Rivarolo *et al.* 2013: 75-83)

2.4 Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy storage systems for cooling capacity

In diesem Artikel werden thermische Energiespeichersysteme für Kühlleistung und deren Anwendungen unter den Gesichtspunkten Energieeinsparung, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Reduzierungen, die durch den Einsatz von TES-Energie und die Umweltverschmutzung möglich

sind, werden erörtert und mit Fallstudien zu tatsächlichen Systemen verglichen. Es wird gezeigt, wie wichtig es ist, mithilfe der Exergieanalyse realistischere und aussagekräftigere Bewertungen als mit der herkömmlichen Energieanalyse der Effizienz und Leistung von thermischen Energiespeichersystemen zu erhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass Kältespeicher eine wichtige Rolle für einen effizienteren, umweltverträglicheren und wirtschaftlicheren Energieverbrauch in verschiedenen Sektoren spielen kann und eine geeignete Technologie zur Behebung der zwischen Angebot und Nachfrage häufig auftretenden Inkongruenzen zu sein scheint.

Es werden die Schlussfolgerungen gezogen, dass thermische Energiespeichersysteme im Allgemeinen ein zunehmendes Interesse an mehreren thermischen Anwendungen, z.B. aktiver und passiver Solarheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Klimatisierung finden. Außerdem werden thermische Energiespeichersysteme derzeit als wirtschaftliche Speichertechnologie für Heizungs-, Kühlungs- und Klimaanwendungen in Gebäuden bezeichnet. Die wichtigsten abschließenden Bemerkungen der vorliegenden Studie lauten, dass thermische Energiespeichersysteme eine wichtige Rolle für einen effizienteren, umweltfreundlicheren Energieverbrauch in verschiedenen Sektoren spielen. Mit thermischen Energiespeichersystemen können erhebliche Energieeinsparungen von bis zu 50 % erzielt werden, wenn geeignete Strategien zur Nachfragesteuerung umgesetzt werden und der Ausstoß von Treibhausgasen wie CO₂, SO₂ und NO_x verringert wird um etwa 40 %. Für eine vollständige Bewertung der Leistung und Effizienz von thermischen Energiespeichersystemen sollten sowohl Energie- als auch Exergieanalyse durchgeführt werden. Die Exergieanalyse liefert für TES-Systeme häufig aussagekräftigere und nützlichere Informationen als die Energieanalyse in Bezug auf Wirkungsgrade und Verluste. Dies liegt hauptsächlich daran, dass der Verlust der niedrigen Temperatur in kalten

TES-Systemen bei exergiebasierten Leistungsmessungen berücksichtigt wird, nicht jedoch bei energiebasierten Die Autoren sind der Ansicht, dass die hier vorgestellten Methoden und Ergebnisse die TES-Branche unterstützen und dazu beitragen werden, die Anzahl der geeigneten und vorteilhaften Anwendungen der TES-Vorkühlkapazität zu erhöhen.(Dincer und Rosen 2001: 1105-1117)

3 Hauptteil

3.1 Umfrage Thermische Speicher

3.1.1 Beschreibung der angewendeten Methodik

Um einen Überblick über die derzeitige Marktsituation und Meinungen von potentiellen Interessenten an einer kommerziellen Nutzung von thermochemischer Speicherung zu erfassen wurde ein Fragebogen mit 11 Fragen erstellt, die an verschiedene Personen aus dem Umfeld des Verfassers versendet wurden.

Der Fragebogen enthält sowohl qualitative als auch quantitative Fragen. Die Beantwortung der Fragen ist bei einigen Fragen durch eine Reihung nach einem umgekehrten Schulnotensystem möglich, aber auch durch Multiple- oder Single-Choice möglich. Die jeweils anzuwendende Beantwortungsform ist im Anschluss an die Fragestellung dargestellt. Zur Erstellung und Auswertung des Fragebogens wurden Erkenntnisse und ein Leitfaden eines Onlineumfrageunternehmens herangezogen. (amundis Communications GmbH 2019)

Die Auswertung der Umfrage erfolgte mittels eines Leitfadens zur statistischen Auswertung. (amundis Communications GmbH 2019)

3.1.2 Fragebogen Thermische Energiespeicher

- Bitte geben Sie an, welches der Felder darunter Sie darstellen (eine Antwort):
 - Behörde
 - Installateur
 - Architekt / Designer
 - Auftragnehmer
 - Technologieproduzent / -hersteller
 - Endnutzer (Bauherr, Mieter usw.)
 - Importeur / Zulieferer-Händler
 - F & E (Universität)
 - Energietechniker
 - Sonstiges (bitte angeben)
- Wie beurteilen Sie Ihr Interesse an thermischen Speichersystemen und insbesondere an thermischen Speichersystemen mit thermochemischen Materialien? (1 = niedrig bis 5 = hoch)
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Haben Sie jemals Projekte mit thermischen Speichersystemen oder thermochemischen Materialien verwendet / installiert oder daran gearbeitet oder werden das in der Zukunft tun? (eine Antwort)
 - Ja
 - Nein
- Wenn Sie mit thermischen Speichern arbeiten (Forschung, Herstellung, Installation usw.), welche Art von Gebäuden eignet sich Ihrer Meinung nach besser für die Integration dieser Lösung? (eine oder mehrere Antworten)
 - Bürogebäude
 - Wohngebäude: Einfamilienhäuser
 - Öffentliche Gebäude
 - Unzutreffend
 - Industriegebäude
 - Sonstiges (Sportstätten, Hotels usw.), bitte angeben:
 - Gewerbegebäude (z. B. Einkaufszentren)
 - Wohngebäude: Mehrfamilienhäuser
- Was sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Kriterien, wenn Sie ein Wärmespeichersystem übernehmen / auswählen? (1 = nicht wichtig bis 5 = sehr wichtig)
 - Schneller Installationsprozess
 - Haltbarkeit
 - Sicherer Installationsprozess
 - Energieeffizienz
 - Platzersparnis
 - Einfache Montage und Demontage
 - Ruf des Lieferanten
 - Wirtschaftlichkeit
 - Gute Ästhetik
 - Geringe Umweltbelastung
 - Installations- und Wartungskosten

6. Was sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Hindernisse bei der Auswahl eines Wärmespeichersystems während eines Umbauprozesses? (1 = nicht relevant bis 5 = sehr relevant)
- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Mangel an Informationen | <input type="checkbox"/> Technologien noch nicht ausgereift |
| <input type="checkbox"/> Mangel an professionellen Unternehmen, um sie zu installieren | <input type="checkbox"/> Mangelnde Konnektivität mit aktuellen Energiedienstleistungen |
| <input type="checkbox"/> Hohe Gesamtkosten | <input type="checkbox"/> Verordnungen |
| <input type="checkbox"/> Langfristige Amortisationszeiten | |
7. Was sind die wichtigsten Vorteile, die Sie vom Einbau eines thermischen Speichersystems erwarten? (1 = nicht wichtig bis 5 = sehr wichtig)
- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Verbesserte Wärmeleistung | <input type="checkbox"/> Wirtschaftliche Erschwinglichkeit |
| <input type="checkbox"/> Steigerung des wirtschaftlichen Wertes von Gebäuden | <input type="checkbox"/> Kompaktheit des Systems |
| <input type="checkbox"/> Reduzierung der Heizkosten | |
8. Halten Sie eine Verbesserung der thermischen Leistung Ihrer Meinung nach für ein wichtiges Ziel eines Bauprojektes? (eine Antwort)
- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Ja, sehr relevant | <input type="checkbox"/> Eher relevant |
| <input type="checkbox"/> Geringfügig relevant | <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht |
9. Betrachten Sie die Betriebsunterbrechung, die während der Installation eines thermischen Speichersystems auftritt, als relevantes Hindernis, für die Anschaffung eines solchen? (eine Antwort)
- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Ja, sehr relevant | <input type="checkbox"/> Eher relevant |
| <input type="checkbox"/> Geringfügig relevant | <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht |
10. Welche Akteure beeinflussen nach Ihren Erfahrungen den Entscheidungsprozess bei der Auswahl des Typs des Wärmespeichersystems am meisten? (1 = niedrig bis 5=sehr hoch)
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Bauherren | <input type="checkbox"/> Auftragnehmer |
| <input type="checkbox"/> Gebäudenutzer / Mieter | <input type="checkbox"/> Behörden (lokal und / oder national) |
| <input type="checkbox"/> Architekten | |
| <input type="checkbox"/> Beratende Ingenieure | |
11. Welche Kosten würden Sie für die Installation des Speichersystems ausgeben? (eine Antwort)
- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> 0 - 5.000 € | <input type="checkbox"/> Sonstiges (bitte angeben) |
| <input type="checkbox"/> 5.000 - 10.000 € | |

3.1.3 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Es wurden insgesamt 40 Fragebögen ausgesendet von welchen 18 vollständig ausgefüllt retourniert wurden, was einer Rücklaufquote von 45 % entspricht.

Bei den Single- und Multiple-Choice Fragen wird bei der Auswertung der Gesamtanteil an abgegebenen Antworten angegeben, wobei bei den Fragen bei denen eine Wertung nach dem umgekehrten Schulnotensystem abgefragt wurde, wird eine Verteilung angegeben, indem die angegebenen Punkte summiert wurden. (amundis Communications GmbH 2019)

An der Umfrage haben 2 Energietechniker, 10 Endnutzer und 6 Mitarbeiter von Universitäten aus Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, die sich mit dem Energiesektor beschäftigen teilgenommen. Diese beurteilen das Interesse an thermischen Speichersystemen überwiegend im höheren Bereich, wie in Abbildung 2 dargestellt ist.

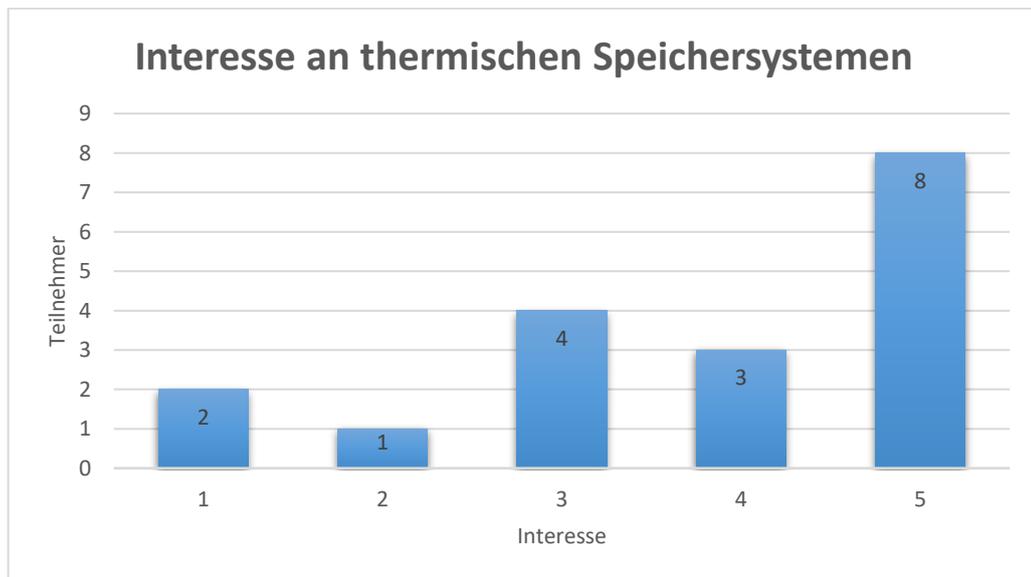


Abbildung 2: Interesse an thermischen Speichersystemen

Von den Teilnehmern haben 10 schon an Projekten mit thermischen Speichersystemen oder thermochemischen Materialien gearbeitet oder werden das in der Zukunft tun, 8 verneinen diese Frage. Von jenen schätzen die Teilnehmer die Integrierbarkeit in verschiedene Gebäudearten wie in Abbildung 3 dargestellt ein, wobei die Mehrheit meint, dass die Integrierbarkeit höher im gewerblichen als im privaten Umfeld liegt.

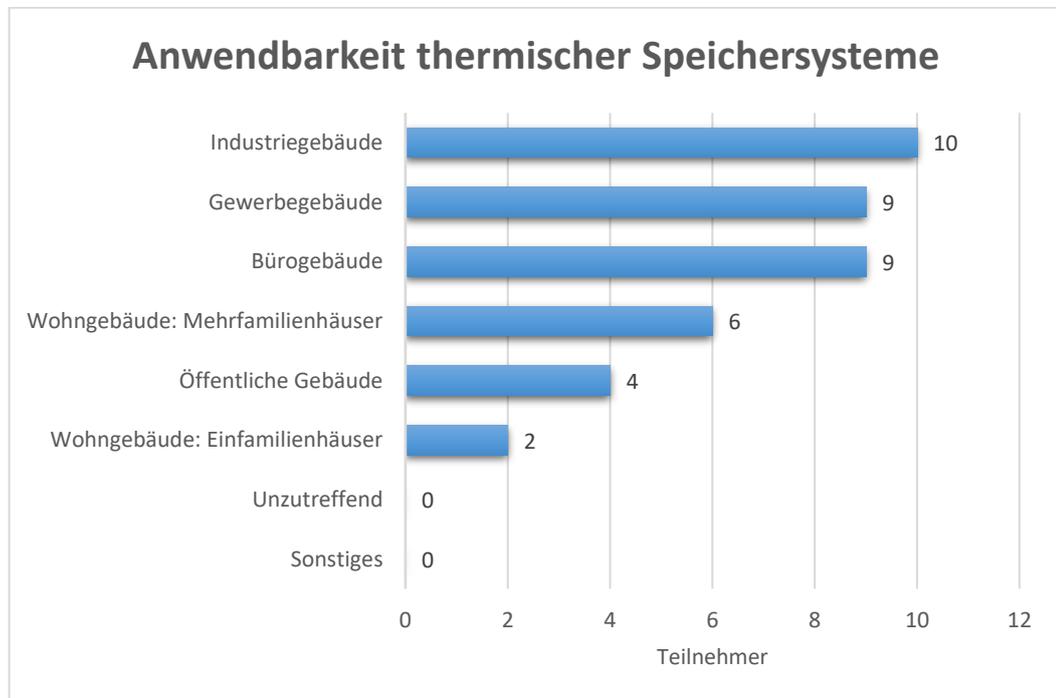


Abbildung 3: Anwendbarkeit thermischer Speicher

Die Frage nach Kriterien für thermische Speichersysteme gibt eine Reihe von wichtigen Kriterien an, zusammenfassend kann man schließen, dass an erster Stelle die längerfristigen technischen Kriterien, wie Effizienz und Haltbarkeit

stehen, und dass der Einbauprozess und die Ästhetik weniger wichtig angesehen werden, wie in Abbildung 4 erkennbar ist.

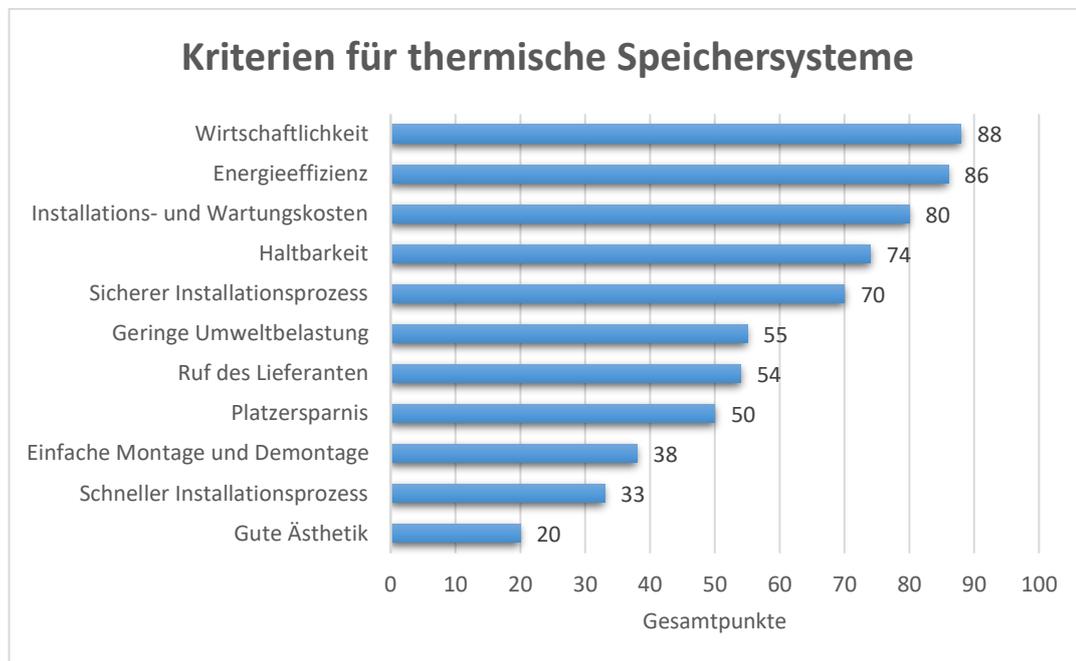


Abbildung 4: Kriterien für thermische Speichersysteme

Bei der Frage nach den Hindernissen bei der Implementierung von thermischen Energiespeichersystemen kommen die Teilnehmer der Umfrage zu dem Schluss, dass hauptsächlich die langfristigen Amortisationszeiten und die mangelnde Ausgereiftheit der Technologie großen Einfluss haben. Hingegen scheint es wie in Abbildung 5 dargestellt ausreichend qualifizierte Unternehmen zu geben, denen die Umsetzung zugetraut würde und am wenigsten hinderlich sehen die Teilnehmer etwaige behördliche Verordnungen.

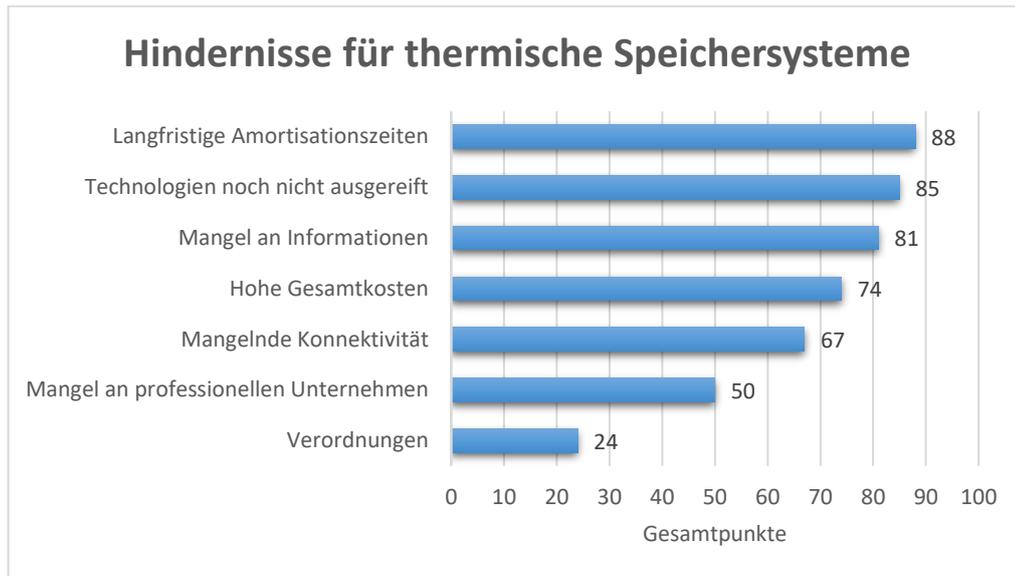


Abbildung 5: Hindernisse für thermische Speichersysteme

Bei den Vorteilen von thermischen Speichersystemen wird klar die Reduktion von Heizkosten und die verbesserte Wärmeleistung gesehen. Weniger wichtig erscheint den Teilnehmern die wirtschaftliche Erschwinglichkeit, die sich möglicherweise über die Einsparung von Heizkosten kompensieren lässt. Am unwichtigsten scheint der große Vorteil der thermochemischen Energiespeichersysteme, nämlich die hohe Speicherdichte und damit der vergleichsweise geringe Platzbedarf und damit die kompakte Bauweise zu sein, wie in Abbildung 6 abzulesen ist.

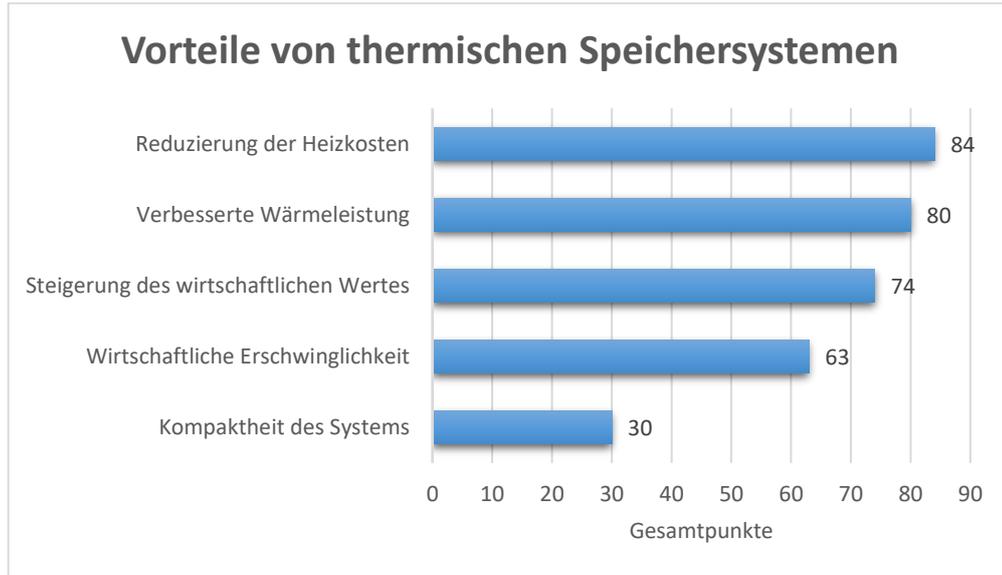


Abbildung 6: Vorteile von thermischen Speichersystemen.

15 der Umfrageteilnehmer halten die Verbesserung der thermischen Leistung bei einem Bauprojekt für ein sehr wichtiges Ziel, drei sind der Meinung, dass es sich dabei um ein eher relevantes Thema handelt.

14 Teilnehmer betrachten die Betriebsunterbrechung, die während der Installation eines thermischen Speichersystems auftritt, als relevantes Hindernis, für die Anschaffung eines solchen und 4 sind der Meinung, dass es sich dabei um ein eher relevantes Thema handelt.

Verantwortlich im Entscheidungsprozess bei der Auswahl des Typs des Wärmespeichersystems sind nach den Erfahrungen der Umfrageteilnehmer am meisten die Bauherren, gefolgt von den beratenden Ingenieuren. Eine untergeordnete Rolle kommt den Auftragnehmern und den Gebäudenutzern oder den Mietern zu, wohingegen den Behörden keine Bedeutung zugemessen wird, wie in Abbildung 7 dargestellt ist.

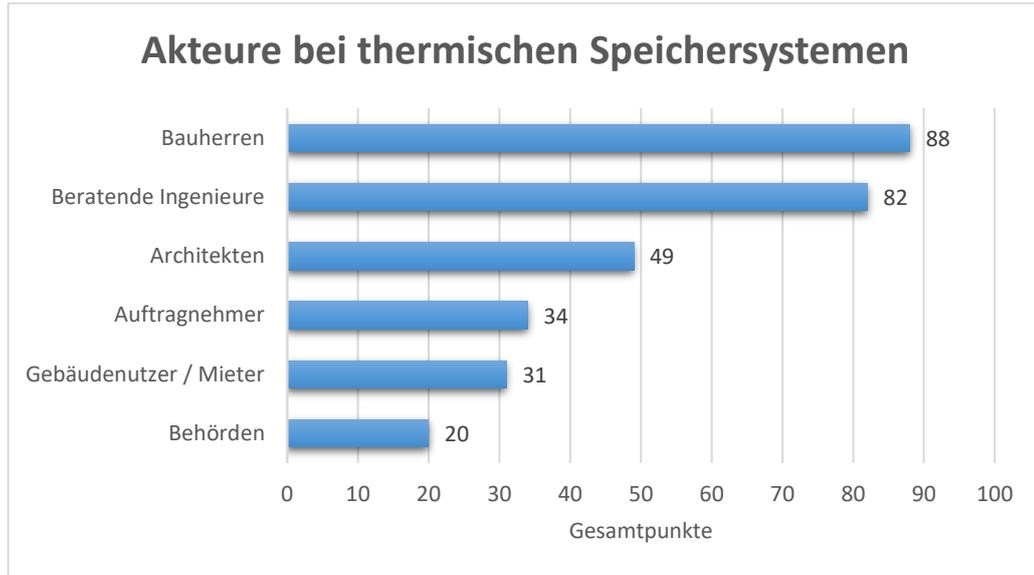


Abbildung 7: Akteure bei der Implementierung von thermischen Speichersystemen

Bei den Kosten, die die Umfrageteilnehmer bereit sind in die Installation eines thermischen Speichersystems zu investieren lässt sich keine sehr eindeutige Schlussfolgerung treffen, ungefähr die Hälfte würde unter 5.000 € ausgeben, und die andere Hälfte darüber bis 10.000 €.

3.2 Businessplan

Der Businessplan orientiert sich am Aufbau, welcher in der Lehrveranstaltung Entrepreneurship Module September 2018 von Prof. Robert Hisrich an der Donau-Universität Krems unterrichtet und erarbeitet wurde.

3.2.1 Überblick über das Unternehmen

3.2.1.1 Unternehmenszweck

Die Mission von Plug-in-HeatStorage besteht darin, Unternehmen enorme Summen an Energiekosten zu sparen und darüber hinaus umweltfreundlichere Geschäftsabläufe zu ermöglichen, indem es die Möglichkeit revolutioniert, ihre Abwärme für die spätere Verwendung zu speichern. Das soll Plug-in-HeatStorage gelingen, indem es als führendes Unternehmen das erste thermische Energiespeichersystem nach dem Prinzip der thermochemischen Wärmespeicherung entwickelt, herstellt und verkauft. Die Marktstrategie konzentriert sich hauptsächlich auf wärmeproduzierende Unternehmen wie thermische Solarkraftwerke und wärmeintensive Industrieunternehmen wie Stahl-, Ziegel- und Betonhersteller.

3.2.1.2 Das Unternehmen

Das Unternehmen soll ein privates Start-up-Unternehmen, das sich im Besitz der Gründer befindet, sein und von diesen anfangs mithilfe unterschiedlicher Start-up Finanzierungsmöglichkeiten finanziert wird. Das Unternehmen ist eine Gesellschaft bürgerlichen Rechts und soll im Erfolgsfall ab einer wirtschaftlich sinnvollen Größe in eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach österreichischem Wirtschaftsrecht umgewandelt werden. Zu Beginn wird die Gründungsarbeit und die Recherche nach einem geeigneten Betriebsgelände im Industriegebiet Wien Süd in einem gemeinsam angemieteten Büro in der Nähe des Wohnortes des Gründers stattfinden.

Mögliche Anbieter von „Coworking“ oder „SharedSpace“ Büros werden dazu genutzt werden.

Der Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird einige Entwicklungszeit benötigen und im ersten Quartal des zweiten Jahres die ersten fertigen Produkte verkaufen. Im dritten Jahr wird ein erster Gewinn prognostiziert und im fünften Jahr sollte das kumulierte Gesamteinkommen den bis dahin entstandenen Verlust, die Zinslast und die Investitionen kompensieren.

3.2.1.3 Erfolgskonzept

Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird ein Marktsegment im Bereich der thermischen Energiespeicherung schaffen und ausbauen und folgende Ziele verfolgen:

- Der Schutz der Geschäftsgeheimnisse für die bereits patentgeschützte Technologie wird aufrechterhalten.
- Alle weiteren Erfindungen und Anwendungsfälle während der Endentwicklung des Produkts werden ebenfalls durch Patente geschützt werden.
- Der Teil der Entwicklung und Technologie wird vom Gründer sehr gut abgedeckt, die Marketing- und Verkaufsabteilung wird jedoch von einer zusätzlichen Person eingestellt, die eingestellt werden muss.
- Für die Entwicklung der Informationstechnologie wird ein hochqualifizierter Software-Ingenieur für alle Programmierzwecke eingestellt.
- Kontakte zu verschiedenen Unternehmen, die der Gründer während seiner früheren Arbeit aufgebaut haben, werden genutzt, um mögliche „Early Adopters“ für das Produkt mit umfassender Unterstützung zu finden.

- Die Kontakte zu den akademischen Kollegen werden gepflegt, um über die anstehenden neuen Entwicklungen und neuen Technologien informiert zu werden.

3.2.1.4 Produkte und Dienstleistungen

Der Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird einen thermischen Energiespeicher entwickeln, produzieren und vermarkten, der es dem Kunden ermöglicht, Abwärme oder zusätzliche Wärme aus Prozessen zu speichern, die derzeit nicht benötigt wird, um sie später zu nutzen, wenn Wärme benötigt wird, statt frische Wärme aus teuren Primärenergiequellen Ressourcen wie Öl, Gas oder Strom zu erzeugen.

Das gesamte Reaktionsaufbau ist in einem 20-Fuß-Standardcontainer untergebracht, der auch alle erforderlichen Hilfsgeräte und die Steuereinheiten enthält. An notwendigen Schnittstellen besteht lediglich ein Einlass und ein Auslass für das Wärmeübertragungsmedium, über das die Wärme gespeichert oder freigesetzt wird, sowie die Stromversorgung und die Datenkommunikation mit der vorhandenen Prozesssteuerung des Verbrauchers.

Wenn die ersten Produkte auf den Markt gebracht werden und der Betrieb beginnt, wird das erworbene Wissen zu weiteren Entwicklungen und zu größeren Speicherkapazitäten führen, was einen breiteren Anwendungsbereich erschließen wird. Damit kann das Unternehmen mit hohen Wachstumsraten für die nächsten Jahre rechnen.

Zusätzlich wird die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R ihre Produkte mit zusätzlichen Dienstleistungen für ihre Kunden anbieten und damit zusätzliche Einnahmequellen erschließen. Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R könnte als Zwischenhändler und Energieversorger fungieren, die das

Speichersystem ohne Kosten für den Kunden installiert, die Abwärme vom Kunden kostenlos übernimmt und bei Bedarf zu einem Energietarif knapp unter dem Marktpreis dem Kunden wieder verkauft.

3.2.1.5 Der Unternehmensgründer

Dr. Christian Knoll, Gründer des zu gründenden Unternehmens Plug-in-HeatStorage Ges.b.R. promovierte auf dem Gebiet der Erforschung und Charakterisierung von thermochemischen Energiespeichermaterialien und Systemen und verfügt außerdem über zwei Jahre Postdoc-Erfahrung auf demselben Gebiet. Daher verfügt er über ein einzigartiges Wissen und eine breite Palette von Erfahrungen auf dem relevanten Gebiet. Er hat einen umfassenden Überblick über die einschlägige wissenschaftliche Literatur. Aufgrund seiner internationalen Konferenzerfahrung kennt er den internationalen Stand der Technik bei Wärmespeichersystemen und kann die für das Unternehmen relevanten Geschäftschancen bewerten.

Er verfügt über einen Masterabschluss in technischer Chemie, zu dem auch fundierte Kenntnisse in der chemischen Verfahrenstechnik gehören, die ein Schlüsselwissen darstellen und eine erfolgreiche Entwicklung und Produktion eines funktionierenden Geräts für die thermochemische Energiespeicherung gewährleisten. Zusätzlich absolviert er ein Master of Business Administration Programm in General Management an der Technischen Universität Wien und der Donau-Universität Krems und ist daher bestens vorbereitet, ein Unternehmen zu leiten.

3.2.1.6 Vorgeleistete Entwicklungsarbeit

Während des Doktoratsstudiums des Gründers Dr. Christian Knoll wurden die Prinzipien thermo-chemischer Energiespeichermaterialien gründlich untersucht und zahlreiche Forschungen und Tests auf diesem Gebiet der

chemischen Verfahrenstechnik durchgeführt. Es gibt viele Veröffentlichungen in vielen verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften mit den Ergebnissen, die auch von Experten auf diesem Gebiet einem Peer-Review unterzogen werden, um die Zuverlässigkeit und Korrektheit der Arbeit zu belegen. Darüber hinaus ist der Unternehmensgründer Dr. Christian Knoll als Erfinder einer Reihe von internationalen Patenten aufgeführt, in denen die im Unternehmen verwendete Technologie beschrieben wird, um die Marktposition des Unternehmens mit Alleinstellungsmerkmalen für ihr Produkt zu gewährleisten.

3.2.1.7 Ausrüstung und Personal

Am Ende des ersten Jahres soll die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R fünf angestellte Mitarbeiter haben. Die ursprünglich angemieteten Büroflächen werden für die ersten drei bis sechs Monate genutzt, um die ersten geschäftlichen Angelegenheiten zu organisieren. So bald wie möglich wird in der Nähe von Wien im Industriegebiet Wien Süd bei Wiener Neudorf eine Halle in der Größenordnung von 1000 m³ angemietet, welche die Entwicklung und Erstproduktion von Produkten beherbergt. Diese soll idealerweise auch das Potential zum weiteren Ausbau haben, wenn das wachsende Unternehmen zusätzliche Produktionsflächen benötigen wird.

3.2.2 Beschreibung der Industrie

3.2.2.1 Der Bedarf

Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird einen thermischen Energiespeicher mit einzigartigen Eigenschaften wie extrem hohen Energiedichten und damit der Möglichkeit entwickeln, große Mengen thermischer Energie in Form von Wärme zu speichern. Darüber hinaus kann das mögliche Temperaturniveau,

derzeit von keiner anderen Technologie erreicht werden. Dies ist durch die Verwendung einer bislang nicht kommerziell genutzten Technologie möglich.

Wärmeenergie ist die häufigste Energieform. "Bis 2040 werden erneuerbare Energiequellen bis zu 40 % des Primärenergiebedarfs der Welt zur Verfügung stellen“, schließt der Internationalen Energieagentur (IEA) im World Energy Outlook 2017. (International Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation Development 2018) Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen und erneuerbare Energiequellen in das bestehende Netz zu integrieren, wird als eine der wichtigsten Herausforderungen die Entkoppelung von Energieerzeugung und Energieverbrauch identifiziert. Gleichzeitig wird nach Angaben der IEA eine der aussichtsreichsten Lösungen für dieses Problem aufgezeigt: Entwicklung und Verbesserung geeigneter Speichertechnologien.

Im Folgenden bezieht sich der Begriff "Speichertechnologien" ausschließlich auf die Speicherung von Energie in Form von Wärme.

Weltweit kann ein erhebliches Potenzial zur Speicherung thermischer Energie identifiziert werden. Dies betrifft nicht nur die Speicherung von Wärme als Primärenergie, die z. B. aus solarthermischer Energie, aus solarthermischen Kraftwerken (CSP), Dampfkraftwerken, Verbrennungsprozessen usw. resultiert, sondern auch die Entwicklung bisher ungenutzter Abwärmequellen in industrielle Prozesse, Hochtemperaturanlagen, Verbrennungsprozesse usw.

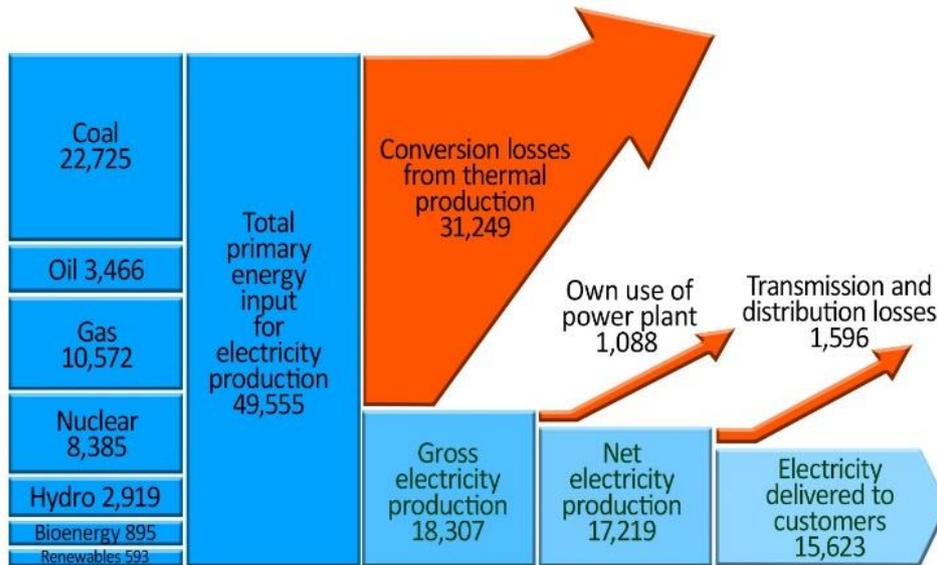


Abbildung 8: Jährlicher Primärenergieverbrauch in TWh zur Stromerzeugung - orangefarbene Pfeile addieren sich zu einem Gesamtverlust von 2/3 der eingesetzten Primärenergie (International Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation Development 2018)

Nach einer Extrapolation der IEA aus dem Jahr 2011 gehen nur 2/3 der eingesetzten Primärenergie allein bei der Stromerzeugung als Abwärme verloren (siehe Abbildung 8). Dies zeigt deutlich die große Bedeutung der Abwärmenutzung.

Zur Speicherung von Wärmeenergie sind drei verschiedene Ansätze möglich:

- Sensible Wärmespeicher
- Latente Wärmespeicher
- Thermochemische Wärmespeicher

Bei sensibler Wärmespeicherung wird die Wärmeenergie auf ein geeignetes Medium übertragen und bei Bedarf abgeführt. Dies kann im einfachsten Fall Wasser sein, ansonsten finden Öl, Gestein etc. Verwendung.

Latentwärmespeicher nutzt die Energie, die beim Phasenwechsel von flüssig nach fest freigesetzt wird oder im umgekehrten Fall verbraucht wird. Dabei wird ein Feststoff (Salze, Paraffine, Eutektika etc.) über den Schmelzpunkt (Speicherung der Wärme) erhitzt und gegebenenfalls kristallisiert, wobei die Wärmeenergie wieder freigesetzt wird. Im Prinzip hat jeder Latentwärmespeicher auch einen sensiblen Anteil, da das Material vom Schmelzen bis zur Kristallisation als sensibler Wärmespeicher wirkt.

Sowohl für sensible als auch für latente Speichertechnologien sind einige Nachteile zu berücksichtigen: Um Wärmeverluste zu minimieren, ist eine effiziente Speicherisolierung erforderlich. Sie haben deutlich geringere Energiedichten als thermochemische Systeme, so dass viel größere Mengen an Speichermaterial benötigt werden. Ihr einziger Vorteil liegt in der relativ einfachen technologischen Machbarkeit. Aufgrund der beschriebenen Nachteile dieser beiden Technologien verwenden wir den Ansatz der thermochemischen Energiespeicherung (TCES), der bislang noch nicht in industriellem Maßstab eingesetzt wurde.

Die thermochemische Energiespeicherung (TCES) basiert auf dem Prinzip einer reversiblen chemischen Reaktion, die Energie in die eine Richtung aufnimmt und in die andere Richtung abgibt.

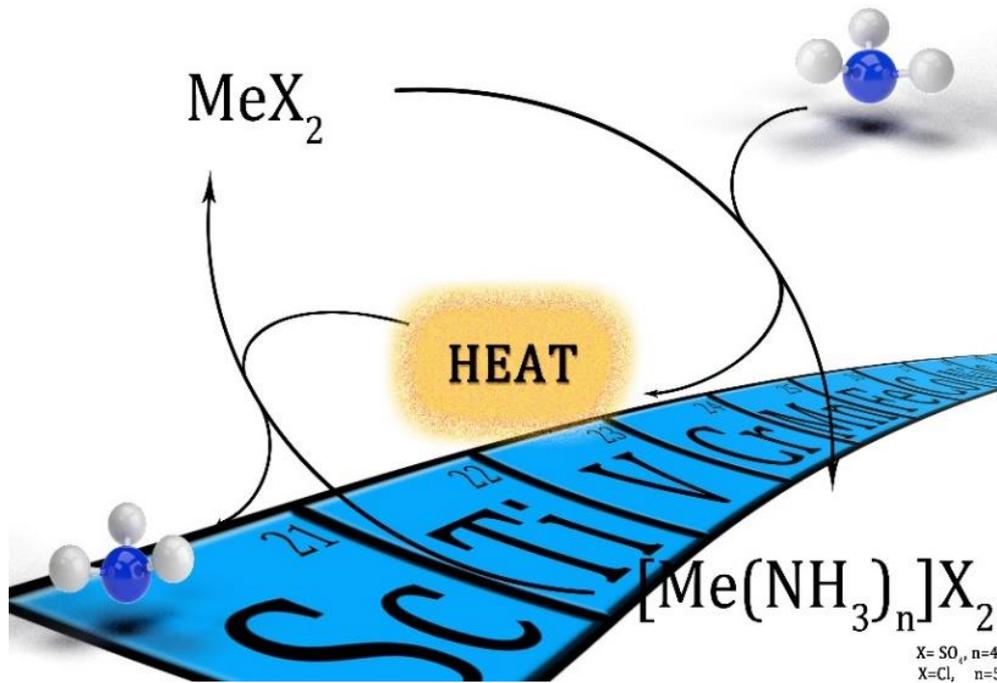


Abbildung 9: Reversible Reaktion zur thermochemischen Energiespeicherung am Beispiel von NH_3 als Reaktivgas

Dies wird am Beispiel der Reaktion $\text{CuSO}_4 + 4\text{NH}_3 \leftrightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ (Kupfersulfat + Ammoniak \leftrightarrow Tetraamin- Kupfer (II) -sulfat) veranschaulicht: wenn $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ auf über $300\text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt wird, zersetzt die Verbindung unter Freisetzung von NH_3 unter Gewinnung von CuSO_4 . NH_3 wird gesammelt und, wenn gewünscht wieder mit CuSO_4 in Kontakt gebracht, um die Ausgangsverbindung $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ unter Wärmefreisetzung zu erhalten.

TCES-Systeme ermöglichen deutlich höhere Speicherdichten und eine Miniaturisierung der Speichersysteme. Gleichzeitig ist keine Isolierung erforderlich, da keine Freisetzung der gespeicherten Energie erfolgen kann, es sei denn das aus der Zersetzungsreaktion resultierende Gas (im obigen Fall NH_3) kommt mit dem geladenen Material (CuSO_4) in Kontakt.

Dies bedeutet, dass die thermochemische Speicherung sowohl für kurz- als auch langfristige (saisonale) Lageraufgaben verwendet werden kann.

In Abbildung 10 sind verschiedene sensible, latente und thermochemische Speichermedien dargestellt. Thermochemische Energiespeicher weisen den höchsten Energiegehalt auf, durchschnittlich 1 m³ eines TCES-Systems entspricht dem Energieinhalt von etwa 34 m³ sensiblen Speichermedien z.B. Wasser.

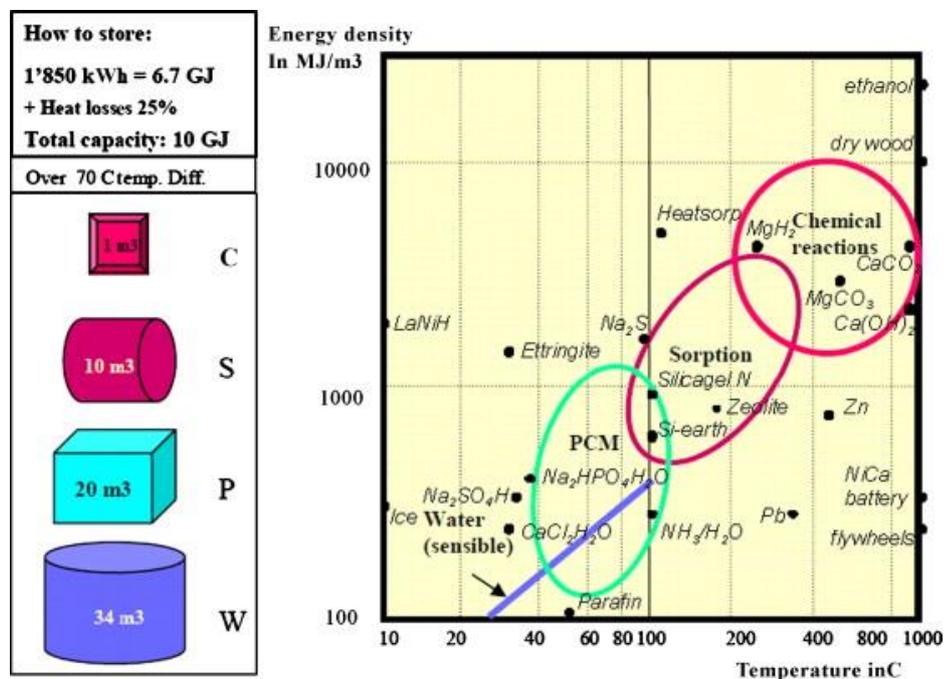


Abbildung 10: Vergleich zwischen sensiblen, latenten und thermochemischen Speichermedien (Ding und Riffat 2012: 106-116)

Obwohl die thermochemische Speicherung in der Literatur ein beträchtliches Potenzial sowohl für die Abwärmenutzung als auch für die Kombination mit z. B. Solarthermie bietet, hat sich diese vielversprechende Technologie auf dem Markt bislang nicht durchgesetzt. Wärmespeicher werden derzeit hauptsächlich in Kombination mit solarthermischem oder saisonalem

Speicher für Gebäudeheizung eingesetzt. In beiden Fällen wird sensibler Wärmespeicher verwendet, was, wie oben erwähnt, große Mengen mit niedrigem Wirkungsgrad und kostspieliger Isolierung bedeutet. Wärmespeichertechnologien für die Abwärmerückgewinnung sind nicht weit verbreitet und werden als kundenspezifische Installationen auf der Grundlage sensibler Speicherung implementiert. Eines der wenigen funktionierenden Beispiele ist die das „Andasol 3“ Kraftwerk in Spanien, welches einen geschmolzenen Salzspeicher als Wärmespeicher benutzt. Um den Betrieb über Sonnenstunden hinaus auszudehnen, wurde ein thermisches Energiespeichersystem (TES), bestehend aus zwei Salzschnmelze-Lagertanks, dem „kalten“ und dem „heißen“, in die Solaranlage integriert. Da das Solarfeld überdimensioniert ist, kann die während des Tages gesammelte überschüssige Energie in diesen Wärmespeicher übertragen werden. Das geschmolzene Salzgemisch, das zu 60 % aus Natriumnitrat (NaNO_3) und zu 40 % aus Kaliumnitrat (KNO_3) besteht, kann dann die benötigte Wärme zum Betrieb des Kraftwerks nachts oder in bedeckten Perioden liefern. Während des Pumpvorgangs vom „kalten“ in den „heißen“ Tank nimmt das geschmolzene Salzgemisch die zusätzliche Wärme auf. Um diese Wärme bei Bedarf abzuführen, wird das Salz aus dem Warmwasserspeicher durch einen Rohrbündelwärmetauscher gepumpt, in dem das Salz seine Wärmeenergie zurückgibt. Ein voller Speicher kann verwendet werden, um eine Kraftwerksturbine für etwa 7,5 Stunden zu betreiben, was eine 24-Stunden-Stromerzeugung in den Sommermonaten ermöglicht. (MARQUESADO SOLAR 2019)

3.2.2.2 Der Markt

Die Plug-in-HeatStorage-Technologie hat als Pionier das Potenzial, für eine sehr hohe Marktkapitalisierung. Die wichtigsten Marktsegmente sind

Solarthermie-Erzeuger sowie andere Abwärme Erzeuger wie Stromproduzenten. Des Weiteren besteht ein potenzielles Interesse bei produzierender, energieintensiver Schwerindustrie wie der Stahlindustrie sowie Ziegel- und Betonherstellern.

Alleine in Europa gibt es laut Solar Heat Europe ESTIF eine jährliche Energieerzeugung von 24,3 TWh_{th} und einen Sektor Umsatz von 2,2 Mrd. EUR für die Solarthermie Branche, (Solar Heat Europe 2017) was die Möglichkeit bietet, überschüssige Wärmeenergie zu speichern, die tagsüber während der Nacht gewonnen wird Zeitbetrieb, der in Bezug auf die Vorhersagbarkeit möglich ist.

Auch für die nahe Zukunft besteht ein großes Interesse und enorm schnell wachsende Märkte für erneuerbare Technologien zur Energieerzeugung und -speicherung.

3.2.2.3 Analyse der Wettbewerber

Bisher gibt es aufgrund der neuen Technologie keine Konkurrenten. Es gibt einige Hersteller latenter und sensibler Wärmespeichersysteme, die jedoch aufgrund ihrer Einschränkungen nicht mit der Flexibilität unserer neu entwickelten und patentierten Technologie thermochemischer Energiespeichersysteme vergleichbar sind.

3.2.3 Technologieplan

3.2.3.1 Schutz der Technologie

Das Forscherkonsortium des Gründers hat im Laufe der Zeit 4 Patente zu thermochemischen Energiespeichersystemen eingereicht, von denen 2 (AT518.826B1/WO2018/011032A1, A345/2017/PCT/EP2018/072067) das für das aktuelle Projekt relevante System beschreiben $[\text{Cu}(\text{NH}_3)]\text{SO}_4/\text{CuSO}_4$.

Auch alle weiteren Entwicklungen werden durch internationale Schutzrechtsgesetze geschützt werden. Es werden Vorkehrungen getroffen, dass die Kerntechnologie im Unternehmen geheim bleibt. Dies wird erreicht durch:

- Vertraulichkeits- und Wettbewerbsverbote mit Mitarbeitern
- Vertraulichkeitsvereinbarungen mit Auftragnehmern
- Eingeschränkter Zugriff auf Dokumente
- Cyber-Sicherheitsmaßnahmen.

3.2.3.2 Ergebnisse aus früheren Arbeiten der Gründer

Nach einer Reihe von potentiell geeigneten Materialien die in der Literatur immer wieder untersucht und beschrieben worden sind, ein Vorprojekt („SolidHeat“, FFG 834.611), die auf einer allgemeine Potentialanalyse von thermochemischen Speichersystemen gerichtet, wurde bei dem von den Gründern des Unternehmens durchgeführt Technische Universität Wien.

Basierend auf dieser positiven Bewertung wurde für das Folgeprojekt "SolidHeat Basic" (FFG 841.150) ein interdisziplinäres Forschungskonsortium aus den Bereichen Chemie, chemische und thermische Verfahrenstechnik sowie Energietechnik zusammengestellt. Ziel dieses Projekts war die automatisierte Identifizierung potenziell geeigneter Speichermaterialien in chemischen Datenbanken, um den bisher beschriebenen Systemen neue,

vielversprechendere Kandidaten hinzuzufügen. Das Ergebnis dieses Projekts war nicht nur eine systematische Erfassung von geeigneten thermochemischen Speichermaterialien in einer Datenbank (Vienna TCES-Datenbank), sondern auch eine experimentelle Untersuchung der besten Materialien. (Technische Universität Wien - Institut für Angewandte Synthesechemie 2017)

Grundlegend für eine größere industrielle Anwendung ist ein detailliertes Verständnis der Speicherreaktionen auf molekularer Ebene und eine Beschreibung der Reaktionskinetik. Zu diesem Zweck wurden im Projekt "SolidHeat Kinetics" (FFG 848.876) die 10 bisher vielversprechendsten Materialien mit Reaktionskinetiken untersucht. Zusätzlich zu den experimentell bestimmten Parametern wie Energiedichte, Reversibilität, Reaktionsgeschwindigkeit usw. könnten die erforderlichen Daten erhalten werden, um eine genaue Modellierung der Reaktionen einschließlich wirtschaftlicher Überlegungen und des Reaktordesigns zu ermöglichen.

Da alle beteiligten Systeme Gas-Feststoff-Reaktionen beinhalten, spielen sowohl die Zusammensetzung der Gasatmosphäre als auch der Druck während der Reaktion eine besonders wichtige Rolle. Im Projekt "SolidHeat Pressure" (FFG 853.593) wird derzeit die Druckabhängigkeit sowie die Partialdruckabhängigkeit der Speicherreaktionen für ausgewählte Systeme untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass bei geeigneter Wahl der Bedingungen die Reaktionsrichtung nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Partialdruck des Gases gesteuert werden kann. Dies eröffnet die technologisch attraktive Möglichkeit der Wärme, z. B. zur Speicherung oder Freisetzung durch Veränderung der Atmosphäre im Reaktor zwischen Luft (21 % O₂) und reiner Sauerstoff (100 % O₂).

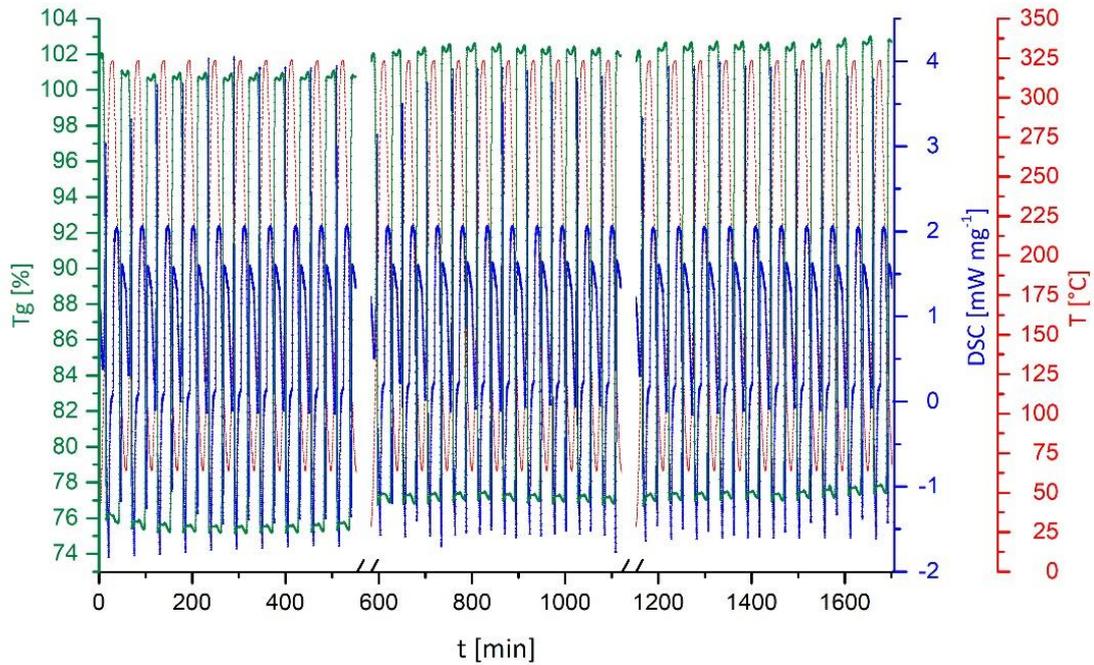


Abbildung 11: Demonstration der Zyklenstabilität durch kontinuierliche Lade- und Entladezyklen

Aus den beschriebenen aktuellen SolidHeat-Projekten entstanden 14 Publikationen (6 weitere Publikationen, die derzeit geprüft werden), 4 Patente (siehe Lebensläufe) und 18 Vorträge auf internationalen Konferenzen. Beschreibung der Technologie

3.2.3.3 Technologievergleich

Die Weiterentwicklung der Speichertechnologien im Bereich der Wärmespeicherung wird sowohl von der Internationalen Energieagentur als auch in der Literatur als notwendiger und vielversprechender Schritt auf dem Weg zur Einführung erneuerbarer, schwankender Energiequellen im Stromversorgungsnetz betrachtet.

Das beträchtliche Potenzial der Wärmespeicherung kann durch die Schwankung von Energiequellen wie Sonne oder Abwärme erklärt werden. Abgesehen von der Tatsache, dass die Energiequellen unregelmäßig produzieren (z. B. bei Sonne Tag / Nacht, schönes Wetter / schlechtes Wetter),

muss die Verfügbarkeit der Energie nicht mit der Zeit des Energiebedarfs übereinstimmen. Die Möglichkeit, überschüssige Wärme zu speichern und bei Bedarf abzurufen, würde diese Diskrepanz erheblich verringern.

Die derzeit an einigen Stellen beschriebenen Möglichkeiten der latenten oder sensiblen Wärmespeicherung bieten zunächst keine wirklich allgemeine und vielseitige Lösung, da große Volumina erforderlich sind, die notwendige Isolation, lange Ansprechzeiten und geringe Speicherdichte. Thermochemische Wärmespeicher mit ihren Vorteilen wie höhere Speicherdichte, einfache Implementierung ohne Isolation, schnelle Reaktionszeiten usw. wären hierfür ein geeignetes Konzept, jedoch ohne geeignetes Material und insbesondere ohne Prototyp, was dies demonstriert. Durchführbarkeit und Anwendungsmöglichkeiten waren sie bisher nur ein auf Grundlagenforschung beschränktes Forschungsfeld.

Um den Entwicklungssprung für TCES-Systeme von der Grundlagenforschung zur Anwendung zu bringen, ist das Endergebnis des ersten Entwicklungsjahres in der Plug-in-HeatStorage Ges.b.R ein marktfähiges thermochemisches Energiespeichersystem, das überschüssige Wärme speichert und bei Bedarf abführt. Dies wird somit die praktische Anwendbarkeit und technologische Durchführbarkeit thermochemischer Lagerung zeigen.

3.2.3.4 Unser Wettbewerbsvorteil

Der gegenwärtige Stand der Technik in Bezug auf die Speicherung von Wärmeenergie umfasst latente und sensible Speicherlösungen auf der Basis von Wasser, geschmolzenen Salzen oder einem engen Bereich von Phasenwechselmaterialien. Im Hinblick auf die Abwärmennutzung sind keine kommerziellen Lösungen bekannt. In Kombination mit

Solarthermiekollektoren oder konzentrierenden Solarthermie werden sensible Wärmespeicher eingesetzt. Bisher sind keine kommerziellen Lösungen mit thermochemischer Wärmespeicherung verfügbar, obwohl ihnen in Literatur und Fachkreisen weithin ein sehr hohes Anwendungspotenzial zugeschrieben wird. Mit der Realisierung des Plug-in-HeatStorage wird das erste marktfähige Produkt eines thermochemischen Speichersystems mit einer Speicherkapazität von 5,5 GJ realisiert.

Im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik sind sowohl bei den beteiligten Projektpartnern als auch im Forschungsbereich deutliche Fortschritte zu erkennen:

Der Gründer des Unternehmens an der Technischen Universität Wien hat bisher hauptsächlich Materialforschung im Bereich der Grundlagenforschung betrieben. Nachdem die erfolgreichen FFG-Projekte der Vergangenheit vielversprechende Materialien für die thermochemische Energiespeicherung hergestellt haben, ist dieses Projekt nun der Übergang zur Anwendung. Das vielversprechendste Material für die ausgewählten Temperatur- und Anwendungsbereiche wird verwendet, um die Anwendbarkeit des Konzepts in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner zu demonstrieren.

Im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik ermöglicht die Verwendung eines thermochemischen Speichers eine erhebliche Verringerung der Größe des Systems, die Beseitigung jeglicher Isolation, das Potenzial einer Langzeitlagerung sowie erheblich schnellere Injektions- und Ausstoßstufen, was die Gesamtleistung des Speichersystems verbessert.

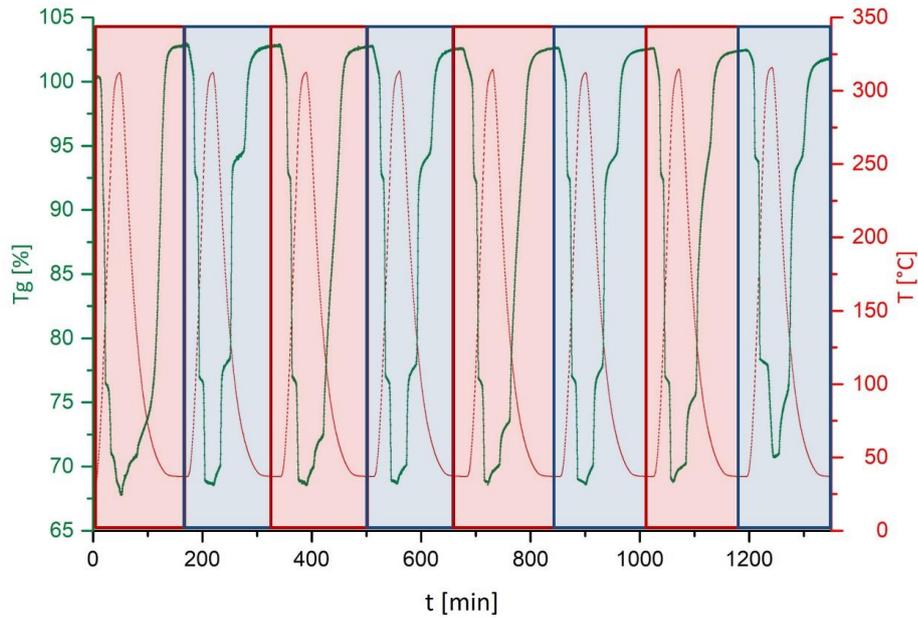


Abbildung 12: Wechsel zwischen dreistufigem oder einstufigem Lagerungsprozess

Die Wahl des Materials für das thermochemische Speichersystem fiel auf $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4/\text{CuSO}_4$, da es die höchste Speicherdichte ($1,77 \text{ GJ m}^{-3}$) aller bisher untersuchten Materialien hat. Neben der Zyklenstabilität hängt eine flexible Arbeitsweise von der Gasatmosphäre ab: Abhängig von der Ammoniakkonzentration in der Atmosphäre können die NH_3 -Liganden in einem Schritt (Abbildung 12, rot) oder in drei Schritten (Abbildung 12, blau) freigesetzt oder gespeichert werden.

Dies ermöglicht als absolute Neuheit die Verwendung ein und desselben Materials bei bis zu drei verschiedenen Temperaturniveaus. Eine solche Flexibilität in einem System hat ein großes Anwendungspotenzial in der Industrie, da verschiedene Wärmequellen mit einem einzigen System zwischen 65 °C und 350 °C abgedeckt werden können.

3.2.3.5 Kommerzialisierbarkeit

Der Kern der Plug-in-HeatStorage-Technologie ist eine bisher ungenutzte technologische Lösung für das Problem der Speicherung von Abwärme über

einen bestimmten Zeitraum, der von vielen Speicherzyklen pro Tag bis zur saisonalen Speicherung reichen kann. Das Konzept wurde im Labormaßstab und in ersten Prototypen getestet und hat sich als erfolgreich erwiesen. Es besteht Entwicklungsbedarf, der jedoch in weniger als einem Jahr Forschung und Entwicklung erreicht werden kann.

3.2.3.6 Plan für die Vermarktung

Am Ende des ersten Entwicklungsprojekts wird das marktfähige Produkt ein thermochemisches Speichersystem mit drei Kubikmetern $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ sein, das eine Wärmespeicherkapazität von 5,5 GJ aufweist.

Nachfolgend ist das Entwicklungsprojekt des ersten Jahres in die wichtigsten Meilensteine unterteilt:

- Ein Prototypmodell im Maßstab 3 dm^3 ist betriebsbereit
- Der endgültige Prototypentwurf wird mit CFD analysiert und simuliert
- Der endgültige Prototyp wird gebaut
- Das marktfähige Produkt wird gebaut und getestet
- Das marktfähige Produkt ist für die Massenproduktion optimiert

Der erste Schritt ist ein Demonstrator für die Verwendung des Materials in einem Reaktor, der als Speichersystem geeignet ist (siehe Abbildung 13). Dieses kleine Modell hat eine Kapazität von 3 dm^3 Speichermaterial und ermöglicht neben der Erstellung von Temperatur- und Strömungsprofilen einen Testmodus für die Wärmespeicherung und -entnahme. In diesem Zustand wird ein beheizbares Thermalölsystem als Wärmequelle und Wärmesenke verwendet. Das gewünschte Miniaturmodell des Speichersystems wurde bereits mit Computational Fluid Dynamics (CFD) modelliert und für geeignet befunden. Die aufgenommenen Messdaten aus

dem experimentellen Betrieb profitieren von einer iterativen Verfeinerung und Anpassung des Modells.

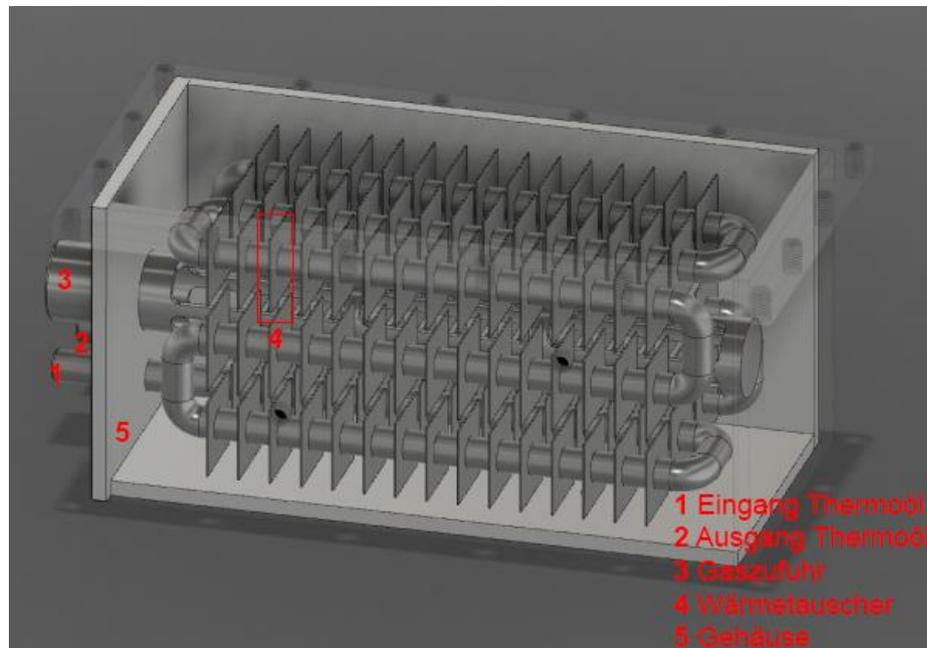


Abbildung 13: Plan des geplanten Demonstrators von 3 dm³

Basierend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen aus dem Betrieb des kleinsten Modells unter den später für das fertige Speichersystem festgelegten Rahmenbedingungen ist der Entwurf des Prototyps nun abgeschlossen. Um das Speichersystem mit einem Gesamtvolumen von 3 m³ Speichermaterial zu konstruieren wird eine Kombination aus mehreren getrennten Kammern von 0.3 m³ jeweils die entweder einzeln oder als ganzes System gesteuert und betrieben werden können, konstruiert. Die einzelnen Kammern stellen eine Erweiterung des kleinsten Modells auf das erforderliche Volumen von 0.3 m³ dar. Hintergrund dieser Unterteilung des Systems in einzelne Kammern ist die Überlegung, dass nicht immer die gleiche Menge überschüssiger Wärme (die gleiche Temperatur) gespeichert oder benötigt wird. Dies bedeutet, dass in den einzelnen Kammern der Vorteil des Speichermaterials bei unterschiedlichen

Temperaturniveaus zur Beheizung und Speicherung genutzt werden kann, was die Flexibilität im Betrieb deutlich erhöht. Es besteht auch die Möglichkeit, je nach Bedarf an Wärme nur eine, mehrere oder alle Kammern gleichzeitig zu betreiben. Das gesamte Speichersystem inklusive Steuerungs- und Steuerelektronik wird als mobiles, in sich geschlossenes System realisiert. Die Auslegung als geschlossenes System ist aufgrund der Verwendung von Ammoniak als Reaktivgas erforderlich. Nach der EU-Chemikalienverordnung wird Ammoniak als giftig eingestuft, was bei industriellen Anwendungen jedoch nur ein Problem für die Freisetzung in die Umwelt wäre. In dem derzeitigen Speichersystem wird dies aufgrund der Konstruktion als geschlossenes System mit einem Ammoniakkreislauf vermieden, ferner wird Ammoniak in Form des Amminkomplexes an das Kupfersulfat gebunden. Ammoniak wird in der Kälteerzeugung kommerziell als Kühlmedium in Kompressionskältemaschinen verwendet, so dass die Verwendung in Verbindung mit dem thermochemischen Speichersystem keine ungewöhnliche Gefahr darstellt.

Nach erfolgreicher Simulation und Freigabe wird der endgültige Speicherprototyp mit einer Energiespeicherdichte von 5,5 GJ mit 3 m³ Speichermaterial gebaut.

3.2.3.7 Arbeitsplan für das erste Jahr an Entwicklung

Tabelle 1: Arbeitsplan für das erste Jahr an Entwicklung

AP Nr.	Arbeitspaket	Beginn Monat	Meilenstein
1	Projektmanagement	1	Controlling und Organisation, Dokumentation und Kostenberechnung
2	Prototypentestmodell	2	Arbeitsprototyp-Test-Modell 3 dm ³
3	Finaler Prototypentwurf und Modellierung	4	Endgültige Prototype Design fixiert, Thermodynamische Modellierung des Speichersystems
4	Bau des endgültigen Prototyps	9	Endgültiger Prototyp
5	Rentabilitätsanalyse	10	Rentabilitätsanalyse mit positivem Ergebnis abgeschlossen
6	Vergrößern	11	Skalieren Sie die Produktion für die Produktion
7	Erste Produktion	12	Erste fertige Speichersysteme
8	Massenproduktion	14	Massenproduktion läuft

3.2.3.8 Risikoanalyse

Die Identifizierung der relevanten identifizierten Risiken kann dem Risiko- und Notfallplan entnommen werden.

Tabelle 2: Risikoanalyse

Risiko	Wahrscheinlichkeit	Einfluss	Ergebnis	Gegenmaßnahmen
Kleines Modell zeigt schlechte Wärmedurchlässigkeit	2	1	2	Wärmeübertragung optimieren
Das kleine Modell zeigt kein optimales Fließverhalten	2	1	2	Fließverhalten optimieren
Kleines Modell ungeeignet	2	3	8	kleines Modell neu gestalten
Der endgültige Prototyp muss neu gestaltet werden	1	3	4	Prototyp neu gestalten
Modellierung zeigt Konstruktionsfehler	2	3	8	Prototyp neu gestalten
Prototyp ist nicht wirtschaftlich	2	2	4	Wirtschaftlichkeit des Reaktors optimieren
Fehlende Temperaturbeständigkeit der Komponenten	1	5	16	Maximale Betriebstemperatur reduzieren
Eine Integration des Systems ist nicht möglich	1	4	8	Probleme mit der Integration identifizieren und korrigieren
Mangel an Wärmeübertragung	2	4	16	Fehleranalyse und Maßnahmen wie

3.2.4 Marketingplan

3.2.4.1 Marktsegment

Der Zielmarkt für das Plug-in-HeatStorage-Produkt werden die solarthermischen Wärmeerzeugungsanlagen sein, in denen das Unternehmen ein ausgereiftes Produkt anbieten kann, das eine drastisch erhöhte Flexibilität für die Wärmeerzeugungsanlagen bietet, da es unabhängiger von Sonnenlicht ist und dem Markt entspricht genauer, wenn Zeitlücken zwischen Angebot und Bedarf an Wärmeenergie bestehen.

3.2.4.2 Kundenakquise

Die ersten Kunden des Unternehmens werden über den Gründer der Plug-in-HeatStorage Ges.b.R. angesprochen, der aufgrund seiner langjährigen Erfahrung und ihrer zahlreichen Besuche auf Konferenzen, Ausstellungen und Messen viele Kontakte mit potenziell interessierten Kunden hat.

Später wird es eine Marketingkampagne in spezialisierten Print- und Online-Medien, auf Industriemessen und Ausstellungen geben und ein tragbarer Demonstrator wird als Schaukasten für interessierte Kunden präsentiert.

Am Anfang wird ein intensiver Informationsaustausch zwischen dem Unternehmen und den Kunden in Form von Beta-Tests stattfinden, und dieses gewonnene Wissen wird so schnell wie möglich in den weiteren Produktionsprozess implementiert.

3.2.4.3 Vertrieb

Der Vertrieb erfolgt als Business-to-Business-Betrieb und die Lieferung der fertigen Produkte erfolgt durch einen externen Logistikpartner für die Lieferung, der dem Kunden in Rechnung gestellt wird.

3.2.4.4 Preisgestaltung

Es gibt viele Optionen für die Preisgestaltung. Die einfachste Art der Preiskalkulation besteht darin, dass der Kunde das gesamte Produkt zu einem Festpreis mit einem optionalen Wartungsvertrag kauft. Der Preis des fertigen thermochemischen Speichersystems liegt im Bereich von 180.000 EUR.

Die Produktionskosten liegen für ein fertiges System im Bereich von 100.000 EUR.

Zum aktuellen Preis von 60 EUR / MWh Industriewärmekosten, kann der Kunde im einmaligen Speicherzyklus Energie im Wert von 100 EUR einsparen, was bei einer geschätzten durchschnittlichen Nutzung von zwei Speicherzyklen pro Tag zu jährlichen Energiekosteneinsparungen von 72.000 EUR führt. Das bedeutet, dass sich die Investition am Ende des dritten Betriebsjahres bezahlt macht. Die Anlage ist so ausgelegt, dass sie zehn Jahre Betrieb mit durchschnittlichen Wartungskosten von 10.000 EUR pro Jahr problemlos übersteht. Der Kunde würde im vierten Jahr von kostenfreier Energie profitieren. Je nach Größe des Speicherbedarfs des Kunden lässt sich das Konzept einfach skalieren, indem weitere Speichereinheiten mit derselben Kostenstruktur hinzugefügt werden.

Eine andere Möglichkeit ist, dass die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R als Zwischenhändler und Energieversorger fungiert, der das Speichersystem ohne Kosten für den Kunden installiert, die Abwärme vom Kunden kostenlos übernimmt und bei Bedarf zu einem leicht reduzierten Energietarif dem Kunden wieder verkauft. Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R, würde im vierten Betriebsjahr von den oben genannten Energieeinsparungen profitieren. Auch der Kunde hätte für die aus dem Speicher bezogene Energie einen niedrigeren

Tarif zu bezahlen. Die Finanzierung wird in der Zwischenzeit durch Bank-Darlehen oder alternative Finanzierungsquellen gedeckt.

3.2.4.5 Projizierte Verkäufe

Im ersten Jahr wird es realistisch gesehen keine Umsätze geben, im zweiten Jahr ist der Verkauf der ersten fünf fertigen thermischen Energiespeichersysteme geplant und dann soll in den ersten fünf Jahren mindestens der Vorjahresumsatz verdoppelt werden.

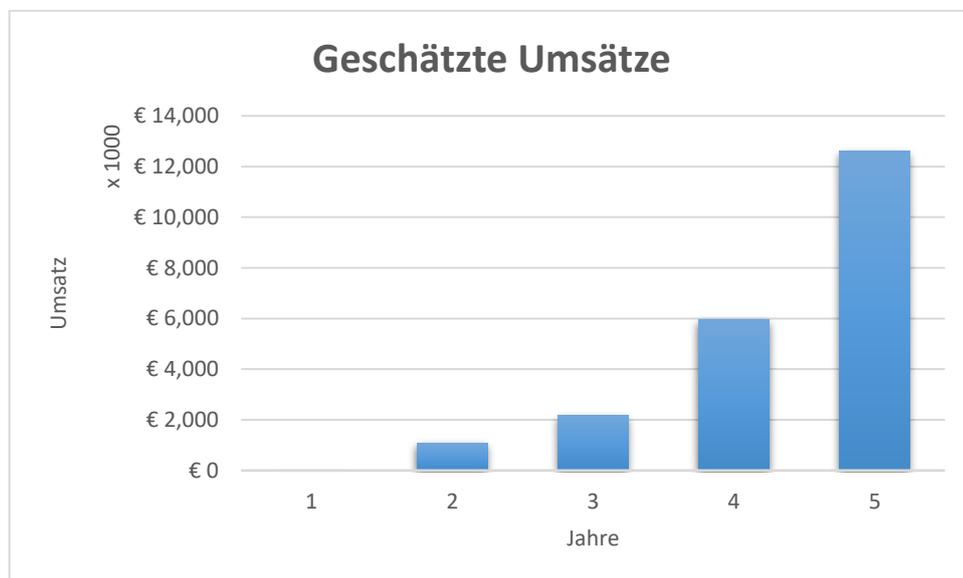


Abbildung 14: geschätzte Umsätze für die ersten 5 Jahre

3.2.5 Finanzplan

3.2.5.1 Fixkostenplanung

Tabelle 3: Fixkostenplanung

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
Miete	180.000	185.400	190.962	196.691	202.592
Versicherung	7.000	7.210	7.426	7.649	7.879
Wartung	1.000	1.030	1.061	1.093	1.126
Sonstige Fixkosten (Strom, ...)	4.000	4.120	4.244	4.371	4.502
Personal	200.000	360.000	648.000	1.166.400	2.099.520
Abschreibung	3.500	23.150	32.835	44.552	88.096
FK-Zinsen	25.500	25.500	35.800	41.900	39.600
Summe	421.000	606.410	920.328	1.462.655	2.443.314

3.2.5.2 Erfolgsplan

Tabelle 4: Erfolgsplan

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
Umsatz	0	1.080.000	2.160.000	5.940.000	12.600.000
Variable Kosten	500.000	600.000	1.200.000	3.300.000	7.000.000
Deckungsbeitrag	-500.000	480.000	960.000	2.640.000	5.600.000
Fixkosten	421.000	606.410	920.328	1.462.655	2.443.314
Gewinn / Verlust vor Steuern	-921.000	-126.410	39.672	1.177.345	3.156.686
Steuern	0	0	9.918	294.336	789.171
Gewinn / Verlust nach Steuern	-921.000	-126.410	29.754	883.009	2.367.514

3.2.5.3 Bargeldumlauf

Tabelle 5: Bargeldumlauf

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
I. Bargeldumlauf					
Gewinn / Verlust nach Steuern	-921.000	-126.410	29.754	883.009	2.367.514
+ Abschreibung	3.500	23.150	32.835	44.552	88.096
+/- Steuerrückstellungen	0	0	9.918	294.336	789.171
+/- Sonstige Rückstellungen	0	0	0	0	0
+/- Reserven	0	0	0	0	0
Veränderung des Bargeldumlaufes	-917.500	-103.260	72.507	1.221.896	3.244.782
II. Arbeitskapital					
+/- Forderungen	0	-120.000	-240.000	-660.000	-1.400.000
+/- Verbindlichkeiten	0	0	120.000	240.000	660.000
+/- Material und Inventar	500.000	-375.000	-125.000	0	0
+/- Produktinventar	0	375.000	125.000	0	0
+/- Sonstige Forderungen	0	0	0	0	0
+/- Sonstige Verbindlichkeiten	0	0	0	0	0
+/- Darlehensforderungen	0	0	0	0	0
+/- Darlehensverbindlichkeiten	0	0	0	0	0
+/- Sonstige kurzfristige Vermögenswerte	0	0	0	0	0
+/- Aufgeschobene Kosten	0	0	0	0	0
+/- Rechnungsabgrenzungsposten	0	0	0	0	0
Veränderung des Arbeitskapital	500.000	-120.000	-120.000	-420.000	-740.000
III. Langfristiger Sektor					
+/- Investitionen	-200.000	-120.000	-150.000	-480.000	-800.000

+/- Bankdarlehen	850.000	343.333	203.333	-76.667	-76.667
Veränderung im langfristigen Sektor	650.000	223.333	53.333	-556.667	-876.667
IV. Aktionärsbereich					
+/- Aktionär	0	0	0	0	0
Veränderung im Aktionärsbereich	0	0	0	0	0
Überschuss / Nachfrage	232.500	73	5.841	245.230	1.628.116

3.2.5.4 Planbilanz

Tabelle 6: Planbilanz

	Beginn	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
Anlagevermögen	35,000	231,500	328,350	445,515	880,964	1,592,867
Materielle Vorräte	500,000	0	375,000	500,000	500,000	500,000
Fertige Produkte / Inventar	0	0	375,000	500,000	500,000	500,000
Forderungen	0	0	120,000	360,000	1,020,000	2,420,000
Bankkonto	850,000	1,082,500	1,082,573	1,088,414	1,333,644	2,961,759
Summe Aktiva	1,385,000	1,314,000	2,280,923	2,893,929	4,234,607	7,974,626
Eigenkapital	535,000	464,000	1,087,590	1,367,344	2,250,353	4,617,867
Steuervorschriften	0	0	0	9,918	304,254	1,093,426
Verbindlichkeiten	0	0	0	120,000	360,000	1,020,000
Bankdarlehen	850,000	850,000	1,193,333	1,396,667	1,320,000	1,243,333
Summe Passiva	1,385,000	1,314,000	2,280,923	2,893,929	4,234,607	7,974,626

3.2.5.5 Quellen und Anwendungen der Mittel

Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R ist derzeit bestrebt, in den ersten eineinhalb Jahren Betrieb und Fertigstellung der Entwicklungsarbeiten eine Million Euro zu sammeln. Das Grundkapital von 35.000 EUR wird von den Gründern investiert. Die erste Finanzierungsrunde wird versucht, über einen Investor von AWS i2 Business Angels oder einem anderen Business Angel Netzwerk zu sponsern.

3.2.5.6 Break-even-Analyse

Nach der Bilanz und der Gewinn- und Verlustrechnung wird der Break-Even-Punkt auf Ende des vierten Jahres geschätzt, da der Verkauf von nur etwa 50 verkauften Lagersystemen sehr konservativ geschätzt wird. Aufgrund des Marktpotenzials könnten diese Verkäufe auch viel früher erzielt werden.

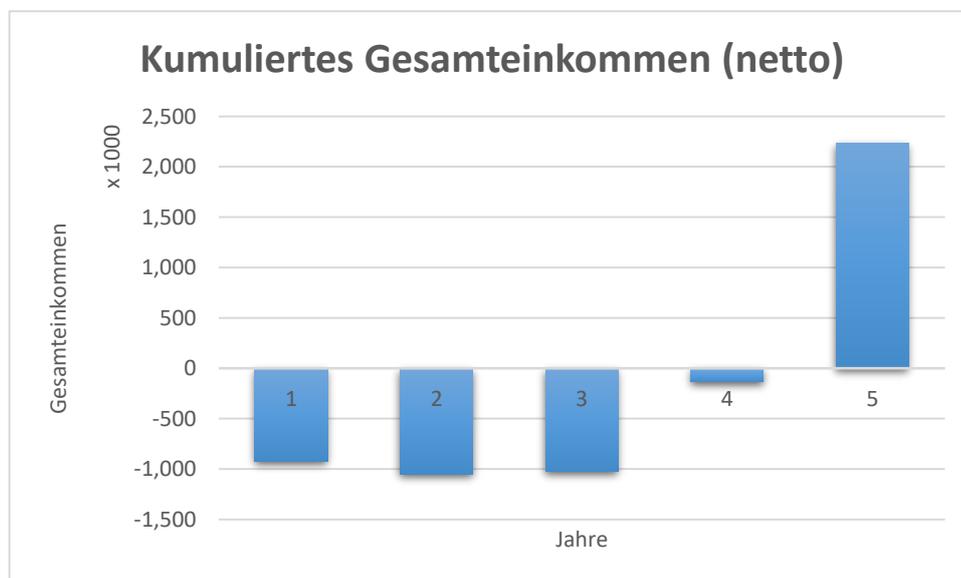


Abbildung 15: Kumuliertes Nettogesamteinkommen für die ersten fünf Jahre

3.2.6 Produktionsplan

3.2.6.1 Detailplanung für das Arbeitspaket 1

Ziele Arbeitspaket 1
<ul style="list-style-type: none">• Konstruktion eines Miniaturmodells des thermochemischen Speichersystems im Maßstab 3 dm³• Testbetrieb des kleinsten Modells• Charakterisierung der Leistungsparameter• Ermittlung eventueller Korrektur- und Optimierungspotenziale
Beschreibung des Inhalts
<p>Um die geplante Auslegung des thermochemischen Speichersystems zu überprüfen, das im endgültigen Prototyp verwendet wird, wird ein kleines Modell mit einer Kapazität von 3 dm³ (~ 9 kg) [Cu(NH₃)₄]SO₄ gebaut. Im Testmodus des kleinsten Modells, das dem Endspeichersystem hinsichtlich Temperaturniveaus, Wärmeströmen, Wärmeleitfähigkeit und Zykluszeiten entspricht, können die Leistungsparameter (Reaktionszeiten, Reaktionswärme, Temperaturprofil usw.) sein verzeichnet. Zu diesem Zweck ist das kleinste Modell mit einer Vielzahl von Sensoren (Temperatur- und Druckmessstellen, Schauglas, Durchflussmesser) ausgestattet. Auf der Grundlage von Auswertungsergebnisse von Temperaturprofilen, Strömungsprofilen und Wärmeleitfähigkeit sowie mögliche Optimierungspotenziale werden identifiziert. Dies ermöglicht die Bewertung und Optimierung des Designs für den Bau des endgültigen thermochemischen Speichersystems.</p>
Verwendete Methode:
Endgültige Angebotsanfrage für das Material, Materialbeschaffung, Prototypenbau, Testbetrieb, Erstellung von Temperaturprofilen, Strömungsprofilen, grafische Auswertung der Messdaten

3.2.6.2 Detailplanung für das Arbeitspaket 2

Ziele Arbeitspaket 2
<ul style="list-style-type: none">• Definition des endgültigen Prototypentwurfs• Simulation des Endlagersystems mit CFD
Beschreibung des Inhalts
<p>Die Messdaten und Erfahrungen, die durch den Betrieb des kleinsten Modells gesammelt werden konnten, dienen als Grundlage für eine erneute Überprüfung und Validierung des Entwurfskonzepts für den endgültigen Prototyp des Speichersystems. Zuvor festgelegte Optimierungspotenziale werden in diesem Schritt umgesetzt, um Schwierigkeiten in einer späteren Testphase von vornherein zu vermeiden. Neben dem Vergleich der CFD-Modellierung des kleinsten Modells mit den tatsächlichen Messdaten im experimentellen Betrieb wird der Entwurf für den Prototyp in APM03 auch mittels CFD-Simulation für den Prototyp in 1 m³ bewertet. Basierend auf den Messwerten ermöglicht diese Modellierung eine genaue Bewertung des geplanten Speichersystems aus thermodynamischer Sicht. Je nach den Ergebnissen dieser Modellierung kann das endgültige Design noch leicht angepasst und anschließend für die Konstruktion freigegeben werden.</p>
Verwendete Methode:
Technische Konstruktionszeichnungen, Vergleich experimenteller Daten mit CFD-Simulation, Modellanpassung, Optimierung durch Iteration, thermodynamische Modellierung mittels CFD-Simulation

3.2.6.3 Detailplanung für das Arbeitspaket 3

Ziele Arbeitspaket 3
<ul style="list-style-type: none">• Bau des endgültigen Prototyps des Lagersystems• Ausstattung des Speichersystems mit Steuerungs- und Prozesselektronik
Beschreibung des Inhalts
<p>Der definierte Prototypentwurf ist jetzt praktisch implementiert. Nach einer abschließenden Prüfung wird das notwendige Material eingekauft und der Prototyp konstruiert. Die einzelnen Zwischenstufen umfassen den Bau der Reaktorkammern, den Bau des Wärmeleitsystems (in Zusammenarbeit mit einem spezialisierten Ingenieurbüro), die Umsetzung des Ammoniakkreislaufs und die Herstellung der erforderlichen Steuerungs- und Prozesselektronik (auch in Zusammenarbeit mit) ein spezialisiertes Ingenieurbüro). Ein relevanter Punkt auf dem Weg zum fertigen Lagersystem ist die Endmontage der Prüfung auf Dichtheit, Sicherheit und Funktionalität gemäß den einschlägigen DIN-Normen. Nach erfolgreichem Abschluss der Tests wird das Speichersystem mit CuSO_4 als thermochemischem Speichermaterial beschickt.</p>
Verwendete Methode:
Endgültige Angebotsanfrage für Material, Materialbeschaffung, Prototypenbau (Gehäusebau, Wärmeleitsystem, Ammoniakkreislauf, Steuerungs- und Prozesselektronik), Abnahmeprüfung nach DIN-Normen

3.2.6.4 Detailplanung für das Arbeitspaket 4

Ziele Arbeitspaket 4
<ul style="list-style-type: none">• Erstellung einer Kosten-Nutzen-Analyse für Kunden und thermochemische Speichersysteme
Beschreibung des Inhalts
<p>Um Interessengruppen und potenzielle Käufer zu schaffen, nicht nur mit technischen Details, sondern auch mit Kennzahlen in Bezug auf Investitionen und die Rentabilität eines solchen eines thermochemischen Speichersystem, eine komplette Wirtschaftlichkeitsanalyse für den Prototyp des Speichersystems in Kombination durchgeführt. Voraussetzung dafür ist eine detaillierte Marktanalyse unter der Annahme der Kombination von Solarthermie und thermochemischer Speicherung. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf dem Investitionsstandort Europa und Österreich. Investitionskosten, Betriebskosten und Amortisationszeiten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Abschreibungszeiträume sollten mit den Energiepreisen und dem Energieeinsparungspotenzial unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsarten verglichen werden.</p>
Verwendete Methode:
Prozesstechnische Rentabilitätsanalyse

3.2.7 Organisationsplan

3.2.7.1 Organigramm

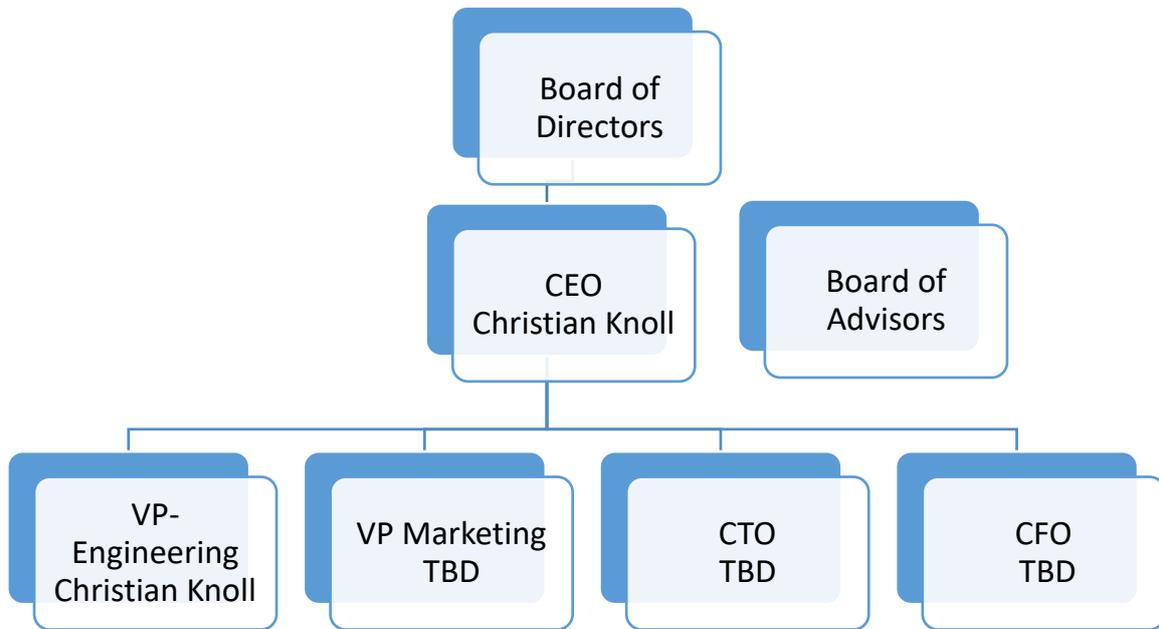


Abbildung 16: Organigramm des Unternehmens

3.2.7.2 Eigentumsform

Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird von Dr. Christian Knoll gegründet. Es ist ein Startup-Unternehmen in Privatbesitz, das sich in einer frühen Entwicklungsphase befinden wird.

3.2.7.3 Verteilung der Aufgaben

Dr. Christian Knoll wird die Position des Vorstandsvorsitzenden ausüben, ein weiterer Mitarbeiter wird die Position des Präsidenten und Chief of Development and Technology Officer bekleiden.

3.2.7.4 Management-Team- Hintergrund

- **Dr. Christian Knoll**

Dr. Christian Knoll promovierte in der Untersuchung und Charakterisierung von thermochemischen Energiespeichermaterialien und -systemen und verfügt außerdem über ein Jahr Postdoc-Erfahrung auf demselben Gebiet. Daher verfügt er über ein einzigartiges Wissen und eine breite Palette von Erfahrungen auf dem relevanten Gebiet. Er hat einen umfassenden Überblick über die einschlägige wissenschaftliche Literatur. Aufgrund seiner internationalen Konferenzerfahrung kennt er den internationalen Stand der Technik bei Wärmespeichersystemen und kann die für das Unternehmen relevanten Geschäftschancen bewerten. Derzeit absolviert er ein Master of Business Administration Programm in General Management an der Technischen Universität Wien und der Donau-Universität Krems und ist daher bestens vorbereitet, ein Unternehmen als Chief Executive Officer zu führen.

- **Beirat**

Es wird einen Beirat geben, der aus persönlich bekannten Freunden und Bekannten des Gründers Dr. Christian Knoll besteht.

3.2.8 Betriebsplan

Die Plug-in-HeatStorage Ges.b.R wird ihre Produkte im Business-to-Business-Bereich zunächst Solarthermie-Kraftwerksunternehmen anbieten, einschließlich Installationsservice und Integration mit dem bereits verwendeten System des Kunden.

Darüber hinaus wird das Unternehmen sein Produkt in der Planungsphase an Kraftwerke vermarkten, um das Speichersystem besser in das Wärmezeugungssystem des Kunden zu integrieren, um die Energieeffizienz zu steigern. Service auch eine Wartung wird von den spezialisierten Technikern und Ingenieuren der angeboten werden Plug-in-HeatStorage Ges.b.R als eine zusätzliche Einnahmequelle.

3.2.9 Zusammenfassung

3.2.9.1 Finanzierungsbedarf

Plug-in-HeatStorage benötigt derzeit für das erste Jahr 800.000 Euro für die Inbetriebnahme und weitere 1,5 Millionen Euro, um weitere zwei Jahre fortzusetzen, bis der erste positive Gewinn eintritt und das Unternehmen autark sein wird. Die Finanzierung wird die Mitarbeiter, das Managementteam, die Miet- und sonstigen Aufwendungen sowie die zur Herstellung der Produkte zu beschaffenden Waren unterstützen. Im fünften Jahr sollte das kumulierte Nettoeinkommen erstmals stark positiv sein und damit ein wirtschaftlich überlebensfähiges Unternehmen darstellen.

3.2.9.2 Exit Strategien

Eine mögliche Ausstiegsstrategie ist das Buyout durch das Managementteam oder die Übernahme durch einen der größeren Anbieter von Wärmeenergie oder global agierende Energieunternehmen.

4 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung und Untersuchung eines Geschäftsmodelles zur Kommerzialisierung einer Technologie zur Speicherung von Wärme wird die thermochemische Energiespeicherung anhand des Reaktionssystems von wasserfreiem Kupfersulfat mit Ammoniak als Reaktivgas anhand eines konkreten Businessplanes.

Im Vorfeld dazu wurden eine umfangreiche Literaturstudie und eine Umfrage mittels Fragebogen zu den technischen Gegebenheiten und zum angestrebten Markt durchgeführt. Diese hatte zum Ergebnis, dass bereits einige wissenschaftliche Arbeiten zum Thema der wirtschaftlichen Umsetzung der Speichertechnologie existieren, aber noch keine umsetzbaren Businesspläne, womit diese Arbeit einen Beitrag zur Verwirklichung leistet. Die Umfrage lässt den Schluss zu, dass es für die Implementierung von Wärmespeichern ein großes Potential und großes Interesse gibt, und das bei der Umsetzung die technischen Kriterien, wie Energiedichte und verbesserte Wärmeleistung zusammen mit den verringerten Heizkosten deutlich wichtiger gesehen werden, als der Platzbedarf oder ästhetische und Design Überlegungen.

Der Businessplan zusammen mit den angenommenen Finanzplanungsinstrumenten gibt ein Grundgerüst und einen Leitfaden wieder, wie die mögliche Umsetzung und Gründung eines Unternehmens im Umfeld des Wiener Industriegebietes möglich wäre und unter welchen Bedingungen ein nachhaltiges Geschäftsmodell mit einer mittelfristigen Gewinnprognose zu etablieren ist.

5 Literaturverzeichnis

Abedin, Ali und Marc Rosen (2011): A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems, *The Open Renewable Energy Journal* 4: 42-46.

amundis Communications GmbH (2019): Leitfaden für die Erstellung eines Fragebogens

https://www.2ask.de/media/1/10/2/3/5/bc958b68e726b401/Leitfaden_Fragebogenerstellung.pdf, Abfragedatum 05.08.2019.

amundis Communications GmbH (2019): Leitfaden statistische Auswertung

https://www.2ask.de/media/1/10/2/23/25/3b44548aa4f7b046/Leitfaden_Statistik.pdf, Abfragedatum 05.08.2019.

Arce, Pablo, Marc Medrano, Antoni Gil, Eduard Oró und Luisa F. Cabeza (2011): Overview of thermal energy storage (TES) potential energy savings and climate change mitigation in Spain and Europe, *Applied Energy* 88(8): 2764-2774.

Bauer, Thomas, Wolf-Dieter Steinmann, Doerte Laing und Rainer Tamme (2012): Thermal Energy Storage Materials and Systems, *Annual Review of Heat Transfer* 15(15): 131-177.

Bayon, Alicia, Roman Bader, Mehdi Jafarian, Larissa Fedunik-Hofman, Yanping Sun, Jim Hinkley, Sarah Miller und Wojciech Lipiński (2018): Techno-economic assessment of solid-gas thermochemical energy storage systems for solar thermal power applications, *Energy* 149: 473-484.

Cot-Gores, Jaume, Albert Castell und Luisa F. Cabeza (2012): Thermochemical energy storage and conversion: A-state-of-the-art review of the experimental research under practical conditions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(7): 5207-5224.

Dincer, Ibrahim und Marc A Rosen (2001): Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy storage systems for cooling capacity, *Applied Thermal Engineering* 21(11): 1105-1117.

Ding, Yate und S.B. Riffat (2012): Thermochemical energy storage technologies for building applications: a state-of-the-art review, *International Journal of Low-Carbon Technologies* 8(2): 106-116.

Hasnain, S. M. (1998): Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques, *Energy Conversion and Management* 39(11): 1127-1138.

Hasnain, SM, M Smiai, Y Al-Saedi und M Al-Khaldi (1996): Energy Research Institute-Internal Report, *KACST, Riyadh, Saudi Arabia*.

Haynes, William M (2016). CRC handbook of chemistry and physics, Taylor & Francis.

Henze, Gregor P (2002): Economic analysis of thermal energy storage systems, *Journal of architectural engineering* 8(4): 133-141.

IEA (2011): Co-generation and Renewables. Solutions for a low-carbon energy future, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co-generation-and-renewables-solutions-for-a-low-carbon-energy-future.html>.

IEA (2014): Heating without global warming: Market developments and policy considerations for renewable heat.

International Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation Development (2018). World Energy Outlook 2017, OECD.

Lefebvre, Dominique und F. Handan Tezel (2017): A review of energy storage technologies with a focus on adsorption thermal energy storage processes for heating applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67(Supplement C): 116-125.

MARQUESADO SOLAR, S.L. (2019): Thermal energy storage <https://marquesadosolar.com/thermal-energy-storage/>, Abfragedatum 30.04.2019.

N'Tsoukpoe, K. Edem, Hui Liu, Nolwenn Le Pierrès und Lingai Luo (2009): A review on long-term sorption solar energy storage, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(9): 2385-2396.

Rahm, D. (2002): Sustainable Energy and the States, Essay on Politics Markets and Leadership, *McFarland, North Carolina* 1st edt.

Rivarolo, M, A Greco und AF Massardo (2013): Thermo-economic optimization of the impact of renewable generators on poly-generation smart-grids including hot thermal storage, *Energy Conversion and Management* 65: 75-83.

Shine, Keith, Jan Fuglestedt, Kinfe Hailemariam und Nicola Stuber (2005): Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases, *climatic change* 68(3): 281-302.

Solar Heat Europe (2017): Solar Heat Markets In Europe – Trends And Market Statistics 2016 <http://solarheateurope.eu/publications/market-statistics/solar-heat-markets-in-europe/>, Abfragedatum 08.08.2019.

Technische Universität Wien - Institut für Angewandte Synthesechemie (2017): Vienna TCES-Database <http://solidheat.project.tuwien.ac.at/vienna-tces-database/database/>, Abfragedatum 08.08.2019.

United Nations (1997): Kyoto protocol, *Kyoto protocol*.

United Nations Treatie (2015): Paris agreement, No. 54113, , *Paris agreement, No. 54113*,.

Wyman, Charles, James Castle und Frank Kreith (1980): A review of collector and energy storage technology for intermediate temperature applications, *Solar energy* 24(6): 517-540.

Zhang, Huili, Jan Baeyens, Gustavo Cáceres, Jan Degrève und Yongqin Lv (2016): Thermal energy storage: Recent developments and practical aspects, *Progress in Energy and Combustion Science* 53: 1-40.