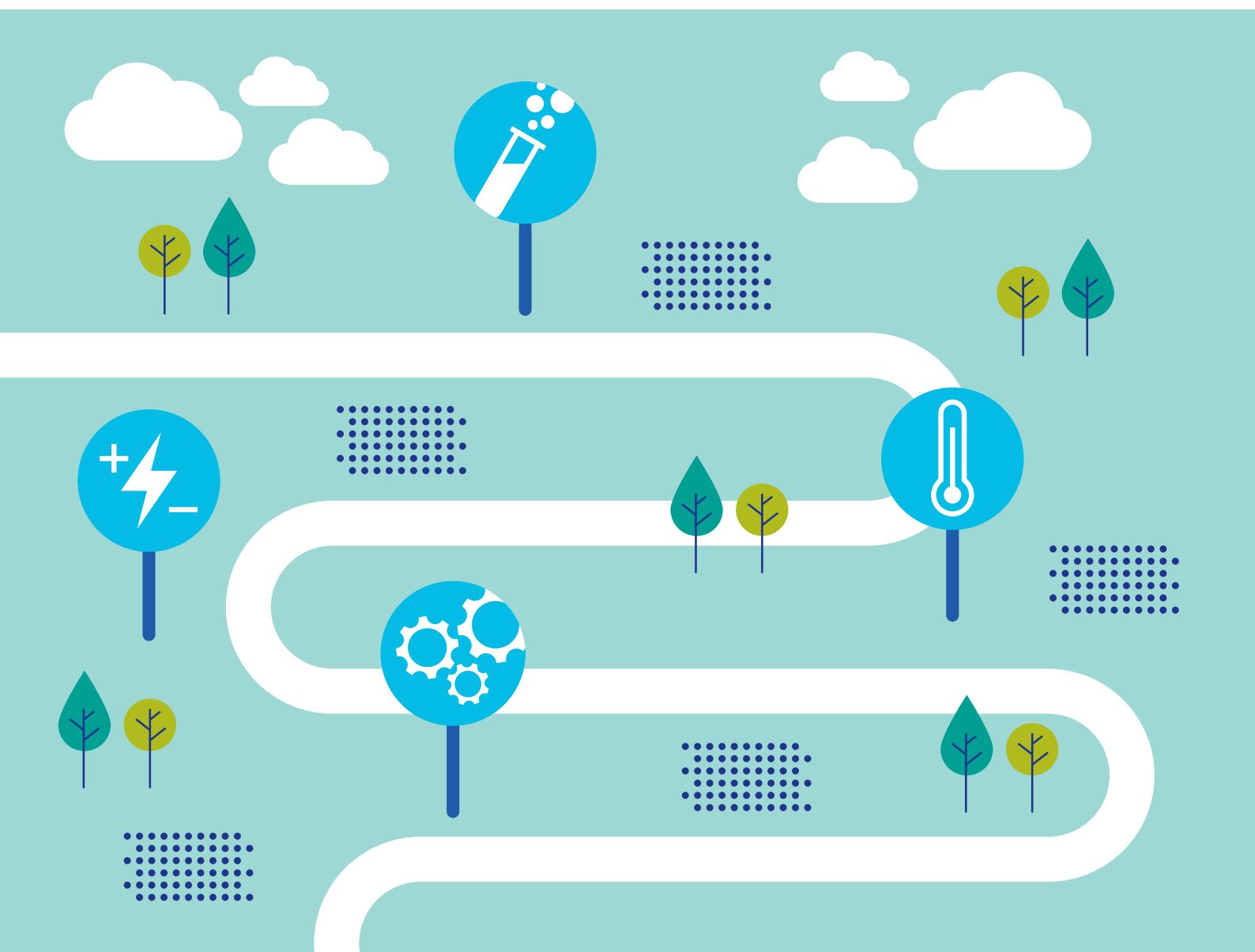


Technologie-Roadmap Energiespeichersysteme in und aus Österreich

Eine Studie erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
Executive Summary	8
Teil 1: Technologien und Anwendungsfelder	8
Teil 2: Roadmap und FTI-politische Maßnahmen	12
Empfehlungen der Speicher-Roadmap für die FTI-Agenda des Klima- und Energiefonds	13
Spotlights und Reflexion	15
1 Einführung	18
1.1 Motivation	18
1.2 Ziele der Roadmap	18
1.3 Der Entwicklungsprozess der Technologie-Roadmap	20
1.3.1 Bestandsaufnahme	20
1.3.2 Technologiepfade und Zielerreichung	21
1.3.3 FTI-politische Maßnahmen	22
1.3.4 Struktur und Aufbau der Roadmap	23
1.4 Rahmenbedingungen und Einschränkungen	24
2 Österreichs Innovationskraft im Bereich der Energiespeichersysteme	26
2.1 Entwicklung der Energiespeicherpatente	27
2.2 Energiespeicherpatente im Ländervergleich	28
2.3 Österreichs Spezialisierung in Energiespeicherpatenten	29
3 Speichertechnologien	32
3.1 Stromspeicher	32
3.1.1 Mechanische Speichertechnologien	34
3.1.2 Elektrochemische Speichersysteme	36
3.1.3 Chemische Speichersysteme	40
3.1.4 Elektrische Speichersysteme	40
3.2 Wärme-/Kältespeicher	41
3.2.1 Speicher für sensible Wärme	43
3.2.2 Latentwärmespeicher (Phase Change Material – PCM)	47
3.2.3 Thermochemische Speicher (TCM)	48

3.3	Sektorkopplungen	49
3.3.1	Power-to-Heat	50
3.3.2	Power-to-Gas/Power-to-Liquid	51
3.3.3	Gas-to-Power	52
3.3.4	Power-to-Mobility	53
3.3.5	Vehicle-to-X	53
3.4	Übersicht über die Relevanz der Speichertechnologien	54
4	Schwerpunktsetzung im internationalen Vergleich	58
5	Roadmaps zu den Anwendungsfeldern für Speichertechnologien	61
5.1	Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung	63
5.1.1	Technologische Anforderungen und Ziele	63
5.1.2	Technologien und Sektorkopplungen	65
5.1.3	Direkte FTI-Förderungen	66
5.1.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung	68
5.1.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	70
5.2	Kurzfristiger Ausgleich im elektrischen Netz	71
5.2.1	Technologische Anforderungen und Ziele	71
5.2.2	Technologien und Sektorkopplungen	73
5.2.3	Direkte FTI-Maßnahmen	73
5.2.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen	74
5.2.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	76
5.3	Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen	76
5.3.1	Technologische Anforderungen und Ziele	77
5.3.2	Technologien und Sektorkopplungen	77
5.3.3	Direkte FTI-Förderungen	77
5.3.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum Lastmanagement und Spitzenreduktion für Wärmenetze	78

5.3.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	78
5.4	Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie	79
5.4.1	Technologische Anforderungen und Ziele	79
5.4.2	Technologien und Sektorkopplungen	80
5.4.3	Direkte FTI-Förderungen	81
5.4.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie	82
5.4.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	83
5.5	Engpassmanagement	83
5.5.1	Technologische Anforderungen und Ziele	84
5.5.2	Technologien und Sektorkopplungen	85
5.5.3	Direkte FTI-Förderungen	85
5.5.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum Engpassmanagement	87
5.5.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	87
5.6	Flexibilisierung der Wärmebereitstellung	87
5.6.1	Technologische Anforderungen und Ziele	88
5.6.2	Technologien und Sektorkopplungen	88
5.6.3	Direkte FTI-Förderungen	88
5.6.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung	91
5.7	Industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung)	93
5.7.1	Technologische Anforderungen und Ziele	94
5.7.2	Technologien und Sektorkopplungen	94
5.7.3	Direkte FTI-Förderungen	95
5.7.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur industriellen Abwärmenutzung und Prozessoptimierung	95
5.7.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	96
5.8	Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung	96
5.8.1	Technologische Anforderungen und Ziele	97

5.8.2	Technologien und Sektorkopplungen	99
5.8.3	Direkte FTI-Förderungen	100
5.8.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur lokalen Nutzung lokaler Erzeugung	102
5.8.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	103
5.9	Elektromobilität	104
5.9.1	Technologische Anforderungen und Ziele	104
5.9.2	Technologien und Sektorkopplungen	107
5.9.3	Direkte FTI-Förderungen	108
5.9.4	Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Elektromobilität	110
5.9.5	Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zu Elektromobilität	110
6	Zusammenfassung und allgemeine Handlungsempfehlungen	113
6.1	Zusammenfassung der Roadmaps	113
6.2	Allgemeine FTI-politische Maßnahmen zur Speicher-Roadmap	118
6.3	Allgemeine Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative	119
7	Literatur	120
	Anhang	122
8	Erster ExpertInnen-Workshop	122
8.1	Fragestellungen	122
8.1.1	Stationäre Anwendungen	123
8.2	Ergebnisse der Arbeitsgruppen zur Bewertung der Anwendungsfälle	126
8.2.1	Elektrische, stationäre Anwendungsfälle	126
8.2.2	Elektrische Anwendungsfälle in der Größe bis zu 30 kW	126
8.2.3	Elektrische Anwendungsfälle in der Größe von 30 kW bis 5 MW	129
8.2.4	Elektrische Anwendungsfälle in der Größe ab 5 MW	130
8.2.5	Thermische, stationäre Anwendungsfälle	133
8.2.6	Mobile Anwendungen	135
8.3	Arbeitsgruppen zu Anforderungen an Technologien aus den Anwendungsfällen (Use Cases)	137

8.3.1	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 1“	137
8.3.2	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 2“	139
8.3.3	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 3“	141
8.3.4	Ergebnisse der Gruppe „Thermische Anwendungsfälle“	142
8.3.5	Ergebnisse der Gruppe „Mobile Anwendungsfälle“	144
8.4	Ergebnisse der Arbeitsgruppen zum Backcasting	145
8.4.1	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 1“	146
8.4.2	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 2“	146
8.4.3	Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 3“	148
8.4.4	Ergebnisse der Gruppe „Thermische Anwendungsfälle“	150
8.4.5	Ergebnisse der Gruppe „Mobile Anwendungsfälle“	151
9	Zweiter ExpertInnen-Workshop	152
9.1	Ergebnisse der Gruppe KLEIN – unter 30 kW	152
9.2	Ergebnisse der Gruppe MITTEL – 30 kW bis 5 MW	159
9.3	Ergebnisse der Gruppe GROSS – über 5 MW	159

Abkürzungsverzeichnis

AEL	alkaline electrolysis (alkalische Elektrolyse)
AFC	alkaline fuel cell (alkalische Brennstoffzelle)
BEV	battery electric vehicle (batteriebetriebenes Fahrzeug)
CAES	Compressed Air Energy Storage
COM	Communication from the Commission
CPC	Cooperative Patent Classification
DG Energy	Directorate-General for Energy
DR	Demand Response
EASE	European Association for Storage of Energy
EERA	European Educational Research Association
F&E	Forschung & Entwicklung
FTI	Forschung, Technologie & Innovation
GHG	greenhouse gases
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
IEA	International Energy Agency
IKT	Informations- & Kommunikationstechnologie
IRENA	International Renewable Energy Agency
IPC	International Patent Classification (Internationale Patentklassifikation)
KLIEN	Klima- und Energiefonds
PCM	phase change materials (Phasenwechselmaterialien)
PCT	Patent Cooperation Treaty
PEMEL	proton exchange membran electrolysis

PEMFC	proton exchange membrane fuel cell (Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle)
RES	Renewable Energy Sources
RCA	Revealed Comparative Advantage
SET-Plan	Strategic Energy Technology Plan
SOFC	solid oxide fuel cell (Festoxidbrennstoffzelle)
TCM	thermo-chemical material
TRL	Technology Readiness Level

Executive Summary

Die Umsetzung der Energiewende ist eine der zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte. Mit der Ausweitung von fluktuierender Erzeugung, wie durch Solaranlagen und Windkraft, steigt zugleich der Bedarf und Aufwand eines Ausgleichs zwischen Angebot und Nachfrage. Dabei werden Speichertechnologien wichtige Bausteine eines integrierten Energiesystems in einer Energiezukunft mit 100 % erneuerbarer Energieversorgung sein, da mit diesen kurze oder auch längere Zeiträume eines Ungleichgewichts von Aufbringung und Bedarf überbrückt werden können. Im April 2017 wurde die ENERGIE Forschungs- und Innovationsstrategie¹ veröffentlicht, die zum einen den Umwandlungs- und Speichertechnologien und der Sektorkopplung Gewicht verleiht und zum anderen weiteren Forschungs- und Innovationsbedarf in diesem Feld zum Ausdruck bringt.

Ziel der gegenständlichen Roadmap ist es, Schritte zur Umsetzung dieser Strategie vorzubereiten, wobei als Schwerpunkte

- eine zukünftige Energieversorgung mit 100 % erneuerbaren Energien und
- die Positionierung und Stärkung der österreichischen Industrie und deren Technologieentwicklungskompetenz

gesetzt werden.

Dafür werden im ersten Teil der Roadmap die Technologien und Anwendungsfelder aufgezeigt und beschrieben und dann im zweiten Teil die erforderlichen FTI-politischen Maßnahmen herausgearbeitet. Das Ergebnis basiert auf einer umgreifenden Bestandsaufnahme (aufbauend auf den Ergebnissen der Speicherinitiative des Klima- und Energiefonds²) sowie einer partizipativen Einbindung der relevanten Stakeholder im Rahmen von zwei Workshops.

Die Roadmap trägt damit zur Umsetzung der klima- und energiepolitischen sowie industriepolitischen Zielsetzungen durch Forschung, Technologieentwicklung und Innovation bis 2030 bei.

Teil 1: Technologien und Anwendungsfelder

Der erste Teil der Roadmap bietet einen Überblick über Speichertechnologien und deren Anwendungsfelder. Die Relevanz der Technologien für den Standort Österreich wurde in den

¹ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, „Energie Forschungs- und Innovationsstrategie“ 2017.

² <http://speicherinitiative.at/>.

Kriterien „Heimische Produktion/Assembling, Heimische Technologiekompetenz, Großes Exportpotenzial, Heimisches Forschungswissen“ bewertet (vgl. Tabelle 1 für Elektrische Speichersysteme und Tabelle 2 für Wärme- und Kältespeicher) und durch die Analyse der relativen Spezialisierung Österreichs in der Patentierung im internationalen Vergleich ergänzt.

Tabelle 1: Elektrische Speichersysteme – Übersicht der Technologien und deren Relevanz

	Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Mechanische Speichertechnologien					
Druckluftspeicher	Nein	Ja	Ja	Ja	3–7
Pumpspeicher, Hydraulische Speicher	Nein	Ja	Ja	Ja	3–4
Pumpspeicher, Speicherkraftwerke	Ja	Ja	Ja	Ja	4–9
Schwungräder	Nein	Ja	Nein	Ja	4–9
Elektrochemische Speichersysteme					
Bleibatterien	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Lithium-Ionen-4V-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Lithium-Ionen-5V-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	5
Post-Lithium-Ionen-Technologien	Nein	Ja	Ja	Ja	1–4
Nickelbatterien	Nein	Nein	Nein	Ja	9
Metall-Luft-Batterien	Nein	Ja	Ja	Ja	1–4
Redox-Flow-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	7-9
Natrium-Batterien – Aqueous-Hybrid-Ion	Ja	Ja	Ja	Ja	7–9
Natrium-Batterien – Hochtemperaturbatterie	Nein	Nein	Nein	Nein	8–9
Chemische Speichersysteme					
Brennstoffzellen	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8
Power-to-Gas-Elektrolyse	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8
Elektrische Speichersysteme					
Superkondensatoren	Nein	Ja	Nein	Ja	9
Supraleitende Magnetspeicher	Nein	Nein	Nein	Nein	3

Tabelle 2: Wärme- und Kältespeicher – Übersicht der Technologien und deren Relevanz

	Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Speicher für sensible Wärme					
Dampfspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Kleinwasserspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Großwasserspeicher bis 2 GWh	Ja	Ja	Ja	Ja	7–8
Großwasserspeicher von 2 bis 200 GWh	Ja	Ja	Ja	Ja	3
Zweitanksysteme	Nein	Nein	Nein	Ja	8–9
Wasser-Kies- oder Wasser-Erdreich-Speicher	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Erdsonden-Felder	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Aquiferspeicher	Nein	Ja	Nein	Nein	7–9
Wärmenetz als Speicher	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Hochtemperatur-Feststoffspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	6–9
Nachtspeicherheizung	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Thermische Bauteilaktivierung	Ja	Ja	Nein	Ja	7–9
Regeneration von Geothermiequellen	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Latentwärmespeicher (Phase Change Material – PCM)					
Latentwärmespeicher	Ja	Ja	Nein	Ja	2–9
Thermochemische Speicher (TCM)					
Adsorptionsspeicher	Ja	Ja	Nein	Ja	1–4
Absorptionsspeicher	Nein	Nein	Nein	Nein	1–4
Speicherung von Reaktionswärme	Nein	Ja	Nein	Ja	1–4

Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen ein sehr heterogenes Bild in Bezug auf den Technology Readiness Level (TRL) der einzelnen Technologien. Bei fünf Technologien (zu vier von diesen liegt auch österreichische Technologiekompetenz vor) wird Grundlagenforschung als noch erforderlich erachtet. Bei etwas mehr als 60 % der Technologien (auch davon überwiegend mit österreichischer Technologiekompetenz) steht eine Marktüberleitung bevor bzw. befinden sich diese in TRL 9. Heimische Technologiekompetenz liegt für 85 % der dargestellten Technologien vor und für etwa

62 % der Technologien findet auch heimische Produktion/Assembling statt. Für alle Technologien mit großem Exportpotenzial (etwa 47,5 %) liegt auch heimisches Forschungswissen vor. In Summe liegt für nahezu 90 % der Speichertechnologien heimisches Forschungswissen vor.

In Bezug auf Sektorkopplungen wurde eine Vielzahl von möglichen Kopplungsvarianten betrachtet. Dabei wurden für Speicher folgende **Sektorkopplungen** als relevant identifiziert und folglich in allen Anwendungsfeldern mitbetrachtet:

- Power-to-Heat
- Power-to-Gas
- Power-to-Liquid
- Gas-to-Power
- Power-to-Mobility
- Vehicle-to-X

Um zentrale Funktionen im zukünftigen Energiesystem zu erfüllen, müssen die technologischen Anforderungen von Speichersystemen in deren Anwendungsfeldern entsprechend entwickelt sein. Dafür werden in der Roadmap mögliche Anwendungsfälle von Speichertechnologien und die dafür erforderlichen Eigenschaften herausgearbeitet und nach einer Priorisierung die Anzahl der Anwendungsfälle reduziert bzw. in Anwendungsfelder geclustert.

Die Roadmap liefert für die neun identifizierten Anwendungsfelder, welche sich auf **vier wesentliche Anwendungsbereiche** (siehe Tabelle 3) zusammenfassen lassen, die notwendigen technologischen Anforderungen, Technologieoptionen für die Sektorkopplung sowie FTI-politische Maßnahmen.

Tabelle 3: Von der Roadmap behandelte Anwendungsbereiche und Anwendungsfelder

Anwendungsbereiche von Speichersystemen im Energiesystem
Saisonaler Ausgleich bei 100 % RES³ im Gesamtenergiesystem
Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung (Thermische Langzeitspeicher)
Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung (Elektrische Speicher > 1 Woche)
Optimierung und Flexibilität des Gesamtenergiesystems und der operativen Stabilität der Stromnetze

³ Mangels eines nationalen Szenarios für eine regenerative Energieversorgung wurde keine quantitative Betrachtung durchgeführt, sondern unter der Prämisse, eine 100 % erneuerbare Energieversorgung erreichen zu wollen, der Frage nachgegangen, welche Bedeutung ein Anwendungsfall für 100 % Erneuerbare haben würde und welche technische Anforderungen daraus ableitbar sind.

Kurzfristiger Ausgleich in elektrischen Netzen (Elektrische Speicher < 1 Tag)
Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen
Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie (in elektrischen Netzen)
Engpassmanagement (in elektrischen Netzen)
Optimierung und Flexibilität lokaler Energiesysteme
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (für Gebäude und Wärmenetze)
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (für Industrie)
Industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung
Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzen
Elektromobilität

Teil 2: Roadmap und FTI-politische Maßnahmen

Die Roadmap liefert eine inhaltliche Grundlage für zukünftige Ausschreibungen des Klima- und Energiefonds im Rahmen des zur Verfügung stehenden Portfolios direkter Fördermaßnahmen für Grundlagenforschung, industrielle Forschung, experimentelle Entwicklung und Marktüberleitung. Ebenso werden andere Förderinstrumente und Maßnahmen, wie beispielsweise Forschungsinfrastruktur oder Vernetzungsaktivitäten, ausgewiesen. Weiters werden Fragen und Themen aufgezeigt, die durch Sondierungsstudien, sozioökonomische Studien und F&E-Dienstleistungen bearbeitet werden können.

Die Schwerpunktsetzungen der Roadmap beruhen auf der funktionalen Bedeutung der Technologien für die wichtigsten Anwendungsbereiche und -felder zur Erreichung einer 100%ig erneuerbaren Energieversorgung sowie auf den Stärken der innovierenden Unternehmen in Österreich.

Aufgrund der ambitionierten klima- und energiepolitischen Zielsetzung, Speichertechnologien für eine nachhaltige Energiewende zu fördern, gilt es eine intelligente Kombination aller FTI-politischen Maßnahmen und Instrumente zum Einsatz zu bringen. Dies ist vor allem deswegen wichtig, weil die Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Industrie in diesem dynamischen Bereich durch ein adäquates Innovationsökosystem unterstützt werden soll.

Empfehlungen der Speicher-Roadmap für die FTI-Agenda des Klima- und Energiefonds

Da die Klima- und Energiestrategie für Österreich während der Erstellung dieser Roadmap noch nicht fertiggestellt war, war eine effektivere Fokussierung der Roadmap auf wissenschaftlich fundierte und den Nachhaltigkeitskriterien entsprechende Transformationspfade nicht möglich. So wird anstelle einer Quantifizierung der erforderlichen Speicherkapazitäten ein technologischer Fokus auf die erforderlichen Eigenschaften von Speicher gelegt. Die Abschätzung der Relevanz der einzelnen Technologien wird daher auf Basis einer grundsätzlichen technischen Eignung getroffen, wobei herausgearbeitet wird, welche Anwendungsfelder für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung erforderlich sein werden.

- **Schwerpunkt auf industrielle Forschung und experimentelle Entwicklung**

In der gegenwärtigen Phase der Energiewende sind die identifizierten Schwerpunktthemen industrielle Forschung und experimentelle Entwicklung. In einzelnen Bereichen wurden bereits Maßnahmen zur Marktüberführung vorgeschlagen. Im Rahmen der Workshops wurde der Bedarf nach Grundlagenforschung als eher gering klassifiziert und daher kommen Themen der Grundlagenforschung weniger vor. Dies entspricht auch weitestgehend den strategischen Schlussfolgerungen, wie sie aus den untersuchten Roadmaps im internationalen Vergleich hervorgehen.

Pumpspeicher zählen zu den am weitesten entwickelten Technologiebereichen. Aufgrund der relativen Spezialisierung in Österreich sind hier insbesondere Maßnahmen zur Marktüberleitung sinnvoll.

Technologieoptionen für die Grundlagenforschung liegen beispielsweise in neuen Materialien für thermochemische Wärmespeicher, Tieftemperaturspeicher mit Phasenwechselmaterialien und Batteriesystemen im Mobilitätsbereich.

- **Schwerpunkte direkter FTI-Förderungen in den Anwendungsbereichen**

... **saisonalen Ausgleich:** Der saisonale Ausgleich bei 100 % RES im Gesamtenergiesystem mit mehrwöchiger Speicherung bildet nach Einschätzung der meisten ExpertInnen die größte Herausforderung in der Energiewende. Batterietechnologien spielen hier kaum eine Rolle. Zu diesem Anwendungsbereich wird empfohlen, folgende Technologieoptionen in den Fokus der direkten FTI-Förderung zu stellen: Pumpspeicherkraftwerke, Power-to-Gas (Methanisierung, Elektrolyse), Gas-to-Power, große thermische Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (Phase

Change Material – PCM), Thermochemische Wärmespeicher (Thermo Chemical Material – TCM) und Power-to-Heat.

... **Gesamtenergiesystem und Stabilität der Stromnetze:** Im Anwendungsbereich „Optimierung und adäquate Flexibilität des Gesamtenergiesystems und der operativen Stabilität der Stromnetze“ wurden die folgenden Technologieoptionen als relevant identifiziert: Wasserspeicher, Power-to-Gas (einschließlich Wasserstoff), Power-to-Heat, Pumpspeicher, Batteriesysteme, Gas-to-Power, Heat-to-Power und kleine Blockheizkraftwerke.

... **lokale Energiesysteme:** Für das Thema „Optimierung und adäquate Flexibilität lokaler Energiesysteme, sowohl im Bereich von Gebäuden, lokalen Wärme- und Stromnetzen, Industrie und Mobilität“ wurden folgende Technologieoptionen als relevant identifiziert: Um diese lokalen funktionalen Herausforderungen technologisch anzugehen, sind im Bereich der Wärme vorwiegend Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM), Dampfspeicher, Hochtemperatur-Feststoffspeicher-Lösungen zu entwickeln. Batteriesysteme (Lithium-Ionen Akkumulatoren, Post-Lithium-Ionen-Akkumulatoren) sind Technologieoptionen im Bereich Heimanwendungen und andere gemeinschaftliche Nutzung erneuerbarer Energie und Stabilisierung lokaler Stromnetze.

Im Bereich der Batterien standen aufgrund der relativen Unterspezialisierung weniger die elektrochemischen Komponenten im Vordergrund als vielmehr die Ebene der Batteriesysteme einschließlich Sensorik, Steuerung, Sicherheit etc.

... **Mobilität:** Der Anwendungsfall „Nutzung von Speichersystemen zur 100%-Nutzung erneuerbarer Energie im Bereich der Mobilität“ umfasst primär die Technologieoptionen Brennstoffzelle (Gas-to-Mobility), Vehicle-to-Home, Power-to-Mobility, Power-to-Heat und Liquid-to-Mobility. Hoher Bedarf wird nicht nur bei der Weiterentwicklung und Marktüberführung der entsprechenden Fahrzeuge bzw. deren Speicher selbst gesehen, sondern auch bei Schnittstellen zum Netz, Regulatorien und Standardisierung.

- **Transition, Veränderung der Marktstrukturen, Regulierungen**

Obwohl die Roadmap technologieorientiert ist und daher die durchgeführten Workshops auf FTI-politische Maßnahmen fokussierten, wurden in diesem Zusammenhang auch Fragen aufgeworfen, die langfristig eine Veränderung der Marktstrukturen und Regulierungen sowie der sozialen Dimension der Energiewende thematisieren. Da diese für die Entwicklung neuer technologischer Lösungen und Innovationen zentrale sozio-technische Rahmenbedingungen bilden, ist deren

wissenschaftliche Aufarbeitung durch transdisziplinäre Forschung in Kollaboration von geistes-, sozial- und kulturwissenschaftlicher Forschung von ebenso großer Bedeutung.

Insbesondere Fragestellungen zu den folgenden Themen werden als relevant eingeschätzt:

- Gestaltung institutioneller und regulatorischer Rahmenbedingungen
- Entwicklung von Business-Modellen für Unternehmen aus dem Bereich etablierter Akteursgruppen und Start-ups
- kooperative Business-Modelle (betrifft auch Public-private Partnerships) sowie „Missionsmodelle“ der Akteure in der Daseinsvorsorge auf unterschiedlichen territorialen Ebenen (von der nationalen bis zur Gemeindeebene)
- Technikfolgenabschätzung
- Sozioökonomische und kulturelle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung technologischer Lösungen, wie beispielsweise gesellschaftliche Akzeptanz großer Speicherprojekte
- Sozio-technische Szenarien und Modellierungen als Entscheidungsgrundlagen, um zu klären, welche Transformationspfade aus sozioökonomischen und gesellschaftspolitischen Gesichtspunkten in Österreich bei der Energiewende reüssieren können; beispielsweise: Wie viel Kapazitäten braucht es, um ein System mit 100 % RES stabil und resilient zu betreiben?

Spotlights und Reflexion

Neben den Technologien und Anwendungsfeldern sowie FTI-politischen Maßnahmen für Energiespeichersysteme lassen sich aus der Arbeit folgende Punkte besonders herausstellen:

- **Speicherinitiative – Basis für Speicher-Roadmap**

Die Speicher-Roadmap baut auf den Ergebnissen der Speicherinitiative (<http://speicherinitiative.at/>) aus den Jahren 2015/16 auf. In sechs Arbeitsgruppen wurden in der Speicherinitiative wertvolle Vorarbeiten geleistet, auf deren Basis eine Fokussierung anhand der klima- und energiepolitischen sowie forschungs-, technologie- und innovationspolitischen Zielsetzungen erfolgen konnte.

- **Sektorübergreifende funktionale Schwerpunktsetzung**

Einzig- und neuartig in dieser Konstellation war die sektor- und disziplinenübergreifende Zusammensetzung der Arbeitsgruppen in zwei Workshops im Oktober und November 2017. Dadurch wurde es möglich, den Bedarf an Forschung, Technologie und Innovation zu Speicherlösungen an den funktionalen Erfordernissen und Herausforderungen bei der Integration

von 100 % erneuerbarer Energie in das österreichische Energiesystem auszurichten. Auch die integrierte Betrachtung der notwendigen Sektorkopplungen in den primären Anwendungsfeldern wurde damit möglich.

- **Relative Spezialisierung in Österreich bei Pumpspeichertechnologien und thermischen Speichern – Hidden Champions**

Die Analyse der relativen Spezialisierung Österreichs in der Patentierung von Speichertechnologien zeigte eine unterdurchschnittliche Spezialisierung im Bereich der Batteriekomponenten, jedoch eine Stärke bei Pumpspeichertechnologien und thermischen Speichern. Hier sind auch Hidden Champions in Österreich zu finden.

- **Pumpspeicherlösungen – multifunktional**

Pumpspeicherlösungen sind sowohl für die kurz- und mittelfristige Flexibilität des österreichischen Energiesystems als auch für den saisonalen Ausgleich bei 100 % erneuerbarer Ressourcen im Gesamtenergiesystem optimal einsetzbar. Im Fahrwasser dieser Anwendungsfelder lassen sich gleichzeitig auch andere Funktionen im Energiesystem erfüllen.

- **Langfristige bzw. saisonale Speicherung bei 100 % Erneuerbaren**

In den durchgeführten Workshops wurde deutlich, dass saisonale Speicherung als wichtigste Herausforderung anzusehen ist. Die notwendigen Speicherkapazitäten zu schaffen, wird durch die volatile Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie bei einem 100%-Anteil zur vordringlichsten Herausforderung.

- **Klima- und Energiestrategie – hilfreich für weitere Schwerpunktsetzung**

Implizit geht die Roadmap von der Annahme aus, dass langfristig der Bedarf nach allen Arten von Speichertechnologien sehr groß sein wird und daher eine breite Palette an Technologien und Innovationen gefördert werden sollte. Häufig wird jedoch auch gefordert, Schwerpunktsetzung zu betreiben, um Fördermittel effizient einzusetzen. Hilfreich dafür wären klima- und energiepolitische Leitlinien und strategische Transformationspfade. Darauf aufbauend könnte in Zukunft eine weitere Priorisierung der Technologien durchgeführt werden.

- **Defizit langfristiger Strategien und sozio-technischer Szenarien**

Es besteht die konsensuale Einschätzung, dass die Umsetzung von Lösungen massiv durch den Mangel an (orchestrierten) Strategien und gemeinsamen Vorstellungen zu soziotechnischen Szenarien verlangsamt wird, obwohl Technologien in vielen Bereichen grundsätzlich verfügbar sind.

- **Wunsch nach Vernetzung und einem sektorübergreifenden Innovationsökosystem**

Die Akteure und Stakeholder zeigten großes Interesse an einer weiterführenden Zusammenarbeit, um in Österreich ein sektorenübergreifendes Netzwerk und ein effektives Innovationsökosystem zur Entwicklung der zukünftigen Speichersysteme zu etablieren.

1 Einführung

1.1 Motivation

In der Transition hin zu einer dekarbonisierten Energieversorgung stehen Speicher derzeit im Fokus zweier zentraler Themenbereiche:

- Mit der fortschreitenden Implementierung und Durchdringung intermittierender, erneuerbarer Erzeugungsanlagen (wie Photovoltaik und Wind) gewinnen Fragestellungen zum Ausgleich von Erzeugung und Bedarf sowie zur Sicherung der Systemstabilität, Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität an Bedeutung für die Energieversorgung. Elektrische und thermische Speicher werden dabei als zentrale Komponenten gesehen.
- Für die Dekarbonisierung des Verkehrs sind passende Speichersysteme eine der Schlüsselkomponenten einer erfolgreichen Umsetzung. Derzeit werden vor allem elektrochemische Speicher (wie Li-Ionen-Systeme) und chemische Speicher (Wasserstoff, erneuerbares Erdgas) erprobt.

Sowohl bei der technologischen Entwicklung als auch in den relevanten Märkten nimmt derzeit die Dynamik zu. Aufgrund der Vielzahl der potenziellen Speichertechnologien und Einflussfaktoren ist derzeit aber eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung nicht einfach. Es bedarf eines strukturierten Prozesses, der internationale und nationale Arbeiten erfasst und relevante Schlussfolgerungen sowie Empfehlungen für die Entwicklung in Österreich ableitet. Dabei soll beantwortet werden, welche Rolle Speicher in einer Energiezukunft mit 100 % erneuerbarer Energieversorgung spielen können.

1.2 Ziele der Roadmap

Im April 2017 wurde die ENERGIE Forschungs- und Innovationsstrategie des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) und des Klima- und Energiefonds (KLIEN) veröffentlicht, in der Umwandlungs- und Speichertechnologien im Themenfeld 5 speziell hervorgehoben werden (vgl. Abbildung 1, links) [1]. Speichertechnologien, die sowohl elektrische als auch thermische, mechanische, chemische und elektrochemische Speicher umfassen, sollen zukünftig wichtige Bausteine eines integrierten Energiesystems (vgl. Abbildung 1, rechts) darstellen, wobei die optimale Wahl und Kopplung von Speichertechnologien hinsichtlich der systemischen Perspektive zu beachten ist.

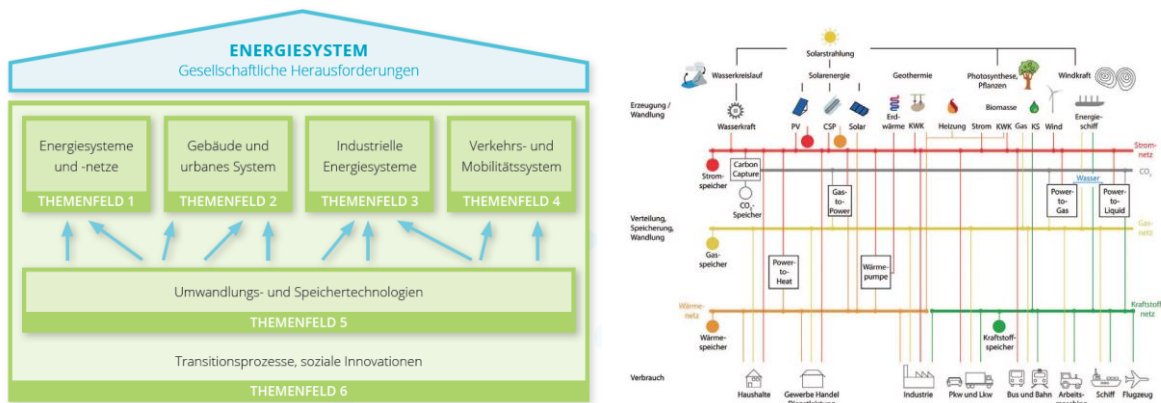


Abbildung 1: Themenfelder der Energieforschung (links) – Energiespeicher als Kernelement der Sektorkopplung (rechts) [1]

Ziel dieser Roadmap ist es, aufbauend auf den Ergebnissen der Speicherinitiative des Klima- und Energiefonds⁴ zur Umsetzung dieses thematischen Schwerpunktes der ENERGIE Forschungs- und Innovationsstrategie beizutragen. Dadurch soll einerseits die österreichische Energiezukunft sichergestellt bzw. der Weg für eine österreichische erneuerbare Energiezukunft geebnet werden. Andererseits kann die österreichische Technologieentwicklungskompetenz für einen globalen Zielmarkt abgesichert werden. Als Leitdimension werden Speicher im Kontext zweier relevanter Themenbereiche untersucht und spezifische Handlungsempfehlungen erarbeitet:

1. Rolle und Relevanz von Speichersystemen in einer zukünftigen Energieversorgung mit 100 % erneuerbaren Energien: Es werden die großen Handlungsfelder (Strom, Wärme und Verkehr) sowie die Auswirkungen auf die Bereiche Energieinfrastruktur, industrielle Prozesse und Gebäude gleichermaßen berücksichtigt, wobei die Betrachtung von Synergien und Wechselwirkungen zwischen den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr von großer Bedeutung sind.
2. Positionierung und Stärkung der österreichischen Industrie und deren Technologieentwicklungskompetenz in diesem dynamischen und weltweiten Zukunftsmarkt.

Das Ziel der Roadmap ist damit auch, ein strategisches Entscheidungsinstrument der Energietechnologiepolitik und der Energiewirtschaft bereitzustellen, um die Voraussetzungen dafür schaffen zu können, dass Österreich Leitanbieter für Strom- und Wärmespeicher wird.

⁴ <http://speicherinitiative.at/>

1.3 Der Entwicklungsprozess der Technologie-Roadmap

Die Technologie-Roadmap wurde in vier Schritten erstellt (vgl. Abbildung 2), welche nachfolgend beschrieben werden.

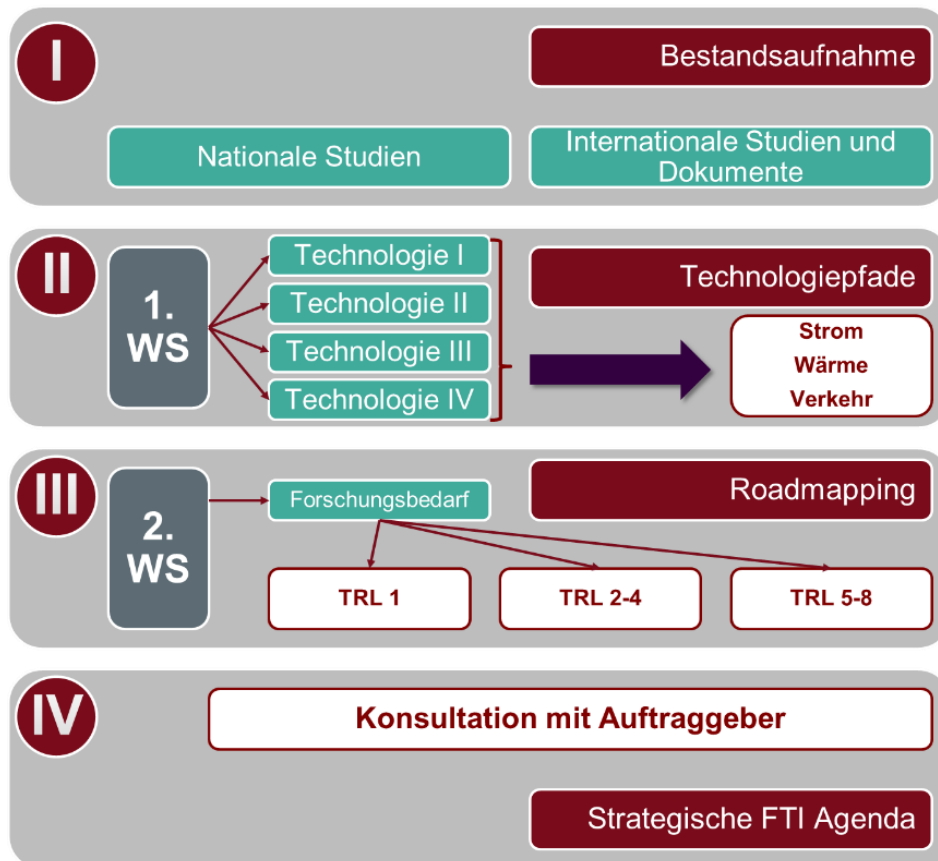


Abbildung 2: Prozess zur Erarbeitung der Österreichischen Technologie-Roadmap für Energiespeichersysteme

1.3.1 Bestandsaufnahme

Im ersten Schritt wurden bestehende Analysen, Dokumente und Arbeiten zu Speicherentwicklungen sowie internationale Speicher-Roadmaps identifiziert und auf die Relevanz für Österreich untersucht. Ebenso wurde eine Patentanalyse durchgeführt. Ein spezieller Fokus liegt dabei auf folgenden nationalen und internationalen Arbeiten:

- **International:** Studien und Roadmaps der internationalen Energieagentur [2] und weiterer internationaler Netzwerken (z. B.: IRENA) sowie Patentdaten der REGPAT Datenbank der OCED [3]

- **Europäisch:** Arbeiten im Zuge des SET-Plans (z. B. Grid+ [4], Grid+Storage, SET-Plan Indikatoren⁵), relevante Aspekte aus dem „Winter Package“ (COM(2016) 860 von DG Energy) und Arbeiten in der European Energy Research Alliance [5] [6]
- **National:** Der „Abschlussbericht der Speicherinitiative Startphase“ [7], die nationale ENERGIE Forschungs- und Innovationsstrategie des bmvit und Klima- und Energiefonds [1], Auswertungen aus laufenden und abgeschlossenen nationalen Projekten sowie anderer aktueller und spartenübergreifender Studien und Arbeitspapiere

Der erste Schritt wurde mit einem Arbeitspapier abgeschlossen, das sich aus den Ergebnissen der Desk-Research-Aktivitäten sowie der ExpertInnenbefragungen zusammensetzt. Das Arbeitspapier wurde vor dem Workshop an die TeilnehmerInnen verteilt und diente damit als Grundlage für die Diskussionen, aber auch für die weiteren Schritte und ist in die Erstellung der Roadmap eingeflossen.

1.3.2 Technologiepfade und Zielerreichung

Im zweiten Schritt, der partizipativen Projektphase, wurden relevante Stakeholder zu einem Workshop eingeladen, bei dem der Frage nachgegangen wurde, welche Technologiepfade zur Zielerreichung beitragen können und welche Schritte dazu rückblickend bis zur Gegenwart erforderlich sind (Backcasting, ausgehend von bestehenden Klima-Energie- und forschungs-, technologie- und innovationspolitischen Zielen und Rahmenszenarien). Die Fragen wurden mit mehr als 50 ExpertInnen aus Wirtschaft und Forschung in einem eintägigen Stakeholder-Workshop diskutiert und relevante Technologiepfade erarbeitet. Die Auswahl der ExpertInnen wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber getroffen und setzte sich unter anderem aus Personen zusammen, die bereits in die Speicherinitiative eingebunden waren, ergänzt durch ExpertInnen, die in den vergangenen Jahren an relevanten Forschungsprojekten zum Thema Speicher mitgewirkt hatten.

Die zentrale Fragestellung des Workshops war eine strukturierte Bedarfserhebung, wie das Ziel einer zukünftigen Energieversorgung mit 100 % erneuerbaren Energien erreicht werden kann.

Folgende Fragen wurden behandelt:

- Wie hoch ist die Erwartung, dass einzelne Anwendungen für Speicher in den kommenden zehn Jahren in Österreich Anwendung finden?

⁵ <https://setis.ec.europa.eu/setis-output/energy-technology-reference-indicators>.

- Wie wichtig ist der Anwendungsfall für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung?
- Welche Eigenschaften muss eine Speichertechnologie aufweisen, um für die relevanten Anwendungsfälle geeignet zu sein (Ansprechzeit, Energiedichte etc.)?

Diese Fragen wurden für Speicher und Anwendungsfälle, welche im vorangegangenen Schritt identifiziert wurden, durchgeführt. Es wurden drei Hauptkategorien von Speichern behandelt:

1. Stationäre elektrische Speicher
2. Stationäre thermische Speicher
3. Mobile Speicher

Diesen wurden die jeweiligen Anwendungsfälle zugeordnet. Die Kategorien sowie die Anwendungsfälle wurden zur Diskussion gestellt. Von den TeilnehmerInnen eingebrachte Vorschläge wurden ebenfalls aufgenommen und bewertet. Die Anforderung an die Speichertechnologien sowie das Backcasting wurden für ausgewählte, wichtige Anwendungsfälle erarbeitet. Dazu wurden die Einsatzbereiche, die für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung relevant sind (1. Frage), aber eine geringe Einsatzerwartung haben (2. Frage), vor jenen gereiht, die relevant sind und bereits eine hohe Einsatzerwartung aufweisen. An letzter Stelle stehen jene Anwendungsfälle, die nichts zur 100%ig erneuerbaren Energieversorgung beitragen und eine geringe Einsatzerwartung haben.

1.3.3 FTI-politische Maßnahmen

Im dritten Schritt wurden im Rahmen eines weiteren Workshops Art und Bedarf der Forschung sowie der zeitliche Verlauf des F&E-Prozesses erarbeitet. Die über 20 TeilnehmerInnen aus dem zweiten Workshop setzten sich aus ExpertInnen aus den Bereichen der universitären, außeruniversitären und industriellen Forschung und Entwicklung zusammen.

Der erste Teil des Tagesprogramms beschäftigte sich mit Sektorkopplungstechnologien, da die Schnittstellen zwischen Strom-, Wärme- und Gasnetz sowie Mobilität für die Roadmap von großer Bedeutung sind. Daher wurden analog zum ersten Workshop Anwendungsfälle für Sektorkopplungen erarbeitet. Diese wurden mit den ExpertInnen diskutiert, bewertet und priorisiert.

Im zweiten Teil des Workshops fand die Zuordnung der FTI-politischen Maßnahmen für die priorisierten Anwendungsfälle mit Berücksichtigung der Sektorkopplungen statt. Als Grundlage für die Entwicklung der Roadmap wurden anschließend Anwendungsfälle zu Anwendungsfeldern geclustert und beurteilt. Hieraus wurden geeignete direkte Fördermöglichkeiten für Forschung, technologische Entwicklung und Innovation (FTI) anhand des Technologiereifegrads (TRL)

identifiziert. Dafür wurden die direkten FTI-Förderungen der Grundlagenforschung (TRL 1), industriellen Forschung (TRL 2 bis TRL 4) und experimentellen Entwicklung (TRL 5 bis TRL 8) sowie der Marktüberleitung (TRL 9) unterschieden und festgelegt, welche dieser Maßnahmen auf der Zeitachse von 2018 bis 2030 erforderlich sind. Basis für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ist die Bestimmung zeitlicher Entwicklungsschritte. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Marktüberleitung zwei Jahre vor der eigentlichen Markteinführung gemacht werden muss. Darüber hinaus wurden weitere FTI-politische Maßnahmen (z. B.: Vernetzung, Investitionsanreize etc.), welche zur Erreichung der klima- und energiepolitischen sowie industriepolitischen Zielen getroffen werden sollten, identifiziert, um Markt- und strukturellem Innovations-Systemversagen entgegenzuwirken.

1.3.4 Struktur und Aufbau der Roadmap

Entsprechend den zu Beginn formulierten Zielen und dem dargestellten Prozess zur Erstellung der Roadmap lässt sich diese in zwei Teile gliedern. Im ersten Teil der Roadmap werden die Technologien und Anwendungsfelder aufgezeigt und beschrieben und im zweiten Teil die erforderlichen FTI-politischen Maßnahmen herausgearbeitet.

Mit einer Patentanalyse wird zu Beginn im Kapitel 2 die Innovationskraft Österreichs analysiert. Dabei wird mit einem Rückblick auf die grundsätzliche Entwicklung der Energiespeicherpatente eingegangen und dann im internationalen Vergleich die Rolle sowie die Spezialisierung Österreichs aufgezeigt. Mit einer Gliederung in Stromspeicher und Wärme-/Kältespeicher werden in Kapitel 3 die Ergebnisse der Speicherinitiative [7] systematisiert und ergänzt und dabei aktuelle Einschätzungen in Bezug auf Produktion/Assembling, Kompetenzen, Exportpotenzial und Forschungswissen sowie Technology Readiness Level (TRL) zusammengestellt. In diesem Kapitel werden auch die Kopplungen der verschiedenen Sektoren dargestellt und deren Bedeutung für Österreich beschrieben. Im Anhang sind alle abgefragten Tabellen (Kapitel 8.1) sowie erzielten Ergebnisse und Bewertungen der potenziellen Anwendungsfälle (ab Kapitel 8.2) ersichtlich. Die Bewertungen sowie die Priorisierung der einzelnen Anwendungsfälle sind in Kapitel 8.2 ersichtlich.

Im Kapitel 4 wird die Schwerpunktsetzung im internationalen Vergleich angestellt, um einerseits die Bestätigung von nationalen Überlegungen aufzuzeigen, aber auch um deutlich zu machen, wo nationale Schwerpunktsetzung überlegenswert ist. Das Kernstück der Arbeit stellen die in Kapitel 5 erarbeiteten Roadmaps zu den Anwendungsfeldern für Speichertechnologien dar. Neben einer prinzipiellen Beschreibung der Anwendungsfelder, die auch die technologischen Anforderungen und Ziele beschreiben, werden die direkten und sonstigen FTI-politischen Maßnahmen für die Zukunft herausgearbeitet. Die Bewertungsergebnisse der priorisierten Anwendungsfälle mit

Berücksichtigung der Sektorkopplungen sind in Kapitel 9 ersichtlich. Abgeschlossen wird die Roadmap mit allgemeinen Handlungsempfehlungen und einer Zusammenfassung der Empfehlungen entlang der identifizierten Anwendungsfelder.

1.4 Rahmenbedingungen und Einschränkungen

Relevante Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Roadmap sind:

- **Fehlendes nationales Szenario für eine regenerative Energieversorgung:** Zur Zeit der Erarbeitung der Roadmap gab es in Österreich kein offizielles bzw. abgestimmtes Szenario, welches relevante Eckpunkte für eine vollständig regenerative Energieversorgung definiert. Dazu zählen Zeitraum, Verteilung auf Erzeugungstechnologien und Aspekte der Systemintegration. Ausgehend davon gehen die Einschätzungen der einzelnen ExpertInnen hinsichtlich Relevanz, Einsatzerwartung und Anlagengröße teils stark auseinander. In diesem Zusammenhang wird beispielsweise die Frage, wie sehr die Dezentralisierung in Zukunft ausgeprägt sein wird, intensiv diskutiert. Dies hat insofern Auswirkung auf die Roadmap, als dass mehrere Entwicklungspfade und Schwerpunktsetzungen in der Roadmap sichtbar sind.
- **Bestehende Speicherpotenziale:** Eine Quantifizierung der bestehenden und nutzbaren Potenziale wäre für die Erstellung dieser Roadmap von Vorteil, vor allem in Bezug auf die Schwerpunktsetzung aus klima- und energiepolitischer Sicht. Da solche Studien derzeit noch nicht verfügbar sind, wurde die Abschätzung der Relevanz der einzelnen Technologien auf Basis einer grundsätzlichen technischen Eignung getroffen.
- **Einfluss des globalen Innovationssystems:** Speichertechnologien werden heute global entwickelt und eingesetzt. Österreich ist zu einem gewissen Teil stark von diesen Entwicklungen abhängig (z. B. Lithium-Batterien). Diese globalen Entwicklungen können nicht im Detail vorhergesagt werden. Die sich ändernden globalen Entwicklungen können starken Einfluss auf die Themen der Speicher-Roadmap haben und auch eine Anpassung der Ziele notwendig machen.
- **Disruptive Entwicklungen:** Die Roadmap umfasst vor allem notwendige Entwicklungen, die von ExpertInnen auf Basis erwartbarer Entwicklungspfade definiert wurden. Zugleich muss jedoch die Möglichkeit disruptiver bzw. unerwarteter Entwicklungen ermöglicht bzw. eingeplant werden.
- **Beachtung erneuerbarer Energieträger:** Insbesondere für Sektorkopplungen zwischen Strom und Gas bzw. Wärme kann der Ausgangsenergieträger fossil sein. In diesem Zusammenhang werden Sektorkopplungen nur unter Beachtung erneuerbarer Energieträger

betrachtet. So ist die Wiederverstromung nur mit aus erneuerbaren Quellen produziertem Methan oder Wasserstoff Gegenstand der Betrachtung.

2 Österreichs Innovationskraft im Bereich der Energiespeichersysteme

Die bestehende Innovationskraft eines Landes in einem Technologiebereich kann an den Patentaktivitäten der Industrie gemessen werden. Daher lässt sich Österreichs Innovationskraft für den Bereich der Energiespeichersysteme im internationalen Vergleich gut darstellen⁶. Der für die Roadmap relevante Technologieraum wird dafür seit einigen Jahren durch eine geeignete Patentklassifizierung mit klimapolitisch relevanten, sektorübergreifenden Patentgruppen abgebildet. Dadurch wird es möglich, komparative Wettbewerbsvorteile einzelner Länder zu analysieren.

Folgende Patentgruppen der Cooperative Patent Classification (CPC) [8] wurden herangezogen, um den Bereich der Energiespeichersysteme abzubilden (Anmerkung: die in den nachfolgenden Punkten verwendeten englischen Begriffe wurden für die CPC verwendet und werden nicht übersetzt dargestellt, um die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu erhalten):

- **Energy Storage**⁷: darunter fallen **Batteries** (mit den Untergruppen: Battery Technology, Lithium-ion Batteries, Alkaline Secondary Batteries, Lead-acid Batteries und Hybrid Cells)⁸; **Capacitors**⁹; **Thermal Storage**¹⁰; **Pressurised Fluid Storage**, **Mechanical Storage** und **Pumped Storage**
- **Hydrogen Storage**¹¹
- **Fuel Cells**¹²

Zunächst wurde die Anzahl der Anmeldungen von Energiespeicherpatenten im Rahmen des weltweiten Patentschutzvertrags (PCT – Patent Cooperation Treaty) [9] [10], basierend auf der REGPAT Datenbank der OCED [3] im Zeitverlauf sowie im Ländervergleich analysiert. Anschließend wurde der Grad der Spezialisierung der österreichischen Akteure im internationalen Vergleich ausgewertet.

⁶ Mithilfe der Y-Sektion (Identifizierung von neu entstehenden und sektionsübergreifenden Technologien) der Gemeinsamen Patentklassifizierung (Cooperative Patent Classification bzw. CPC-System) können Energiespeicherpatente innerhalb der „*Enabling technologies or technologies with a potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation*“ (CPC-Hauptgruppe Y02E 60/00) eindeutig identifiziert werden.

⁷ CPC-Y02E 60/10.

⁸ CPC-Y02E 60/12 Battery Technology (hierunter fallen Technologien, die in keine der weiteren Untergruppen fallen), CPC-Y02E 60/122 Lithium-ion Batteries, CPC-Y02E 60/124 Alkaline Secondary Batteries, e.g. NiCd or NiMH, CPC-Y02E 60/126 Lead-acid Batteries und CPC-Y02E 60/128 Hybrid Cells.

⁹ Ultracapacitors, Supercapacitors, Double-layer Capacitors.

¹⁰ Sensible Heat Storage, Latent Heat Storage, Cold Storage.

¹¹ CPC-Y02E 60/32.

¹² CPC-Y02E 60/50.

2.1 Entwicklung der Energiespeicherpatente

Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Patentierungen in den beschriebenen Technologiegruppen weltweit und in Österreich (Werte in Klammer) in Vier-Jahres-Perioden von 1993 bis 2012¹³. In diesem Zeitraum hat sich die Anzahl der angemeldeten Energiespeicherpatente weltweit von etwa 300 auf über 3.000 pro Jahr verzehnfacht. Je rund 40 % dieser Patente entfallen dabei auf *Batteries*, insbesondere *Lithium-ion Batteries* sowie *Fuel Cells*. Weitere 9 % entfallen auf *Capacitors*.

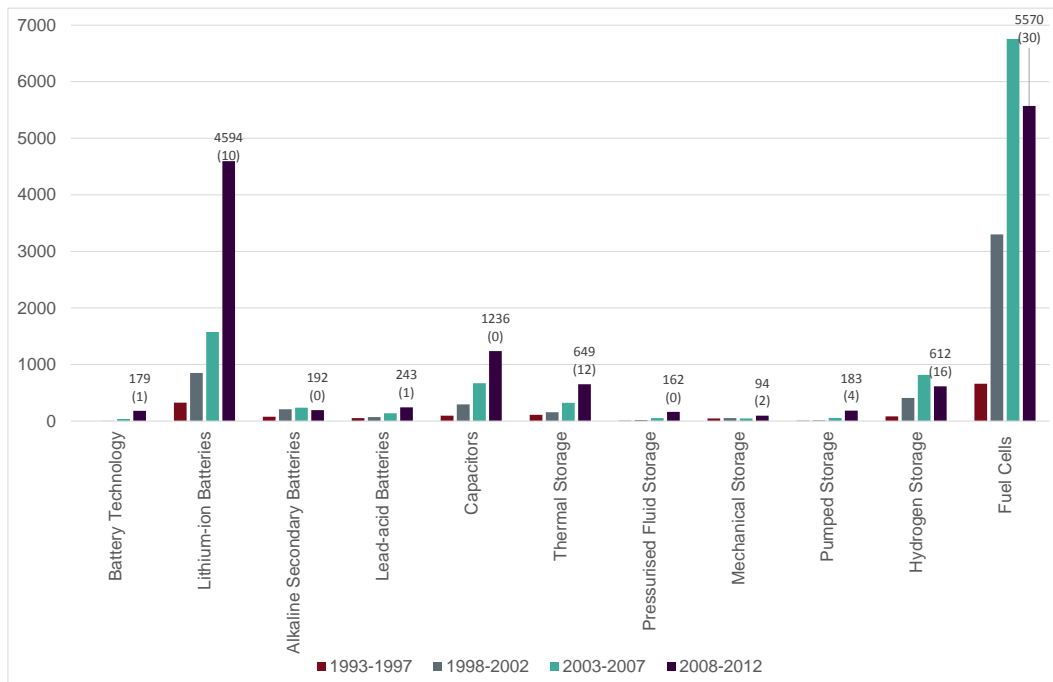


Abbildung 3: Energiespeicherpatente weltweit (und in Österreich) – Auswertung von AIT basierend auf der REGPAT [3]

Der starke Zuwachs an Patenten im Bereich der Batterien ist dabei weltweit nicht gleichmäßig über alle Technologien verteilt. *Lithium-ion Batteries* haben, sowohl in Bezug auf Wachstum (Verdreifachung zwischen den Perioden 2003-07 und 2008-12) als auch die absolute Anzahl (4.594 PCT-Patentanmeldungen in der Periode 2008-12) international eine herausragende Bedeutung. Im Verhältnis dazu machen andere Batterietechnologien nur einen Bruchteil der gesamten Gruppe aus. *Lead-acid Batteries* (243 PCT Patentanmeldungen in der Periode 2008-12) weisen nur ein durchschnittliches Wachstum auf und die Anzahl der Patente zu *Alkaline Secondary Batteries* war zuletzt leicht rückläufig. Wie in Abbildung 3 an den Zahlen in Klammer zu sehen ist, spielt Österreich im Vergleich zu weltweiten Patentieraktivität in *Batteries* eine verschwindend kleine Rolle (12 zu 5.208 PCT-Patentanmeldungen in der Periode 2008-12).

¹³ Zum Zeitpunkt der Analyse standen keine aktuelleren Daten zur Verfügung, da von Patentanmeldung bis zur Veröffentlichung der statistischen Daten mehrere Jahre vergehen.

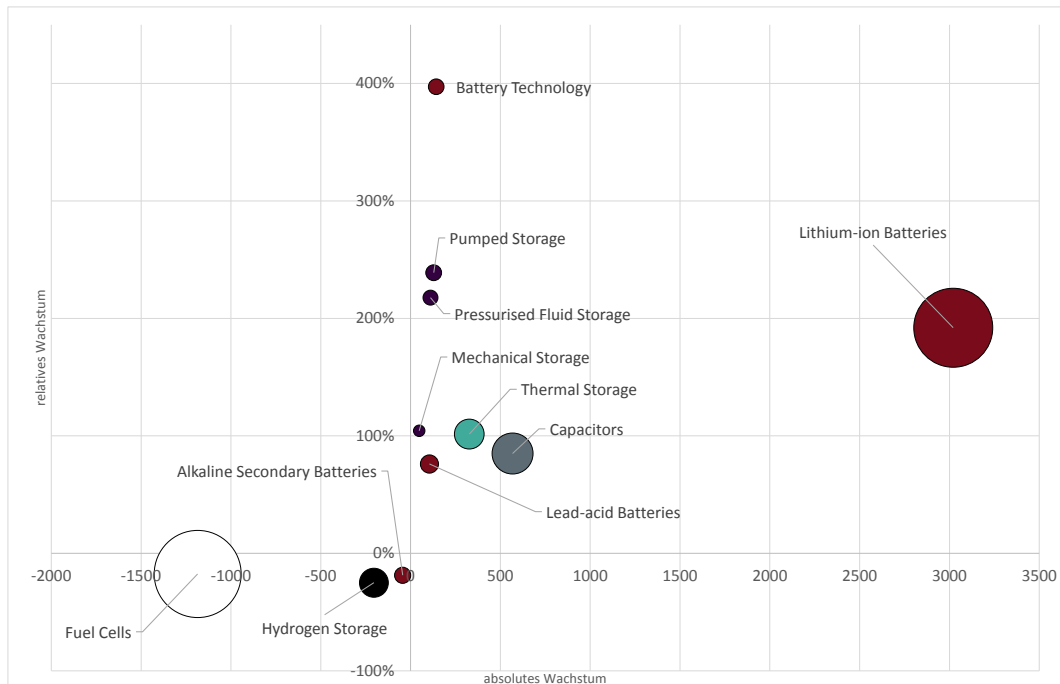


Abbildung 4: Absolutes und relatives Wachstum weltweit (2003-2007 zu 2008-2012) – Auswertung von AIT basierend auf der REGPAT [3]

In Bezug auf die Dynamik der Patentierungen besteht ein großer Unterschied zwischen den meisten Batterietechnologien einerseits und *Fuel Cells* sowie *Hydrogen Storage* andererseits, wie Abbildung 4 verdeutlicht. Die Zahl der *Fuel Cells* Patentanmeldungen ist seit 2007 rückläufig, allerdings auf immer noch hohem Niveau. Aus diesem Grund haben *Batteries* (d. h. alle Batterietechnologien zusammengenommen) im Jahr 2010 die *Fuel Cells* als Technologiegruppe mit den meisten Patenten innerhalb der Klasse der Energiespeicher abgelöst. Neben den *Fuel Cells* ist auch bei *Hydrogen Storage* zuletzt eine rückläufige Zahl an Patentanmeldungen pro Jahr zu beobachten.

Trotz der geringeren absoluten Zahl an Patentierungen weisen auch eine Reihe weitere Technologien sehr hohe relative Wachstumsraten auf, insbesondere *Thermal Storage*, *Pressurised Fluid Storage* sowie *Pumped Storage*. Wie unter 2.3 beschrieben, ist Österreich in diesen Technologien vergleichsweise hoch spezialisiert.

2.2 Energiespeicherpatente im Ländervergleich

Blickt man auf die Verteilung der Patente nach Ländern bzw. Weltregionen, so ist Japan (JP) das wichtigste Erfinderland in den drei größten Technologiegruppen *Batteries*, *Capacitors* und *Fuel Cells*. Daneben verfügt auch Südkorea (KR) insbesondere in *Batteries* über eine große Anzahl an Patenten. Über 70 % der weltweiten Patente in diesen drei Technologiegruppen entfallen auf Japan

und Südkorea. Sowohl die Europäische Union (EU-28), die USA (US) als auch der Rest der Welt (ROW), spielen in diesen Technologien eine untergeordnete Rolle. Im Gegensatz dazu entfallen jeweils 40 bis 50 % der weltweiten Patente in *Thermal Storage*, *Pressurized Fluid Storage*, *Mechanical Storage*, *Pumped Storage* und *Hydrogen Storage* auf die EU-28.

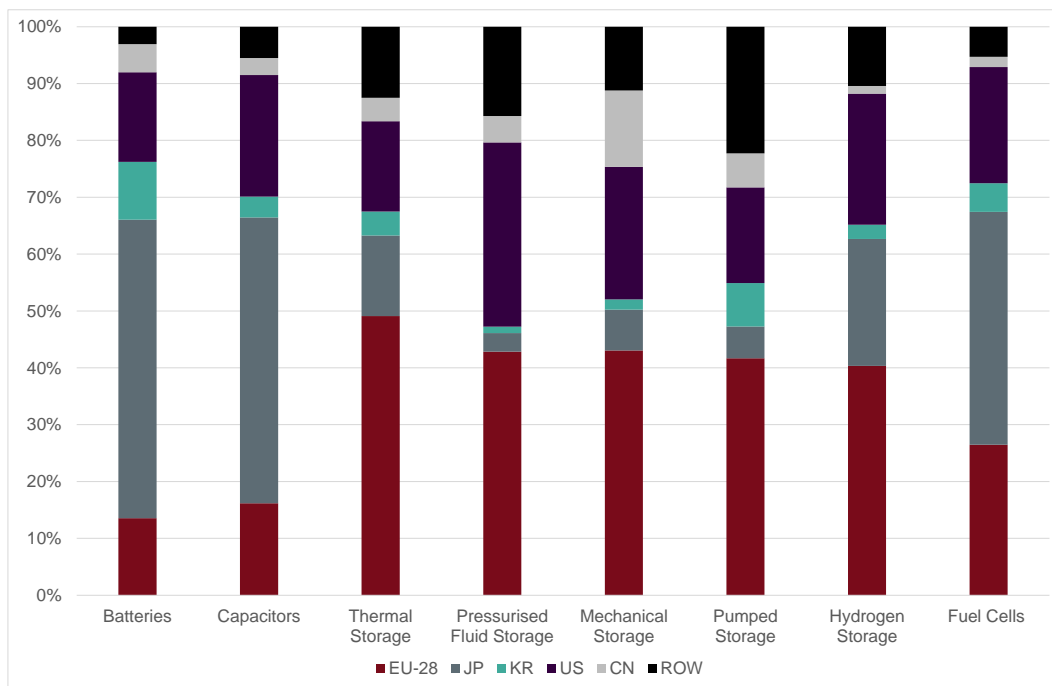


Abbildung 5: Länderverteilung je Speichertechnologie (seit 2008) – Auswertung von AIT basierend auf der REGPAT [3]

Österreich hat in diesem Vergleich einen Anteil von 0,8 % an allen Energiespeicherpatentierungen und ist daher in der Abbildung nicht berücksichtigt. Es zeigt sich hier jedoch ein ähnliches Muster wie für die EU-28. Der Anteil Österreichs an allen Patenten weltweit ist in den Technologien *Batteries* und *Capacitors* mit 0,2 % bzw. 0,0 % marginal, während der entsprechende Anteil in *Pumped Storage* (2,2 %) bzw. *Hydrogen Storage* (2,4 %) deutlich höher ist. Diese relative Spezialisierung Österreichs soll im Folgenden mit Hilfe einer Revealed-Comparative-Advantage (RCA)-Analyse, die der Messung von relativer technologischer Spezialisierung dient, im Detail betrachtet werden.

2.3 Österreichs Spezialisierung in Energiespeicherpatenten

Die Revealed-Comparative-Advantage (RCA)-Analyse ist eine Methode zur Erfassung von relativen technologischen Stärken und Schwächen von Ländern und Regionen (vgl. bspw. [11] [12] [13] S). Der Wertebereich des dafür verwendeten RCA-Index¹⁴ variiert um 1. Wird für ein Land ein Wert

¹⁴ Der RCA-Index ist das Verhältnis des Anteils eines Landes an allen Patenten weltweit in einer Technologieklasse in Relation zum Anteil des Landes am Gesamtpatentaufkommen weltweit.

größer als 1 errechnet, so liegt eine relative Stärke bzw. Spezialisierung vor. Ein Wert kleiner als 1 hingegen signalisiert eine relative Schwäche¹⁵.

Mit einem RCA-Indexwert von 2,08 weisen Japan und in abgeschwächter Form Südkorea (1,18) eine eindeutige relative Spezialisierung über alle Energiespeichertechnologien auf. Aufgrund dieser Dominanz liegen die Europäische Union (0,82) und die USA (0,69) hier im hinteren Feld. Mit einem RCA-Indexwert von 0,66 ist Österreich für alle Energiespeichertechnologien insgesamt gesehen sogar noch weiter abgeschlagen.

Aufschlussreicher ist jedoch der Blick auf die Spezialisierung in den einzelnen Energiespeichertechnologien, siehe Abbildung 6.

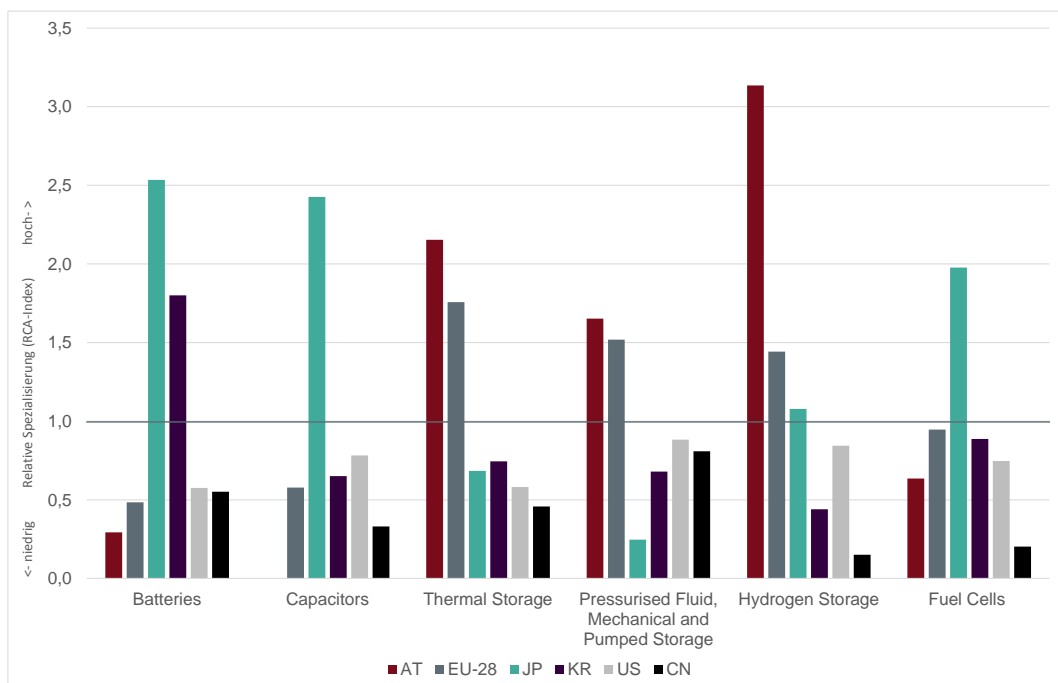


Abbildung 6: Relative Spezialisierung in Energiespeicher Technologien (2008 bis 2012) – Auswertung von AIT basierend auf der REGPAT [3]

Die unterdurchschnittliche Spezialisierung Österreich in Energiespeichern ist durch die geringe Expertise in den absolut bedeutendsten Energiespeichertechnologien *Batteries*, *Capacitors* und *Fuel Cells* zu erklären. Im Gegensatz dazu weist Österreich in den Jahren 2008 bis 2012 in den

¹⁵ Folgende Punkte sollten bei der Analyse beachtet werden: Erstens sind kleine Länder typischerweise spezialisierter in ihren technologischen Aktivitäten als dies bei großen Ländern der Fall ist, wodurch sie oft zu den höchstgereihten Einheiten zählen, obwohl ihre Bedeutung nach absoluten Werten so nicht gegeben wäre. Zweitens kann es bei der Konstruktion eines RCA-Index bei einer kleinen Gesamtanzahl von Patenten zu irreführenden Ergebnissen kommen (Le Bas und Sierra, 2001).

Speichertechnologien *Thermal Storage* und *Pressurised Fluid, Mechanical and Pumped Storage*¹⁶ sehr hohe relative Wachstumsraten und eine hohe Spezialisierung, jedoch bei einer geringen absoluten Zahl an Patenten auf. Beachtenswert ist hingegen die besonders hohe relative Spezialisierung in *Hydrogen Storage*, auch wenn die absolute Zahl der Patentierungen pro Jahr bei Wasserstoffspeicherung – wie aus Abbildung 3 und Abbildung 4 zu entnehmen – international und in Österreich in der Periode von 2008 bis 2012 rückläufig war.

¹⁶ Aufgrund der geringen absoluten Größe wurden die Technologien *Pressurised Fluid, Mechanical and Pumped Storage* für die RCA-Analyse zusammengefasst.

3 Speichertechnologien

Während die Patentanalyse aus dem vorangegangenen Kapitel einen Rückblick auf die Patentaktivitäten der Industrie erlaubt, wird in diesem Kapitel der Status quo zu den einzelnen Speichertechnologien aufgezeigt. In einem weiteren Schritt werden auch die Kopplungen der verschiedenen Sektoren dargestellt und deren Bedeutung für Österreich beschrieben. Die Relevanz der einzelnen Technologien sowie der Sektorkopplung für den Standort Österreich wird durch eine Bewertung hinsichtlich „Heimische Produktion/Assembling“, „Heimische Technologiekompetenz“, „Großes Exportpotenzial“ und „Heimisches Forschungswissen“ sowie den „Technology Readiness Level“ gekennzeichnet.

Dieses Kapitel baut wesentlich auf dem Abschlussbericht der Speicherinitiative [7] auf, wobei die Einteilung systematisiert und ergänzt wurde. Die einzelnen analysierten Speichertechnologien (vgl. Abbildung 7) werden gegliedert in:

- Stromspeicher und
- Wärme-/Kältespeicher

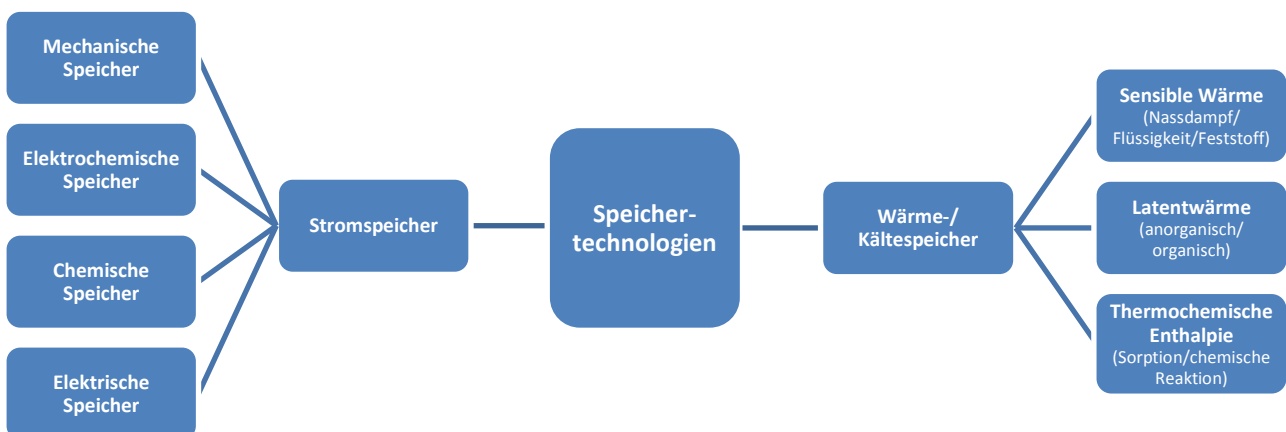


Abbildung 7: Gliederung der analysierten Speichertechnologien (Quelle: eigene Darstellung, AIT 2018)

3.1 Stromspeicher

Abbildung 8 gibt einen Überblick über elektrische Speichersysteme bzw. -technologien. Dabei wird nach dem Speicherprinzip unterschieden. Elektrische Energie kann grundsätzlich mechanisch, elektrochemisch, chemisch, elektrisch und thermisch gespeichert werden.

- **Mechanisch:** Dabei wird Energie durch potenzielle Energie, kinetische Energie oder auch Druck gespeichert.

- **Elektrochemisch:** Dies umfasst sämtliche Speichertechnologien, die unter dem Begriff Batterie zusammengefasst werden. Die Speicherung erfolgt durch den Austausch von Ionen zwischen zwei Elektroden.
- **Chemisch:** Energie wird durch die Erzeugung neuer chemischer Produkte gespeichert. Relevante Vertreter sind Wasserstoff und Methan.
- **Elektrisch:** Die Speicherung erfolgt im elektrischen oder magnetischen Feld einer Komponente.
- **Thermisch:** So werden alle Speichertechnologien bezeichnet, die unterschiedliche Temperaturniveaus zur Speicherung nutzen. Details zu diesen Technologien finden sich in Kapitel 3.2.

Die dargestellten Gruppen haben dabei jeweils weitere Untergruppen. Aufgrund der Vielzahl der möglichen Untertechnologien wird an dieser Stelle auf eine detailliertere Darstellung verzichtet. Nachstehend werden die einzelnen Technologiegruppen auf Basis der Ausarbeitungen der Speicherinitiative beschrieben.

Es ist zu beachten, dass die Einteilung hinsichtlich Technology Readiness Level (TRL) je nach Technologie nicht eindeutig erfolgen kann. Es gibt Technologien, die bereits seit Jahren am Markt erhältlich sind, bei denen aber nach wie vor an grundlegenden Themen und Komponenten geforscht wird, um erhebliche Verbesserungen zu erzielen. Die TRLs wurden in Abstimmung mit den ExpertInnen der beiden Workshops zugeordnet.

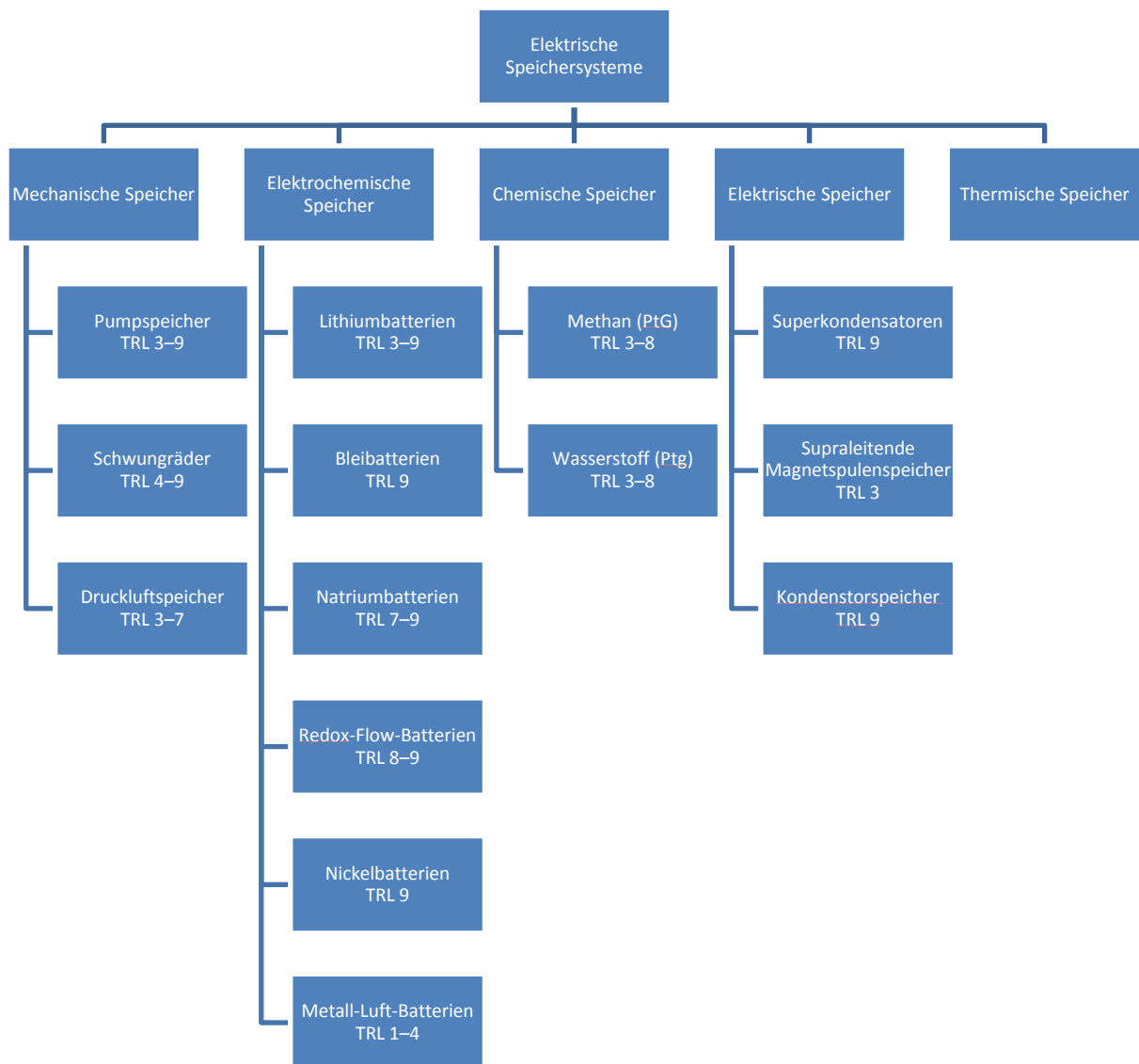


Abbildung 8: Klassifizierung elektrischer Speichertechnologien (Quelle: eigene Darstellung, AIT 2018)

3.1.1 Mechanische Speichertechnologien

Druckluftspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Ja	Ja	3-7

Beim Druckluftspeicher (Compressed Air Energy Storage – CAES) wird aus der Umgebung angesaugte Luft mit Hilfe von Kompressoren auf bis zu 100 bar verdichtet. Dabei entstehen Temperaturen bis zu 1.000 °C. Da die Technologie nur im großen Maßstab (bis hunderte MW) sinnvoll ist, werden als Speicher aufgelassene Salzkavernen verwendet. Zur Rückverstromung wird die Druckluft in eine Turbine geleitet, die einen Generator antreibt. Der Gesamtwirkungsgrad liegt

bei ca. 50 %. Die CAES-Technologie ist als Prototyp vorhanden (TRL 7), aufgrund des niedrigen Wirkungsgrades und relativ hoher Kosten (600 bis 1.000 €/kWh) sind weltweit aber nur zwei Anlagen umgesetzt. Im Ausland laufen dazu einige Forschungsprojekte. Das erwartete Marktpotenzial und die Wertschöpfung in Österreich werden bei Druckluftspeichern eher gering eingeschätzt.

Pumpspeicher

Pumpspeicher können in hydraulische Speicher und Speicherkraftwerke untergliedert werden.

Hydraulische Speicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Ja	Ja	3–4

Bei hydraulischen Speichern werden die Bauarten „Buoyant Energy“ und „Power-Tower“ unterschieden. In beiden Fällen wird ein Gewicht gegen den Druck einer Wassersäule hochgepumpt; sinkt das Gewicht durch die Schwerkraft wieder nach unten, wird Strom erzeugt. Die Anlagen weisen einen hohen Wirkungsgrad (> 80 %) und eine lange zu erwartende Lebensdauer auf (> 50 Jahre). Unter günstigen Randbedingungen sind Kosten von 1.000 €/kWh zu erwarten. In Österreich findet derzeit Forschung auf dem Gebiet statt.

Speicherkraftwerke

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	4–9

Alpine Speicherkraftwerke sind ausgereift (TRL 9) und seit Jahrzehnten in Betrieb, kleine Pumpspeichieranlagen (1–15 MW) mit großen Fallhöhen in modularer Bauweise (inklusive Systemintegration in die unteren Netzebenen) haben jedoch hohes Entwicklungspotenzial (für diese gilt TRL 4 – vgl. dazu Speicherinitiative). Projekte zur weiteren Optimierung alpiner Speicherkraftwerke hinsichtlich Ansprechverhalten, Betriebsweise (Dynamik, Stand-by, Synchronisation), Wirkungsgrad, Lebensdauer, Strömungsverhältnisse, v. a. hinsichtlich Aufrüstung bestehender Anlagen sind experimenteller Entwicklung (TRL 5–8 – vgl. dazu Speicherinitiative) zuzuordnen. Diese Anlagen könnten vor allem zur Netzstabilisierung im Regelenergiemarkt eingesetzt werden. Die Angaben zu Investitionskosten umspannen einen weiten Bereich und liegen in Europa im Bereich von ca. 1.000 bis 5.000 €/kW, abhängig von den baulichen Maßnahmen. Die Zyklenzahl ist mit ca. 1,5 Mio. extrem hoch. Die Pumpspeichertechnologie zählt zu Österreichs Stärkefeldern, heimische Hersteller sind vorhanden.

Schwungräder

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Nein	Ja	4–9

Beim Schwunghmassenspeicher wird eine zylindrische Masse über einen Motor in Rotation versetzt, die gespeicherte Energie kann über einen Generator wieder rückverstromt werden. Vorteilhaft sind die hohe Dynamik (kurzzeitige Leistungsspitzen abrufbar), die hohe Zyklenfestigkeit und ein Wirkungsgrad bis 90 %. Kurzzeitspeicher bis zu einer Stunde sind technisch ausgereift am Markt verfügbar (TRL 9). Langzeitspeicher bis zu zwölf Stunden sind in Entwicklung (für sie gilt TRL 4). Das Entwicklungsziel sind Investitionskosten von 1.000 € pro nutzbarer kWh. Es gibt keine Hersteller in Österreich, die Anwendungen beschränken sich auf Nischenmärkte.

3.1.2 Elektrochemische Speichersysteme

Bleibatterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9 ¹⁷

Die Bleibatterie ist eine etablierte Technologie, der Wirkungsgrad liegt bei 80 bis 90 % im stationären Betrieb und 60 bis 70 % in der mobilen Anwendung. Die Energiedichte der Zellen beträgt stationär 50 bis 100 Wh/Liter bzw. 30 Wh/kg im mobilen Pack. Mit Investitionskosten von 100 bis 250 €/kWh sind Bleibatterien günstiger als viele neue Speichertechnologien, weisen jedoch geringere Energiedichte, Leistungsdichte, Zyklenzahl etc. auf. Bleibatterien werden in Österreich produziert.

Lithiumbatterien

Lithium-Ionen-4V-Batterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja ¹⁸	Ja	Nein	Ja	8–9 ¹⁹

Bei der etablierten Lithium-Ionen-4V-Technologie (Li-Ionen-4V) basieren die Zellen in der Regel auf Metallmischoxiden an der Kathode sowie Graphit an der Anode. Abweichungen z. B. für den stationären Betrieb sind möglich. Heutiges Einsatzgebiet sind Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Netzstabilisierung im Regelenergiemarkt und bei Inselanlagen sowie Endverbrauchergeräte.

¹⁷ Obwohl seit vielen Jahrzehnten im Verkauf, sind bei Bleibatterien aber weitere Verbesserungen zu erwarten.

¹⁸ Es werden in Österreich Zellen zu Batteriesystemen verarbeitet.

¹⁹ Die Arbeit an Elektrodenmaterialien, welche noch immer erfolgt, ist teilweise auf TRL 2–3.

Vorteile liegen in der hohen Energiedichte und Lebensdauer, nachteilig wirken sich Sicherheit und Preis zwischen 200 und 700 €/kWh aus. In Europa gibt es keine signifikanten Produktionslinien für die Zellproduktion, jedoch hohe Kompetenzen in Material, Forschung und Packaging konzentriert. In Österreich kommt Lithium in der Koralpe (Kärnten) vor.

Lithium-Ionen-5V-Batterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	5 ²⁰

Die Lithium-Ionen-5V-Technologie wird in vielen Roadmaps als nächste Generation für Batteriespeichersysteme gesehen. Es wird damit gerechnet, dass die Technologie in den nächsten fünf Jahren auf den Markt gebracht wird. Die Energiedichte ist mit über 270 Wh/kg deutlich höher als bei der 4V-Technologie, Elektrodenmaterialien zur 5V-Technologie sind bereits entwickelt. Die Anwendungsbereiche entsprechen jenen der Lithium-Ionen-4V-Batterien. Es gibt keine Produktion in Österreich, jedoch breite Technologiekompetenz von Zellchemie bis Packs Assembling und Engineering.

Post-Lithium-Ionen-Technologien²¹

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Ja	Ja	1–4

Neben den weiter unten im Kapitel behandelten Metall-Luft-Batterien werden vor allem zwei Technologien als Post-Lithium-Ionen-Alternative geführt. Dies sind die Magnesium-Ionen sowie die Solid-State-Technologie. Bei der Magnesium-Ionen-Technologie hat man den Vorteil, dass im Gegensatz zu Lithium-Ionen gleich zwei Elektronen abgegeben werden können, was die Kapazität erhöht. Die Solid-State-Technologie besteht in erster Linie durch eine erhöhte Sicherheit sowie eine sehr hohe Lebensdauer, jedoch sind auch stark verbesserte Energiedichten zu erwarten. Führende Länder bei Magnesium-Ionen-Systemen sind die USA und Israel, Österreich befindet sich jedoch in einer guten Position (Magnesiumvorkommen, Verarbeitungs-/Recyclingkompetenz in der Industrie).

²⁰ Teilweise sind Materialien weiterentwickelt (z. B. LNMO und asymmetrisches NMC), es findet aber auch noch Grundlagenforschung im Bereich ab TRL 1 statt.

²¹ Unter Post-Lithium-Batterien werden hier Technologien zusammengefasst, die die herkömmliche Lithium-Ionen-Technologie ablösen können. Es sind jedoch auch nichtlithiumbasierte Systeme darunter.

Bei der Solid-State-Technologie wird in Österreich vor allem an größeren Systeme geforscht, es gibt aber produzierende Betriebe, die hier tätig werden können.

Nickelbatterien²²

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Nein	Nein	Ja	9

Die Technologie der Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH) wurde frühzeitig in Hybridfahrzeugen eingesetzt. Sie wurde jedoch aufgrund ungünstiger Selbstentladung (bis zu 25 % pro Monat), Energiedichte (55 bis 80 Wh/kg), Kosten (über 700 €/kWh) und anderer Kenndaten (wie 1,3 V Nennspannung) im Consumer-Bereich mittlerweile großteils von Lithium-Ionen-Batterien abgelöst. In Hybridfahrzeugen von Toyota, dem absoluten Marktführer bei Hybridfahrzeugen, wird sie mehrheitlich verwendet. In Österreich findet weder Forschung noch Produktion zur NiMH-Technologie statt. Die Technologie der Nickel-Cadmium-Batterien (NiCd) gehört auch in diese Gruppe, ist wegen der Toxizität von Cadmium aber in vielen Anwendungsbereichen bereits verboten.

Metall-Luft-Batterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Ja	Ja	1–4

Bei der Metall-Luft-Technologie sind bereits verschiedene Primärsysteme im Einsatz. Bei den wiederaufladbaren Systemen besteht jedoch noch großer Forschungsbedarf. Hier wird vor allem an Lithium-Luft- sowie Zink-Luft-Systemen gearbeitet. Es werden große Hoffnungen in diese Systeme gesetzt, vor allem was die Energiedichte betrifft. Einige Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit heimischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen laufen.

Redox-Flow-Batterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	7–9 ²³

²² Nickel-Metallhydrid-Batterien stehen hier stellvertretend für nickelbasierte Systeme. Nickel-Cadmium- sowie Nickel-Metall-Batterien werden aufgrund der geringen Relevanz nicht weiter behandelt.

²³ Einzelne Technologien sind marktnahe, jedoch ist Grundlagenforschung für neue Materialien nötig; TRL ab 1.

Die Redox-Flow-Batterie ist ein elektrochemischer Speicher, der Strom mithilfe einer Flüssigkeit (Elektrolyt) speichert. Die häufigste Variante ist die sogenannte Vanadium-Redox-Flow-Batterie. Redox-Flow-Batterien werden vor allem für mehrstündige bis langfristige Anwendungen eingesetzt, z. B. um Schwankungen erneuerbarer Energieanlagen abzufedern, aber auch in Micro-Grids und bei Inselanlagen. Der Energieinhalt liegt meist bei einigen kWh bis mehreren MWh. Nachteilig sind die hohen Kosten mit derzeit 400 bis 1.000 €/kWh und die niedrige Energiedichte. Die Vorteile liegen klar in der hohen Lebensdauer und der Sicherheit des Systems. Projekte zur Kostensenkung, insbesondere der Kosten für die Stacks lassen nach Angaben der Speicherinitiative eine Zuordnung zur experimentellen Entwicklung (TRL 8–9) zu. Es gibt eine Produktion für Redox-Flow-Batterien in Österreich.

Natrium-Batterien

Natrium-Batterien lassen sich im Wesentlichen in Aqueous-Hybrid-Ion und Hochtemperaturbatterien untergliedern.

Aqueous-Hybrid-Ion

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	7–9

Aqueous-Hybrid-Ion ist eine sehr junge Speichertechnologie, es gibt daher keine Langzeiterfahrungswerte. Sie basiert auf Salzwasser, enthält keine umweltschädlichen Materialien oder kritischen Rohstoffe und ist leicht zu recyceln. Sie wird für stationäre Anwendungen mit Lade-Entlade-Zyklen von über vier Stunden eingesetzt, der Wirkungsgrad liegt bei 80 bis 90 %. Die Investitionskosten liegen im Bereich von 315 bis 510 €/kWh.

Hochtemperaturbatterien

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Nein	Nein	Nein	8–9

Hochtemperaturbatterien arbeiten mit flüssigem Natrium als Elektrode und anderen chemischen Paarungen am Pluspol. Bekannt ist die Natrium-Nickelchlorid-Batterie als sogenannte Zebra-Zelle. Sie arbeitet bei 220 bis 450 °C mit Zellspannungen von 2,3 bis 2,5 V. Etwa 90 % Wirkungsgrad und 125 Wh/kg, 130 bis 160 W/kg bei 2.500 bis 5.000 Zyklen. Problematisch ist die thermische Selbstentladung von einigen Prozent pro Tag, welche in den Wirkungsgrad eingeht. Derzeit ruht die Entwicklung [14].

3.1.3 Chemische Speichersysteme

Zu den chemischen Speichersystemen lassen sich u. a. Gaskavernenspeicher, Druckbehälter und Adsorptionsspeicher zuordnen. Technologien wie Brennstoffzellen, Gasmotoren, Gasturbinen und Elektrolyseure werden hingegen als Sektorkopplungstechnologien verstanden und folglich im Kapitel 3.3 behandelt.

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

3.1.4 Elektrische Speichersysteme

Superkondensatoren²⁴

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Nein	Ja	9

Superkondensatoren (auch Ultrakondensatoren genannt) speichern Energie durch elektrochemische Vorgänge an der Phasengrenze zwischen einem Elektronenleiter (Elektrode) und einem flüssigen Ionenleiter (Elektrolyt). Sie füllen die Lücke zwischen klassischen Kondensatoren und Batterien. Die spezifische Leistung liegt um 2 kW/kg, die spezifische Energie bei 5 Wh/kg bei einer Zellspannung ≤ 3 V und mehr als 100.000 Ladezyklen. Der Wirkungsgrad liegt bei ~ 99 %. [14].

Supraleitende Magnetspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Nein	Nein	Nein	3

Magnetspulen nutzen Stromänderungen zur Energiespeicherung. Die sehr hohen Ströme erfordern supraleitende Spulen, die mit flüssigem Helium (für Niob-Titan: 4,5 K) oder flüssigem Stickstoff (für keramische Supraleiter: > 77 K) gekühlt werden. Wegen des Kühlaufwands und der Stand-by-Verluste beschränken sich Magnetspulen auf Nischenanwendungen. Typische Daten sind: volumetrische Energiedichte 0,5 bis 10 Wh/l bzw. Leistungsdichte 1 bis 4 kW/l, unbegrenzte Zyklenlebensdauer sowie Selbstentladung von 10 bis 15 % am Tag [14].

²⁴ Herkömmliche Kondensatoren wurden hier aufgrund der geringen Energiedichte und damit einhergehender kurzen Speicherzeit nicht berücksichtigt.

3.2 Wärme-/Kältespeicher

Thermische Energiespeicher lassen sich nach Speicherprozess und Speichermedien unterscheiden (vgl. Abbildung 9).

Ein Speicher für **sensible Wärme** nutzt die Wärmekapazität des Speichermediums. Der Speicherbetrieb (Be-/Entladen) ändert die Temperatur (bei Ruths-Dampfspeichern auch den Druck) des Speichermediums, es findet jedoch keine Änderung des Aggregatzustands statt.

Ein **Latentwärmespeicher** nutzt die Energie, die das Speichermedium (Phase Change Material – PCM) beim Schmelzen aufnimmt bzw. beim Erstarren abgibt. Beim Phasenwechsel ändert sich die Temperatur des Speichermediums kaum, was einen Speicherbetrieb bei annähernd konstanter Temperatur ermöglicht.

Thermochemische Speicher nutzen Sorptionsprozesse oder chemische Reaktionen. Letztere nutzen Energie, die beim Ablauf chemischer Reaktionen aufgenommen bzw. abgegeben wird. Beim Sorptionsspeicher werden hingegen physikalische Wechselwirkungen genutzt, bei denen sich ein Stoff in einem anderen Stoff oder an der Oberfläche eines anderen Stoffes anreichert.

Gemäß Steinmann et al. [15] sind die Kosten eines Speichers je gespeicherter Wärmemenge (€/kWh) von verschiedenen Faktoren abhängig, vor allem von Speicherkapazität, Be- und Entladeleistung, Temperatur-, Druckniveau, Wärmeträgermedium, Frequenz der Lade-Entlade-Zyklen, zulässigen Anfahrzeiten. Kostenangaben ohne Nennung dieser Randbedingungen sind wenig aussagekräftig und werden daher im Folgenden vermieden.

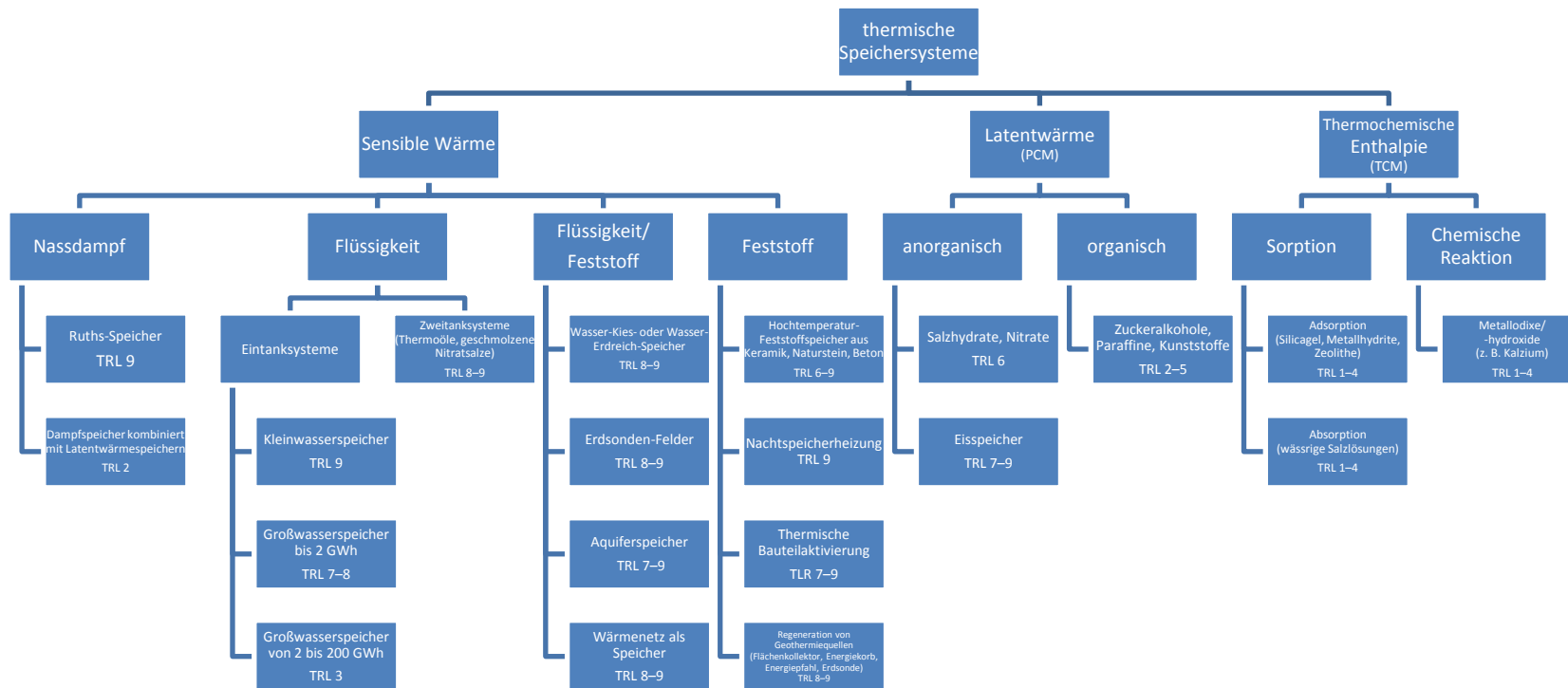


Abbildung 9: Speicherkonzepte und Beispiele mit TRL (Quelle: eigene Darstellung, AIT 2018)

3.2.1 Speicher für sensible Wärme

Dampfspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

Es gibt ausgereifte Dampfspeicher auf TRL 9, z. B. den Ruths-Speicher. Ruths-Speicher wurden im Bereich von 0 bis 300 °C erprobt [15]. Beim Ruths-Dampfspeicher wird Dampf direkt eingespeichert und auch abgegeben. Beim Laden und Entladen steigt und fällt der Druck gemäß dem Phasengleichgewicht, daher spricht man auch von einem „Gefällespeicher“. An der Kombination von Dampf- mit Latentwärmespeichern wird aktuell geforscht. Durch die Kombination der beiden Medien (Wasser/Dampf und PCM) werden unterschiedliche Zeitkonstanten gekoppelt, dadurch kann der Einsatzbereich des Speichers erweitert werden.

Kleinwasserspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

Kleinwasserspeicher (Stahlbehälter) sind eine etablierte Technologie für Temperaturen von 60 bis 90 °C im Leistungsbereich 5 bis 25 kW. Die Selbstentladung der Speicher reicht in der Praxis von 0,5 bis 20 % (Kleinstsysteme) pro Tag, je nach Volumen, Dämmung und Einbauvariante. In die Kategorie Kleinwasserspeicher fallen nach der in der Speicherinitiative gewählten Definition Untertischboiler mit 5 l Volumen ebenso wie Langzeitspeicher mit bis zu 50.000 l Volumen (da es sich um dieselbe Technologie handelt).

Großwasserspeicher bis 2 GWh

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	7–8

Großwasserspeicher mit einer Speicherkapazität von 20 bis 2.000 MWh, was einem Speichervolumen von bis zu etlichen 100.000 m³ entspricht, sind marktnah ausgereift. Mögliche Bauformen dieser Speicher sind Stahlbehälter (z. B. ehemalige Öltanks), Bauwerke aus Stahlbeton oder glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), abgedeckte Erdbecken und auch Kombinationen (unten Erdbecken, oben Stahlbeton), außerdem Kavernenspeicher. Kavernenspeicher [16] nutzen unterirdische Hohlräume (Kavernen), z. B. aufgegebene Minen

als Behälter für das Speichermedium Wasser. Die thermische Leistung der genannten Großwasserspeicher reicht von 1 bis 10 MW, bei weniger als 6 % Selbstentladung pro Monat.

Großwasserspeicher von 2 bis 200 GWh

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	3

Bei Großspeichern mit einer Kapazität von 2.000 MWh bis zu 200.000 MWh ist die technische Machbarkeit in Vorstudien grundsätzlich nachgewiesen (TRL 3). Mit sehr geringen Langzeitverlusten eignen sich diese Speicher sehr gut als Langzeitspeicher. Entscheidend ist bei diesen Größenordnungen auch der Energieverbrauch von Lade- und Entladepumpen, unterstützenden Wärmepumpen und dergleichen.

Zweitanksysteme

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Nein	Nein	Ja	8–9

Als Speichermedium wird Thermoöl (Vorteil: niedrigerer Dampfdruck der Flüssigkeit im Vergleich zu Wasser, Nachteil: brennbar) oder geschmolzenes Nitratsalz (Vorteile: nicht brennbar, keine giftigen Dämpfe, Nachteil: korrosiv) eingesetzt. Beim Beladen wird es aus dem kalten Tank durch einen Wärmeüberträger in den heißen Tank gepumpt. Die Entladung funktioniert genau umgekehrt. Die erprobte Temperatur liegt bei Thermoöl zwischen 0 und 300 °C, bei Salzschnmelzen zwischen 145 und 540 °C. Die maximale Leistung liegt im Bereich von 150 MW, die maximale Kapazität im GWh-Bereich. Diese Speichertechnologie wird bei Solarkraftwerken angewendet. [15]

Wasser-Kies- oder Wasser-Erdreich-Speicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	8–9

Beim Wasser-Kies- oder Wasser-Erdreich-Speicher wird im Gegensatz zum reinen Wasserspeicher ein Teil des Wassers durch Kies oder Erdreich ersetzt. Im einfachsten Fall ist dieser Speicher als Erdbecken ausgeführt, in das das Speichermedium von einer Folie umschlossen eingebracht ist. Eine teure tragende Deckelkonstruktion ist bei diesem Speicher nicht erforderlich. [17], [18]

Erdsondenfelder

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	8–9

Große Erdsondenfelder zur Speicherung von Wärme, meist in Verbindung mit Wärmepumpen und/oder Sonnenkollektoren, sind in Pilotprojekten von Power-to-Heat-to-Power-Systemen bereits umgesetzt und vermessen worden. Die Speicherkapazität liegt bei 10 bis 20 MWh bei 100 m Tiefe. Erdsondenfelder speichern Wärme mit Temperaturen von 10 bis 60 °C bei einer Selbstentladung von unter 10 % pro Woche. Bei dieser Speichertechnologie wird mit einer hohen Lebensdauer von bis zu 50 Jahren gerechnet. Grundwasserbewegungen erhöhen die Speicherverluste, daher sind wassergesättigte Tone bzw. Tongesteine, die sehr dicht sind, gut geeignete Speichermedien. [17]

Aquiferspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Nein	Nein	7–9

Beim Aquiferspeicher werden abgeschlossene, grundwasserführende Bodenschichten (typischerweise mindestens 100 m unter der Geländeoberkante) genutzt, die im Inneren des Speichergebiets ausreichend wasserdurchlässig sind. Wärme wird über Brunnen in den Speicher eingebracht und bei Umkehrung der Strömungsrichtung wieder entnommen. [17]

Wärmenetz als Speicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	8–9

Eine kurzfristig umsetzbare Speichermöglichkeit ist die Nutzung des Wärmenetzes selbst als Speicher. Dies ist im Bereich von 10 bis 20 °C Temperaturunterschied möglich, die Speicherkapazität ist jedoch eingeschränkt. Der Vorteil ist die Speicherung über Stunden mit geringen zusätzlichen Investitionskosten und einer Betriebsoptimierung. Diese Speicheranwendung ist für Lastmanagement im Netz sowie Power-to-Heat einfach umsetzbar. Die Realisierung ist eher bei neuen Netzen als bei historisch gewachsenen zu erwarten.

Hochtemperatur-Feststoffspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	6–9

Bei höchsten Speichertemperaturen werden Speichermedien aus Keramik, Beton (bis ca. 500 °C) oder Naturstein eingesetzt. Die Technologie ermöglicht hohe Wärmeleistungen von 50 kW bis zu 100 MW bei einer Speicherkapazität von 250 kWh bis zu 100 MWh. Die Selbstentladung liegt bei 1 bis 3 % pro Tag. Neben großflächigen Wärmeüberträgern (das Speichermedium hat meist geringe Wärmeleitfähigkeit) werden auch verschiedene Arten von Regeneratoren verwendet, z. B. Fest-/Wanderbett, Wirbelschichten oder Winderhitzer (bis zu 1.200 °C mit ortsfester Speichermasse, z. B. Cowper-Speicher bei Hochöfen mit TRL 9). Verschiedene Anlagenbauer beschäftigen sich in Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit der Weiterentwicklung der Technologie.

Nachtspeicherheizung

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

Das Speichermedium in Nachtspeicherheizungen sind Formsteine. Diese Speicher werden elektrisch beladen, wenn elektrische Energie günstig ist (typischerweise in der Nacht), und geben durch Aktivierung eines Ventilators Wärme an die Raumluft ab. Diese Technologie ist ausgereift und befindet sich auf TRL 9.

Thermische Bauteilaktivierung

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	7–9

Bei Feststoffspeichern wird Wärmeenergie von der Wärmequelle (z. B. Sonnenkollektoren, Prozesswärme) in ein festes Speichermedium übertragen. Wärme mit niedriger Temperatur (20 bis 30 °C) wird als thermische Bauteilaktivierung in Betonfundamenten oder -decken von Gebäuden gespeichert. Diese Art der Speicherung ist technisch weitgehend ausgereift (TRL 7–9) und weist keine Verluste auf, weil die Wärmeabstrahlung innerhalb der geschlossenen Gebäudehülle erfolgt. Allerdings erfolgt die Wärmeabgabe selbsttätig (Wärmeübertrager mit hoher Speicherkapazität). Bei der Errichtung fallen nahezu keine Zusatzkosten außer der Verlegung von Wärmerohren in den Bauteilen an. HaustechnikplanerInnen und Bauträger werden in den letzten Jahren zunehmend auf diese Speichertechnologie aufmerksam. Sie

bietet auch die Option der Speicherung von Überschussstrom aus dem Netz in Gebäudeteilen (Power-to-Heat).

Regeneration von Geothermiequellen

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	8–9

Erdspeicher in Form von Flächenkollektoren, Erdsonden, Erdkörben, Erdpfählen etc. in Verbindung mit Wärmepumpen sind Stand der Technik und vor allem im Neubau weit verbreitet. Solarwärme oder Abwärme aus der (Raum-)Kühlung regeneriert die Erdspeicher und kann für Wochen bis Monate gespeichert werden, was die Heizarbeitszahl der Wärmepumpe erhöht. Sowohl kurz- als auch langfristig sind Erdspeicher eine sinnvolle Lösung für größere Gebäude ohne Fernwärmeanschluss sowie in Siedlungs- und Ballungsräumen. Bei einer angestrebten Stromversorgung in Richtung 100 % erneuerbarer Energie wird die Marktperspektive von Erdspeichern in Kombination mit Wärmepumpen vom erneuerbaren Stromangebot im Winter abhängen, um die Wärmepumpe zu betreiben.

3.2.2 Latentwärmespeicher (Phase Change Material – PCM)

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	2–9

Die ausgereifteste Technologie sind Eisspeicher (TRL 7–9). Sie werden in Kombination mit Wärmepumpen zur Heizung und in Verbindung mit Kälteanlagen zur Kühlung z. B. in Einkaufszentren, Krankenhäusern oder Messehallen eingesetzt. Die Technologie wird am Markt von verschiedenen Herstellern angeboten. Speicher mit anorganischen Materialien (Salzhydrate, Nitrate) befinden sich im Demonstrationsstadium (TRL 6), die möglichen Arbeitstemperaturen liegen in einem weiten Temperaturbereich von –30 bis 305 °C. Die Problemstellungen bei Latentwärmespeichern betreffen die thermischen, chemischen, physikalischen und kinetischen Materialeigenschaften sowie die optimale Wärmeübertragung im Speicher.

Im Entwicklungsstadium (TRL 2–5) sind Speicher mit organischen Materialien (z. B. Zuckeralkohole, Paraffine, Kunststoffe) für Temperaturen von 100 bis 250 °C. Diese Speichertechnologie könnte mit sehr hohem Anteil inländischer Wertschöpfung produziert werden.

Mikroverkapseltes oder emulgiertes Paraffin (Phase Change Slurry) wird beispielsweise zur Raumkühlung angewendet. Dabei erhöht Gipsputz mit PCM-Mikrokapseln die thermische Trägheit (Schmelztemperatur ca. 25 bis 27 °C) und hilft, Überwärmung zu reduzieren. Gekühlt wird in der Nacht mit Außenluft. Diese und weitere Anwendungen finden sich in [19].

3.2.3 Thermochemische Speicher (TCM)

Adsorptionsspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Nein	Ja	1–4

Bei Adsorptionsspeichern wird Wärme durch die Bindung von Molekülen aus der Gasphase an der Oberfläche eines Feststoffs freigesetzt. Dieser Vorgang ist durch die Zufuhr von Wärme wieder umkehrbar. Auf diese Weise lässt sich Energie zyklisch speichern und wieder freisetzen. Die technische Machbarkeit von Adsorptionsspeichern ist im Labormaßstab nachgewiesen (TRL 3). Die Leistungen liegen bei 1 bis 20 kW, die Selbstentladung des Speichers ist praktisch gleich null, der Temperaturbereich reicht von 50 bis 200 °C. Diese Speichertechnologie würde sich daher gut zur Langzeitwärmespeicherung in Wohngebäuden eignen, zukünftige Systeme sind in Entwicklung. Problematisch ist unter Umständen die lange energetische Amortisation mit über 15 Jahren bei Langzeitspeichern mit dem Adsorptionsprinzip. Als Materialien kommen derzeit Zeolithe, Silicagel und Metallhydride in Frage.

Absorptionsspeicher

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Nein	Nein	Nein	1–4

Bei Absorptionsspeichern wird Wärme von Ab- bzw. Desorption von z. B. Natronlauge genutzt. Ziel der Entwicklungen sind Langzeitspeicher mit geringen Verlusten und hohen volumetrischen Energiedichten. Die bisherigen Forschungsarbeiten zeigen, dass diese Art von Speicher technisch sehr anspruchsvoll ist, dies betrifft unter anderem die Flüssigkeitsverteilung, Benetzung, Abdichtung nach außen (Vakuum). [20]

Speicherung von Reaktionswärme

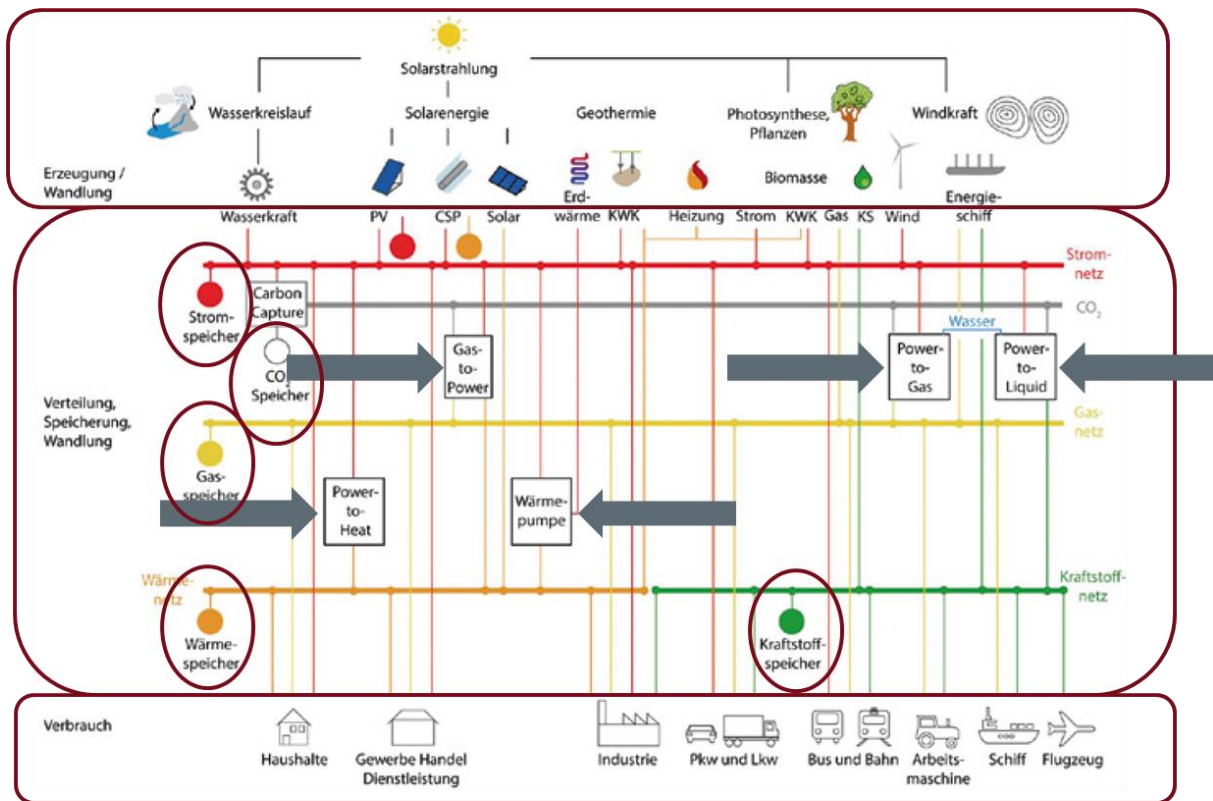
Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Nein	Ja	Nein	Ja	1–4

Bei dieser Energiespeicherung werden reversible, chemische Reaktionen zyklisch durchgeführt, um Wärme zu speichern und freizusetzen. Ein typisches Beispiel ist die Erzeugung von Metalloxiden aus Hydroxiden durch Wärmezufuhr. Durch Löschen mit Wasser (flüssig oder gasförmig) wird diese Wärme wieder freigesetzt.

Der Temperaturbereich liegt meist bei 50 bis 200 °C, mit speziellen Materialien, beispielsweise Kalziumoxid/-hydroxid (CaO/Ca(OH)), erhöht sich die Maximaltemperatur auf über 800 °C. Diese Speicher werden wegen der hohen möglichen Leistungsdichte als möglicher Schlüssel für Langzeitspeicher in Gebäuden gesehen. Mehrere Forschungsprojekte laufen im Bereich von TRL 1–4. Die Problemstellungen liegen in der Materialentwicklung (TRL 1), Verfahrenstechnik der Speichermaterialien, Komponentenentwicklung und Steuerungstechnik.

3.3 Sektorkopplungen

Sektorkopplungen bezeichnen Übergangspunkte, die die verschiedenen Energienetze, wie Strom, Gas, Wärme/Kälte etc., miteinander verbinden. In Bezug auf Energiespeicher werden diese als ein wesentliches Element angesehen. In Abbildung 10 werden mögliche Sektorkopplungen schematisch dargestellt.



Quelle: M. Sterner u. I. Stadler, Energiespeicher, 2014

Abbildung 10: Energiespeicher und Sektorkopplung [21]

Im zweiten Expertenworkshop wurde erarbeitet, welche Arten der Sektorkopplung von großer Bedeutung sind. Sie werden nachfolgend beschrieben.

3.3.1 Power-to-Heat

Power-to-Heat bezeichnet die Umwandlung von Strom in Wärme. Dabei kann es sich sowohl um elektrisch beheizte Warmwasserspeicher in Wohnung und Gebäude handeln als auch um Großanlagen für Wärmenetze und industrielle Anwendungen. In Gebäuden werden üblicherweise Heizstäbe und/oder Wärmepumpen eingesetzt. Durch Power-to-Heat kann beispielsweise der Eigenverbrauch von lokal erzeugtem Photovoltaikstrom mit Warmwasserboilern oder Wärmepumpen erhöht werden. Power-to-Heat-Anlagen mit Großspeichern kommen zum Beispiel am Regelenergiemarkt zur Netzstabilisierung zum Einsatz. Es handelt sich meist um Elektrodenheizkessel und diese weisen Leistungen bis 5 MW und eine Speicherkapazität von bis zu 30 MWh auf [7]. Power-to-Heat-Anlagen können aber auch als industrielle Wärmespeicher dienen.

In Österreich werden diese Technologien von verschiedenen Anlagenbauern angeboten.

Umwandlungstechnologien:

- Elektroheizstab
- Elektrodenheizkessel
- Wärmepumpe

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

3.3.2 Power-to-Gas/Power-to-Liquid

Power-to-Gas ist die Umwandlung von Strom in gasförmige Brennstoffe, wie Wasserstoff oder Methan. Zur Herstellung von Wasserstoff wird Elektrolyse eingesetzt. Für die Herstellung von Methan wird der Wasserstoff in chemischen Reaktionen katalysatorgestützt in Methan umgewandelt. Power-to-Liquid ist ein ähnliches Verfahren wie Power-to-Gas und beschreibt die Umwandlung von Wasserstoff aus Elektrolyse zu flüssigen, kohlenwasserstoffbasierten Treibstoffen wie Methanol.

Umwandlungstechnologien:

- Elektrolyse: PEMEL, SOEC
- Elektrolyse mit Methansynthese
- Elektrolyse mit Methanolsynthese (Power-to-Liquid)

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	3–8

Während sich die Solid-Oxide-Electrolyser-Cell (SOEC)-Technologie im Stadium der industriellen Forschung befindet (TRL 3–4), werden die Proton Exchange Membran Electrolyse (PEMEL) und alkalische Elektrolyse (AEL) in Pilot- und Demonstrationsanlagen erprobt (TRL 5–8). Die Speicherinitiative verweist in Bezug auf spezifische Technologieentwicklungsthemen für Power-to-Gas-Anlagen auf Projekte zu biologischen Verfahren für die Power-to-Gas-Elektrolyse im Stadium der industriellen Forschung (TRL 3–4). Der erzeugte Wasserstoff wird in lokalen Druckbehältern gespeichert, Methan kann in das Erdgasnetz, das große Speicherkapazitäten aufweist, eingespeist werden. Die Investitionskosten der Elektrolyse liegen derzeit bei 1.000 bis 2.000 €/kW. Der Wirkungsgrad

beträgt rund 60 % (Methanisierung) bzw. etwa 30 % bei Rückverstromung (ohne Wärmenutzung), gesamt also rund 18 %. Derzeit gibt es nur einen österreichischen Hersteller von Power-to-Gas-Anlagen, jedoch mehrere Anbieter am Markt.

3.3.3 Gas-to-Power

Gas-to-Power beschreibt die Umwandlung von gasförmigen Energieträgern in Strom (und gegebenenfalls der Nutzung der Abwärme). Dabei kann es sich um konventionelle Gaskraftwerke (mit Erdgas) handeln oder um Kraftwerke, die im Fall einer 100%ig erneuerbaren Energieversorgung mit Biomethan betrieben werden. Weiters können auch Brennstoffzellen, die aus Wasserstoff Strom erzeugen, oder Gasmotoren mit Generatoren eingesetzt werden.

Umwandlungstechnologien:

- Gaskraftwerke
- Gasmotoren
- Brennstoffzellen

Gasmotoren und Gaskraftwerke

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	9

Motoren und Kraftwerke, in denen Methan in Strom umgewandelt wird, sind seit Jahrzehnten Stand der Technik und es gibt heimische Technologieanbieter.

Brennstoffzellen

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	3–8

Der Technologiereifegrad ist sehr unterschiedlich, bei alkalischen Brennstoffzellen (AFC) und Proton-Exchange-Membran-Brennstoffzellen (PEMFC) liegt er bei TRL 5–7 (mobil) und TRL 8 (stationär), bei Solid-Oxide-Brennstoffzellen (SOFC) bei TRL 3 (mobil) und TRL 7 (stationär). Der Wirkungsgrad liegt je nach Technologie zwischen 30 und 60 %, die Lebensdauer wird mit bis zu 15 Jahren angenommen. Die Investitionskosten auf der Systemebene liegen bei rund 1.000 bis 2.000 €/kW. In Österreich sind mehrere Industrieunternehmen im Bereich

Wasserstoffproduktion, -speicherung und -nutzung in Brennstoffzellen aktiv. In Bezug auf spezifische Technologieentwicklungsthemen für Brennstoffzellen werden von der Speicherinitiative Projekte zur PEM-Elektrolyse (wie Materialentwicklung von Membranen, Support, Katalysatoren, Bipolarplatten), Weiterentwicklung von Leistungselektronik und Steuerung, Hochdruckelektrolyse bis 700 bar etc.) oder Projekte zur SOEC-Technologie (wie Erhöhung der Langzeitstabilität von Komponenten, Zellen und Stacks, Entwicklung von Materialien mit verbessertem Ladungs- und Massentransport, Entwicklung metallgestützter Zellen, Diagnose-Tools zur Online-Überwachung von Elektrolyse-Stacks, Ko-Elektrolyse von Wasser und Kohlendioxid etc.) zum Bereich der industriellen Forschung (TRL 3–4) zugeordnet.

3.3.4 Power-to-Mobility

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	6–9

Power-to-Mobility bezeichnet die Nutzung von Strom in Elektromobilitätsanwendungen. Dabei sind in erster Linie Ladestationen relevant. Diese sind von der Leistungselektronik bereits relativ ausgereift und am Markt erhältlich. Ein Thema mit weiteren Entwicklungsbedarf ist die Erhöhung der Leistung und damit einhergehender Kühlung sowie induktives Laden. Zusätzlich ist es speziell hinsichtlich der Sektorkopplung wichtig, das Netz nicht zu überlasten. Hierzu wird gesteuertes Laden als wichtige Option gesehen bzw. eine Reduktion der Ladeleistung im Niederspannungsnetz im Heimbereich. Hier gilt es noch Technologien sowie Modelle zu entwickeln und auch für Akzeptanz beim Nutzer zu sorgen. Auch das Roaming unter Ladesystemen muss verbessert und die Zahlung vereinfacht werden.

3.3.5 Vehicle-to-X

Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Ja	Ja	Ja	Ja	3–7

Vehicle-to-X (X = Home, Building, Grid etc.) bezeichnet die Nutzung von elektrischer Energie, die im Fahrzeug gespeichert ist, in Haushalten und Gebäuden mithilfe von bidirektionalen Ladestationen und Fahrzeugen. Hier gilt es wie bei Power-to-Mobility auch Ladestationen mit Kommunikation zum Netz zu entwickeln und einzusetzen. Die Ausführung der Ladestation muss zudem einen bidirektionalen Energiefluss erlauben, was derzeit meist nicht der Fall ist.

Außerdem gilt es Geschäftsmodelle zu entwickeln und für Akzeptanz beim Endkunden zu sorgen.

Die zusätzlich zu entnehmende Energie stellt zudem weitere Anforderungen. Derzeit gibt es nur einzelne Modelle, die dies für Modellregionen erlauben. Durch die zusätzlichen Zyklen kommt es bei der Batterie zu einer schnelleren Alterung. Hier gilt es die Speicher noch entsprechend zu verbessern. Es entsteht aber auch die Möglichkeit, die Kosten für die Batterien zu teilen. Auch hier sind Geschäftsmodelle mit den Herstellern und Nutzern zu entwickeln.

Die Relevanz der einzelnen Sektorkopplungen in Bezug auf diverse Anwendungsfälle wurden bereits in Kapitel 1 beschrieben. Die detaillierte Bewertung finden sich in Kapitel 9.

3.4 Übersicht über die Relevanz der Speichertechnologien

Die Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen ein sehr heterogenes Bild in Bezug auf den Technology Readiness Level der einzelnen Technologien. Bei fünf Technologien (zu vier von diesen liegt auch österreichische Technologiekompetenz vor) wird noch Grundlagenforschung als erforderlich ausgezeichnet. Bei etwas mehr als 60 % der Technologien (auch davon überwiegend mit österreichischer Technologiekompetenz) steht eine Marktüberleitung bevor bzw. befinden sich diese in TRL 9. Für 85 % der dargestellten Technologien liegt heimische Technologiekompetenz vor und für etwa 62 % der Technologien findet auch heimische Produktion/Assembling statt. Für alle Technologien mit großem Exportpotenzial (47,5 %) liegt auch heimisches Forschungswissen vor. In Summe liegt für nahezu 90 % der Speichertechnologien heimisches Forschungswissen vor.

Tabelle 4: Elektrische Speichersysteme – Übersicht der Technologien und deren Relevanz

	Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Mechanische Speichertechnologien					
Druckluftspeicher	Nein	Ja	Ja	Ja	3–7
Pumpspeicher, Hydraulische Speicher	Nein	Ja	Ja	Ja	3–4
Pumpspeicher, Speicherkraftwerke	Ja	Ja	Ja	Ja	4–9
Schwungräder	Nein	Ja	Nein	Ja	4–9
Elektrochemische Speichersysteme					

Bleibatterien	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Lithium-Ionen-4V-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Lithium-Ionen-5V-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	5
Post-Lithium-Ionen-Technologien	Nein	Ja	Ja	Ja	1–4
Nickelbatterien	Nein	Nein	Nein	Ja	9
Metall-Luft-Batterien	Nein	Ja	Ja	Ja	1–4
Redox-Flow-Batterien	Ja	Ja	Nein	Ja	7–9
Natrium-Batterien – Aqueous-Hybrid-Ion	Ja	Ja	Ja	Ja	7–9
Natrium-Batterien – Hochtemperaturbatterien	Nein	Nein	Nein	Nein	8–9
Chemische Speichersysteme					
Brennstoffzellen	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8
Power-to-Gas-Elektrolyse	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8
Elektrische Speichersysteme					
Superkondensatoren	Nein	Ja	Nein	Ja	9
Supraleitende Magnetspeicher	Nein	Nein	Nein	Nein	3

Tabelle 5: Wärme- und Kältespeicher – Übersicht der Technologien und deren Relevanz

	Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Speicher für sensible Wärme					
Dampfspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Kleinwasserspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Großwasserspeicher bis 2 GWh	Ja	Ja	Ja	Ja	7-8
Großwasserspeicher von 2 bis 200 GWh	Ja	Ja	Ja	Ja	3
Zweitanksysteme	Nein	Nein	Nein	Ja	8–9
Wasser-Kies- oder Wasser-Erdreich-Speicher	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Erdsondenfelder	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Aquiferspeicher	Nein	Ja	Nein	Nein	7–9

Wärmenetz als Speicher	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Hochtemperatur-Feststoffspeicher	Ja	Ja	Ja	Ja	6–9
Nachtspeicherheizung	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Thermische Bauteilaktivierung	Ja	Ja	Nein	Ja	7–9
Regeneration von Geothermiequellen	Ja	Ja	Nein	Ja	8–9
Latentwärmespeicher (Phase Change Material – PCM)					
Latentwärmespeicher	Ja	Ja	Nein	Ja	2–9
Thermochemische Speicher (TCM)					
Adsorptionsspeicher	Ja	Ja	Nein	Ja	1–4
Absorptionsspeicher	Nein	Nein	Nein	Nein	1–4
Speicherung von Reaktionswärme	Nein	Ja	Nein	Ja	1–4

Wie in Tabelle 6 zusammengefasst, liegt für Power-to-Heat, Power-to-Gas/Power-to-Liquid und Gas-to-Power heimische Produktion/Assembling sowie heimische Technologiekompetenz und auch heimisches Forschungswissen vor. Großes Exportpotenzial wird Elektroheizstäben, Elektrodenheizkesseln und Wärmepumpen zugeordnet, welche gleich wie Gasmotoren und Gaskraftwerke einen bereits sehr hohen Technology Readiness Level von 9 aufweisen. Insbesondere bei Umwandlung von Strom in gasförmige oder flüssige Brennstoffe, wie Wasserstoff, Methan oder Methanol, aber auch für die weitere Entwicklung von Brennstoffzellen wird bei einem sehr breiten Spektrum des TRL noch weiterer Handlungsbedarf für eine Marktüberleitung gesehen.

Tabelle 6: Sektorkopplung – Übersicht der Technologien und deren Relevanz

	Heimische Produktion/Assembling	Heimische Technologiekompetenz	Großes Exportpotenzial	Heimisches Forschungswissen	Technology Readiness Level
Power-to-Heat					
Elektroheizstab, Elektrodenheizkessel, Wärmepumpe	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Power-to-Gas/Power-to-Liquid					
PEMEL, SOEC, Methansynthese, Methanolsynthese	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8

Gas-to-Power					
Gasmotoren und Gaskraftwerke	Ja	Ja	Ja	Ja	9
Brennstoffzellen	Ja	Ja	Ja	Ja	3–8
Power-to-Mobility					
	Ja	Ja	Ja	Ja	6–9
Vehicle-to-X					
	Ja	Ja	Ja	Ja	3–7

4 Schwerpunktsetzung im internationalen Vergleich

In den vergangenen Jahren wurden auf sektoraler, europäischer und internationaler Ebene bereits einige Roadmaps zum Thema Energiespeicher erstellt. Je nach Auftraggeber richten sich diese an Adressaten im Bereich des Policymaking, der Industrie und/oder Forschung und haben daher mitunter auch einen anderen Fokus als die österreichische Speicher-Roadmap. Insbesondere im Vergleich mit den Ergebnissen der österreichischen Speicherinitiative liefert die Analyse internationaler Studien und Speicher-Roadmaps wertvolle Erkenntnisse. Sie dienen einerseits der Bestätigung nationaler Überlegungen und können andererseits auch Lücken aufzeigen bzw. deutlich machen, wo eine nationale Schwerpunktsetzung überlegenswert ist.

Im Zuge der Bestandsaufnahme wurden solche Studien und Speicher-Roadmaps identifiziert und auf die Relevanz für Österreich untersucht. Die Schwerpunktsetzung der internationalen Roadmaps und Initiativen in Bezug auf direkte FTI-Förderung (von der Grundlagenforschung bis zur Marktüberleitung) sowie andere FTI-politischen Instrumente (z. B. Bereitstellung von Forschungsinfrastruktur) sind in Tabelle 7 überblicksmäßig dargestellt und der österreichischen Speicherinitiative gegenübergestellt.

Folgende Gewichtungen lassen sich daraus ableiten:

- Unabhängig vom jeweiligen Ziel der Roadmaps, den Adressaten und dem Zeithorizont werden vorwiegend direkte FTI-Förderungen vorgeschlagen.
- Als häufigste direkte Förderinstrumente werden die industrielle Forschung (TRL 2–4) und die experimentelle Entwicklung (TRL 5–8) genannt.
- Herausforderungen und Fragestellungen auf technologischen Ebene (z. B. Entwicklung neuer Elektrolyte) werden dabei in der Regel durch Instrumente der industriellen Forschung und zum Teil auch der Grundlagenforschung (TRL 1) adressiert.
- Herausforderungen und Fragestellungen auf der Ebene von Anwendungen und Dienstleistungen (z. B. Peak Shaving) werden durch Instrumente der experimentellen Entwicklung und Marktüberleitung (TRL 9) adressiert.

Vergleicht man die Ergebnisse der österreichischen Speicherinitiative mit den internationalen Roadmaps, zeigt sich bei allen ein deutlicher Fokus auf der direkten FTI-Förderung. Die Betonung innerhalb der direkten FTI-Förderung auf industrielle Forschung und experimentelle Entwicklung (auf Ebene der Technologie) sowie experimentelle Entwicklung und Marktüberleitung (auf Anwendungsebene) folgt der international üblichen Vorgangsweise.

Insbesondere Humanressourcen und öffentliche Nachfrage/Beschaffung werden sowohl auf internationaler Ebene als auch in der Speicherinitiative nicht oder nur am Rande direkt adressiert, obwohl deren Bedeutung jeweils betont wird. Darüber hinaus wird im Vergleich zu internationalen Roadmaps der Themenkomplex Regulierung und Standardisierung (ins besondere Normierung) konkreter behandelt.

Tabelle 7: Übersicht der Schwerpunkte nach FTI-politischen Instrumenten im internationalen Vergleich

		Speicher- initiative 2016 ^a	EASE/EERA Roadmap 2013 ^b /2017 ^c	REEEM Innovation and Technology Roadmap 2017 ^d	IEA Roadmap 2014 ^d	SET Plan 2015 ^f	Mission Innovation 2017 ^g
Direkte FTI- Förderung	Grundlagenforschung	+	X		X	X	X
	Industrielle Forschung	++	X	X	X	X	X
	Experimentelle Entwicklung	+++	X	X	X	X	X
	Marktüberleitung	++	X	X	X	X	
	Sondierungsstudien	+	X	X	X	X	
	Sozioökonomische Begleitforsch.	+	X	X	X	X	
Forschungsinfrastrukturen				X	X		
Garantien, Kredite und Risikokapital			X	X			
Humanressourcen			X	X			
Innovationslabors, Regulierungs- & Innovationszonen		+			X		
Internationalisierung von F&E			X	X	X		X
Öffentliche Nachfrage & Beschaffung			X				
Orientierung & Bewusstseinsbildung		+		X		X	
Standardisierung & Normung		++		X		X	
Vernetzung & Diffusion von Wissen				X			X

Quelle: ^a [7], ^b [6], ^c [22], ^d [23], ^e [2], ^f [24], ^g [25]

Anmerkung: Im Fall der Speicherinitiative kam eine dreistufige Skala zur Anwendung: + wird adressiert, ++ Schwerpunkt, sowie +++ wichtigstes Förderinstrument. Bei den anderen Roadmaps und Initiativen erfolgte keine solche Abstufung, hervorgehoben (X) bezeichnet alle Bereiche, die explizit adressiert werden.

5 Roadmaps zu den Anwendungsfeldern für Speichertechnologien

Auf Basis des Rückblickes im Rahmen der Patentanalyse im Kapitel 2, der Status-quo-Erfassung der Speichertechnologien in Kapitel 3 und eines internationalen Vergleichs in Bezug auf Schwerpunktsetzungen zum Thema Energiespeicherung in Kapitel 4 wird in diesem zentralen Kapitel der Speicher-Roadmap ein Katalog an Maßnahmen, die aus forschungs-, technologie- und innovationspolitischer Sicht schwerpunktmäßig getroffen werden sollten, aufbereitet.

Wie im vorhergehenden Kapitel im internationalen Vergleich dargestellt, besteht dazu eine Vielzahl an FTI-politischen Maßnahmen. Im Vordergrund der Speicher-Roadmap stehen Maßnahmen und Instrumente der direkten FTI-Förderung zu Grundlagenforschung, industrieller Forschung, experimenteller Entwicklung, Marktüberleitung, Sondierungsstudien sowie sozioökonomischer Begleitforschung. Ebenso wichtig, um die institutionellen und systemischen Rahmenbedingungen für deren Einführung und Diffusion zu verbessern, sind die anderen FTI-politischen Maßnahmen. Diese können beispielsweise zur Verbesserung der Forschungsinfrastruktur beitragen, die Orientierung und Vernetzung der Akteure und Stakeholder im Innovationsökosystem verbessern, durch Garantien Risiken reduzieren und Standardisierung ermöglichen.

Der gewählte Zugang für die Entwicklung war es, die Funktionen von Speichertechnologien innerhalb des Energiesystems sektorübergreifend in den Vordergrund zu stellen. Dafür wurden die wichtigsten Anwendungsfelder identifiziert, zu denen zukünftig innovative Lösungen nachgefragt werden. Deren Priorisierung erfolgte unter Berücksichtigung der energie-, klima- und industriepolitischen Zielsetzungen dieser Roadmap.

Der Bericht dokumentiert die Technologie- und Innovationsthemen und entwirft eine zeitliche Abfolge, entlang welcher die direkten Fördermaßnahmen gesetzt werden sollten. Es zeigte sich, dass die Prioritäten und Anforderungen zwischen den Anwendungsfeldern nach Speicherleistung unterschiedlich sind. Daher wurden diese auch in drei Arbeitsgruppen diskutiert und ausgearbeitet. Die elektrischen Speicher (vgl. Tabelle 8) werden anhand der Leistung in unter 30 kW (klein), zwischen 30 kW und 5 MW (mittel) sowie darüber (groß) unterteilt. Kleine Speicher entsprechen daher der Größenordnung des Hausanschlusses, große dem Mindestgebot für die Regelleistung. Die thermischen Speicher werden nicht nach der Leistung, sondern nach dem Einsatzort in Speicher für Gebäude (klein), für Wärmenetze (mittel) und Industrie (groß) unterteilt.

Tabelle 8: Überblick zu den Roadmaps nach Anwendungsfeldern in drei Kategorien

		klein	mittel	groß
Anwendungsbereiche von Speichersystemen im Energiesystem	Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5MW
	Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetze	Industrie
Saisonaler Ausgleich bei 100 % RES im Gesamtenergiesystem				

Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung (vgl. 5.1) (Thermische Langzeitspeicher)	X	X	X
Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung (vgl. 5.1) (Elektrische Speicher > 1 Woche)			X
Optimierung und Flexibilität des Gesamtenergiesystems und der operativen Stabilität der Stromnetze			
Kurzfristiger Ausgleich in elektrischen Netzen (vgl. 5.2) (Elektrische Speicher < 1 Tag)		X	X
Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen (vgl. 5.3)		X	
Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie (5.4) (in elektrischen Netzen)		X	X
Engpassmanagement (vgl. 5.5) (in elektrischen Netzen)		X	X
Optimierung und Flexibilität lokaler Energiesysteme			
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (vgl. 5.6) (für Gebäude und Wärmenetze)	X	X	
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (vgl. 5.6) (für Industrie)			X
Industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (vgl. 5.7)			X
Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung (vgl. 5.8)	X		
Elektromobilität (vgl. 5.9)	X		

Die direkten Fördermaßnahmen zu den Anwendungsfeldern werden als Teile der Roadmap, abhängig von der Speicherleistung, im Zeitraum zwischen 2018 und 2030 dargestellt. Weiters werden neben den Anwendungsfeldern auch andere FTI-politische Maßnahmen beschrieben.

Um die Vorarbeiten der Speicherinitiative in die Roadmap einfließen zu lassen, wurden, sofern möglich, deren Handlungsempfehlungen den neun prioritären Anwendungsfeldern zugeordnet. Handlungsempfehlungen zu direkten FTI-politischen Maßnahmen werden gegliedert nach den Förderinstrumenten tabellarisch aufgelistet²⁵. Es ist somit möglich, auch die Ergebnisse der Speicherinitiative für die zukünftige Gestaltung von Förderprogrammen systematisch zu nutzen.

FTI-politische Maßnahmen und Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die allgemeiner Natur sind, werden am Ende des Kapitels behandelt.

²⁵ Die Zuordnung erfolgt anhand der in der Speicherinitiative angegebenen TRLs. Da dort der Bereich der TRLs häufig mehreren Förderinstrumenten zuzuordnen ist, kann es vorkommen, dass Handlungsempfehlungen mehrfach genannt werden, im Zweifelsfall wurde die niederen TRLs berücksichtigt.

5.1 Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung

Hier handelt es sich um den langfristigen Ausgleich zwischen Energieangebot im Sommer und Energienachfrage im Winter. Es werden Strom- und Wärmespeicher dafür benötigt. Die Peak-Base-Bewirtschaftung im elektrischen Netz folgt in diesem Anwendungsfeld dem gleichen Grundprinzip wie dem des kurzfristigen Ausgleichs (vgl. Kapitel 5.2).

5.1.1 Technologische Anforderungen und Ziele

Eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung wird dadurch ermöglicht, dass Energie vom Sommer in den Winter verlagert wird. Dabei geht es sowohl um Stromspeicherung als auch um Wärmespeicher. Das derzeitige Marktmodell liefert allerdings im Strombereich und im Wärmebereich nur geringe Anreize für langfristige Speicherung. Dem Anwendungsfeld wird aber für die Zukunft größte Bedeutung zugemessen.

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher und Sektorkopplung beschrieben. Dies dient auch der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen, wobei für dieses Anwendungsfeld Elektrische Speicher, Thermische Speicher, Power-to-Heat, Power-to-Gas und Gas-to-Power als besonders relevant eingeordnet werden.

Elektrische Speicher

- **Hohe Speicherkapazität und -leistung:** Elektrische Speicher, die für den langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung eingesetzt werden können, müssen hohe Speicherkapazitäten im Bereich von mehreren GWh oder TWh aufweisen. Gleichzeitig werden große Leistungen zum Be- und Entladen benötigt, die in der Größenordnung von MW und GW liegen.
- **Hohe Energiedichte:** Wenn die Speicher über eine hohe Energiedichte verfügen, fällt die Baugröße der Anlagen klein aus, was sich günstig auf die Investition und die Anlagenkosten auswirkt.
- **Anbindung an das Stromnetz:** Die Speicher müssen über die passende Stromnetzanbindung verfügen.

Thermische Speicher

- **Geringe Verluste:** Thermische Speicher für den langfristigen Ausgleich müssen geringe Verluste über die Speicherdauer aufweisen und sollen über eine hohe Speicherkapazität verfügen, um den Flächenbedarf gering zu halten.

- **Robuste Komponenten:** Der Speicher und seine Komponenten sollen robust und langlebig sein, um hohen Wartungskosten vorzubeugen.
- **Nutzbare Deckflächen:** Da thermische Langzeitspeicher große Flächen in Anspruch nehmen, ist die Gestaltung der Deckfläche auch von Bedeutung. Durch begehbare und nutzbare Deckflächen, wie z. B. als Kinderspielplatz, lassen sich diese Speicher auch in dicht verbautem Gebiet gut integrieren.
- **Kombinierte Wärme- und Kältespeicherung:** In Hinblick auf die Klimaveränderung werden für die Langzeitspeicherung im Gebäude sowohl Wärme- als auch Kältespeicher benötigt.

Power-to-Heat

- **Elektrische Ladung:** Für Wärmespeicher, die nicht Wasser als Speichermedium nutzen, wird eine effiziente Technologie zur elektrischen Beladung des Speichers benötigt.

Power-to-Gas

- **Effizienz:** Power-to-Gas Anlagen sollen einen hohen Wirkungsgrad aufweisen.
- **Kosten:** Power-to-Gas ist derzeit vor allem ein ökonomisches Problem, weil aus einem teuren Produkt ein billiges hergestellt wird. Daher werden kosteneffiziente Umwandlungsverfahren benötigt, insbesondere Methanisierungsverfahren.
- **Räumliche Verteilung:** Für den langfristigen Ausgleich im Energiesystem geht man von einzelnen großen Anlagen im TWh-Bereich aus, die auch bestehende Gasspeicher nützen. Die Anlagen und Gasspeicher sollen daher gleichmäßig verteilt sein und über die entsprechende Anbindung an das Strom- und Gasnetz verfügen.
- **Einspeisung in das Gasnetz:** Das Gasnetz selbst kann als Speicher dienen, das Netz muss auch räumlich gut verteilt sein. Die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz soll möglich sein, um bestehende Infrastruktur nutzen zu können. Dazu müssen die Gasleitungen wasserstofftauglich sein. Beim Verbraucher kann Wasserstoff beispielsweise durch Membranverfahren wieder aus dem Erdgas abgetrennt werden.
- **Transport von Gasspeichern:** Transportable Gasspeicher können räumliche Unterschiede von Angebot und Verbrauch ausgleichen.
- **CO₂-Quelle für die Methanisierung:** Um Methan aus Wasserstoff herzustellen, wird CO₂ benötigt. CO₂ kann beispielsweise aus Verbrennungsabgasen abgetrennt werden oder als Nebenprodukt bei chemischen Synthesen entstehen.

Gas-to-Power

- **Standardisierung:** Plug-and-Play-Anlagen im kleinen Leistungsbereich, die einfach zu integrieren und zu betreiben sind, werden für die Nutzung von Wasserstoff für den saisonalen Ausgleich benötigt.
- **Toleranz bei der Gasbeschaffenheit:** Gas-to-Power-Anlagen sollen verschiedene Gasgemische nutzen können.
- **Kostengünstige Brennstoffzellen:** Die Investitionskosten spielen bei der weiteren Verbreitung bereits vorhandener Technologien eine wichtige Rolle.

5.1.2 Technologien und Sektorkopplungen

Speicher zum langfristigen Ausgleich werden im Strom-, Wärme- und Gasnetz benötigt. Batteriespeicher können als langfristige elektrische Speicher für Anlagen mittlerer Größe eingesetzt werden sowie Pumpspeicherkraftwerke, die vor allem als Großanlagen ausgeführt werden. Mögliche Technologien für Langzeit-Wärmespeicher sind große Wasserspeicher und thermochemische Speicher (TCM), die auch für die Gebäudeanwendung geeignet sind (vgl. Tabelle 9).

Technologien der Sektorkopplung sind für die langfristige Speicherung von besonderem Interesse, da dadurch die Flexibilität erhöht wird. Neben Power-to-Heat-Technologien, die Strom in Wärme umwandeln, sind auch Power-to-Gas-Technologien, wie Elektrolyse und Methanisierung, relevant. Das Gas wird in Gasspeichern gelagert, bis es im Winter mit Gas-to-Power wieder genutzt wird.

Tabelle 9: Technologieoptionen für den langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung

	klein	mittel	groß
Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5 MW
Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetz	Industrie
Technologieoptionen	Thermochemische Wärmespeicher (TCM)	Power-to-Heat, Power-to-Gas, Gas-to-Power, Batteriespeicher, Pumpspeicher, große Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM) und Thermochemische Wärmespeicher (TCM)	Pumpspeicherkraftwerke, Power-to-Gas (Methanisierung, Elektrolyse), Gas-to-Power

5.1.3 Direkte FTI-Förderungen

Abbildung 11 zeigt die Roadmap für direkte FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung in Gebäuden. Im Gebäude kommen Wärmespeicher für den langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung infrage. Dabei gilt es einen Wärmespeicher zu entwickeln, der die oben angeführten Anforderungen wie geringe Verluste und robuste Komponenten sowie die sinnvolle Integration in Gebäude und ihre Umgebung erfüllt. Spezifische Forschungsthemen sind die Reaktorentwicklung und Systemoptimierung sowie neue Methoden der Speicherbeladung mit hohem Wirkungsgrad. Thermochemische Speicher können eine dafür geeignete Technologie darstellen, wenn sie entsprechend weiterentwickelt werden. Für den Einsatz neuer Materialien ist ein Entwicklungspfad in Abbildung 11 ersichtlich, der sich von der Grundlagenforschung im Jahr 2018 bis zu Marktüberführung im Jahr 2028 erstreckt.

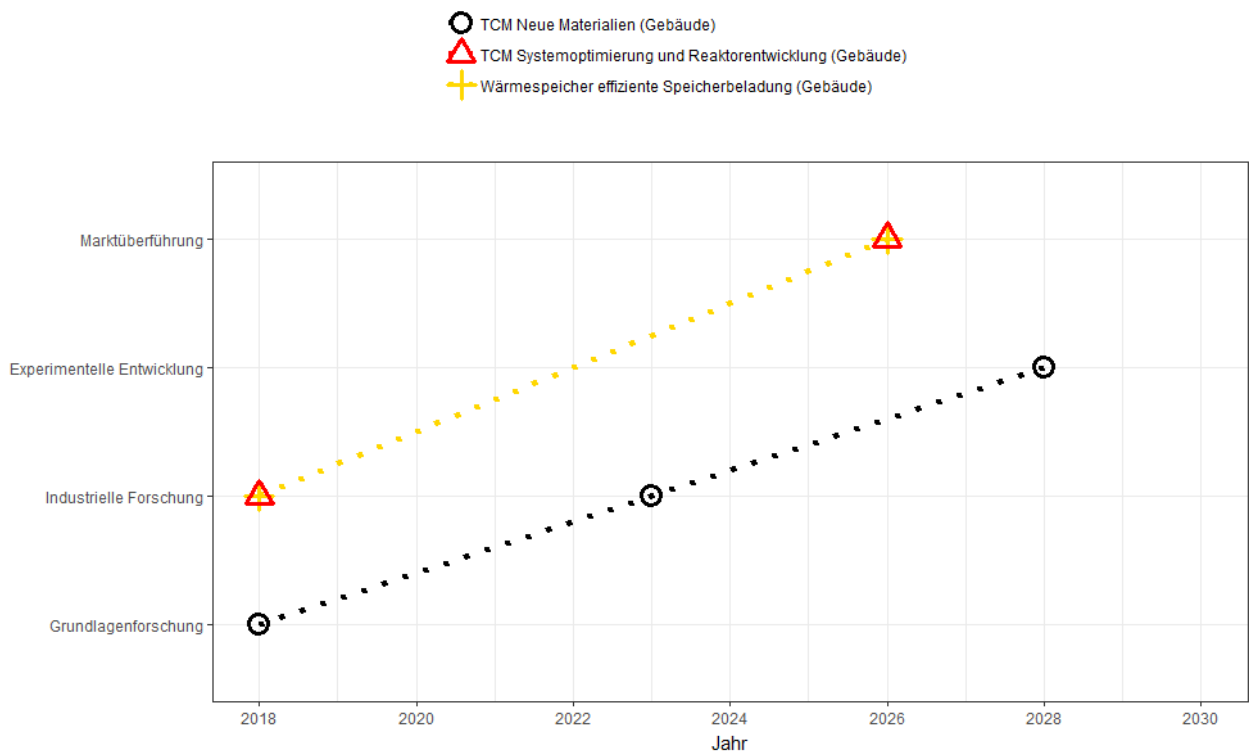


Abbildung 11: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung in Gebäuden (klein)

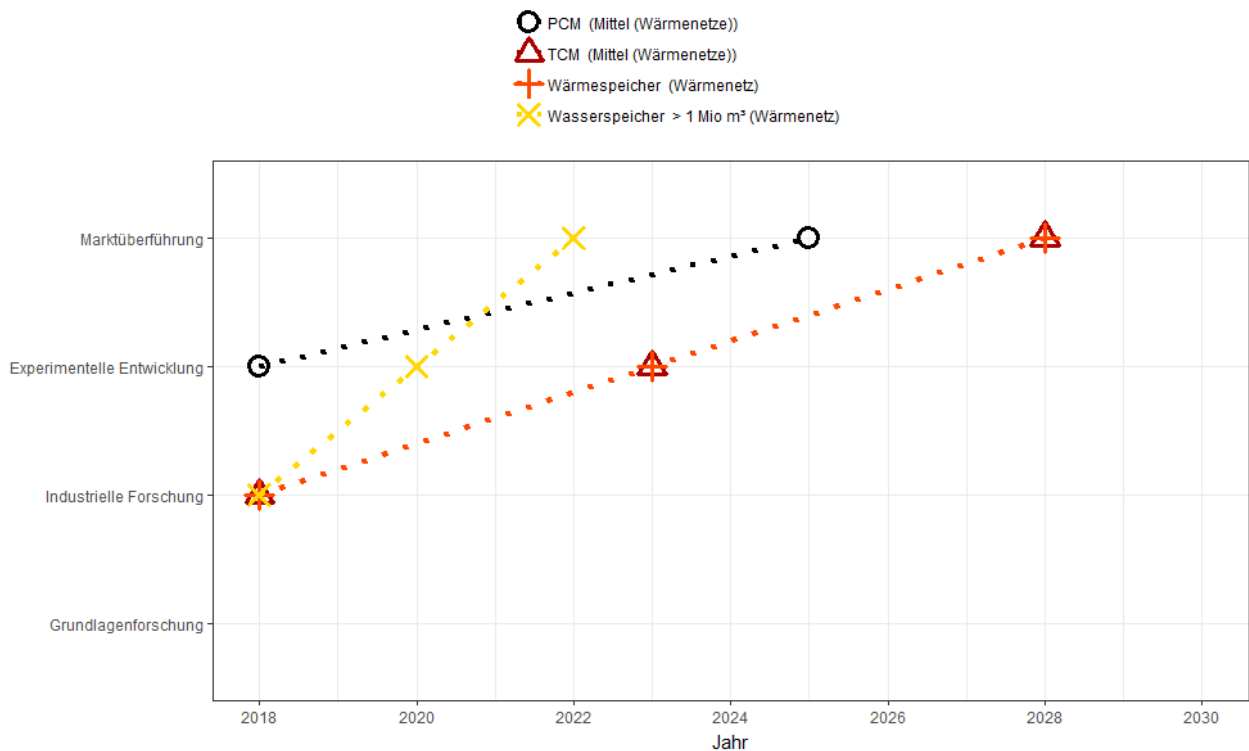


Abbildung 12: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung in Wärmenetzen (mittel)

FTI-Maßnahmen für zentrale Wärmespeicher für den langfristigen Ausgleich, die in Wärmenetze integriert werden, werden in Abbildung 12 dargestellt. Wie im Gebäude kommen für diese Anwendung verschiedene Speichertechnologien infrage, wie große Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM) und thermochemische Speicher (TCM). Daher soll ein Wärmespeicher entwickelt werden, der die oben genannten Anforderungen für den langfristigen Ausgleich erfüllt. Im Jahr 2028 wird die Marktüberführung erwartet. Spezifische Entwicklungslinien sind auch für PCM-Speicher und TCM-Speicher ersichtlich.

Bei großen Wasserspeichern mit einem Volumen größer als 1 Mio. m³ wurde ebenfalls Forschungs- und Entwicklungsbedarf erhoben. In anderen Ländern sind derartige Speicher bereits auf TRL 8, in Österreich steht die Entwicklung erst bei TRL 4. Wesentliche Unterschiede bestehen in den geologischen Gegebenheiten (der höhere Grundwasserspiegel in Österreich erhöht die Speicherverluste) und in den Anforderungen der Wärmenetze, da die Temperaturen in Österreichs Bestandsnetzen höher sind. Hier soll bis 2022 die Marktüberführung erreicht werden.

Die FTI-Maßnahmen für mittlere und große Anlagen zeigt Abbildung 13. Alle Forschungsthemen sind derzeit als industrielle Forschung einzuordnen.

Für elektrische Speicher im mittleren Leistungsbereich kommen Pumpspeicherkraftwerke infrage.

Bei Power-to-Gas werden zwei Forschungsfragen detaillierter betrachtet, die Hochdruckelektrolyse und die Methanisierung. Ziel der Hochdruckelektrolyse ist es, Wasserstoff unter Druck herzustellen, dadurch kann der Verdichtungsschritt vor der Speicherung entfallen. Wie bei der Methanisierung wird die Marktüberführung 2028 avisiert.

Gas-to-Power ist die Umwandlung von Gas in Strom, hier geht es vor allem um die Nutzung von Wasserstoff. Forschungsfragen betreffen die Verstromung von Wasserstoff in Brennstoffzellen sowie die Verbrennung von Wasserstoff ohne den Umweg über die Methan-Synthese. Diese Entwicklungen sollen bis 2030 dauern.

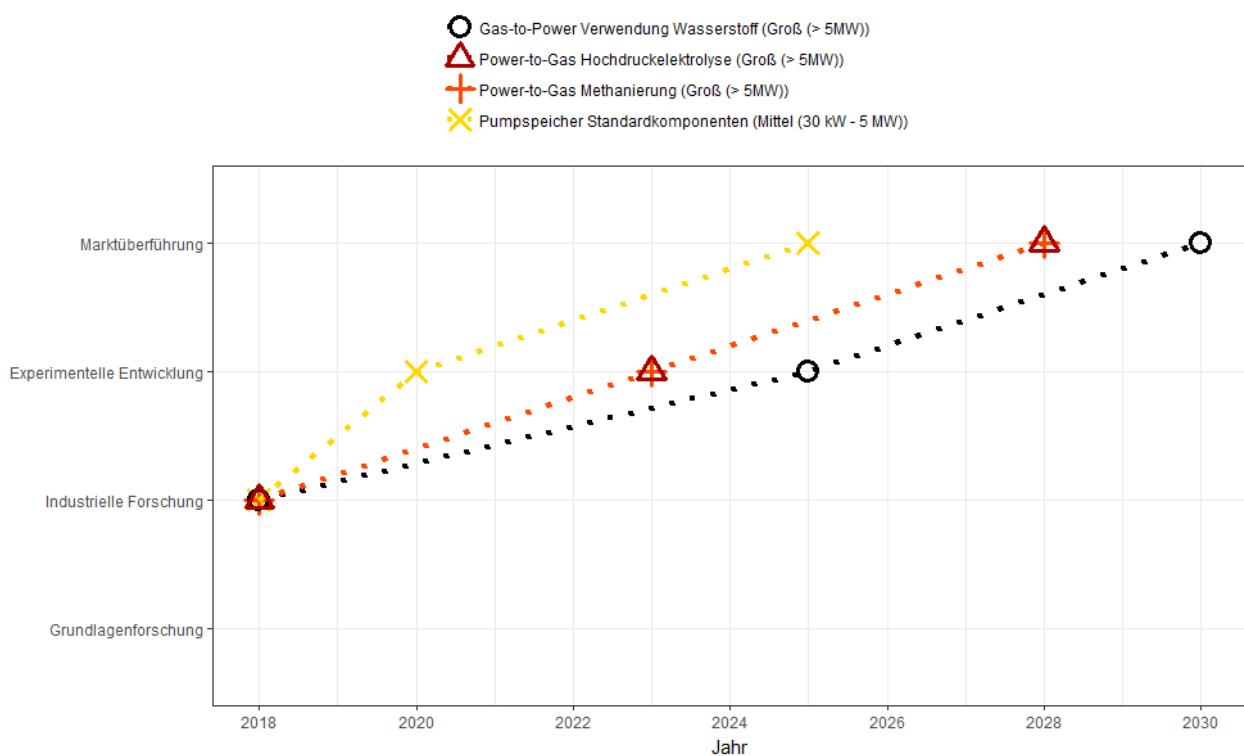


Abbildung 13: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung durch Speichertechnologien über 5 MW (groß)

5.1.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung

Besonders für saisonale Speicherung besteht nicht nur langfristiger Bedarf nach Forschungs- und Innovationsprojekten, vielmehr besteht dafür auch die Notwendigkeit, ein entsprechendes sektorübergreifendes Innovationsökosystem aufzubauen. Dafür ist eine Reihe an koordinierten FTI-politischen Maßnahmen erforderlich, die es ermöglichen, Innovationsprozesse in Gang zu bringen und an den Erfordernissen der klima- und energiepolitischen Herausforderung auszurichten.

Dies betrifft die vier Bereiche: F&E-Infrastruktur, institutioneller Wandel, soziale Netzwerke und kollektive kognitive Modelle und Vorstellungen.

- Institutioneller Wandel

Saisonale Speicherung hat bisher keine Rolle im Energiesystem gespielt, weshalb die bestehenden institutionellen Rahmenbedingungen im Bereich der Energiesysteme dafür kaum ausgelegt sind. Ideen zu innovativen Projekten lassen sich beispielsweise aufgrund eingeschränkter Handlungsspielräume bei der Gestaltung von Preisen, regulatorisch festgelegter Rollen und Organisationen etc. nur schwer realisieren.

- F&E-Infrastruktur

Da in diesem Bereich groß skalierte Anwendungsprojekte erforderlich sein werden, stellt sich auch die Frage nach **F&E-Infrastruktur**, um Fragen **der Skalierung** behandeln zu können. Dadurch kann das Risiko in der Umsetzung reduziert werden.

Weiters mangelt es auch an Innovationszonen, in denen nicht nur Innovationsprojekte, sondern auch ganze Innovationsprozesse unter klar definierten und verbindlichen institutionellen Rahmenbedingungen ablaufen können. Derartige **regulatorische Innovationszonen** müssten, ähnlich den Ausnahmeregeln für das deutsche Schaufensterprogramm, möglichst rasch zwischen den unterschiedlichen Politikfeldern abgestimmt werden, um auch bereits in den Vorzeigeregionen eingesetzt werden zu können. Dies könnte aufgrund der besseren Kalkulierbarkeit der Risiken auch als innovationsfördernde Maßnahme eingestuft werden.

- Soziale Netzwerke

Da hier auch einige Lösungen mit Sektorkopplungen zusammenhängen, sind die Akteure im Innovationsökosystem nicht ausreichend vernetzt. Entsprechende Koordinations- und Vernetzungsmaßnahmen sind, wie im allgemeinen Teil in Kapitel 6.2 beschrieben, erforderlich. Ebenso ist eine internationale Vernetzung im Bereich der Forschung wichtig.

- Kognitive Modelle und Vorstellungen

Speziell im Bereich von Power-to-Gas (einschließlich Wasserstoff) besteht noch wenig Vorstellung darüber, wie diese Energieträger und -infrastrukturen in einem System mit 100 % erneuerbarer Energie interagieren und wie der institutionelle Wandel stattfinden wird.

5.1.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 10) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 10: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zum langfristigen Ausgleich der Energiebereitstellung

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	
Sondierungsstudien	Projekte zur Entwicklung von Grundlagen für die urbane Stadt- und Raumplanung (Energieraumplanung) zur langfristigen Berücksichtigung des Platzbedarfs für große Langzeitspeicher, unter Berücksichtigung ausländischer Erfahrungen mit regionalen Wärmeplänen etc.	
	Projekte zu ökologischen Auswirkungen der Boden- und Grundwassererwärmung durch saisonale Großspeicher, Erarbeitung von Richtlinien-Vorgaben für die Planung	
Industrielle Forschung	Projekte zu Langzeitspeichern in Verbindung mit unterschiedlichen Wärmequellen (auch Abwärme) zur Simulation und Optimierung, inkl. Schnittstellenproblematik	TRL 2–4
	Demonstrationsprojekte zur verbesserten Abdichtung und Isolierung des Speicherbeckens von Großwasserspeichern und zur Entwicklung optimierter Betriebsführungskonzepte	TRL 3–4
	Projekte zur Material- und Komponentenentwicklung von Adsorptionsspeichern, Entwicklung von Verfahrenstechnik der Speichermaterialien (geeignete Reaktortypen für jeweiligen Anwendungsfall) sowie Entwicklung geeigneter Steuerungs- bzw. Regelungstechnik (prognosebasierte Betriebsführung)	TRL 3–4
	Projekte zur Material- und Reaktorentwicklung von thermochemischen Speichern für verschiedene Leistungsklassen sowie zur Entwicklung geeigneter Verfahrens- und Prozessleittechnik	TRL 3–4
Experimentelle Entwicklung	Demonstrationsprojekte zur besseren Bewirtschaftung bestehender Speichertechnologien für Langzeitspeicher (Bsp. Schotter-Wasser-Speicher) und Verbesserung neuer Technologien (Bsp. Thermochemische Speicher)	TRL 7–8
	Projekte zu Langzeitverhalten und Ergiebigkeit verschiedener Gesteinsformationen in der Tiefe als Basis der Simulation des spezifischen Energiebedarfs für die Re-Injektion bei Erdsondenfeldern	TRL 8–9
Marktüberführung	Praxistest zur saisonalen Wärmespeicherung im netzgebundenen Großspeicher mit Entwicklung von Planungswerkzeugen und technischen Regelwerken inkl. Kopplung mit Wärmepumpen mit dem Ziel einer Kostendegression	TRL 9

5.2 Kurzfristiger Ausgleich im elektrischen Netz

Die Peak-Base-Bewirtschaftung kann entweder kurzfristig oder über einen längeren Zeitraum (Saisonalspeicherung) erfolgen, indem beispielsweise Energie im Sommer gekauft und im Winter wiederverkauft wird (beispielsweise durch Umwandlungsmethoden wie Power-to-Gas – vgl. dazu auch Kapitel 5.1). Die kurzfristige Peak-Base-Bewirtschaftung (umfasst den Zeitraum von einem Tag bis zu einer Woche) ermöglicht es, elektrische Energie zu Off-Peak-Zeiten auf Spotmärkten zur Verfügung zu stellen. Speicherbesitzer tragen neben einem profitablen Business Case zur Stabilisierung der Stromnetze bei. Eine Möglichkeit für die Peak-Base-Bewirtschaftung bietet auch Fuel Piling. Fuel Piling ist die Fähigkeit einiger Wasserkraftwerke, Wasser für spätere Nutzung zu stauen, wobei dieses dabei nicht in ein höheres Reservoir gepumpt, sondern in einem Rückstaubecken mit natürlichem Zufluss gespeichert wird.

5.2.1 Technologische Anforderungen und Ziele

Im Anwendungsfeld des kurzfristigen Ausgleichs und damit der Peak-Base-Bewirtschaftung gilt es grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Spanne zwischen Peak und Base und damit die Profitabilität des Speichers im Erzeugungsmarkt mit jeder neu installierten Speicherkapazität sinkt, wenn die Zunahme der entsprechenden Speicherkapazitäten höher ist als der zusätzliche Bedarf zum Ausgleich der zusätzlichen fluktuierenden Energieproduktion durch erneuerbare Ressourcen. Aufgrund der damit verbundenen Planungsunsicherheit bestehen zurzeit wenige Anreize, um für dieses Anwendungsfeld in Speicher zu investieren. Dennoch wird dieses Anwendungsfeld insbesondere bei großen Anlagen als einer der größten Treiber für den Einsatz von Speichern gesehen.

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher und Sektorkopplung beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen, wobei für dieses Anwendungsfeld Elektrische Speicher, Power-to-Heat, Power-to-Gas und Gas-to-Power als relevant eingeordnet werden.

Elektrische Speicher

- **Leistung und Kapazität:** Für dieses Anwendungsfeld ist weniger eine hohe Kapazität, die eine Speicherung von hohen Energiemengen zulässt, wichtig (geringe Kapazität ist kein Hindernis), sondern vielmehr eine hohe Leistung. Speicher, die für den kurzfristigen Ausgleich genutzt werden, sollen Energie bis zu vier Wochen lang speichern.

- **Wirkungsgrad und Zyklenzahl:** Neben der Anforderung eines hohen Wirkungsgrades, der sich direkt auf die Profitabilität auswirkt, ist mit einer relativ hohen Zyklenzahl von mehr als einem Zyklus pro Tag auszugehen.
- **Dezentrales Pooling:** Wenngleich hohe Leistungen erforderlich sind, eignet sich dieses Anwendungsfeld auch für dezentrale Anlagen und somit auch für dezentrale Pools, was zusätzlich Massenproduktion erlaubt.

Power-to-Heat

- **Systemeinbindung:** Einheitliche Standards, Schnittstellen bzw. eine Smart-Grid-Fähigkeit sind für die erfolgreiche multifunktionale Nutzung von Power-to-Heat-Technologien notwendig.
- **Kostenreduktion:** Für einen vermehrten Einsatz von Wärmepumpen hinsichtlich Power-to-Heat sind kostengünstige Wärmepumpen erforderlich.
- **Erweiterte Modulierung:** Um den Teillastbetrieb zu optimieren braucht es eine erweiterte Frequenzsteuerbarkeit.

Gas-to-Power

- **Regelbarkeit:** Bei der Wiederverstromung müssen Speichersysteme in der Lage sein, auf kurzfristige Fluktuationen der Last zu reagieren. Im Besonderen sollen SOFC-Brennstoffzellen flexibel regelbar sein.
- **Reversibilität:** Zur Systemvereinfachung und Kostenreduktion kann die Entwicklung reversibler Brennstoffzelle beitragen.
- **Nutzung von Synergieeffekten:** Die Wiederverstromung von erneuerbarem Wasserstoff oder Methan in Gasturbinen und Motoren kann durch Synergieeffekte mit bestehenden Biogasanlagen verbessert werden.
- **Kostenreduktion:** Durch Entwicklung neuer PEM-Materialien sollen die Kosten gesenkt werden um in weiterer Folge auch einen großflächigen Einsatz zu erreichen.

Power-to-Gas

- **Dynamische Regelbarkeit:** Für einen kurzfristigen Ausgleich im elektrischen System müssen Speichersysteme in der Lage sein, auf kurzfristige Fluktuationen zu reagieren.
- **CO₂-Quellen für die Methanisierung:** Im Fall einer Methanisierung sind passende und verfügbare CO₂-Quellen notwendig. Möglichen Synergien ergeben sich mit der Industrie und Biogasanlagen.

- **Gesamtwirkungsgrad:** Die Umwandlung von elektrischer Energie in Wasserstoff und vor allem in Methan weist sichtbare Umwandlungsverluste auf. Eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades der Umwandlungskette ist für die breite Verwendung von Relevanz.

5.2.2 Technologien und Sektorkopplungen

In Bezug auf die Sektorkopplung (vgl. Tabelle 11) eignen sich bei mittlerer Anlagengröße für dieses Anwendungsfeld Power-to-Heat, Power-to-Gas, Gas-to-Power, Batteriesysteme und Pumpspeicher.

Tabelle 11: Technologieoptionen für kurzfristige Ausgleiche zwischen Erzeugung und Last im elektrischen Netz

	klein	mittel	groß
Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5 MW
Technologieoptionen	–	Power-to-Heat, Power-to-Gas, Gas-to-Power, Batteriesysteme, Pumpspeicher	Pumpspeicherkraftwerke, Batteriesysteme

5.2.3 Direkte FTI-Maßnahmen

In Abbildung 14 werden die FTI-Förderungen für Pumpspeicherkraftwerke > 5 MW in

- Flexibilisierung von Pumpspeichern und
- Pumpspeicher mit geringen Fallhöhen

unterschieden.

Unter Flexibilisierung ist das Pumpen und Turbinieren bzw. Wiederverstromen im gesamten Leistungsbereich zu verstehen. Die Entwicklung reicht von der Leistungselektronik bis zur Strömungsführung. Es wird mit einer Dauer von etwa zehn Jahren bis zur Markteinführung gerechnet.

Pumpspeicher mit geringen Fallhöhen sind Anlagen mit kleinen Wassermengen und auf niedrigen Bergen, die als Tagesspeicher eingesetzt werden. Die Technologie ist schon näher an der Marktreife und es ist mit einer Marktüberführung in etwa fünf Jahren zu rechnen.

Jedenfalls gilt es bei direkten FTI-Förderungen von Pumpspeichern auch die langen Investitionszyklen von etwa 30 Jahren zu berücksichtigen.

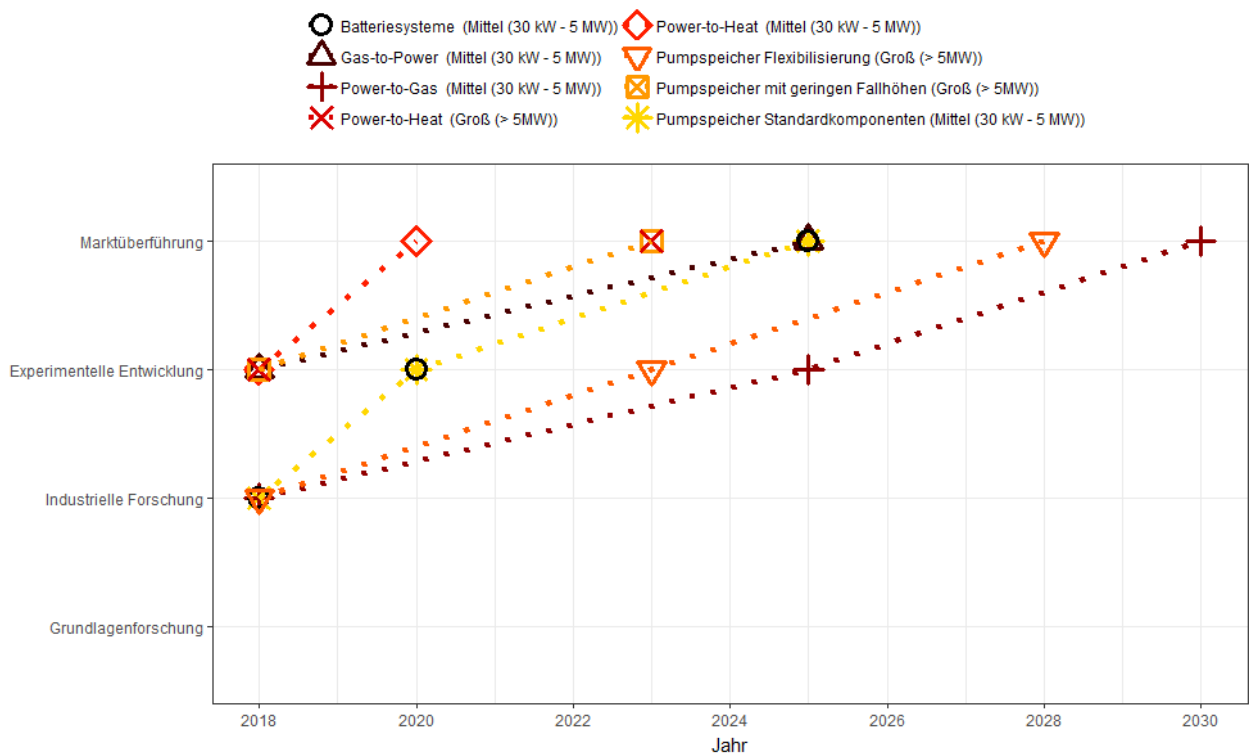


Abbildung 14: Roadmap der direkten FTI-Maßnahmen zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen mit Speicherleistungen über 5 MW

Aus Abbildung 14 ist auch ersichtlich, dass für Power-to-Heat- und Gas-to-Power-Lösungen mit Speicherleistungen zwischen 30 kW und 5 MW derzeit experimentelle Entwicklung notwendig ist. In zwei bzw. sieben Jahren können dann Maßnahmen zur Marktüberführung angeschlossen werden. Sowohl bei Batteriesystemen, Pumpspeicherkraftwerken mit Leistungen unter 5 MW und Power-to-Gas-Anlagen ist aktuell noch Bedarf nach industrieller Forschung. Eine Marktüberführung bei Power-to-Gas-Anlagen ist erst bis etwa 2030 zu erwarten. Der Wechsel von industrieller Forschung auf experimentelle Entwicklung ist bei Pumpspeicherkraftwerken und Batteriesystemen bereits in zwei Jahren zu erwarten, bei Power-to-Gas-Anlagen jedoch erst im Jahr 2025.

5.2.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen

Neben direkten Förderungen zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen durch Speichieranwendungen werden auch folgende andere FTI-politische Maßnahmen empfohlen, um die institutionellen und systemischen Rahmenbedingungen für deren Einführung und Diffusion zu verbessern:

- Garantien/Kapital

Auch wenn den Akteuren im Sektor die Notwendigkeit, verstärkt in Lösungen zum kurzfristigen Ausgleich zu investieren, bewusst ist, fehlen aufgrund der hohen Unsicherheiten Investitionsanreize. Es sollten daher Prozesse angestoßen werden, um Handlungsempfehlungen zur Gestaltung von Investitionsförderungen im Kontext der Dringlichkeit der klima- und energiepolitischen Herausforderungen zu entwickeln.

- Regulierung

Planungsunsicherheiten, speziell im Zusammenhang mit Pumpspeichern, bestehen durch die Bewilligungsprozesse und die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Diese Prozesse sind aus der gesellschaftlichen Perspektive von AnrainerInnen, der Sicherheit und des Umweltschutzes notwendig. Insbesondere die Berücksichtigung der Einwände von BürgerInnen und zivilgesellschaftlichen Gruppen ist wichtig und auch für die Nachhaltigkeit von Lösungen unumgänglich. Um hier der zunehmenden Dringlichkeit der Umsetzung innovativer Lösungen Rechnung zu tragen, sollten die Barrieren erhoben werden (z. B. ob Widersprüche zwischen den UVP-Richtlinien und den Anforderungen des 100%ig erneuerbaren Energiesystems bestehen) und **institutionelle Innovationen** zur effektiven Gestaltung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und anderer Prozesse entwickelt werden.

Regulatorische Hürden für die Einspeisung von erneuerbarem Wasserstoff und Methan sind zu beseitigen bzw. ein klarer regulatorischer Rahmen zu schaffen.

Weitere regulatorische Herausforderungen beim Einsatz von Speichertechnologien zur Stabilisierung und Flexibilisierung lokaler Netze sind bereits ausführlich in der Speicherinitiative behandelt worden.

- Orientierung

Auch der Mangel an Orientierung über die zukünftigen Entwicklungspfade ist ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor. Dafür fehlen insbesondere im Bereich der Sektorkopplungen (Power-to-Gas und Power-to-Heat) **Studien zur Potenzialerhebung** und **adaptive Strategien**. Ohne näher auf die räumlichen Dimensionen eingehen zu können, müssen sowohl Studien als auch adaptive Strategien den räumlichen und strukturellen Gegebenheiten angepasst werden.

Dies bezieht sich nicht ausschließlich auf Kernakteure und Stakeholder, sondern auch auf Dritte, die beispielsweise durch UVPs Einfluss auf Entscheidungen haben. Ohne gesellschaftlich akkordierte und ausverhandelte Entscheidungsfindungen, die an die neuen Herausforderungen angepasst sind, werden sich die Unsicherheiten zumindest nicht verringern. Diesbezügliche gesellschaftliche

Prozesse und Diskurse erfordern die Ingangsetzung eines Bewusstseinsbildungsprozesses. Im Bereich der Wasserkraft besteht besonderer Bedarf an derartigen Maßnahmen, da für den weiteren Ausbau auch die Interessen Dritter betroffen sein können (z. B. touristische Nutzung im alpinen Raum).

- Forschungsinfrastruktur

Es ist in Österreich derzeit noch nicht möglich, Power-to-Gas-Lösungen in gekoppelten Systemen zu testen. Passende Laboreinrichtungen mit der Möglichkeit, technologische Schnittstellenprobleme zu lösen, sollten eingerichtet werden.

5.2.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 12) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Kurzfristiger Ausgleich im elektrischen Netz“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 12: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Industrielle Forschung	Projekte für Gesamtlösungen bzw. Peripherieeinsatzkonzepte von Power-to-Gas-Anlagen zur Effizienzsteigerung der Erzeugung (z. B. Abwärmenutzung), Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Methanisierung durch mögliche Zwischenspeicherung	TRL 3–4
Experimentelle Entwicklung	Praxiserprobung zur technischen und rechtlichen Integration von Speichern in KWK-Anlagen und Entwicklung von Betriebsführungskonzepten	TRL 8
Marktüberleitung	Praxiserprobung zur technischen und rechtlichen Integration von Speichern in KWK-Anlagen und Entwicklung von Betriebsführungskonzepten	TRL 9

5.3 Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen

Thermische Speicher können zur Optimierung der Wärmebereitstellung in Wärmenetzen eingesetzt werden. Speicher können zeitliche und räumliche Unterschiede zwischen Angebot und Bedarf ausgleichen und zur Vermeidung von Lastspitzen beitragen. Speicher erlauben auch die energiewirtschaftliche Optimierung des Betriebs. Die Nutzung von Speichern in der Industrie wird in Kapitel 5.5 behandelt.

5.3.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der thermischen Speicher beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen.

- **Kommunikative Anbindung:** Für das Lastmanagement im Wärmenetz wird eine kommunikative Anbindung der Wärmeverbraucher benötigt. Analog zum Smart Meter im Stromnetz könnte es das Smart Meter für Wärme geben.
- **Aggregatoren:** Aggregatoren sollen die Anbindung zum Markt erleichtern.

5.3.2 Technologien und Sektorkopplungen

Aufgrund der auftretenden Temperaturen kommen in Wärmenetzen (vgl. Tabelle 13) Wasserspeicher zum Einsatz. Drucklose Speicherbehälter sind die bislang wirtschaftlichsten Speicher und sind einfach in Wärmenetzstrukturen integrierbar.

Tabelle 13: Technologieoptionen für Lastmanagement und Spitzenreduktion für Wärmenetze

	klein	mittel	groß
Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetz	Industrie
Technologieoptionen	-	Wasserspeicher	-

5.3.3 Direkte FTI-Förderungen

Die FTI-Fragestellungen betreffen hier vor allem die kommunikative Anbindung von Wärmespeichern in das Wärmenetz, um sie gezielt für das Lastmanagement nutzen zu können. Gleichzeitig wird auch eine Anbindung an den Markt, beispielsweise über Aggregatoren, benötigt. Mit Pilot- und Demonstrationsprojekten kann man hier in rund fünf Jahren zur Marktüberleitung kommen (vgl. Abbildung 15).

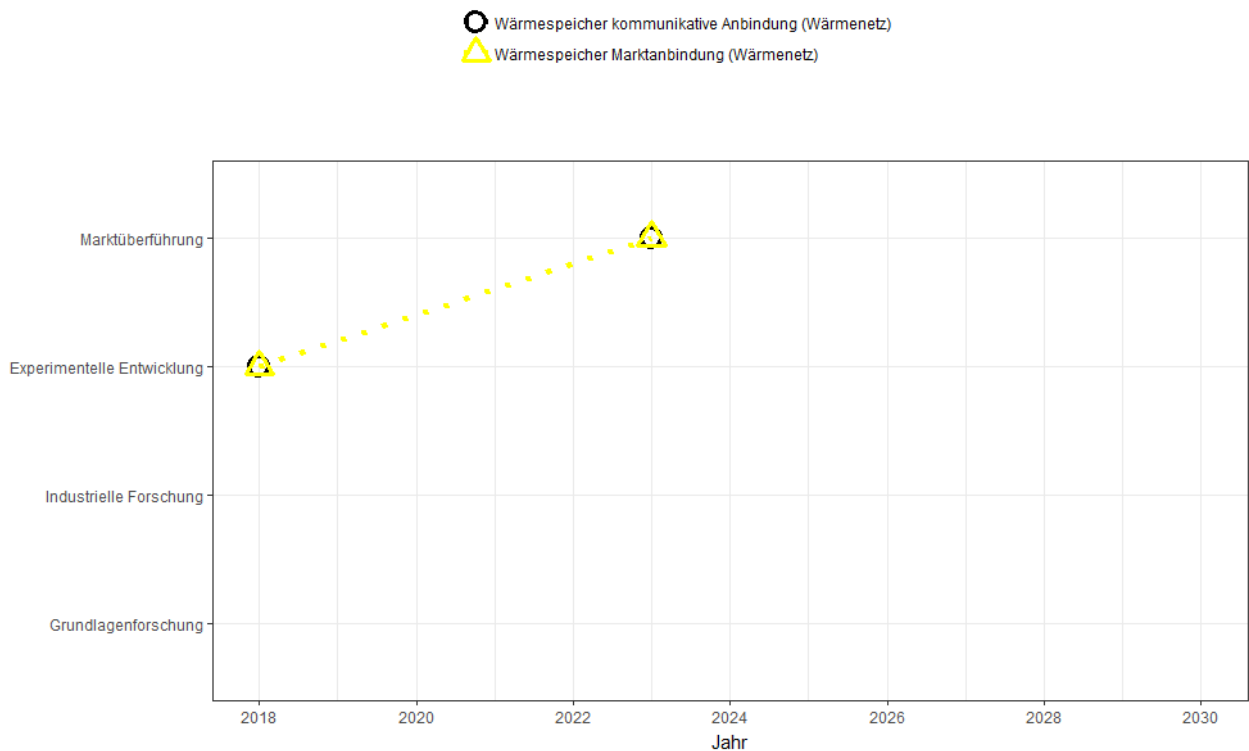


Abbildung 15: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum Lastmanagement und zur Spitzenreduktion für Wärmenetze

5.3.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum Lastmanagement und Spitzenreduktion für Wärmenetze

Für dieses Anwendungsfeld wurden keine sonstigen Maßnahmen diskutiert.

5.3.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 14) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 14: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zum Lastmanagement und Spitzenreduktion für Wärme

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Experimentelle Entwicklung	Demonstrationsprojekte z. B. im Fall einer Siedlungserweiterung zum Speichereinsatz als Alternative zu Netzverstärkung bei Lasterhöhung im Netz	TRL 7–8
	Demonstrationsprojekte zu Energienetzen z. B. in Stadterweiterungsgebieten inkl. dynamischer Simulation und Vermessung, Störfallanalyse und Entwicklung von Betriebsführungssystemen	TRL 7–8

5.4 Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie

Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung und Ausgleichsenergie wurden im ersten Expertenworkshop als relevante Anwendungsfälle für Speichersysteme bei einer 100%igen Versorgung durch erneuerbare Energien identifiziert. Sowohl Anlagen im mittleren und großen Leistungsbereich sind dafür als relevant erachtet worden. Die oben genannten Anwendungen werden im Folgenden beschrieben:

- **Primärregelung:** Die Frequenz des europäischen Stromnetzes muss um 50 Hz gehalten werden. Fluktuationen in der Frequenz können durch zusätzliche Energie oder geringere Lasten ausgeglichen werden. Dieses Service muss innerhalb von Sekunden durchgeführt werden und hat eine Mindestdauer von 15 Minuten [17]. Ein geeignetes Speichersystem kann dieses Service anbieten.
- **Sekundärregelung:** Abhängig von den jeweiligen regulatorischen Rahmenbedingungen eines Landes kann die Definition von Sekundärregelung variieren. Die Sekundärregelung dient zum Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch und entlastet dabei die Primärregelung. Sie ersetzt diese nach einem definierten Zeitraum (in Österreich fünf Minuten [26]).
- **Tertiärregelung:** Die Tertiärregelung (oder auch Minutenreserve) entlastet die Sekundärregelung nach einem definierten Zeitraum (in Österreich 15 Minuten [27]), welcher von den regulatorischen Rahmenbedingungen eines Landes abhängt. Tertiärreserven werden häufig händisch angefordert.
- **Ausgleichsenergiebereitstellung:** In Österreich müssen Erzeugungseinrichtungen, welche auf dem Energiemarkt teilnehmen, Fahrpläne für ihre Erzeugungsprofile vorlegen und diese befolgen. Abweichungen von diesen Fahrplänen können zu zusätzlichen Kosten führen. Speicher können Ausgleichsenergie bereitstellen, um diese Fahrplanabweichungen zu verhindern. Diese Abweichungen können auf der einen Seite durch die zeitliche Abweichung der Erzeugung zur Prognose oder auf der anderen Seite durch kurzfristige Fluktuationen bzw. starke Gradienten in der Erzeugung entstehen.

5.4.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher und Sektorkopplung beschrieben (adressiert werden elektrische Speicher ab einer Leistung von 30 kW). Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen, wobei für dieses Anwendungsfeld Elektrische Speicher und Power-to-Heat als relevant eingeordnet werden.

Elektrische Speicher:

- **Hohe Leistung:** Speicherleistungen im Megawatt-Bereich werden benötigt. Die Leistung kann dabei zwischen den einzelnen Regelreserven und Ausgleichsenergie variieren.
- **Hohe Verfügbarkeit:** Die Systeme, die Regelreserve anbieten, müssen eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit im Sinne einer z. B. redundanten Ausführung aufweisen.
- **Hohe Zyklenfestigkeit:** Vor allem für die Erbringung von Primärregelleistung ist eine hohe Zyklenfestigkeit notwendig.
- **Örtliche Mindestverteilung:** Die Speichersysteme, die Regelreserve bereitstellen, müssen geografisch verteilt sein, um die Anfälligkeit bei partiellen Systemausfällen durch z. B. Wetterereignisse (Schneedruck, Sturm) zu reduzieren.
- **Monitoring und Aktivierung:** Einfaches, aber robustes Monitoring bzw. Aktivierung der Anlage muss möglich sein, um die Erbringung der Leistung nachzuweisen. Die Erbringung des Service muss dabei vom Normalbetrieb abgrenzbar sein.

Power-to-Heat:

- **Sinnvolle Wärmenutzung:** Power-to-Heat erfordert auch die Nutzung der Wärme. Da ein fluktuierender Wärmebedarf wenig wahrscheinlich ist, ist ein thermischer Speicher für die Bereitstellung von Regelenergie unbedingt notwendig. Wenn Wärme benötigt wird, kann durch Power-to-Heat eine längere Umwandlungskette vermieden werden (beispielsweise Power-to-Gas-to-Heat).

5.4.2 Technologien und Sektorkopplungen

Für die Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie kommen insbesondere mittlere bis große Speichertechnologien infrage. Umfasst sind dabei vor allem Pumpspeicherkraftwerke und Power-to-Heat-Anlagen, aber auch Batteriespeicher sowie Power-to-Gas-Anwendungen (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Technologieoptionen für die Bereitstellung von Regelreserve

	klein	mittel	groß
Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5 MW
Technologieoptionen	–	Power-to-Heat, Batteriespeicher, Pumpspeicherkraftwerke	Pumpspeicherkraftwerke, Batteriespeicher, Power-to-Heat, Power-to-Gas

5.4.3 Direkte FTI-Förderungen

Abbildung 16 zeigt den Entwicklungspfad für die Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie mit verschiedenen Technologien.

- **Batteriesysteme:** Batteriesysteme zur Bereitstellung von Regelreserve sollen 2025 für den Markt bereitstehen. Bereits heute gibt es ein erstes Projekt der experimentellen Entwicklung, in dem die Bereitstellung von Primär-Regelreserve mit einem Batteriespeichersystem im Feld untersucht wird.²⁶
- **Power-to-Gas:** Für Großanlagen mit einer flexiblen Elektrolyse sollen Systeme ab 2020 in den Markt eingeführt werden. In einem Demonstrationsprojekt wird heute bereits der Einsatz einer flexiblen Großanlage für Wasserstoffelektrolyse erprobt.²⁷
- **Power-to-Heat:** Ab 2018 sollen Großanlagen (ab 5 MW) und ab 2020 mittlere Anlagen (bis 5 MW) für die Bereitstellung von Regelreserve in den Markt übergeführt werden. Dabei steht die Systemintegration im Vordergrund.
- **Pumpspeicher:** Während Pumpspeichersysteme im großen Maßstab breit eingesetzt werden und technisch ausgereift sind, besteht bei kleinen Pumpspeicheranlagen mit Leistungen bis 5 MW zusätzlicher Entwicklungsbedarf. Dazu sind Standardkomponenten (Pumpe, Turbine, Umrichter) zu entwickeln, die ab 2025 in den Markt übergeführt werden. Für alle Pumpspeichersysteme sind Ansätze der Hybridisierung mit Batteriesystemen ein relevantes Entwicklungsthema.

²⁶ Projekt BatterieSTABIL – FFG Nr.: 853558.

²⁷ Projekt H2Future – EC Nr.: 735503.

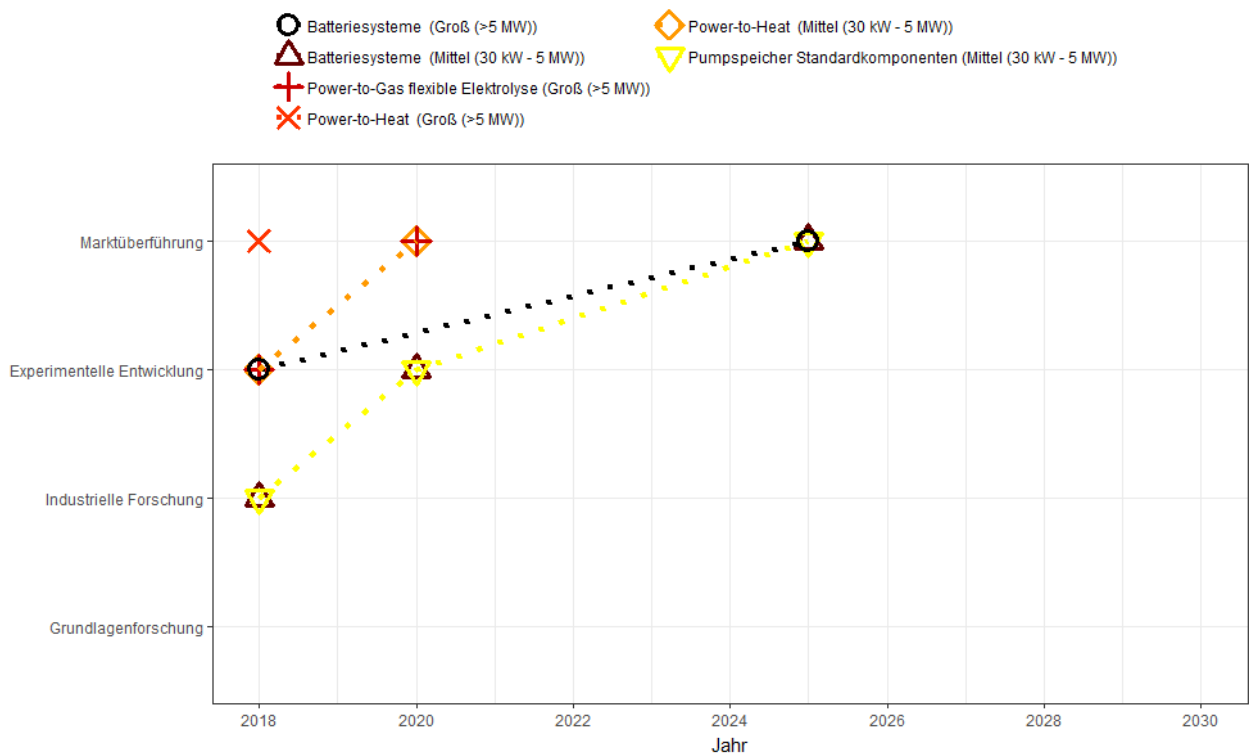


Abbildung 16: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zur Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie

5.4.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie

Neben direkten FTI-Förderungen sind für Speicheranwendungen zur Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie auch folgende sonstige FTI-politische Maßnahmen empfohlen.

- Regulierung

Wie bereits in der Speicherinitiative thematisiert, ist eine Gleichstellung der MarktteilnehmerInnen in Bezug auf Netztarife und Zulassung/Präqualifikation zur Teilnahme am Regelenergiemarkt notwendig, damit alle genannten Technologien entsprechende Regelleistungsprodukte erbringen können.

Um die Stabilität des Transmissionsnetzes unter den zukünftigen Bedingungen zu verbessern, sollten neue flexiblere Marktprodukte (z. B. Varianten von Produktzeitscheiben) zur Sicherung der Versorgungsqualität erarbeitet werden.

- Vernetzung und Wissen

Speziell im Bereich Power-to-Heat ist Austausch und eine Vernetzung von ExpertInnen

aus elektrischen und thermischen Anwendungsfeldern notwendig (auch um eine gemeinsame Sprache und gemeinsame sektorübergreifende Modelle zu entwickeln). Dementsprechend sollten Communities of Practice initiiert und Themenschwerpunkte bei Konferenzen, die von mehreren Expertenfeldern besucht werden (z. B. Smart Energy Systems Week), gesetzt werden.

5.4.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 16) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 16: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Industrielle Forschung	Projekte zur weiteren Optimierung alpiner Speicherkraftwerke hinsichtlich Ansprechverhalten, Betriebsweise (Dynamik, Stand-by, Synchronisation), Wirkungsgrad, Lebensdauer, Strömungsverhältnisse, v. a. hinsichtlich Aufrüstung bestehender Anlagen	TRL 4
Experimentelle Entwicklung	Praxistest mit Speichern für Netzdienstleistungen mit Systemverantwortlichen wie z. B. mit Netzbetreibern, Stadtwerken, inkl. Konzepten für Schwarzstartfähigkeit und Spannungsbandhaltung sowie betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Gegenüberstellung der Kosten von Speicherlösung und Netzverstärkung	TRL 7–9

5.5 Engpassmanagement

Im ersten ExpertInnen-Workshop wurden verschiedene Themen der Leistungsreduktion für mittlere und große Anlagen als relevante Anwendungsfälle für eine 100%ige Versorgung durch erneuerbare Energieträger definiert. Die folgenden Anwendungen werden zusammengefasst:

- **Spitzenreduktion der Erzeugung:** Sollten aufgrund hoher Erzeugung von dezentralen Erzeugungseinheiten Teile des Netzes überlastet sein, kann ein Speicher dazu dienen, die momentane Einspeisung ins Netz so zu verringern, dass die lokale Netzinfrastruktur in den definierten Grenzen betrieben werden und die Komponenten des Netzes länger im Einsatz bleiben können.
- **Engpassmanagement im Netz:** Engpassmanagement betrifft Engpässe im Hochspannungs- und Mittelspannungs-Verteilungsnetz und ist nicht zwingend auf eine einzelne Erzeugungseinheit zurückzuführen. Der Einsatz von Speichersystemen erfolgt analog zur Spitzenreduktion, findet aber an einer anderen Stelle im Netz statt. Werden Speicher dazu eingesetzt, der Überlastung des Netzes vorzubeugen (mittels Bereitstellung

von Blind- und Wirkleistung), so kann ein zusätzlicher Netzausbau verhindert oder minimiert werden.

- **Spitzenreduktion der Last:** Elektrizitätskosten können gesenkt werden, indem der Speicher geladen wird, wenn die Nachfrage gering ist, und entladen wird, wenn die Nachfrage groß ist. Dadurch können Lastspitzen reduziert und der Leistungspreis niedrig gehalten werden. Der Anwendungsfall ist vergleichbar mit dem der Spitzenreduktion bzw. des Engpassmanagements, bezieht sich jedoch immer auf die Last.

5.5.1 Technologische Anforderungen und Ziele

Im Rahmen des ersten Workshops wurde eine Reihe von Anforderungen für das Anwendungsfeld definiert. In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher und Sektorkopplung beschrieben (umfasst werden sowohl mittlere und große elektrische Speichersysteme). Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen, wobei für dieses Anwendungsfeld Elektrische Speicher, Power-to-Heat und Power-to-Gas als relevant eingeordnet werden.

Elektrische Speicher:

- **Effiziente lokale Speicherung:** Zur Reduktion der Spitzenerzeugung ist eine lokale Speicherung in der Erzeugungsanlage notwendig. Eine effiziente und kostengünstige Integration des Speichers in die Anlage muss gewährleistet sein. Dies umfasst die direkte Kopplung der Erzeugungsanlage mit einem Speichersystem. Zusätzlich ist eine komplexe Bauweise zu vermeiden und für ein passendes Temperaturmanagement zu sorgen.
- **Einfache Skalierbarkeit:** Eine modulare Auslegung der Speichieranlage in Abhängigkeit des lokalen Leistungsbedarfs muss möglich sein. Dies umfasst verfügbare Leistung (Wechselrichter) und Kapazität (Batterie). Eine einfache, nachträgliche Anpassung der Anlagengröße im Laufe der Anlagenlebensdauer muss möglich sein.
- **Platzverfügbarkeit:** Es muss entsprechend Platz für ein Speichersystem am Einsatzort (z. B. Erzeugungsanlage) verfügbar sein.
- **Systemintegration:** Die Systemintegration in das lokale System (Erzeugungsanlage, Verbrauchersystem, Netz) und das Gesamtsystem (z. B.: Leittechnik des Netzbetreibers) muss einfach und effizient umsetzbar sein. Dabei muss sichergestellt sein, dass eine schnelle Ansteuerbarkeit (Ansprechzeit) und umfassende Automatisierbarkeit abhängig vom Tarifsysteem möglich ist.

- **Zuverlässigkeit:** Das Speichersystem muss eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen. Wo notwendig, sind Redundanzen vorzusehen, die eine Überlastung von Netzkomponenten zuverlässig vermeidet. Entsprechende Maßnahmen sind im Anlagendesign vorzusehen.

Power-to-Heat:

- **Smart-Grid-Fähigkeit von Wärmepumpen:** Um multifunktionale Systemintegration zu erreichen braucht es die Ansteuerbarkeit über standardisierte Schnittstellen und Funktionen (vgl. kurzfristiger Ausgleich)
- **Sinnvolle Wärmenutzung:** Wird Power-to-Heat für das Engpassmanagement eingesetzt, ist auch die Nutzung der Wärme erforderlich. Da ein fluktuierender Wärmebedarf wenig wahrscheinlich ist, ist ein Speicher unbedingt notwendig.

Power-to-Gas:

- **Schnelle Ansprechzeit und hohe Leistung:** Power-to-Gas-Anlagen müssen schnell ansprechen und hohe Leistung aufweisen, damit sie für das Engpassmanagement eingesetzt werden können.
- **Räumliche Verteilung:** Da davon auszugehen ist, dass Power-to-Gas-Anlagen eher im großen Leistungsbereich ausgeführt werden, ist der Standort der Anlagen für die Einbindung von Bedeutung.

5.5.2 Technologien und Sektorkopplungen

Tabelle 17 fasst die von den ExpertInnen für das Anwendungsfeld als relevant identifizierten Speichertechnologien zusammen.

Tabelle 17 Technologieoptionen für das Engpassmanagement

	klein	mittel	groß
Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5 MW
Technologieoptionen	–	Power-to-Heat, Batteriespeichersysteme, Pumpspeicher	Batteriespeichersysteme, Gas-to-Power, Heat-to-Power

5.5.3 Direkte FTI-Förderungen

Abbildung 17 zeigt die relevanten Entwicklungspfade für das Anwendungsfeld Engpassmanagement auf. Dabei können die Pfade für mittlere Systeme bis 5 MW und für große

Systeme über 5 MW voneinander abweichen. Für die einzelnen Technologien wurden die folgenden Entwicklungen definiert:

- **Batteriesysteme:** Die Implementierung von Engpassmanagement mit Batteriespeichersystemen ist für das Jahr 2025 geplant. Dabei handelt es sich um Anlagen mit einer Leistung bis 5 MW. Für Anlagenleistungen darüber wird eine Verfügbarkeit ab 2028 angestrebt. Die notwendigen Entwicklungsschritte umfassen die oben genannten Anforderungen.
- **Kombiniertes Technologieportfolio:** Eine Kombination aus verschiedenen Technologien sollen in ein Portfolio kombiniert werden. Dieses Portfolio umfasst Heat-to-Power, Batteriespeicher und Gas-to-Power. Dabei ist eine Marktüberführung im Jahr 2028 geplant.
- **Power-to-Heat:** Notwendige Technologien für die Implementierung sind bereits vorhanden. Die relevanten Entwicklungsschritte umfassen die Systemintegration von Power-to-Heat-Anlagen. Diese Entwicklung kann bereits mit 2018 starten und sollte kurzfristig bis 2020 gelöst sein.
- **Pumpspeicher:** Während Pumpspeichersysteme im großen Maßstab breit eingesetzt werden, bieten kleine Pumpspeicheranlagen mit Leistungen bis 5 MW zusätzliches Potenzial zur Speicherung. Dazu sind Standardkomponenten (Pumpe, Turbine, Umrichter) zu entwickeln, die ab 2024 in den Markt übergeführt werden.

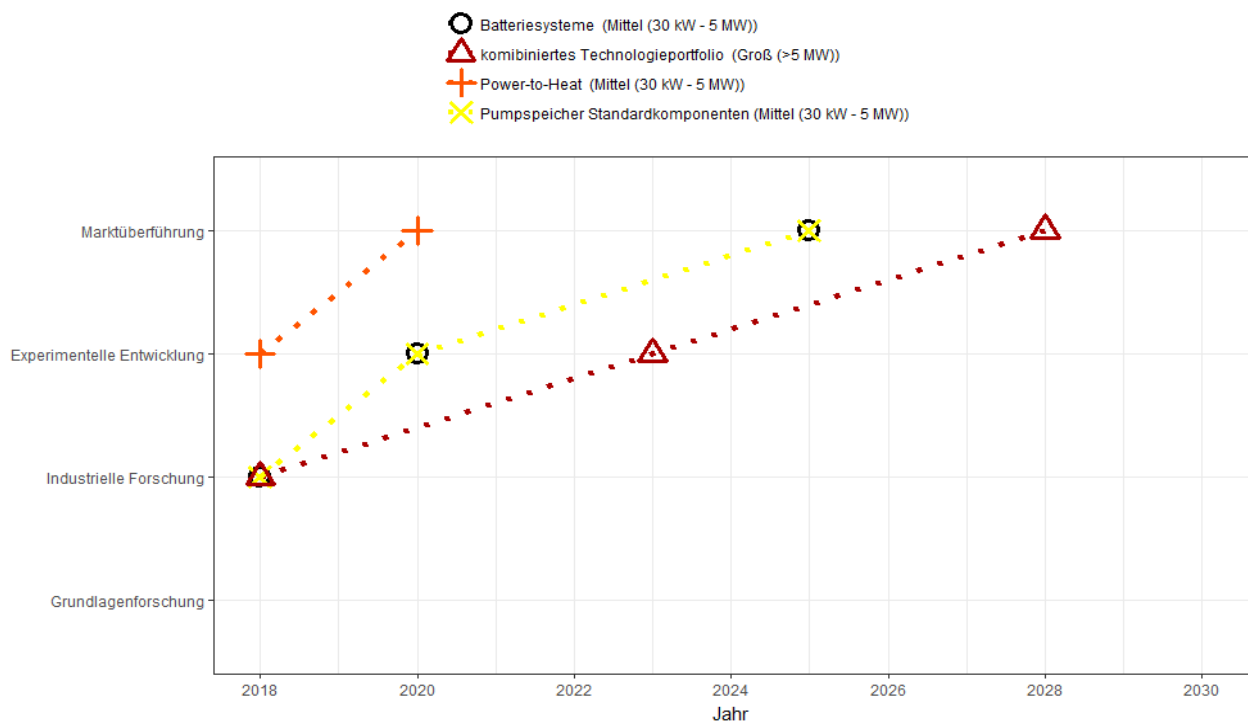


Abbildung 17: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zum Engpassmanagement mit Speicherleistungen ab 30kW

5.5.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zum Engpassmanagement

Neben direkten FTI-Förderungen werden für Speicheranwendungen zum Engpassmanagement auch folgende sonstige FTI-Förderungen empfohlen.

Bei Engpassmanagement durch Sektorkopplungen, insbesondere im oberen Leistungsbereich sind die Maßnahmen weitestgehend mit jenen zum kurzfristigen Ausgleich in elektrischen Netzen (siehe Kapitel 5.1.4) vergleichbar.

Bei Engpassmanagement durch Batteriespeichersysteme stehen vorwiegend Fragen der Normung und der Ausbildung im Vordergrund.

- Normung und Regulierung

Im Bereich von Batteriespeichersystemen sind die Normen in Bezug auf Sicherheit der Batterien noch an die neuen technologischen Bedingungen anzupassen. Ebenso wichtig ist die Normung zum Gesamtsystem Batteriespeicher (z. B. das Zusammenwirken von Komponenten). Um dies zu ermöglichen, sollte die Beteiligung an Normungsgremien zur Beschleunigung der Normierung gefördert werden. Weiters sollte der Aufbau des Know-hows zu den regulatorischen Rahmenbedingungen gefördert werden.

- Ausbildung/Humanressourcen

Zu einigen Batteriethematen ist es erforderlich, die Fachkräfteweiterbildung voranzutreiben (Sicherheit, Batterieaufbau, Batteriemagementsysteme etc.).

5.5.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

In der Speicherinitiative wurden keine Maßnahmen für Speicheranwendungen zum Engpassmanagement empfohlen.

5.6 Flexibilisierung der Wärmebereitstellung

Thermische Speicher können zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung dienen. Mit Speichern können verschiedene lokale Wärmequellen, wie Solarwärme, Umweltwärme, Biomasse, Abwärme oder Power-to-Heat, genutzt werden („Wärmebatterie“, „Energy Hubs“). Die Wärmebereitstellung kann durch den Speicher an den Bedarf angepasst werden.

5.6.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der thermischen Speicher beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen.

- **Wärme- und Kältespeicher:** Thermische Speicher sind zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung geeignet, wenn sie in Gebäuden als Wärme- und Kältespeicher dienen können, da der Kühlbedarf in Zukunft weiter steigen wird.
- **Zuverlässigkeit und Amortisationszeit:** Für industrielle Anwendungen sind vor allem die hohe Zuverlässigkeit sowie geringe Amortisationszeiten von Bedeutung.
- **Hohe Leistung:** In Wärmenetzen müssen Speicher zur Flexibilisierung hohe Leistungen aufweisen.
- **Verschiedene Temperaturniveaus:** Es darf nicht zur Vermischung der verfügbaren Temperaturniveaus kommen, wenn Wasser als Speichermedium zur Anwendung kommt. Werden Festkörper eingesetzt, ist die Ausführung als Kaskadenspeicher vorteilhaft.

5.6.2 Technologien und Sektorkopplungen

Zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung kommen verschiedene Speichertechnologien in Frage: Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM) und thermochemische Speicher (TCM) im Gebäude und für Wärmenetze, für industrielle Anwendungen kommen auch Hochtemperatur-Feststoffspeicher und Dampfspeicher dazu, wie in der folgenden Tabelle 18 zusammengefasst wird.

Tabelle 18: Technologieoptionen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung

	klein	mittel	groß
Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetz	Industrie
Technologieoptionen	Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM)	Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM),	Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM), Dampfspeicher, Hochtemperatur-Feststoffspeicher

5.6.3 Direkte FTI-Förderungen

Im Gebäude werden heute Wasserspeicher und Bauteilaktivierung eingesetzt, die bereits am Markt verfügbar sind. Obwohl Wasserspeicher grundsätzlich technisch ausgereift sind, wurde hier weiteres

Optimierungspotenzial bei der Schichtung festgestellt. Wie in Abbildung 18 dargestellt, kann bereits 2020 die Marktüberführung erreicht werden. Forschungsbedarf besteht jedoch im Bereich der thermochemischen Speicher. Neue Materialien, die für die thermochemische Wärmespeicherung geeignet sind, fallen in den Bereich der Grundlagenforschung. Mit der Marktüberführung wird 2028 gerechnet. Salzverdünnungsspeicher, die zu den Adsorptionsspeichern zählen, sind derzeit auf TRL 4. Forschungsfragen betreffen hier vor allem die Temperaturschichtung, die sich durch unterschiedliche Konzentration der Salzlösung einstellt. Auch hier geht man von der Marktüberführung im Jahr 2028 aus.

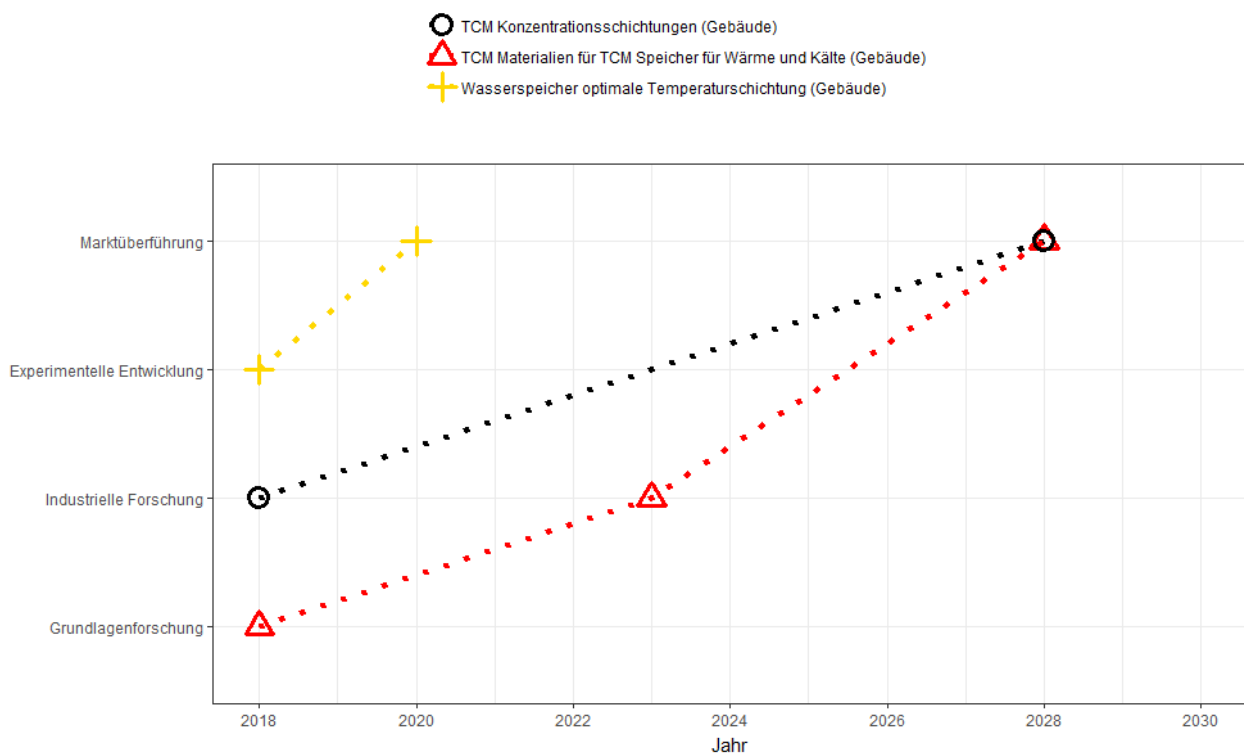


Abbildung 18: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung in Gebäuden

In Wärmenetzen (vgl. Abbildung 19) können Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM) und thermochemische Speicher (TCM) zur Flexibilisierung eingesetzt werden. Bei den Wasserspeichern ist die Temperaturschichtung für die Effizienz besonders wichtig. Wasserspeicher für Wärmenetze sind grundsätzlich ausgereift und verfügbar, können aber noch weiter optimiert werden. Bei Latentwärmespeichern (PCM) und thermochemischen Speichern (TCM) gibt es noch F&E-Bedarf, diese Technologien sollen 2030 am Markt verfügbar sein.

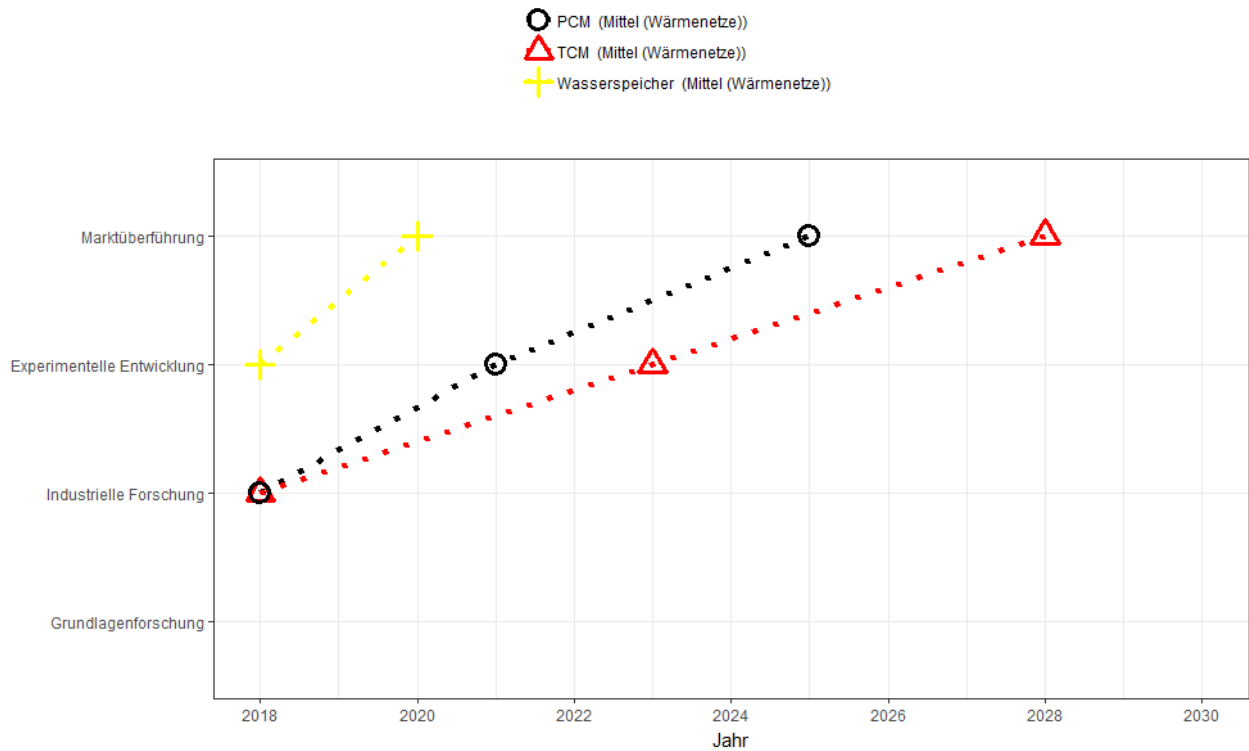


Abbildung 19: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zur Flexibilisierung der Wärmenetze

Bei industriellen Anwendungen (vgl. Abbildung 20) spielen vor allem hohe Temperaturen eine wichtige Rolle. Dampfspeicher wie der Ruths-Speicher sind am Markt verfügbar, auch Feststoffspeicher werden für bestimmte Anwendungen schon lange eingesetzt (z. B.: Cowper-Speicher in Stahlwerken). Um eine breite Anwendung in verschiedenen Branchen zu erreichen, gibt es noch FTI-Bedarf. Weiterentwicklungen wie der Dampf-Hybridspeicher und Feststoffspeicher für neue Anwendungen können mit Pilot- und Demoprojekten in Industriebetrieben in weniger als fünf Jahren zur Marktreife gelangen. Latentwärmespeicher (PCM) und thermochemische Speicher (TCM) können auch zur Flexibilisierung eingesetzt werden. Diese Technologien sind derzeit auf TRL 4 und müssen noch weiterentwickelt werden. Sie sollen ab 2030 am Markt verfügbar sein.

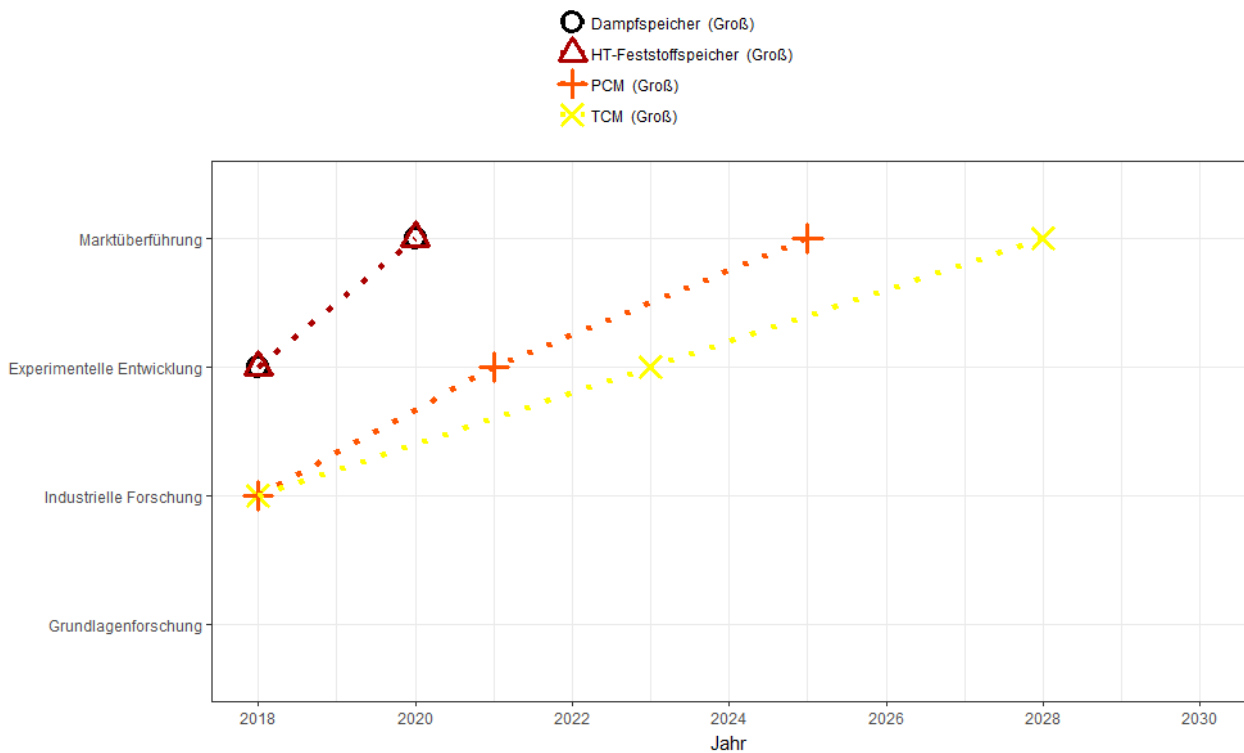


Abbildung 20: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung in der Industrie

5.6.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung

Neben direkten FTI-Förderungen sind für Speichieranwendungen zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung auch folgende sonstige FTI-politische Maßnahmen empfohlen:

- Investitionsanreize

In jenen Technologien, die bereits an der Marktreife sind (Hochtemperatur-Feststoffspeicher und Dampfspeicher), können **Investitionsanreize** wie Maßnahmen zur Erleichterung des Zugangs zu Krediten hilfreich sein.

Studien und Aktivitäten zur Dissemination von Best-Practice-Wissen könnten auch im internationalen Kontext (IEA TCPs) zur Sichtbarkeit österreichischer Lösungen beitragen.

- Ausbildung

Um die Marktdurchdringung voranzutreiben, ist es auch erforderlich, die **Ausbildung** von Fachkräften und IngenieurInnen zu Konzepten für die Speicherwirtschaft zu forcieren. Weiters ist das Thema Sicherheit im Umgang mit neuen Technologien bei der Ausbildung von Fachkräften wichtig.

- Regulierung und Standardisierung

Im Bereich der Daten für Monitoring und Prognose (Smart Heat Grid) sind Maßnahmen zur Standardisierung zu setzen.

Um Fernwärme fit für dezentrale Erzeugung zu machen, sind auch die bestehenden Standards und Regulierungen (z. B. Möglichkeiten für neue Marktrollen und Rollen für Intermediäre) zu evaluieren.

- Forschungsinfrastruktur

Für Entwicklung neuer Speicher wird es notwendig sein, entsprechende Laborinfrastruktur aufzubauen.

5.6.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 19) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Flexibilisierung der Wärmebereitstellung“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 19: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zur Flexibilisierung der Wärmebereitstellung

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Sondierungsstudien	Projekte zur Potenzialabschätzung des künftigen Angebots an Überschuss-Ökostromnutzung am Markt	
Industrielle Forschung	Projekte zur Entwicklung von Flüssigkeitsspeichern mit unterschiedlichen Speichermaterialien wie z. B. organische Flüssigkeiten	TRL 2–4
	Projekte zur verbesserten Integration von Eisspeichern in Heiz- und Kühlkonzepte von Gebäuden inkl. Betriebsführungskonzepte und Fahrweisenoptimierung. In den Projekten sollen auch Wasser-Salz-Gemische zur Verringerung des Gefrierpunkts analysiert und Kältemaschinen (z. B. Vakuum-Eismaschinen) mit höherem COP-Wert entwickelt werden.	TRL 2–4
	Projekte zur Entwicklung verlustarmer Wärmespeicher mit neuen Materialien (thermochemische Speicher, Phasenwechselspeicher)	TRL 2–4
	Projekte zur nachträglichen Nutzung von Gebäudeteilen für die Wärmespeicherung im Altbau	TRL 2–4
	Projekte zur Erprobung von Adsorptionsspeichern in Gebäuden und Siedlungen im Praxisbetrieb	TRL 3–4

Experimentelle Entwicklung	Projekte zur Erprobung thermochemischer Speicher in Gebäuden und Siedlungen im Praxisbetrieb	TRL 3–4
	Projekte zur Erhöhung der Speicherwirksamkeit von Gebäuden für Heizen und Kühlen	TRL 5–8
	Projekte zu Wärmepumpen und Geothermie in Kombination mit Wärme- und Kältespeichern inkl. Berücksichtigung neuer Wärmequellen wie z. B. Hybridkollektoren inkl. Simulation und Optimierung	TRL 5–8
	Projekte zu Anergienetzen mit geringen Netztemperaturen für z. B. Stadtentwicklungsgebiete inkl. Berücksichtigung ausländischer Erfahrungen (z. B. Schweiz oder Island)	TRL 5–8
	Projekte zur Simulation und Optimierung von Luftvorwärmungsanlagen über Erdspeicher	TRL 5–8
	Projekte zur Entwicklung von effizienten thermischen Energiespeichern im Temperaturbereich von ca. 100 bis 800 °C für hohe Gesamtwirkungsgrade von Power-to-Heat-to-Power-Systemen	TRL 7–8
	Errichtung von Niedrigenergie-Demonstrationsgebäuden mit Speichern für hohe erneuerbare Deckungsgrade (Begleitforschung parallel)	TRL 7–8
	Demonstrationsprojekte zur Entwicklung kundenseitiger Anreizsysteme für hydraulischen Abgleich zur Senkung der Netztemperatur unter Berücksichtigung ausländischer Erfahrungen	TRL 7–8
Marktüberleitung	Projekte zur Verbesserung des Schichtungsverhaltens im Kleinwasserspeicher, v. a. bei größeren Speichern für hohe Deckungsgrade	TRL 9
	Projekte zur Entwicklung flexibler Speicherkonzepte für die optimale Anpassung größerer Speicher an bestehende Gebäudegeometrien (Raumhöhen, Türdurchlässe)	TRL 9
	Projekte zur Gewichts- und Volumenreduktion von Kleinwasserspeichern inkl. leichterem Logistik und Montage	TRL 9
	Projekte zur Nutzungsflexibilität des Kleinwasserspeichers als Energiezentrale im Gebäude für mehrere Wärmequellen und -nutzungen inkl. Kombination mit Micro Grids und Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für thermische Smart Grids	TRL 9
Sozioökonomische Begleitforschung	Begleitforschung zur Errichtung von Niedrigenergie-Demonstrationsgebäuden mit Speichern für hohe erneuerbare Deckungsgrade	
Orientierung und Bewusstseinsbildung	Setzen von Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung und zum Informationstransfer über die Speicherfähigkeit von Gebäudeteilen bei Fachakteuren am Markt	

5.7 Industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung)

Speicher in der Industrie können zur Abwärmespeicherung eingesetzt werden. Die Abwärme kann zu einem späteren Zeitpunkt im Prozess wieder genutzt werden und trägt damit zur Effizienzsteigerung bei. Speicher können in industriellen Prozessen außerdem eingesetzt werden, um den Prozess selbst effizienter zu gestalten. Überdies können Dampfspeicher wie z. B. Ruths-Speicher zur Vergleichsmäßigung des Dampfverbrauchs bei schwankenden industriellen Prozessen

eingesetzt werden. Durch Speicher können unwirtschaftliche Teillastbetriebszustände der Wärmebereitstellung vermieden werden. Sie können auch zur Überbrückung von Produktionsausfällen durch Revisionen oder ungeplante Stillstände genutzt werden.

5.7.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen.

- **Hohe Temperaturen mit verschiedenen Temperaturniveaus:** Speicher, die in der Industrie eingesetzt werden, müssen für hohe Temperaturen geeignet sein. Um verschiedene Abwärmeströme nutzen zu können, soll der Speicher bei verschiedenen Temperaturen flexibel betrieben werden können.
- **Hohe Leistungsdichte:** Die Speicher sollen eine hohe Leistungsdichte aufweisen, damit die Baugröße kleiner ausfällt, was vor allem bei Bestandanlagen von Bedeutung sein kann.
- **Geringe Amortisationszeit:** Industriebetriebe fordern geringe Amortisationszeiten bei Investitionen.
- **Einfache Konzepte:** Eine einfache technische und wirtschaftliche Planung erleichtert die Verbreitung und Akzeptanz von thermischen Speichern in industriellen Anwendungen.

5.7.2 Technologien und Sektorkopplungen

Für die industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung kommen, wie in der folgenden Tabelle 20 zusammengefasst, folgende Speichertechnologien infrage: Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM), Dampfspeicher und Hochtemperatur-Feststoffspeicher.

Tabelle 20: Technologieoptionen für Abwärmenutzung und Prozessoptimierung in der Industrie

	Klein	Mittel	Groß
Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetz	Industrie
Technologieoptionen	–	–	Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM), Dampfspeicher, Hochtemperatur-Feststoffspeicher

5.7.3 Direkte FTI-Förderungen

Dampfspeicher wie der Ruths-Speicher sind am Markt verfügbar, auch Feststoffspeicher werden für bestimmte Anwendungen schon lange eingesetzt (z. B.: Cowper-Speicher in Stahlwerken). Um eine breite Anwendung in verschiedenen Branchen zu erreichen, gibt es noch FTI-Bedarf. Weiterentwicklungen wie der Dampf-Hybridspeicher und Feststoffspeicher für neue Anwendungen können mit Pilot- und Demoprojekten in Industriebetrieben in weniger als fünf Jahren zur Marktreife gelangen. Latentwärmespeicher (PCM) und thermochemische Speicher (TCM) können auch zur industriellen Abwärmenutzung und Prozessoptimierung eingesetzt werden. Diese Technologien sind derzeit auf TRL 4 und müssen noch weiterentwickelt werden. Sie sollen ab 2030 am Markt verfügbar sein (vgl. Abbildung 21).

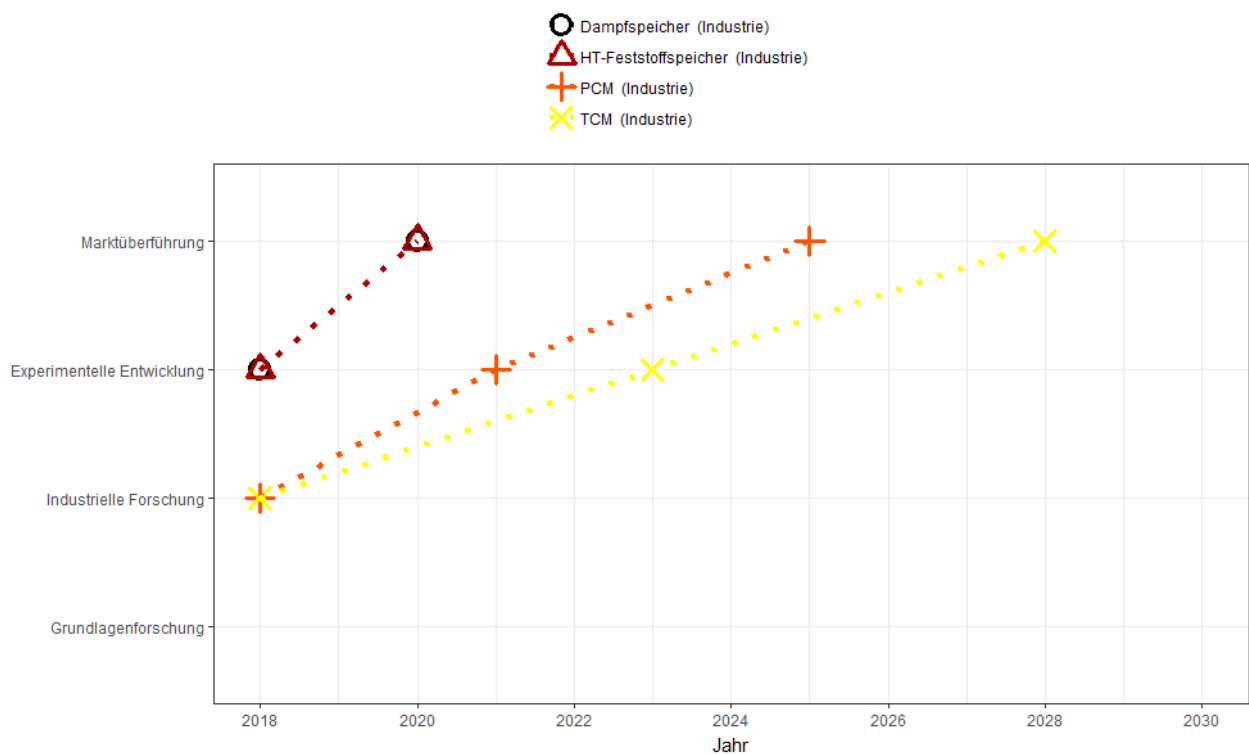


Abbildung 21: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicherlösungen zu industrieller Abwärmenutzung und Prozessoptimierung

5.7.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur industriellen Abwärmenutzung und Prozessoptimierung

Neben direkten FTI-Förderungen sind für Speicheranwendungen zur industriellen Abwärmenutzung und Prozessoptimierung auch folgende sonstige FTI-politische Maßnahmen empfehlenswert:

- Es ist eine ganzheitliche Planung der industriellen Prozesse anzustreben, die bspw. auch die Nutzung von Abwärme von Beginn an berücksichtigt.

Da die technologischen Herausforderungen weitestgehend geklärt sind, stellt sich bei der Umsetzung von konkreten Projekten nun die Frage nach der Notwendigkeit weiterer FTI-politischer Maßnahmen. Vielfach kann Marktversagen attestiert werden, wenn die breite Dissemination und Schaffung von neuen Märkten durch die hohen Transaktionskosten bei der Entwicklung von komplexeren Business-Modellen verhindert wird. Maßnahmen zur Reduktion dieser Transaktionskosten ließen sich beispielsweise durch Investitionsförderungen finanzieren.

- Anstelle von isolierten Einzelprojekten sollten Kriterien, die durch eine Energieraumplanung festgelegt werden, in die Vergabeverfahren einfließen.

5.7.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 21) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 21: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zur industriellen Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung)

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Industrielle Forschung	Projekte zur Verstromung von Wärme aus Dampfspeichern, inkl. dynamischer Simulation und Messung	TRL 2–4
Experimentelle Entwicklung	Projekte zur Prozessintegration von Hochtemperatur-Feststoffspeichern inklusive Entwicklung von Regelungskonzepten zur Fahrweisenoptimierung	TRL 6–7
	Demonstrationsprojekte für Hochtemperatur-Feststoffspeicher zur Validierung von Simulationsergebnissen im Praxisbetrieb	TRL 6–7
	Demonstrationsprojekte mit Speichern für Abwärme- und Überschuss-Ökostromnutzung (Power-to-Heat) in der Industrie	TRL 7–8
Sozioökonomische Begleitforschung	Erarbeitung von Änderungsvorschlägen für problematische regulatorische Rahmenbedingungen bei Stromspeichern (z. B. Netzkostenwälzung, Rolle der Anschlussleistung)	

5.8 Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung

Im Folgenden werden die einzelnen Anwendungsfälle für Speichersysteme im Bereich des Verbrauches/des Endkunden beschrieben. Neben elektrischen Heimspeichern werden auch thermische Speicher im Gebäude betrachtet. „Demand Response“ (DR) (bzw. Systemdienstleistungen von Kundenseite [15]) werden im Folgenden nicht als separate Anwendung für Endkunden behandelt. Die Anwendungsfälle können im Wesentlichen in einem „Prosumer

Package“ zusammengefasst werden, welches die Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung umfasst.²⁸

- **Lokale Nutzung lokaler Erzeugung:** Unter bestimmten wirtschaftlichen Voraussetzungen (abhängig vom Einspeisetarif für eine dezentrale Erzeugungseinheit, Anlagenkosten, Höhe der Speicherverluste etc.) ist die lokale Nutzung der lokalen Erzeugung ein wichtiger Anwendungsfall. Speichersysteme können helfen, den Eigenverbrauch der lokal erzeugten Energie zu erhöhen. Allerdings kann nicht garantiert werden, dass Spannungsspitzen, die durch PV-Einspeisung entstehen, vermieden werden können, wenn die Batterie voll ist. Auch thermische Speicher spielen dabei eine große Rolle, als lokale Erzeuger dienen beispielsweise Solarthermieanlagen, Wärmepumpen etc.
- **Spitzenreduktion der Last:** Elektrizitätskosten können gesenkt werden, indem der Speicher geladen wird, wenn die Nachfrage gering ist, und entladen wird, wenn die Nachfrage groß ist. Dadurch können Lastspitzen reduziert und der Leistungspreis niedrig gehalten werden. Der Anwendungsfall ist vergleichbar mit dem der Spitzenreduktion bzw. des Engpassmanagements, bezieht sich jedoch immer auf die Last.
- **Nutzung zeitlich variabler Tarife:** Ein Speicher (in Kombination mit einer PV-Anlage) kann entsprechend eines sich zeitlich ändernden Stromtarifes ge- und entladen werden und so Energiekosten reduzieren. In Kombination mit Power-to-Heat kann dabei auch ein Wärmespeicher geladen werden.
- **Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung:** Ausfälle der Spannungsversorgung können in enormen Kosten resultieren (vor allem für Industriekunden). Die höchsten Verluste entstehen durch die verlorene Produktionszeit, andere Faktoren sind beispielsweise der Neustart der Anlage, beschädigtes Equipment und verloren gegangenes Rohmaterial. Bei Ausfällen der Spannungsversorgung kann ein Speichersystem (innerhalb von 20 ms) in den Inselbetrieb übergehen und so die nötige Versorgung garantieren.

5.8.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der elektrischen Speicher beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen.

²⁸ „Demand Response“ wird als Anwendungsfall gesehen, bei dem zeitlich variable Tarife die Nachfrage und damit den Lastverlauf beeinflussen sollen, was als Zusatznutzen dem Übertragungs- und Verteilnetz zugutekommt.

- **Anlagenkosten:** Zentrale Voraussetzung für die Implementierung der definierten Anwendungen ist eine deutliche Reduktion der Speicherkosten für elektrische Energie. Grob geschätzt wurden etwa 200 EUR/kWh bzw. 10 ct/kWh (gespeicherte Energie) errechnet, damit Speichersysteme zur Steigerung der Eigenbedarfsdeckung ohne Förderung implementiert werden.
- **Anlagencharakteristika:** Kostenreduktion kann neben der Reduktion der Investitionskosten über die Verbesserung der Anlagen-Performance erreicht werden:
 - **Systemeffizienz:** Verluste von aktuell bis zu 20 % treten im Speichersystem auf. Eine Steigerung der Effizienz (inclusive Stand-by-Verluste) ist erstrebenswert. Wesentlich ist dazu die Erarbeitung und Einführung von standardisierten Effizienzklassen zur vergleichbaren Bewertung von Speichersystemen und -technologien.
 - **Zyklusfestigkeit:** Mit steigender Zyklusfestigkeit der Speichertechnologien ist eine weitere Reduktion der spezifischen Speicherkosten pro kWh möglich und daher erstrebenswert.
 - **Zuverlässigkeit:** Wichtiger Aspekt für die Bereitstellung von Services ist eine hohe Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Ansätze und Konzepte, die die Anlagenzuverlässigkeit kleiner Speichersysteme steigern, sind daher relevant.

Neben den Anlagencharakteristika wird nicht nur der Speicher selbst gesehen, sondern vor allem auch die für solche Anwendungen notwendige Systemintegration. Daraus ergibt sich Entwicklungsbedarf in Bezug auf die folgenden Aspekte:

- **Systemeinbindung:** Die Systemeinbindung von Speichern erfordert eine jeweilige IKT; Ausfälle von ebendieser können zu großen Problemen führen, wenn sie für das Service zwingend notwendig sind.
 - **Anerkennung der Services durch den Kunden** wurde durch deren Einbindung in das Gesamtsystem als relevante Anforderung identifiziert. Dennoch ist diese Anerkennung fraglich (Eingreifen von außen, Bevormundung, Vertrauen in Netzbetreiber, der auf eigene Anlage zugreift?). Eine einheitliche Interaktion zwischen Kunden und Netzbetreibern ist notwendig (Transparenz), ebenso wie Sicherheit bei der Datenübertragung, die Schnittstelle zu Smart Metern, lokale Systeme, geeigneter Forecast (Wetter etc.).
 - **Lokale Schnittstelle:** Die Interaktion mit lokalen Komponenten wie z. B. anderen Speichersystemen, Elektrofahrzeugen, Home-Automation-Systemen und anderen Komponenten muss einfach und robust möglich sein.

- **Lokale Netzschnittstelle:** Zur zuverlässigen und überprüfbaren Erbringung von Netzdienstleistungen ist eine standardisierte Schnittstelle zum lokalen Netz (-betreiber) nötig. Eine Steuerbarkeit durch Netzbetreiber ist notwendig. Diese soll Informationen zur Parametrierung, Datenlieferung (Netzparameter – Anschlussspannungen) und eine mögliche Fernparametrierung (Bsp. Hochladen einer angepassten Kennlinie) erlauben. Für diese Schnittstelle ist ein einfaches System notwendig (Bsp. Netzwiederaufbau – nur einzelne Werte von Umspannwerken), da es sonst zum Datenüberfluss kommen kann. Bei Systemtausch muss die Steuerung einfach, robust und standardisiert nach wie vor möglich sein.
- **Marktschnittstelle:** Zur Erbringung von Zusatzservices ist eine sichere, standardisierte, transparente und hochautomatisierbare Schnittstelle zum Markt notwendig. Wesentlich bei der Erbringung solcher Marktservices sind auch der Wille des Endkunden zur Teilnahme und sein Vertrauen.
- **Markt:** Ein hoher Automatisierungsgrad ist nötig, um das Service zu erbringen.
- **Lokale Intelligenz:** Neben den Schnittstellen sind die Speichersysteme mit lokaler Intelligenz auszustatten:
 - **Multifunktionale Nutzung:** Ansätze für die parallele Bereitstellung von verschiedenen Dienstleistungen sind notwendig.
 - **Vorhersage:** Effizienter, multifunktionaler bzw. netzfreundlicher Betrieb ist nur mit lokaler Vorhersage von Erzeugung, Last und Speicher möglich.
 - **Messinfrastruktur:** Sollen die Speichersysteme Anwendungen zur Frequenzstabilisierung implementieren, so ist in Abhängigkeit der Anwendung zusätzliche Messinfrastruktur notwendig. Für die Momentanreserve ist eine hochdynamische, genaue Frequenzmessung notwendig.

5.8.2 Technologien und Sektorkopplungen

Als für die Anwendungsfälle mögliche Speichertechnologien (vgl. Tabelle 22) wurden Batteriespeicher aller Art (insbesondere Lithium) angesehen. Lithium dominiert derzeit den Markt und wird als Hauptkandidat gewertet. Auch spielt die Konnektivität zu anderen Speichern eine wichtige Rolle, hier vor allem die Sektorkopplung zur Wärme mit Heizstäben. Langfristig (nach 2030) könnten auch chemische Speicher aus Wasserstoffbasis relevant werden. Derzeit haben diese jedoch keine große Bedeutung.

Als thermische Speicher im Gebäude werden zumeist Kleinwasserspeicher eingesetzt, diese Technologie ist ausgereift und weit verbreitet. Erwähnenswert ist hier auch die Bauteilaktivierung.

Tabelle 22 Technologieoptionen für elektrische und thermische Heimspeicher

	klein	mittel	groß
Elektrische Speicher	< 30 kW	30 kW bis 5 MW	> 5 MW
Thermische Speicher	Gebäude	Wärmenetz	Industrie
Technologieoptionen	Batteriesysteme, Vehicle-to-Home, Power-to-Mobility, Power-to-Heat, Wasserstoff (nach 2030), Wasserspeicher, Bauteilaktivierung	–	–

5.8.3 Direkte FTI-Förderungen

Die Speichertechnologien selbst (v. a. Lithiumbatteriesysteme) für dieses Anwendungsfeld werden als genügend ausgereift betrachtet, um grundsätzlich eine erste Anwendung zu ermöglichen. Jedoch ist eine umfassende weitere Entwicklung notwendig, um eine weitere Verbreitung und nachhaltige Etablierung im Markt zu ermöglichen. Diese Entwicklungsaspekte umfassen technologische, regulatorische und wirtschaftliche Anforderungen:

- **Lokale Intelligenz:** Die Entwicklung einer lokalen Intelligenz zur Bereitstellung zusätzlicher Services, der Einbindung von Vorhersagen in die Regelung und einer erweiterten Messinfrastruktur ist ab 2023 in den Markt überzuführen.
- **Systemeinbindung:** Eine umfassende Systemintegration mit standardisierten Schnittstellen für Netzbetreiber und Marktplayer und einem passenden regulatorischen Umfeld soll ab 2025 zur Verfügung stehen.
- **Umweltverträglichkeit:** Die eingesetzten Speichersysteme sollen in ihrem Einsatz umweltverträglich im Sinne des Recyclings und des Verbrauchs von Rohstoffen sein. Entsprechende Systeme sollen ab 2026 zur Verfügung stehen.
- **Sensorik:** Zur Steigerung der Zuverlässigkeit sind Systeme mit erweiterter Sensorik zu entwickeln, die eine genauere Überwachung des Zustandes des Systems zulässt.
- **Neue Zelltechnologien:** Zur Steigerung der Zyklenfestigkeit und Systemeffizienz sowie zur Reduzierung von Anlagenkosten sollen bis 2030 neue Zelltechnologien bis in die experimentelle Ebene entwickelt sein.

Abbildung 22 fasst die Entwicklung im Bereich der Batteriesysteme zusammen. So sind Fragen der Systemintegration bis 2023 zu lösen. Batteriespezifische Themen wie Sicherheit und Design sind bis 2026 zu klären.

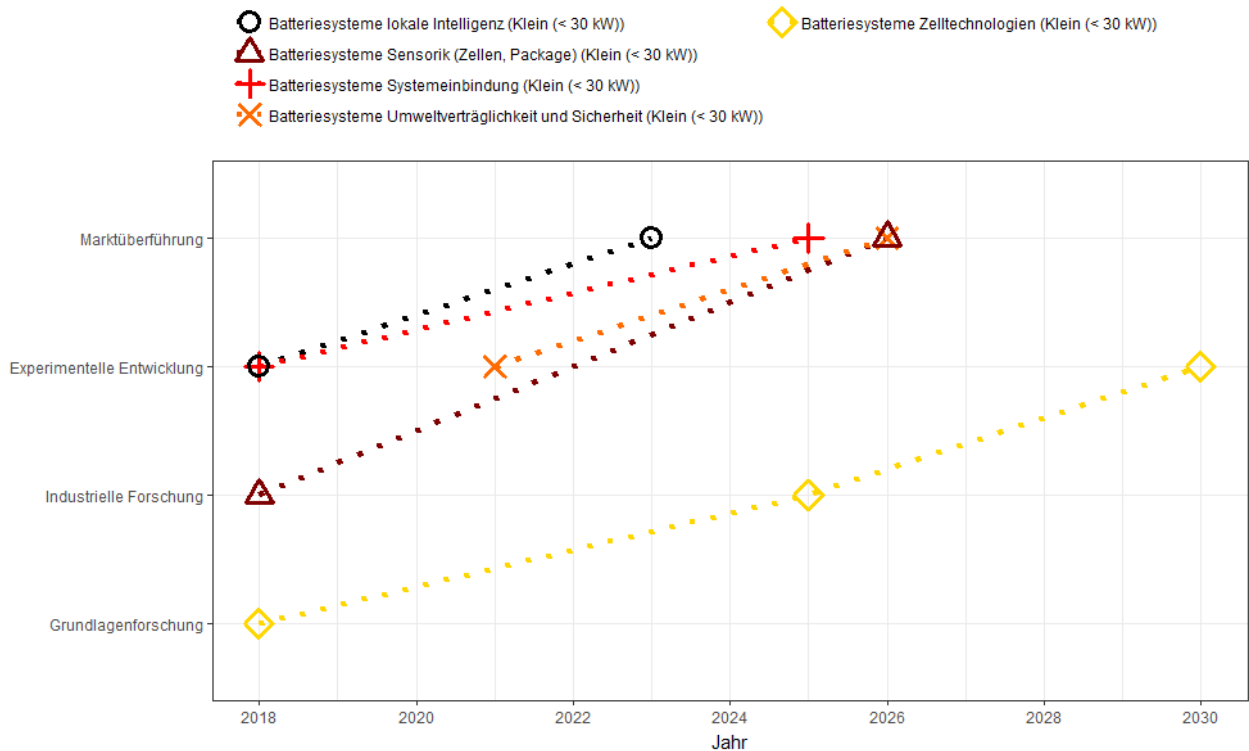


Abbildung 22: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu elektrischen Heimspeichern

Als zweite relevante Speichertechnologie im Bereich bis 30 kW wurden thermische Speicher in Verbindung mit Power-to-Heat identifiziert. Abbildung 23 fasst Entwicklungsschritte für Power-to-Heat-Anlagen zusammen. Dabei wurden die folgenden Kernthemen identifiziert:

- **Saisonale Speicherung:** Die saisonale Speicherung in Form von Wärme sowie die Nutzung eines möglichen saisonalen Speichers für die Kurzzeitspeicherung sollen ab 2026 in den Markt übergeführt werden.
- **Tiefemperatur-PCM:** Ein Kältespeicher für Kühl- und Gefriergeräte sowie eventuell auch zur Wohnraumkühlung auf der Basis von PCM soll entwickelt und bis 2030 in die experimentelle Entwicklung übergeführt werden.

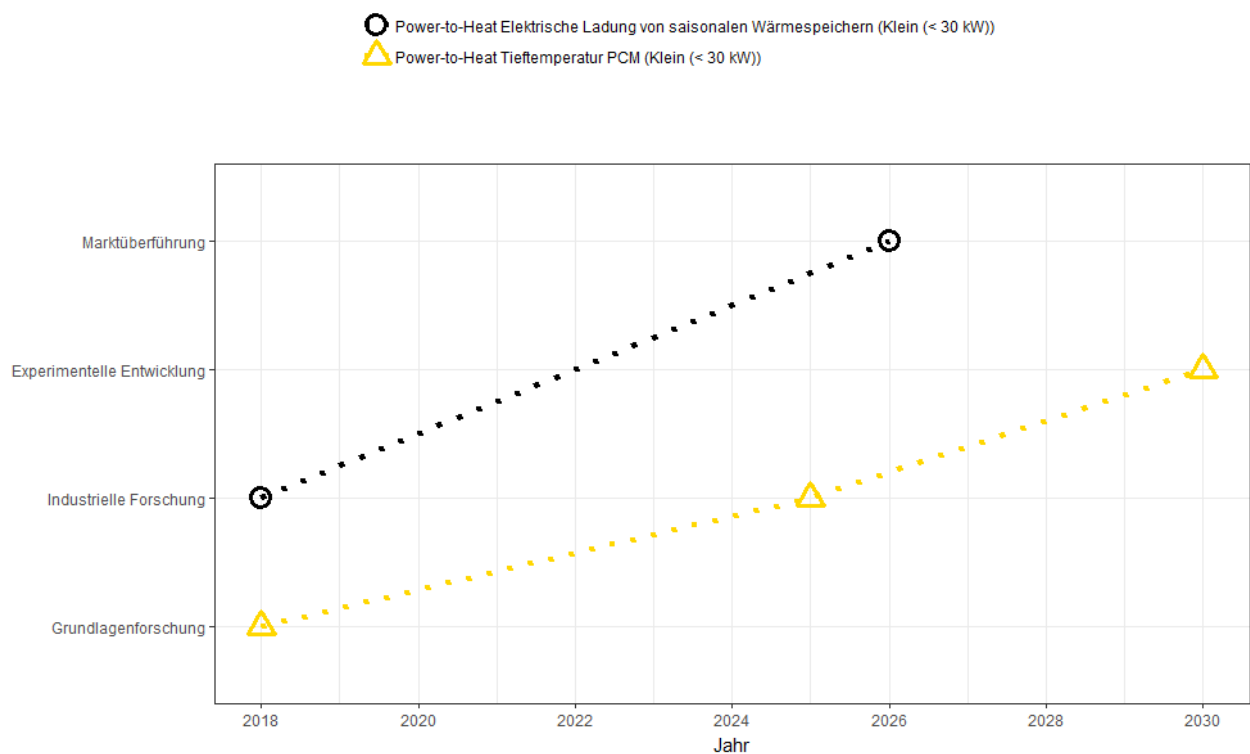


Abbildung 23: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Power-to-Heat im Leistungsbereich unter 30 kW

5.8.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur lokalen Nutzung lokaler Erzeugung

Neben direkten FTI-Förderungen sind für Speichieranwendungen im Bereich der lokalen Nutzung lokaler Erzeugung auch folgende sonstige FTI-politischen Maßnahmen empfohlen:

- Regulatorischer Rahmen

Standards zu Performance (standardisierte Effizienzklassen für Endkunden sind essentiell), Sicherheit, Zuverlässigkeit und Systemeinbindung müssen vollständig vorhanden sein, damit eine nachhaltige Nutzung der Speicher möglich wird. Erst dadurch werden sich Innovationen in der Breite ausrollen lassen.

Konkrete Erfahrungen mit den in Umsetzung befindlichen rechtlichen Rahmenbedingungen des Winter Package 2016, insbesondere zu Stand-Alone-Anwendungen mit Speichersystemen im Netzbetrieb durch Netzbetreiber, müssen erst gemacht werden. Um Innovationsvorhaben zu ermöglichen, ist es wichtig, dass Klarheit über diese Rahmenbedingungen geschaffen wird.

- Vernetzung lokaler Akteure

Um eine Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung in der Wärmebereitstellung auf lokaler Ebene gebäudeübergreifend zu erreichen, sind neue Geschäftsmodelle nötig, was ebenso Maßnahmen zur Einbindung der Nutzer beinhaltet (Dialog, Vernetzung).

5.8.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 23) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 23: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zu Prosumer Package

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Industrielle Forschung	Projekte zur Erhöhung der Teillast-Effizienz von Photovoltaik-Batteriespeicher-Systemen	TRL 2–4
	Projekte zur Simulation und Optimierung der netzdienlichen Betriebsführung von Batteriespeichern in Gebäuden und Gebäude-Clustern mit Photovoltaikanlagen	TRL 2–4
	Projekte zur Bewertung der Speicher zur Eigenverbrauchserhöhung für Photovoltaikstrom in Form einer Lebenszyklusanalyse	TRL 2–4
	Projekte für verbesserte technische Lösungen im Sinne der Legionellenbestimmung bei der Warmwasserbereitung in Niedertemperatur-Gebäuden	TRL 2–4
Experimentelle Entwicklung	Projekte zur Entwicklung von Kleinsystemen von Redox-Flow-Batterien mit rund 10 kW mit einem kleinen ökologischen Fußabdruck und geringen Transport- und Installationskosten	TRL 8–9
	Projekte zur Überschuss-Ökostromnutzung, z. B. durch Wärmepumpen mit Speicherunterstützung mit dynamischer Simulation und Vermessung	TRL 5-8
	Projekte zur Bewertung der Speicher in Form einer Lebenszyklusanalyse	TRL 5–8
	Demonstrationsprojekte zur Optimierung von thermischer Bauteilaktivierung in Betonfundamenten oder -decken von Gebäuden unter Einbeziehung von ArchitektInnen, PlanerInnen und EntwicklerInnen von Mess-, Steuer- und Regeltechnik in die Planung des Energiekonzepts	TRL 7–8
	Demonstrationsprojekte zu Netzdienstleistung von Speichern in Gebäuden inkl. Entwicklung von Regelungstechnik, Prozesssteuerung, Fernsteuerung etc.; Berücksichtigung der Umwelteffekte sollte erfolgen	TRL 7–8
	Demonstrationsprojekte zu virtuellen Speicherlösungen, um den Eigenverbrauch der Erzeugung aus der Photovoltaikanlage bei Haushalten und Betrieben zu erhöhen (siehe Handlungsempfehlungen „Speicher in der Elektrizitätsversorgung“)	TRL 7–8
Innovationslabors, Regulierungs- & Innovationszonen	Praxistest eines Gemeinschaftsspeichers (z. B. „Quartierspeicher“) mit einem Aggregator als Systemverantwortlichen, Größenordnung z. B. ab 100 kWh Kapazität, inkl. einiger KundInnen mit Power-to-Heat bzw. E-Auto, um Demand-Side-Management-Integration zu erproben; dabei sollen verschiedene Speichertechnologien möglich sein (Batterien, Pumpspeicherung etc.). Im Praxistest sollen Lösungen für ein Tarifsysteem, Zugriffsrechte des Verteilnetzbetreibers, netzdienliche Steuerungsstrategien sowie Algorithmen zur smarten Speicherbewirtschaftung erarbeitet werden. Optional könnte – ähnlich wie bei BürgerInnen-Solkraftwerken – auch die Möglichkeit eines BürgerInnen-Beteiligungsmodells zur Finanzierung des Speichers erprobt werden.	TRL 7–9

5.9 Elektromobilität

Elektrische Speicher

Es gibt drei grundsätzliche Anwendungen, die eine Batterie bzw. einen anderen Stromspeicher in mobilen Anwendungen erfordern:

- **Traktion:** Die Batterie ist der alleinige Energiespeicher für die Antriebs- oder Arbeitsleistung. Fast jede denkbare Art von Fortbewegungsmittel, Flurfördermittel oder mobiler Arbeitsmaschine ist mit batterieelektrischem Antrieb grundsätzlich darstellbar.
- **Hybridisierung:** Die Möglichkeit Energie zu speichern, erhöht den Wirkungsgrad des zweiten Antriebs (Verbrennungskraftmaschine oder Brennstoffzelle) durch Lastpunktverschiebungen und Phlegmatisierung und erlaubt eine Rekuperation. Rein elektrisches Fahren kann möglich sein, muss es jedoch nicht sein.
- **Systembatterie (Starterbatterie):** In Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschine muss der Startermotor durch Leistung aus der Starterbatterie die Verbrennungskraftmaschine starten. In Elektrofahrzeugen muss aus Sicherheitsgründen eine Überprüfung der Antriebsbatterie erfolgen, bevor diese „eingeschaltet“ werden kann. Die dafür notwendige Leistung kommt aus der Systembatterie, die in das Niederspannungsbordnetz eingebunden ist. Abgesehen davon dient diese Batterie in der Schlüsselstellung „ACC“ (Accumulator oder Accessory) auch als erste Stufe der Stromversorgung für Radio, Fensterheber, Licht etc.

Thermische Speicher

Wärmespeicher in Fahrzeugen können zur Vorkonditionierung der Verbrennungskraftmaschine, der Fahrerkabine oder des Katalysators verwendet werden. Der Nutzen liegt hier stets im Aufwärmen der Komponente. Wärmespeicher für Antriebsbatterien dienen im Rahmen eines energieoptimierten Thermomanagements sowohl zum Wärmen als auch zum Kühlen. Den Autoren ist keine Anwendung in Serie bzw. am Markt bekannt. Eine Nischenanwendung am Markt ist der Einsatz von Kältespeicherplatten (eutektische Platten) für Kühltransporte.

5.9.1 Technologische Anforderungen und Ziele

In der nachfolgenden Ausführung werden für das spezifische Anwendungsfeld die technologischen Anforderungen und Ziele der Speicher und Sektorkopplung beschrieben. Dies dient des Weiteren der Identifizierung der FTI-politischen Maßnahmen, wobei für dieses Anwendungsfeld Elektrische Speicher und Power-to-Mobility als besonders relevant eingeordnet werden.

Elektrische Speicher

Tabelle 24 stellt die grundsätzlichen Anwendungsfälle in Relation zu den jeweils wichtigsten Eigenschaften des elektrischen Energiespeichers. Grundsätzlich sind jedoch für alle mobilen Anwendungen folgende Eigenschaften sehr wichtig:

- **Preis/kWh und/oder kW:** Bis jetzt sind die Energiespeicher der größte Kostenfaktor bei der Produktion von Elektroautos. Im direkten Vergleich mit ICE (Internal Combustion Engines – Verbrennungsmotoren) sind elektrische Antriebe noch nicht konkurrenzfähig. Ab einem Preis von 100 \$/kWh für Batteriepacks geht man davon aus, dass elektrische Traktionssysteme wettbewerbsfähig werden.
- **Energiedichte volumetrisch und gravimetrisch:** Um die benötigte Reichweite zu erlangen, ist eine festgelegte Energiemenge notwendig. Es wird angestrebt, diese mit geringstmöglicher Gewichtszunahme und Bauraum zu erreichen.
- **Zyklusfestigkeit und kalendarische Alterung:** Im Automobilbereich wird eine Lebensdauer von acht bis zehn Jahren (Kapazität < 80 % von der Anfangskapazität) angestrebt. Das ist gleichzusetzen mit einer Zyklusfestigkeit von mindestens 1.000 Zyklen.
- **Sicherheit:** Vor allem im öffentlichen Nahverkehr, aber auch in allen anderen Verkehrsmitteln ist Sicherheit eine der höchsten Prioritäten – vor allem Feuerfestigkeit und Crash-Sicherheit.
- **Schnellladefähigkeit:** Um der Reichweitenangst entgegenzuwirken, benötigt es eine verbesserte Ladeninfrastruktur und Batteriesysteme, welche Ladezeiten ermöglichen, die mit konventionellen Betankungsvorgängen vergleichbar sind.
- **Effizienz:** Die Entwicklung der Batteriesysteme verläuft parallel zur Verbesserung der anderen elektrischen und elektronischen Komponenten, um die gespeicherte Energie in Leistung umzuwandeln.
- **Kälteunempfindlichkeit:** Da die Leistungen der herkömmlichen Zelltechnologien temperaturabhängig sind und bei Temperaturen unter 0 °C stark abnehmen, werden beheizbare Batteriesysteme entwickelt.

In manchen Anwendungen spielt Gewicht eine untergeordnete Rolle (Boote, Schiffe, Fähren, Bahn) oder ist sogar erwünscht (Radlader, Gabelstapler, Traktoren und Schlepper).

Power-to-Mobility

- **Schnittstellen:** Die Schnittstellen vom Netz zur Ladestation, aber auch vom Fahrzeug zur Ladestation sollen vereinheitlicht und steuerbar werden um eine Reduktion der Leistung bei starker Belastung des Netzes bzw. gesteuertem Laden zu ermöglichen.
- **Standardisierung:** Eine Vereinheitlichung der Komponenten wie etwa Stecker und Kommunikation bringt einen erhöhten Nutzwert für die Anwender und eine Kostensenkung bei den Investitionen; Dabei ist vor allem auch eine einheitliche Bezahlung ein Knackpunkt.
- **Geschäftsmodelle:** Derzeit sind Ladestationen selten und meist nicht kostendeckend zu betreiben. Daher sind Konzepte für den Betrieb von Ladestationen generell, aber auch für gesteuertes Laden zu entwickeln.
- **Leistungskomponente:** Die Einführung von Leistungstarifen (z. B. auch im privaten Bereich), stellt eine sehr vielversprechende Möglichkeit dar, um eine Überlastung des Niederspannungsnetzes bei zu hohem Anteil an Elektroautos mit hoher Ladeleistung im Heimbereich, zu unterbinden.
- **Kapazität** als Zieldimension der Speicheroptimierung: Für die Akzeptanz bei den NutzerInnen ist eine weitere Erhöhung der Kapazität erforderlich.

Vehicle-to-X

- **Schnittstellen Kommunikation:** Die Schnittstellen vom Netz bzw. vom Gebäude zur Ladestation, aber auch vom Fahrzeug zur Ladestation sollen vereinheitlicht und steuerbar werden. Außerdem sind Komponenten (Ladegeräte, Inverter, Fahrzeuginnenleben) die einen bidirektionalen Leistungsfluss ermöglichen zu implementieren.
- **Kapazität (Reichweite):** Ein höherer Energieinhalt ist notwendig, um vor allem bei Teilentladungen durch das Netz noch immer genügend Restreichweite zu ermöglichen.
- **Lebensdauer der Batterien, Zyklusfestigkeit:** Durch die zusätzlichen Zyklen kommt es zu einer beschleunigten Alterung des Speichers. Es muss noch an der Zyklusfestigkeit gearbeitet werden. Allerdings ermöglicht Vehicle-to-X eine höhere Nutzung und damit bessere Abschreibung des Speichers.
- **Bidirektional ladefähige Autos in ausreichender Anzahl:** Zur Netzstabilisierung muss ein genügend großer Pool an gleichzeitig benutzbaren Fahrzeugen mit Fähigkeit zum bidirektionalen Laden und Entladen (siehe vorher) zur Verfügung stehen.

Tabelle 24: Wichtigste Eigenschaften elektrischer Energiespeicher für mobile Anwendungen

Anwendung	Ziel
Traktion Battery Electric Vehicle (BEV)	hohe Energiedichte (gravimetrisch, volumetrisch) Kostenreduktion Schnellladefähigkeit Zyklusfestigkeit (Nutzfahrzeuge)
Arbeits- und Sondermaschinen Off-Highway-Anwendungen Landwirtschaft, Gabelstapler und Flurförderfahrzeuge	hohe Energiedichte (volumetrisch) Kostenreduktion Schnellladefähigkeit Zyklusfestigkeit kalendarische Alterung
Plug-in-Hybrid	hohe Leistungsdichte hohe Energiedichte (gravimetrisch, volumetrisch) Kostenreduktion
Hybrid	hohe Leistungsdichte Zyklusfestigkeit
Micro- und Mild-Hybrid	hohe Leistungsdichte Zyklusfestigkeit
Systembatterie	Kälteunempfindlichkeit
Luftfahrt	höchste Energiedichte höchste Leistungsdichte Schnellladefähigkeit Zyklusfestigkeit
Schifffahrt	Kostenreduktion Schnellladefähigkeit Zyklusfestigkeit
Mikromobilität	Sicherheit

Für thermische Speicher gelten vergleichbare Anforderungen wie bei elektrochemischen Speichern. Besonderes Augenmerk wird auf volumetrische und gravimetrische Energiedichte, Sicherheit sowie Preis pro kWh gelegt.

5.9.2 Technologien und Sektorkopplungen

Für die mobile Anwendung wurden im Wesentlichen elektrochemische Speicher und dabei solche mit hohen Energiedichten bzw. für die Zukunft mit potenziell hohen Energiedichten, aber weiterem Forschungsbedarf identifiziert. Dies umfasst stellvertretend:

- Elektrochemische Speicher
 - Lithium-Ionen-Akkumulatoren
 - Post-Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Solid-State, Magnesium, Lithium-Luft etc.)
 - Brennstoffzelle

- Thermische Speicher
 - Phasenwechselmaterialien
 - Vorkonditionierung (Innenraum)

Als Sektorkopplungen kommen entsprechend der Anwendung folgende elektrische Speicher infrage:

- Vehicle-to-X
- Power-to-Mobility
- Liquid-to-Mobility
- Gas-to-Mobility

Manche Sektoren können gekoppelt betrachtet werden, so z. B. Power-to-Mobility.

5.9.3 Direkte FTI-Förderungen

In Abbildung 24 ist die Roadmap der direkten F&E-Maßnahmen zu Speicheranwendungen im Bereich Elektromobilität ersichtlich.

- **Batteriegepufferte Ladestationen mit Batteriesystemen:** Mit den kommenden Schnellladesystemen empfiehlt es sich, die Spitzenleistungen zu reduzieren, um einerseits die Anschlussleistung und damit die Kosten zu reduzieren und andererseits das Netz zu entlasten. Wenn um 2020 entsprechende Fahrzeuge auf dem Markt sind, empfiehlt sich eine experimentelle Entwicklung, die dann bis 2024 in den Markt übergeleitet wird.
- **Materialien und Zelltechnologien von Batteriesystemen:** Auch wenn seit vielen Jahren entsprechende Produkte auf dem Markt sind und die derzeitigen Eckdaten ausreichen, um Elektrofahrzeuge zu bauen, sind die Batteriesysteme bei weitem nicht ausgereift und bieten noch Raum für Optimierungen, die die Elektromobilität weiter in Richtung Alltagstauglichkeit bewegen. Es wird daher empfohlen, sofort mit der Grundlagenforschung zu beginnen bzw. diese weiterzuführen. Es gibt verschiedenste Materialien und Kombinationen, die einer Optimierung bedürfen, sowie verfahrenstechnische Aufgabenstellungen, die es zu lösen gilt. Eine schrittweise Weiterführung dieser Entwicklung bis zur Marktüberleitung im Jahre 2030 wird empfohlen.
- **Batteriesysteme – Packaging:** Da es sich hier um eine Kernkompetenz in Österreich handelt, wird empfohlen, diese weiter zu forcieren. Vor allem Verbindungstechniken zu verbessern, erscheint sinnvoll. Dies sollte sofort mit experimenteller Entwicklung beginnen; die verbesserten Systeme können dann im Jahre 2022 in den Markt übergeleitet werden.

- **Batteriesysteme – Recycling:** Da die derzeitige Menge der zur Rezyklierung zur Verfügung stehenden Batterien noch sehr gering ist, lohnt es sich, noch in Grundlagenforschung zu investieren, um dann 2028, wenn eine größere Zahl von Batteriesystemen aus der ersten Fahrzeuggeneration zurückkommen wird, rechtzeitig eine Marktüberführung machen zu können.
- **Batteriesysteme – Second Life:** Hier verhält es sich sehr ähnlich wie beim vorigen Punkt „Recycling“. Erst im Jahre 2027 wird eine relevante Anzahl an gebrauchten Batteriesystemen aus dem Fahrzeugbereich verfügbar sein. Da es sich bei der Anwendung hauptsächlich um eine technische Aufgabenstellung handelt und ein Hauptaspekt in der Standardisierung und Implementierung liegt, wird keine Grundlagenforschung benötigt. Ein Einstieg mittels experimenteller Entwicklung im Jahr 2027 sowie eine Marktüberführung 2029 wird als geeignet gesehen.
- **Brennstoffzellen:** Hier gilt dasselbe wie weiter oben für die Batteriespeicher. Es sind weitere Verbesserungen bei grundlegenden Prozessen möglich, weshalb sich ein sofortiger Start mit Grundlagenforschung empfiehlt. Diese Technik kann dann schrittweise bis 2026 in den Markt übergleitet werden.
- **Mobile Wärmespeicher – Thermomanagement:** Es gibt hier schon viele potenzielle Materialien. Gearbeitet werden muss an der Auswahl und Optimierung dieser sowie an der Integration ins Fahrzeug. Dies sollte im Rahmen der industriellen Forschung umgehend beginnen, um eine schrittweise Marktüberführung bis 2025 zu ermöglichen.
- **Vehicle-to-X:** Diese Anwendung ist erst sinnvoll, wenn ausreichend Fahrzeuge und Ladestationen mit dieser Technik zur Verfügung stehen. Da das Thema technisch weitgehend abgeklärt ist, wird eine Marktüberleitung 2021 als zielführend betrachtet.

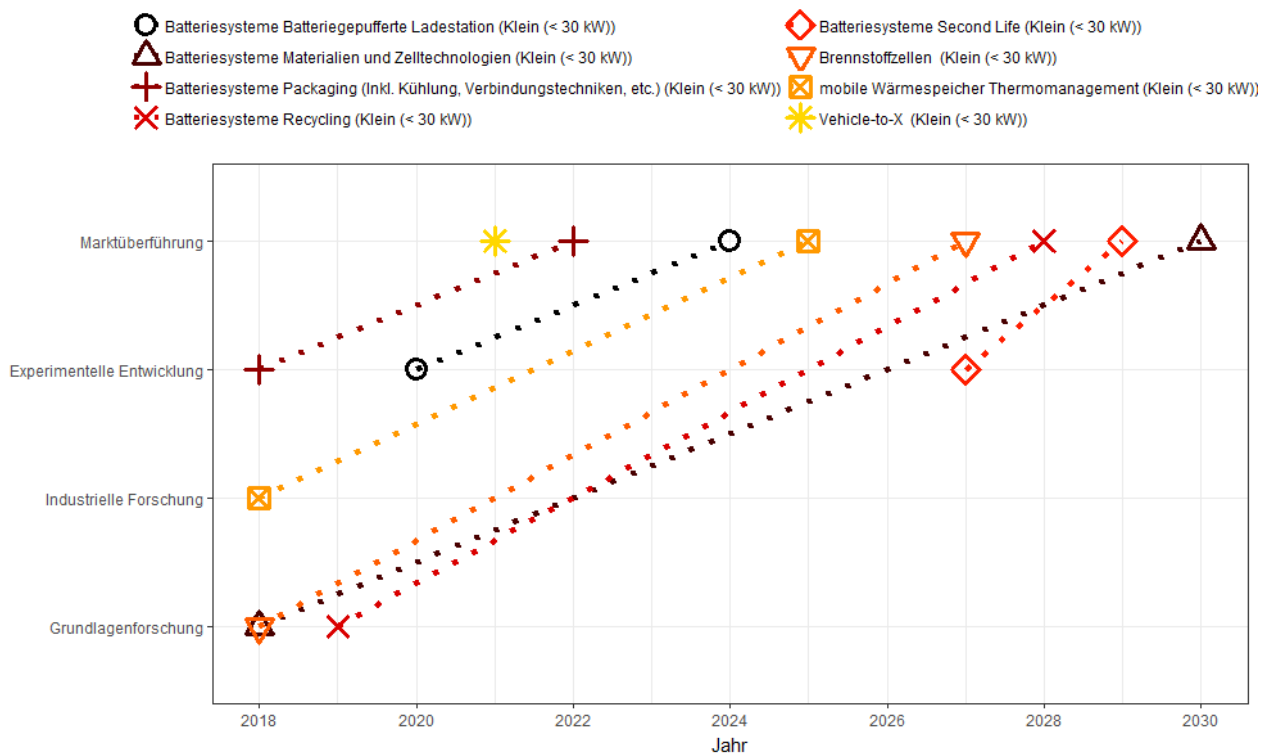


Abbildung 24: Roadmap der direkten FTI-Förderungen zu Speicheranwendungen im Bereich Elektromobilität

5.9.4 Sonstige FTI-politische Maßnahmen zur Elektromobilität

Neben direkten FTI-Förderungen sind für Speicheranwendungen im Bereich der Elektromobilität auch Maßnahmen der innovationsorientierten öffentlichen Beschaffung empfohlen. Die Nutzung der innovationsorientierten öffentlichen Beschaffung für Elektromobilität und Second Life sollte verfolgt werden, um die Erfüllung von klima- und energiepolitischen Effizienzzielen zu beschleunigen.

5.9.5 Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zu Elektromobilität

Im Folgenden (vgl. Tabelle 25) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich dem Anwendungsfeld „Elektromobilität“ zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 25: Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative zu Elektromobilität

Förderinstrument	Handlungsempfehlung	TRL
Grundlagenforschung	Projekte zu Post-Lithium-Batterien mit Magnesium-Ionen: Simulationen und Modellvalidierung im Labor, Entwicklung betriebsfähiger Zellen etc.	TRL 1
	Projekte zu Post-Lithium-Batterien mit Solid-State: Steigerung der Temperaturlevels, materialspezifische Fragestellungen etc.	TRL 1

	Projekte zu Post-Lithium-Batterien mit Lithium-Luft: Erhöhung der Zyklenzahl, verbessertes Zelldesign, günstigere Katalysatoren, beschleunigte Prozesse, Entwicklung der Regeltechnik etc.	TRL 1
Industrielle Forschung	Projekte zu Magnesium-Ionen: Simulationen und Modellvalidierung im Labor, Entwicklung betriebsfähiger Zellen etc.	TRL 2–4
	Projekte zu Solid-State: Steigerung der Temperaturlevels, materialspezifische Fragestellungen etc.	TRL 2–4
	Projekte zu Lithium-Luft: Erhöhung der Zyklenzahl, verbessertes Zelldesign, günstigere Katalysatoren, beschleunigte Prozesse, Entwicklung der Regeltechnik etc.	TRL 2–4
	Projekte zur Speicherung von Wasserstoff im Fahrzeug, an der Tankstelle und am Ort der Erzeugung (inkl. Gasflaschen bis 700 bar) mit Fokus auf Kostensenkung, Erhöhung der Speicherkapazität und Energieeffizienz	TRL 3–4
	Projekte zur Entwicklung von Prüfstandskomponenten und -verfahren für Wasserstoff-Druckspeicher und PEMFC	TRL 3–4
	Projekte zur Kostenreduktion von Brennstoffzellen durch günstige Elektrolyte, Membrane und Katalysatoren, zu modellbasierter Fehlererkennung (Vorhersagen) und Wirkungsgradoptimierung	TRL 3–4
	Projekte zu PEMFC: Reduktion edler Metalle (v. a. Platin), Verbesserung von Kaltstartverhalten, dynamischer Belastung im mobilen Bereich, Steuerung und Diagnose und Wärmemanagement	TRL 3–4
	Projekte zu SOFC: Verbesserung von Masse- und Ladungstransport sowie Erhöhung der Langzeitstabilität geeigneter Zell- und Stack-Komponenten, Gas- und Wärmemanagement	TRL 3–4
	Projekte zu PEMFC und SOFC: Entwicklung von Simulations-Tools, Mess- und Testsystemen, Aufbereitungsverfahren von Brenngasen	TRL 3–4
	Projekte zur Optimierung von Produktionsprozessen durch Synergien und parallele Fertigung konventioneller, hybridisierter und Brennstoffzellen-Antriebe	TRL 3–4
	Projekte zu Brennstoffzellen im Dauerbetrieb unter realen Betriebsbedingungen und unter stark schädigenden Betriebsbedingungen (Accelerated Stressing Test – AST)	TRL 3-4
	Projekte zu mobilen thermischen Speichern wie bei stationärem Einsatz zur Verbesserung der thermischen, chemischen, physikalischen und kinetischen Materialeigenschaften und Zyklusstabilität der Speichermaterialien inkl. Verbesserung der Wärmeübertragungseigenschaften zwischen Speichermedium und Wärmetransportmedium; bei mobilen Anwendungen darüber hinaus Optimierung des Leistungsgewichts, Minimierung des Platzbedarfs und optimale funktionelle Integration (Dynamik des Systems) als Entwicklungsziel	TRL 4
Experimentelle Entwicklung	Projekte zu Lithium-Ionen-Batterien zur Validierung und Anpassung der Testnormen, zu Zelldesign, Zellkomponenten, Alterung, Sicherheit etc.	TRL 5
	Projekte zur Speicherung von Wasserstoff im Fahrzeug, an der Tankstelle und am Ort der Erzeugung (inkl. Gasflaschen bis 700 bar) mit Fokus auf Kostensenkung, Erhöhung der Speicherkapazität und Energieeffizienz	TRL 5–8

	Projekte zur Entwicklung von Prüfstandskomponenten und -verfahren für Wasserstoff-Druckspeicher und PEMFC	TRL 5–8
	Projekte zur Kostenreduktion von Brennstoffzellen durch günstige Elektrolyte, Membrane und Katalysatoren, zu modellbasierter Fehlererkennung (Vorhersagen) und Wirkungsgradoptimierung	TRL 5–8
	Projekte zur Entwicklung von kompakten Wärmespeichern und Systemintegration in E-Fahrzeuge	TRL 5–8
	Praxistest zur Reduktion der Netzanschlussleistung bei Schnellladestationen (v. a. im gewerblichen Bereich) durch Einsatz von Stromspeichern inkl. Simulation und Erprobung optimaler Ladestrategien, Entwicklung entsprechender Lösungen für Regelungstechnik und optional für Zugriffsrechte des Netzbetreibers auf das Lademanagement	TRL 7–8
	Projekte zur Erhöhung der Leistungs- und Energiedichte für Speicher für mobile Anwendungen, der Schnelllade-/Entladefähigkeit, der Brandsicherheit, der Recyclingrate	TRL 8–9
	Projekte zur Optimierung von Materialien für Lithium-Ionen-Batterien (Reduktion toxikologisch gefährlicher Stoffe wie z. B. Cobalt), Zellkomponenten, Zelldesign, Thermomanagement in Fahrzeugen und Kostensenkung	TRL 8–9
	Projekte zur produktionsoptimierten Entwicklung von Lithium-Ionen-Zellen und Batteriepacks mit verbesserten Verbindungstechnologien (Kontaktierungen, Schweißungen, Klebstoffe), Integration austauschfreundlicher Batterien (Tausch wegen Alterungserscheinungen, Second Life)	TRL 8–9
	Projekte zu Diagnostik und zum Selbstmonitoring von Lithium-Ionen-Zellen und des gesamten Batteriemagements	TRL 5–6
Innovationslabors, Regulierungs- & Innovationszonen	Breitentest Vehicle-to-Grid mit einem Systemverantwortlichen, Größenordnung z. B. 50 bis 100 E-Fahrzeuge inkl. einiger KundInnen, mit Photovoltaikanlagen, um Wechselwirkungen mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen zu untersuchen; optional könnte auch die Wechselwirkung von Batterien in E-Fahrzeugen und einem Pumpspeicherkraftwerk in einer Modellregion erprobt werden, um Stärken und Schwächen der Kombination in unterschiedlichen Zeitbereichen am Regelenergiemarkt zu analysieren; im Breitentest sollten Lösungen für Präqualifikation und andere offene Fragen erarbeitet werden, eventuell könnten auch E-Busse eingebunden werden	TRL 7–9
Sozioökonomische Begleitforschung	Erarbeitung von Änderungsvorschlägen für problematische regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Netzkostenabwälzung, Netzzugangskosten), siehe auch Handlungsempfehlungen im Kapitel „Rechtsgrundlagen“	

6 Zusammenfassung und allgemeine Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden sowohl die Roadmaps der Anwendungsfelder von Speichertechnologien zusammengefasst als auch allgemeine Handlungsempfehlungen dargestellt, die über jene in Bezug auf die im Detail dargestellten Anwendungsbereiche hinausgehen bzw. auch jene von der Speicherinitiative, die nicht den Handlungsempfehlungen aus den Anwendungsbereichen (vgl. Kapitel 5) zuordenbar waren, aber dennoch von Relevanz sind.

6.1 Zusammenfassung der Roadmaps

Ergänzend zu den ausführlichen Darstellungen und Roadmaps aus Kapitel 5 (gegliedert in Anforderungen und Ziele, Technologien und Sektorkopplung sowie direkte FTI-Förderungen) werden in Tabelle 26 entlang der identifizierten Anwendungsfelder Erfordernisse, Handlungsempfehlungen und Maßnahmen zusammengefasst dargestellt. Die Schwerpunkte direkter FTI-Förderungen lassen sich in den identifizierten Anwendungsbereichen wie folgt darstellen:

... **saisonalen Ausgleich:** Der saisonale Ausgleich bei 100 % RES im Gesamtenergiesystem mit mehrwöchiger Speicherung bildet nach Einschätzung der meisten ExpertInnen die größte Herausforderung in der Energiewende. Batterietechnologien spielen hier kaum eine Rolle. Zu diesem Anwendungsbereich wird empfohlen, folgende Technologieoptionen in den Fokus der direkten FTI-Förderung zu stellen: Pumpspeicherkraftwerke, Power-to-Gas (Methanisierung, Elektrolyse), Gas-to-Power, große thermische Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), Thermochemische Wärmespeicher (TCM) und Power-to-Heat.

... **Gesamtenergiesystem und Stabilität der Stromnetze:** Im Anwendungsbereich „Optimierung und adäquate Flexibilität des Gesamtenergiesystems und der operativen Stabilität der Stromnetze“ wurden die folgenden Technologieoptionen als relevant identifiziert: Wasserspeicher, Power-to-Gas (einschließlich Wasserstoff), Power-to-Heat, Pumpspeicher, Batteriesysteme, Gas-to-Power, Heat-to-Power und kleine Blockheizkraftwerke.

... **lokale Energiesysteme:** Für das Thema „Optimierung und adäquate Flexibilität lokaler Energiesysteme im Bereich von Gebäuden, lokalen Wärme- und Stromnetzen, Industrie und Mobilität“ wurden folgende Technologieoptionen als relevant identifiziert: Um diese lokalen funktionalen Herausforderungen technologisch anzugehen, sind im Bereich der Wärme vorwiegend Wasserspeicher, Latentwärmespeicher (PCM), thermochemische Speicher (TCM), Dampfspeicher, Hochtemperatur-Feststoffspeicher-Lösungen zu entwickeln. Batteriesysteme (Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Post-Lithium-Ionen-Akkumulatoren) sind Technologieoptionen im Bereich

Heimanwendungen und andere gemeinschaftliche Nutzung erneuerbarer Energie und Stabilisierung lokaler Stromnetze.

Im Bereich der Batterien standen aufgrund der relativen Unterspezialisierung weniger die elektrochemischen Komponenten im Vordergrund als vielmehr die Ebene der Batteriesysteme einschließlich Sensorik, Steuerung, Sicherheit etc.

... **Mobilität:** Der Anwendungsfall „Nutzung von Speichersystemen zur 100%-Nutzung erneuerbarer Energie im Bereich der Mobilität“ umfasst primär die Technologieoptionen Brennstoffzelle (Gas-to-Mobility), Vehicle-to-Home, Power-to-Mobility, Power-to-Heat und Liquid-to-Mobility. Hoher Bedarf wird nicht nur bei der Weiterentwicklung und Marktüberführung der entsprechenden Fahrzeuge bzw. deren Speicher selbst gesehen, sondern auch bei Schnittstellen zum Netz, Regulatorien und Standardisierung.

Tabelle 26: Kurzdarstellung des erforderlichen Handlungsbedarfs und der Maßnahmen

Langfristiger Ausgleich der Energiebereitstellung	
(vgl. 5.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Power-to-Gas sind Hochdruckelektrolyse und die Methanisierung von besonderer Bedeutung, um insbesondere Wasserstoff unter Druck herstellen zu können und dadurch den Schritt der Verdichtung vor der Speicherung einzusparen. • Es braucht Wärmespeicher mit geringen Verlusten und robusten Komponenten, die sich sinnvoll in Gebäude und Umgebung integrieren lassen. Spezifische Forschungsthemen sind die Reaktorentwicklung und Systemoptimierung sowie neue Methoden der Speicherbeladung mit hohem Wirkungsgrad. • Elektrische Speicher müssen für den langfristigen Ausgleich hohe Speicherkapazitäten im Bereich von mehreren GWh oder TWh aufweisen, wofür insbesondere Pumpspeicherkraftwerke infrage kommen.
Kurzfristiger Ausgleich im elektrischen Netz	
(vgl. 5.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Pumpspeicherkraftwerken stellen sich künftig erhöhte Anforderungen bei Pumpspeichern mit geringen Fallhöhen sowie für die Flexibilisierung im gesamten Leistungsbereich (Pumpen und Turbinieren bzw. Wiederverstromen). Die erforderlichen Entwicklungen reichen von der Leistungselektronik bis zur Strömungsführung. • Bei Power-to-Heat sind es kostengünstige Wärmepumpen sowie einheitliche Standards, Schnittstellen bzw. Smart-Grid-Fähigkeit, die erforderliche Maßnahmen zur Marktüberführung darstellen.

	<ul style="list-style-type: none"> Die Umwandlung von elektrischer Energie in Wasserstoff und vor allem in Methan weist sichtbare Umwandlungsverluste auf. Eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades der Umwandlungskette ist für die breite Verwendung von Relevanz.
Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen	
(vgl. 5.3)	<ul style="list-style-type: none"> Fragestellungen für Lastmanagement und Spitzenreduktion in Wärmenetzen betreffen vor allem die kommunikative Anbindung von Wärmespeichern ins Wärmenetz, um diese gezielt für das Lastmanagement nutzen zu können. Analog zum Stromnetz können dafür Smart Meter für Wärme mit vergleichbaren Funktionen entwickelt werden.
Bereitstellung von Regelreserve und Ausgleichsenergie	
(vgl. 5.4)	<ul style="list-style-type: none"> Erste Projekte in der experimentellen Entwicklung untersuchen bereits die Eignung von Batteriesystemen für die Bereitstellung von Regelreserve. Diese bedürfen wegen der hohen technischen Anforderungen (u. a. in Bezug auf Verfügbarkeit, Zyklfestigkeit und Leistung) weiterer FTI-politischer Maßnahmen, um eine Marktüberführung zu erreichen. Die Hybridisierung von Pumpspeichersystemen mit Batteriesystemen, aber auch die Weiterentwicklung von Standardkomponenten (Pumpe, Turbine, Umrichter), insbesondere für kleine Pumpspeicheranlagen, stellen ein relevantes Entwicklungsthema dar. Sowohl Power-to-Gas- als auch Power-to-Heat-Technologien für Großanlagen stehen wenige Jahre vor der Überführung in den Markt. Insbesondere deren flexibler Einsatz sowie die Systemintegration stehen noch als Herausforderung bevor.
Engpassmanagement	
(vgl. 5.5)	<ul style="list-style-type: none"> Um die Implementierung von Batteriesystemen für Engpassmanagement zu erreichen, bedarf es einer effizienten lokalen Speicherung, der Kopplung von Erzeugungsanlagen mit einem Speichersystem, einer einfachen Skalierbarkeit und einer Systemintegration, die eine schnelle Ansteuerbarkeit (Ansprechzeit) und umfassende Automatisierbarkeit sicherstellt. Langfristig gilt es ein kombiniertes Speichertechnologieportfolio aus Heat-to-Power, Batteriespeicher und Gas-to-Power mit schnellen Ansprechzeiten sowie hoher Leistung zu entwickeln.
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung	
(vgl. 5.6)	<ul style="list-style-type: none"> Der Einsatz von Wasser-, Latentwärme- und thermochemischen Speichern, aber auch Bauteilaktivierung stellt einen wichtigen Beitrag für die Flexibilisierung in Wärmenetzen und Gebäuden dar. Optimierungspotenzial wird bei der Schichtung von Wasserspeichern sowie beim Einsatz von neuen Materialien für die thermochemische Speicherung gesehen.

	<ul style="list-style-type: none"> Für industrielle Anwendungen spielen insbesondere hohe Temperaturen eine wichtige Rolle. Wenngleich Dampfspeicher bereits verfügbar sind, bedarf es weiterer FTI-Maßnahmen, um eine breite Anwendung in verschiedenen Branchen zu erreichen. Dazu zählen unter anderem die Weiterentwicklungen von Dampf-Hybridspeichern und Feststoffspeichern.
Industrielle Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung)	
(vgl. 5.7)	<ul style="list-style-type: none"> Die Effizienzsteigerung von industriellen Prozessen durch Speicherung von Abwärme und deren Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt erfordern Maßnahmen und Innovation in der Gestaltung und Optimierung der Prozesse. Dazu zählen die Vermeidung unwirtschaftlicher Teillastbetriebszustände der Wärmebereitstellung, eine Vergleichmäßigung des Wärme-/Dampfverbrauchs, aber auch Speicher, die bei verschiedenen Temperaturen flexibel betrieben werden können.
Nutzung lokaler Erzeugung mit Zusatznutzung	
(vgl. 5.8)	<ul style="list-style-type: none"> Die elektrischen Speichertechnologien für dieses Anwendungsfeld sind für eine erste Anwendung als ausgereift zu betrachten. Eine umfassende Weiterentwicklung für Batteriesysteme ist jedoch erforderlich, um eine weitere Verbreitung und nachhaltige Etablierung im Markt zu ermöglichen. Diese Entwicklungsaspekte umfassen u. a. lokale Intelligenz, Systemeinbindung, Umweltverträglichkeit, Sensorik und neue Zelltechnologien. Kleine thermische Speicher in Verbindung mit Power-to-Heat für die saisonale Speicherung von Wärme bzw. deren Nutzung für Kurzzeitspeicherung oder Kältespeicher für Kühl- und Gefriergeräte stehen am Beginn der Entwicklung und bedürfen u. a. neu zu entwickelnder Materialien.
Elektromobilität	
(vgl. 5.9)	<ul style="list-style-type: none"> Bei „Batteriesysteme – Packaging“ handelt es sich aktuell um eine Kernkompetenz in Österreich und es wird empfohlen, diese hinsichtlich Verbindungstechniken zu verbessern und weiter zu forcieren, um einerseits diese Kompetenz auszubauen, aber auch um eine rasche Marktüberleitung sicherzustellen. Batteriegepufferte Ladestationen (insbesondere bei Schnellladesystemen) und auch Vehicle-to-X werden eine zunehmend bedeutende Rolle spielen, um Spitzenleistungen aus dem elektrischen Netz und damit Kosten zu reduzieren bzw. um Netzdienstleistungen anbieten zu können. Die Materialien und Zelltechnologien für Batteriesystem und Brennstoffzellen reichen bereits aus, um Fahrzeuge zu bauen, bedürfen jedoch noch vieler Optimierungen, um

	<p>weiter in Richtung Alltagstauglichkeit zu gelangen. Insbesondere Grundlagenforschung im Bereich der Materialien sowie verfahrenstechnischer Aufgabenstellungen sind dafür notwendig.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenngleich aktuell noch von etwas geringerer Bedeutung, wird in Zukunft das Recycling bzw. die Second-Life-Nutzung von Batteriesystemen eine wesentliche Rolle spielen. Insbesondere wenn Batteriesysteme aus der ersten Fahrzeuggeneration zurückkommen, wird sicherzustellen sein, dass marktreife Lösungen verfügbar sind.
--	---

Zusätzlich zu den direkten FTI-Förderungen in Bezug auf die Technologien werden auch sonstige FTI-politische Maßnahmen in Bezug auf Transition, Veränderung der Marktstrukturen und Regulierungen als erforderlich eingeschätzt (vgl. dazu die spezifischen Unterkapitel „Sonstige FTI-politische Maßnahmen“ in Kapitel 5). Obwohl die Roadmap technologieorientiert ist und daher die durchgeführten Workshops auf FTI-politische Maßnahmen fokussierten, wurden in diesem Zusammenhang Fragen aufgeworfen, die langfristig eine Veränderung der Marktstrukturen und Regulierungen sowie der sozialen Dimension der Energiewende thematisieren. Da diese für die Entwicklung neuer technologischer Lösungen und Innovationen zentrale sozio-technische Rahmenbedingungen bilden, ist deren wissenschaftliche Aufarbeitung durch transdisziplinäre Forschung in Kollaboration von geistes-, sozial- und kulturwissenschaftlicher Forschung von ebenso großer Bedeutung.

Insbesondere Fragestellungen zu den folgenden Themen werden als relevant eingeschätzt:

- Gestaltung institutioneller und regulatorischer Rahmenbedingungen
- Entwicklung von Business-Modellen für Unternehmen aus dem Bereich etablierter Akteursgruppen und Start-ups
- kooperative Business-Modelle (betrifft auch Public-private Partnerships) sowie „Missionsmodelle“ der Akteure in der Daseinsvorsorge auf unterschiedlichen territorialen Ebenen (von der nationalen bis zur Gemeindeebene)
- Technikfolgenabschätzung
- Sozioökonomische und kulturelle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung technologischer Lösungen, wie beispielsweise gesellschaftliche Akzeptanz großer Speicherprojekte
- Soziotechnische Szenarien und Modellierungen als Entscheidungsgrundlagen, um zu klären, welche Transformationspfade aus sozioökonomischen und gesellschaftspolitischen

Gesichtspunkten in Österreich bei der Energiewende reüssieren können. Z. B.: Wie viel Kapazitäten braucht es, um ein System mit 100 % RES stabil und resilient zu betreiben?

6.2 Allgemeine FTI-politische Maßnahmen zur Speicher-Roadmap

Forschungsinfrastruktur und Forschungsplattformen wie etwa Virtuelle Institute können strukturelle Elemente eines neuen Innovationsökosystems bilden. Weiters kann international Vernetzung und Bündelung von Wissen beispielsweise durch Aktivitäten und Kollaborationen im Bereich der Internationalen Energieagentur (IEA) hergestellt werden, wie z. B. zwischen dem Technical Collaboration Program (TCP) „Energy Conservation through Energy Storage“ (IEA ECES) und anderen TCPs wie dem „International Smart Grid Action Network“ (ISGAN).

Humanressourcen: Um zu vermeiden, dass Grundlagenforschung vernachlässigt wird, sollten beispielsweise Doktoratskollegs eingerichtet werden. Durch Kooperation mehrerer Forschungseinrichtungen könnten Synergien genutzt werden.

Der partizipative Prozess zur Erstellung der Speicher-Roadmap war die erste Gelegenheit, Forschung, Technologieentwicklung und Innovation zu Speicherlösungen sektorübergreifend zu bearbeiten. Dabei zeigte sich, dass eine **Intensivierung der Vernetzung in Österreich über etablierte Sektorgrenzen** hinweg als positiv betrachtet wird. Es wird daher vorgeschlagen, ein Speichersysteme-Netzwerk, ähnlich etablierter Technologieplattformen oder Verbände zu etablieren.

Wie aus den Beschreibungen der FTI-Maßnahmen ersichtlich, ist die **Entwicklung von Strategien** für einzelne Technologiefelder nicht ausschließlich einem Anwendungsfeld zuzuordnen. Neben einer Abschätzung der Relevanz einzelner Technologien auf Basis der grundsätzlichen technischen Eignung bedarf es aber auch einer Quantifizierung der bestehenden und möglichen Speicherpotenziale, um tatsächliche Schwerpunkte in Bezug auf Klima- und Energiepolitik setzen zu können. Untersuchungen und Studien zur Quantifizierung der Speicherpotenziale werden daher empfohlen.

Insbesondere im Bereich der Sektorkopplungen und Power-to-X-Lösungen fehlen Strategien zur Orientierung der Akteure und Stakeholder. Um Sektorkopplungen umsetzen zu können, bedarf es im Vorfeld auch der Schaffung einer Forschungsinfrastruktur, die es ermöglicht, Lösungen (z. B. Power-to-Heat) im Labormaßstab zu testen, wie dies in anderen Ländern bereits der Fall ist.

Bei der Weiterentwicklung der Roadmap gilt es auch zu berücksichtigen, dass in Zukunft auch neue und unter Umständen **disruptive Entwicklungen ermöglicht** werden.

6.3 Allgemeine Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Im Folgenden (vgl. Tabelle 27) werden die Handlungsempfehlungen aus der Speicherinitiative, die sich keinem der priorisierten Anwendungsfelder zuordnen lassen, mit den direkten F&E-Förderinstrumenten verknüpft.

Tabelle 27: Allgemeine Handlungsempfehlungen der Speicherinitiative

Förderinstrument	Handlungsempfehlung
Sozioökonomische Begleitforschung	Erarbeitung von Änderungsvorschlägen für problematische regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Fragen der Netztarife), siehe auch Handlungsempfehlungen
	Forschung und Entwicklung zur umfassenden volkswirtschaftlichen und ökologischen Bewertung von nicht netzgebundener Energieversorgung im Vergleich zur Netzanbindung
	Diskussion einer einheitlichen Definition von Energiespeichern in allen relevanten Rechtsgrundlagen
	Entwicklung von hydraulisch-thermischen Regionalmodellen für Gesamtkonzepte der Grundwasserbewirtschaftung in Gebieten mit hohem Nutzungsgrad von Erdsondenfeldern bzw. Grundwasserbrunnen als Wärmespeicher
Standardisierung und Normung	Veröffentlichung einer eigenen Norm für Lithium-Ionen-Speicher
	Schaffung von Rechtssicherheit für Power-to-Gas-Anlagen in Österreich
	Weiterentwicklung der Entflechtungsbestimmungen – v. a. auf unionsrechtlicher Ebene – in Hinblick auf den Einsatz von Speichern zu netzdienlichen Zwecken, sofern der Betrieb von netzdienlichen Speichern durch Netzbetreiber ohne Teilnahme der gespeicherten Energie am Energiemarkt erfolgt
	Überarbeitung der EN- und ÖNORMEN für Heizlastberechnung, Wärmebedarfsberechnung und Energieausweisberechnung unter Berücksichtigung der Speicherfähigkeit von Bauteilen

7 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, „Energie Forschungs- und Innovationsstrategie“, Mar 2017.
- [2] International Energy Agency – IEA, “Technology Roadmap Energy Storage”, 2014.
- [3] OECD, “REGPAT database”, 2016.
- [4] P. Verboven, J. Kathan, L. Sigrist, and F. Geth, “Energy Storage Innovation in Europe – A mapping exercise”, Oct 2013.
- [5] J. Kathan et al., “EERA Joint Programme on Smart Grids Sub-Programme 4 – Electrical Energy Technologies – D4.3 & D4.4”, May 2015.
- [6] European Association for Storage of and European Energy Research Alliance, “Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030”, 2013.
- [7] R. Hackstock and D. Kain, „Speicherinitiative Abschlussbericht Startphase“, Klima- und Energiefonds, Jun 2016.
- [8] EPO, “Cooperative Patent Classification (CPC)”, 2016.
- [9] WIPO, “International Patent Classification (IPC) official publication”, 2017.
- [10] WIPO, “PCT – The International Patent System”, 2017.
- [11] L. Soete, “The impact of technological innovation on international trade patterns: the evidence reconsidered”, *Res. Policy*, vol. 16, pp. 101–130, 1987.
- [12] P. Patel and K. Pavitt, “Is Western Europe losing the technological race?”, *Res. Policy*, vol. 16, pp. 59–85, 1987.
- [13] C. Le Bas and C. Sierra, “‘Location versus home country advantages’ in R&D activities: some further results on multinationals’ locational strategies”, *Res. Policy*, vol. 31, pp. 589–609, 2002.
- [14] P. Kurzweil and O. K. Dietlmeier, *Elektrochemische Speicher: Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, rechtliche Grundlagen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [15] W.-D. Steinmann, R. Schulte, and P. Scherrer, „Forschungsbericht BWPLUS: EVA – Thermische Energiespeicher zur Verstromung diskontinuierlicher Abwärme“, Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für technische Thermodynamik, Stuttgart, Germany, Jul 2010.
- [16] B. Nordell, “Large-scale Thermal Energy Storage”, Luleå University of Technology, Feb 2000.
- [17] D. Mangold, M. Benner, and T. Schmidt, „Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme“, FIZ Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 2001.
- [18] K. Bergmeister, F. Fingerloos, and J. D. Wörner, „Beton-Kalender 2016: Beton im Hochbau, Silos und Behälter“, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, 2015.
- [19] S. Gschwander, „Aktuelle Anwendungsbeispiele zur Nutzung von Wärmespeichern zur Klimatisierung von Gebäuden“, Stuttgart, Germany, Nov 2014.
- [20] P. Gantenbein, X. Daguene-Frick, B. Fumey, R. Weber, K. Goonesekera, and T. Williamson, „Demonstration eines Absorptionswärmespeichers mit Natronlauge – COMTES Line B“, Mar-2016.

- [21] M. Sterner and I. Stadler, „Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“, 2014th ed. Springer Vieweg, 2014.
- [22] EASE/EERA, “Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030. 2017 update”, European Association for Storage of Energy (EASE) and European Energy Research Alliance (EERA), 2017.
- [23] A. Darmani, “Innovation and Technology Roadmap, Energy Storage Application”, REEEM, 2017.
- [24] EC, “Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation”, European Commission, 2015.
- [25] Mission Innovation, “Mission Innovation – Accelerating the Clean Energy Revolution”, 2017.
- [26] APG Austrian Power Grid, „Präqualifikationsunterlagen für die Bereitstellung von Sekundärregelreserve in der Regelzone APG“, APG Austrian Power Grid, 23-May-2014.
- [27] APG Austrian Power Grid, „Präqualifikationsunterlagen für die Bereitstellung von Tertiärregelreserve in der Regelzone APG“, APG Austrian Power Grid, 23-May-2014.

Anhang

8 Erster ExpertInnen-Workshop

8.1 Fragestellungen

Die zentrale Fragestellung des Workshops ist eine strukturierte Bedarfs- und Potenzialerhebung, wie man das Ziel einer zukünftigen Energieversorgung mit 100 % erneuerbaren Energien erreichen kann und dabei die österreichische Industrie und deren Technologieentwicklungskompetenz stärkt.

Im Anhang werden basierend auf den Ergebnissen der Speicherinitiative und anderen Arbeiten und Roadmaps elektrische und thermische Speichertechnologien sowie ihre Anwendungsfälle im Detail beschrieben.

Im Rahmen des Workshops sollen insbesondere die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie hoch ist die Erwartung, dass einzelne Anwendungen für Speicher in den kommenden zehn Jahren in Österreich Anwendung finden?
- Wie wichtig ist der Anwendungsfall für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung?
- Welche Eigenschaften muss eine Speichertechnologie haben, um für die Anwendungsfälle geeignet zu sein (Ansprechzeit, Energiedichte etc.)?

8.1.1 Stationäre Anwendungen

8.1.1.1 Elektrisch

		Anwendungsfall	Wie hoch ist die Erwartung, dass der Anwendungsfall in den kommenden 10 Jahren in Österreich angewandt wird? (1-gering...4-hoch)	Wie wichtig ist der Anwendungsfall für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung? (1-gering...4-hoch)	Welche Eigenschaften muss die Technologie haben, um für die Anwendungsfälle geeignet zu sein (Ansprechzeit, Energiedichte etc.)?
Elektrisch	Erzeugung	Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)			
		Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonalspeicher)			
		Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)			
		Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)			
		Spitzenreduktion der Erzeugung			
	Übertragung/Verteilung (Netz)	Spannungsregelung			
		Harmonische/Flicker/ Transiente			
		Schwarzstartfähigkeit			
		Engpassmanagement im Netz			
		Momentanreserve			
		Primärregelung			
		Sekundärregelung			
		Tertiärregelung			
		Verminderung von Netzverlusten			
		Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau			
	Verbrauch/Endkunde	Spitzenreduktion der Last			
		Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)			
		Nutzung zeitlich variabler Tarife			
		Blindleistungskompensation			
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)					

Tabelle 28 – Beurteilung der elektrischen Anwendungsfälle

8.1.1.2 Thermisch

	Anwendungsfall	Wie hoch ist die Erwartung, dass der Anwendungsfall in den kommenden zehn Jahren in Österreich angewandt wird? (1-gering...4-hoch)	Wie wichtig ist der Anwendungsfall für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung? (1-gering...4-hoch)	Welche Eigenschaften muss die Technologie haben, um für die Anwendungsfälle geeignet zu sein (Ansprechzeit, Energiedichte etc.)?
Thermisch	Power-to-Heat			
	Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen			
	Saisonale Speicher			
	Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung der Wärmebereitstellung			
	Verringerung von Verteilverlusten			
	Verstromung von Überschusswärme			
	Prozessoptimierung			
	Abwärmennutzung			
	Energetische Optimierung der Energiebereitstellung			
	Flexibilisierung der Wärmebereitstellung			
	Lastmanagement und Spitzenreduktion			
	Trennung von Strom- und Wärmebereitstellung			
	Nachfrageorientierter Betrieb von thermischen Solarkraftwerken			

Tabelle 29 – Beurteilung der thermischen Anwendungsfälle

8.1.1.3 Mobile Anwendungen (elektrisch und thermisch)

		Anwendungsfall	Wie hoch ist die Erwartung, dass der Anwendungsfall in den kommenden zehn Jahren in Österreich angewandt wird? (1-gering...4-hoch)	Wie wichtig ist der Anwendungsfall für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung? (1-gering...4-hoch)	Welche Eigenschaften muss die Technologie haben, um für den Anwendungsfall geeignet zu sein (Ansprechzeit, Energiedichte etc.)?
Elektrisch	Traktion (BEV)	Auto, Motorrad			
		Güterverkehr Kurzstrecke			
		Güterverkehr Langstrecke			
		Busse Kurzstrecke (Linienverkehr)			
		Busse Langstrecke			
		Arbeits- und Sondermaschinen			
		Off-Highway-Anwendungen			
		Landwirtschaft			
		Flugverkehr Kurzstrecke			
		Flugverkehr Langstrecke			
		Boote			
		Schiffe			
		Mikromobilität			
		(Mild-, Plug-in-) Hybrid	Generell nur Fahrzeuge		
	Micro-hybrid	Generell nur Fahrzeuge			
	Systembatterie	Generell nur Fahrzeuge			
Thermisch	Alle Fahrzeugkategorien	Optimiertes Thermomanagement			

Tabelle 30 – Beurteilung der Anwendungsfälle für mobile Anwendungen

8.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppen zur Bewertung der Anwendungsfälle

Die Anwendungsfälle (Use Cases) von Speicherlösungen werden in Bezug auf die Relevanz für das österreichische Energiesystem und nach klima- und energiepolitischer Relevanz abgeschätzt und diskutiert. Bei beiden Fragestellungen war es wichtig, noch nicht auf die optimale Speichertechnologie einzugehen, sondern nur zu betrachten, wie relevant Speicher überhaupt für diese Anwendungsfälle sein können. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in für die Anwendungsfälle in den einzelnen folgenden Kapiteln ersichtlich.

8.2.1 Elektrische, stationäre Anwendungsfälle

Für die elektrischen Anwendungen wurden drei Gruppen gebildet und die Anwendungen nach der Größe der Speichersysteme diskutiert.

8.2.2 Elektrische Anwendungsfälle in der Größe bis zu 30 kW

Tabelle 31 fasst die Abschätzung der Relevanz der zwei definierten Fragen für Speicheranwendungen bis zu einer Nennleistung von 30 kW zusammen. Dabei haben sich relevante Einsatzgebiete v. a. auf der Lastseite im Verteilernetz ergeben. Die Anwendungen, deren Relevanz für die Erreichung einer 100%ig erneuerbaren Energieversorgung eingeschätzt wurden, können in Prosumer-Anwendungen (Spitzenreduktion von Erzeugung und Last, lokale Speicherung von erneuerbarer Energie und Nutzung zeitlich variabler Tarife) und Netzfunktionen (Spannungsregelung, Momentanreserve) zusammengefasst werden. Im Folgenden werden die Diskussionspunkte zu den einzelnen Anwendungen zusammengefasst. Viele Anwendungen wurden im definierten Anlagenbereich von bis zu 30 kW als nicht wahrscheinlich und relevant angesehen. Diese werden nicht extra beschrieben.

Tabelle 31: Bewertung Elektrische Anwendungsfälle – Gruppe 1 – in der Größe bis zu 30 kW

Anwendungsfall	Einsatzernwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Spitzenreduktion der Erzeugung	3,8	4
Spitzenreduktion der Last	3,6	4
Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)	3,8	3,6
Nutzung zeitlich variabler Tarife	3,2	3,6
Spannungsregelung	2,2	3
Momentanreserve	2	3
Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	3,2	2,6
Blindleistungskompensation	2	2,4
Engpassmanagement im Netz	1,6	2,4
Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	2,2	2

Schwarzstartfähigkeit	1,2	2
Tertiärregelung	1,6	1,8
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)	3,4	1,6
Inselnetzfähigkeit (Microgrid)	1	1,6
Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	3	1,4
Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	2	1,4
Harmonische/Flicker/Transiente	1,4	1,4
Sekundärregelung	2,2	1,2
Primärregelung	2	1,2
Verminderung von Netzverlusten	1,8	1
Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonspeicher)	1	1

Zu Frage 1 „Einsatzerwartung“:

- **Spitzenreduktion der Erzeugung:** Es wird erwartet, dass in Zukunft eine Reduktion der Spitzenleistung von Photovoltaik beim Einsatz eines Speichers notwendig ist. Ob dies durch eine Anschlussbedingung oder durch monetäre Anreize erreicht wird, kann nicht abgeschätzt werden. Im Zuge dieser Diskussion ist zu beachten, ob eine Abregelung der PV-Anlagen wirtschaftlich sinnvoller als der Einsatz eines Speichers ist. Als mögliche Treiber für diese Entwicklung werden Netzanschlussbedingungen und Förderungen gesehen.
- **Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (Einfamilienhaus oder Quartier):** Der Einsatz von Speichersystemen zur Pufferung von lokaler Photovoltaikerzeugung wird erwartet. Der Einsatz von Quartierspeichersystemen in Mehrfamilienhäusern und Wohnanlagen wird auch als wahrscheinlich eingestuft. Als unklar wird der Einsatz von Quartierspeichern in Ortsnetzen eingestuft, da hier noch tarifliche Barrieren bestehen.
- **Spitzenreduktion der Last:** Dieser Anwendungsfall wird ebenfalls erwartet. Die Diskussion folgt dabei den Inhalten zur Spitzenreduktion der Erzeugung (siehe oben).
- **Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung:** Diese Anwendung wird in Kombination mit der lokalen Nutzung lokaler Erzeugung (PV-Speichersysteme) als Zusatzfunktion erwartet. Die Fähigkeit, ein Inselnetz für mehrere Kunden aufzubauen, wurde diskutiert und als Anwendungsfall aufgenommen, jedoch wird eine Anwendung in Österreich nicht erwartet.
- **Zusatznutzung:** Eine Zusatznutzung von PV-Speichersystemen im Bereich von bis zu 30 kW wird als wahrscheinlich angesehen. Mögliche Services umfassen:
 - **Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive),**
 - **Nutzung zeitlich variabler Tarife,**
 - **kurzfristige Peak-Base-Bewirtschaftung und**
 - **Bereitstellung von Regelreserve.**

Bei all diesen möglichen Zusatzservices sind der Aufwand der Implementierung, Pooling-Ansätze sowie Kundeninteresse/-wille wesentliche Faktoren, ob es zu einer tatsächlichen Implementierung kommt. In Anbetracht der derzeit stark sinkenden Kosten und dem tatsächlichen Zusatznutzen für den Endkunden wurde die Notwendigkeit und

Wahrscheinlichkeit einer Zusatznutzung von den einzelnen Experten teilweise sehr unterschiedlich eingeschätzt.

Zu Frage 2 „Relevanz für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung“:

- **Spitzenreduktion der Erzeugung:** Es wird von einer steigenden Anzahl von PV-Anlagen im Verteilernetz ausgegangen. Lokale Speicher werden als relevante Lösung angesehen, um die Spitzenleistung der PV-Anlagen zu reduzieren und so eine höhere Durchdringung von PV ohne zusätzlichen Netzausbau zu ermöglichen. Im Sinne einer lokalen Lösung lokaler Probleme wird diese Anwendung als relevant angesehen.
- **Spitzenreduktion der Last:** Notwendigkeit entsteht aus Sicht der Experten v. a. durch den erwarteten Rollout von Elektrofahrzeugen. Im Sinne einer lokalen Lösung lokaler Probleme wird daher die Anwendung der Spitzenreduktion der Last als relevant angesehen. Als mögliche Alternativen bestehen eine koordinierte Laststeuerung der Ladung der Elektrofahrzeuge und die Verstärkung des lokalen Netzes.
- **Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher):** Die Relevanz dieser Anwendung wurde von den Experten in der Gruppe hoch eingestuft (im Sinne des lokalen Ausgleichs von Erzeugung und Bedarf). Zusätzlich wird der Anwendung eine Rolle als Enabler für eine hohe Durchdringung von Erneuerbaren (insbesondere PV) beigemessen.
- **Nutzung zeitlich variabler Tarife:** Aus Sicht der Experten ist bei der Einbindung des Endkunden in das System ein wesentlicher Faktor die Nutzung der lokalen Speicherkapazität (Kunden müssen „Teil des Systems“ werden). Dies kann entweder mit einem finanziellen Anreiz oder vorgeschriebenem systemdienlichem Verhalten erreicht werden. Die Nutzung zeitlich variabler Tarife wird hier stellvertretend als dieser Anreiz identifiziert. Wichtig dabei wird die Frage sein, wie diese Tarife gestaltet werden (z. B. regionale Preise – ortsnetzbezogen).
- **Spannungsregelung:** Die Spannungsregelung als Einzelanwendung wird von den Experten unterschiedlich bewertet. Spannungsregelung im Sinne der Netzanschlussbedingungen wird als gegeben angenommen. In Kontext von alternativen Maßnahmen wie dem regelbaren Ortsnetztrafo und Leitungsverstärkung ist diese Maßnahme mit den entstehenden Kosten zu betrachten. Punktuelle Anwendungen können dabei durchaus sinnvoll sein.
- **Momentanreserve:** Es wird erwartet, dass schnelle Netzdienstleistungen zur Sicherung der Frequenzstabilität in den höheren Spannungsebenen passieren werden. Virtuelle Schwungmasse ist jedenfalls ein wesentliches Thema bei einem 100%-Erneuerbaren-Szenario. International wird das Thema stark diskutiert, aber noch nicht gefordert. Grundsätzlich wären (auch kleine) Wechselrichter in der Lage, eine solche Dienstleistung zu erbringen.
- **Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig):** Diese Anwendung wurde für kleine Speichersysteme von den Experten sehr unterschiedlich eingestuft. Grundsätzlich wird diese Anwendung als eine mögliche, marktorientierte Maßnahme zum Ausgleich von Erzeugung und Bedarf auf globaler Ebene gesehen. Der Marktmechanismus könnte jedoch bei entsprechender Implementierung aus System Sicht sogar kontraproduktiv sein und dem globalen Ausgleich entgegenwirken.

- **Engpassmanagement im Netz:** Dies wäre punktuell eine mögliche Maßnahme zur Erhöhung der Aufnahmekapazität von Netzen, wird jedoch in der gegebenen Größenordnung von 30 kW als zu klein angesehen.

8.2.3 Elektrische Anwendungsfälle in der Größe von 30 kW bis 5 MW

Tabelle 32 fasst die Abschätzung der Relevanz der zwei definierten Fragen für Speicheranwendungen von 30 kW bis zu einer Nennleistung von 5 MW zusammen.

Tabelle 32: Bewertung Elektrische Anwendungsfälle – Gruppe 3 – in der Größe von 30 kW bis 5 MW

Anwendungsfall	Einsatzernwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Engpassmanagement im Netz	3,83	4,00
Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	3,67	4,00
Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonalspeicher)	3,67	4,00
Sekundärregelung	3,67	4,00
Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	3,17	3,83
Primärregelung	3,50	3,83
Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)	2,83	3,50
Spitzenreduktion der Last	3,60	3,50
Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	3,00	3,50
Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	3,00	3,33
Tertiärregelung	3,33	3,33
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)	3,33	3,33
Schwarzstartfähigkeit	2,67	3,17
Spannungsregelung	3,50	3,17
Nutzung zeitlich variabler Tarife	3,60	2,83
Spitzenreduktion der Erzeugung	1,83	2,83
Momentanreserve	3,17	2,67
Harmonische/Flicker/Transiente	3,33	2,00
Blindleistungskompensation	1,50	1,67
Verminderung von Netzverlusten	2,67	1,33

Die wichtigsten allgemeinen Diskussionspunkte und Anmerkungen in dieser Gruppe waren:

- Grundsätzliche Feststellung, dass Speicher als funktionaler Teil des Stromnetzes betrachtet werden müssen – auch wenn das Marktdesign am Bild der „Kupferplatte“ ausgerichtet ist
- Die Beurteilung der Kriterien für Speichertechnologie ist abhängig vom Verbrauch – dazu fehlen aber Szenarien zur Orientierung
- Welche Szenarien für Produktion und Speicherbedarf sollen angenommen werden? – Diese Grundsatzfrage müsste durch Forschung, Szenarienentwicklung zu realistischen Transitionspfaden und Strategieprozesse geklärt werden

- Eine Schlussfolgerung war, dass viele Anwendungsfälle unproblematisch werden könnten, sobald Speicher massenhaft eingesetzt werden

Zu Frage 1 „Einsatzerwartung des Anwendungsfalls“:

- **Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig):** Kurzfristige Peak-Base-Bewirtschaftung wird von der Gruppe für einen Zeitraum von bis zu Wochen verstanden.
- **Spitzenreduktion der Erzeugung:** Es wurde in Bezug auf die Anwendung zur Spitzenreduktion der Erzeugung auf die Möglichkeit im Netzzugangsvertrag hingewiesen.
- **Primärregelung:** Bei Primärregelung könnte es eventuell Lösungen mit Speichern wie im UK geben, wo Primärregelung und Inertia gemeinsam betrachtet werden.
- **Ausgleichsenergiebereitstellung:** Für die Ausgleichsenergiebereitstellung werden Forecasts immer wichtiger.
- **Spannungsregelung:** Spannungsregelung durch Speicher wird auf Hochspannungsebene eher nicht als relevant eingeschätzt.

Zu Frage 2 „Relevanz des Anwendungsfalls für 100 % Erneuerbare“:

- **Momentanreserve:** Momentanreserve wird weniger eine Rolle spielen, weil auf Handel umgestiegen wird.
- Die Diskussion ist unterschiedlich, je nachdem ob man über Unterbrechungsfreiheit oder Notstromversorgung spricht.
- **Engpassmanagement:** Bei Engpassmanagement ist aufgrund des geringen Netzausbaugrades langfristig eine Knappheit zu erwarten.
- **Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau:** In Bezug auf Vermeidung von Netzausbau sind Power-to-X-Lösungen aufgrund baulicher Sinnhaftigkeit und Kosten erst ab 2040 zu erwarten.
- **Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung:** Gewährleistung von Unterbrechungsfreiheit wird kein Thema mehr sein, wenn Batterien billiger werden, daher ist dies kein großes F&E-Thema.
- Power-to-X wird bei großen Leistungen wichtiger (insbesondere Peak/Base langfristig).

8.2.4 Elektrische Anwendungsfälle in der Größe ab 5 MW

Tabelle 33 fasst die Abschätzung der Relevanz der zwei definierten Fragen für Speicheranwendungen mit einer Nennleistung von mehr als 5 MW zusammen.

Tabelle 33: Bewertung Elektrische Anwendungsfälle – Gruppe 2 – in der Größe ab 5 MW

Anwendungsfall	Einsatzerwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	3,57	4,00
Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonalspeicher)	2,57	4,00

Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	3,43	3,86
Schwarzstartfähigkeit	3,29	3,86
Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	3,14	3,71
Spitzenreduktion der Last	3,57	3,57
Sekundärregelung	3,14	3,43
Spitzenreduktion der Erzeugung	2,71	3,43
Primärregelung	2,71	3,43
Tertiärregelung	2,43	3,43
Engpassmanagement im Netz	3,17	3,20
Spannungsregelung	3,71	3,14
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)	3,57	3,14
Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)	3,14	3,00
Momentanreserve	2,14	2,67
Harmonische/Flicker/Transiente	2,75	2,60
Nutzung zeitlich variabler Tarife	2,43	2,57
Blindleistungskompensation	2,83	2,00
Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	2,71	1,86
Verminderung von Netzverlusten	1,29	1,29

Die wichtigsten allgemeinen Diskussionspunkte und Anmerkungen in dieser Gruppe waren:

Zu Frage 1 „Einsatzerwartung“:

- **Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig):** Die Einsatzerwartung von dieser Anwendung hängt im Wesentlichen von der Wirtschaftlichkeit und somit von den zu erwartenden Preisen ab.
- **Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonspeicher):** Saisonale Speicherung mit einer Verlagerung von Energie vom Sommer in den Winter wird erst nach 2030 schlagend werden; kann geplant werden; aktuell werden keine wirtschaftlichen Anreize für langfristige Speicherung gesehen.
- **Schwarzstartfähigkeit:** In zehn Jahren wird erwartet, dass „Zellen“ im Smart Grid die Funktionalität besitzen, einige Zeit autark zu laufen. Dafür werden dezentrale Speicher notwendig sein, wobei nicht zu erwarten ist, dass dies „Pumpspeicher“ sein werden. Es wird erwartet, dass in zehn Jahren ein viel dezentralerer Netzaufbau als jetzt vorliegen wird. Schwarzstartfähigkeit steht auch in starkem Zusammenhang mit reguliertem Strommarkt, wobei „bottom up“ regulatorisch schwierig einzuordnen ist.
- **Momentanreserve:** Anwendungsfälle mit Marktmechanismen bringen wenig Erwartung an Speichertechnologien mit sich.
- **Primärregelung:** Speicherkraftwerke haben nicht unbedingt hohe Relevanz bei Primärregelung – schon eher bei Sekundärregelung. Primärregelung kommt vor allem durch Laufkraftwerke. Als großer Vorteil der Batteriespeicher wird die Möglichkeit, kurzfristig schnell ausgleichen zu können, gesehen. Unabhängig von der Speichertechnologie, welche

für Primärregelung eingesetzt werden könnte, reicht die Einschätzung bezüglich Relevanz von hoch bis niedrig. „Niedrig“ wird durch den kleinen Markt begründet. Als Vorteil wird gesehen, dass wenig Energiespeicherung im Hintergrund notwendig und schnelle Reaktion möglich ist.

- **Tertiärregelung:** Energie muss länger zur Verfügung gestellt werden und es gilt zu hinterfragen, welche Liquidität wird es in Zukunft auf dem Regelenergiemarkt für Tertiärregelung überhaupt geben. Es ist zu erwarten, dass der Trend zu Kurzfristigkeit bzw. kurzfristigen Produkten zunimmt.
- **Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau:** Es wird wenig Anreiz erwartet, die Betriebskosten zu reduzieren. Das Problem wäre strukturell zu lösen. Durch das derzeitige Marktmodell werden Investitionen in „Kupfer“ bevorzugt, anstatt nach betrieblichen Lösungen zu suchen. Es stellt sich die Frage, ob Speicher dafür die wirtschaftliche Lösung sind oder ob Lademanagement das Richtige wäre.

Zu Frage 2 „Relevanz für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung“:

- **Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig):** Die kurzfristige wie langfristige Peak-Base-Bewirtschaftung und die Ausgleichsenergiebereitstellung werden offensichtlich als die größten Treiber für Speichereinsatz gesehen. Diese Anwendungen ohne Speicher werden ein Erreichen von 100 % Erneuerbaren nicht ermöglichen – es wird also offensichtlich Speicher brauchen, um das Ziel 100 % Erneuerbare zu erreichen.
- **Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonspeicher):** Hier besteht der größte Unterschied in der Einschätzung zwischen den zwei Fragen. Wenn 100 % Erneuerbare erreicht werden sollen, müssen saisonale Unterschiede abgedeckt werden. Wiederverstromung ist sehr teuer, aber mit Power-to-Gas ist es jedenfalls möglich. Bevor 100 % Erneuerbare erreicht werden, verlässt man sich auf bestehende Systeme (nicht Erneuerbare), nicht nur für die Erzeugung, sondern auch für Verbraucher mittels Demand-Side-Management auf Verbraucherseite. Produktionsspitzen im Sommer müssen auch verbraucht werden, daher erscheinen Speicher als besonders wichtig. Quartierlösungen wären am wirtschaftlichsten, wobei „lokal“ nicht nur „Einzelhaushalt“ heißt. Bei langfristiger Speicherung ist der Anspruch am höchsten.
- **Spitzenreduktion der Erzeugung:** Hier gibt es zwei gegensätzliche Meinungen: Sehr hohe Spitzen können durch Speicher nicht mehr abgedeckt werden, das geht nur mehr durch Lastanpassung; oder gerade weil es so hohe Spitzen gibt, werden unbedingt Speicher gebraucht.
- **Schwarzstartfähigkeit:** Schwarzstartfähigkeit wird als sehr wichtiger Anwendungsfall für Speicher gesehen.
- **Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau:** Für den Netzausbau besteht keine Erwartung, dass wegen Speichertechnologien der Netzausbau verzögert sein wird. Die Netze sind schon ausgebaut.
- **Blindleistungskompensation:** Für Anforderungen in Bezug auf Blindleistung muss das Netz dann ohnehin schon ausgelegt sein.

Zusätzliche Punkte, die sich im Rahmen der Diskussionen ergeben haben:

- Mit Zunahme der Erneuerbaren (100 % Erneuerbare) kommt es zu einer „Nationalisierung“ der Ausbaustrategie.
- Die Relevanz der Speicher wird bei der Frage für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung fast in allen Punkten höher eingeschätzt als bei der Frage bezüglich der Einsatzerwartung in zehn Jahren; Ausnahme: bei unterbrechungsfreier Spannungsversorgung, Spannungsregelung und Harmonische/Flicker/Transiente. Bei der Anwendung „Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung“ stellte sich die Frage, ob Speicher eine geringere Rolle spielen oder ob das Ergebnis vielmehr eine Unschärfe aus der Befragung wiedergibt. Es wird erwartet, dass das gesamte System besser durchdacht sein wird, wenngleich Speicher als Einzelsystem nicht von so hoher Relevanz sein kann.
- Die Netztopografie muss noch besser im Griff sein. Der Bedarf von Netzausbau wird bei 100 % Erneuerbaren nicht verhindert werden.
- Wenn (Speicher-)Technologien zu sehr guten Preisen zur Verfügung stehen, könnte der Netzanschluss nur mehr als „Versicherung“ dienen und viele Kunden werden vielleicht die Bestrebung haben, ganz autark zu sein. Netzinfrastruktur muss aber trotzdem vorhanden sein und finanziert werden.
- Peak- und Base-Preis vs. Speicherkapazität: Mit jeder neu installierten Speicherkapazität sinkt die Profitabilität des Speichers im Erzeugungsmarkt und damit kannibalisiert sich der Business Case „Speicher“ selbst. Das aktuelle Marktsystem ist momentan nicht gut geeignet, um Speicher wirtschaftlich einzusetzen.
- Zwei Arten von Speicher sind zu unterscheiden: Saisonale Speicher und Tage-/Stunden-/Sekunden-Speicher. Diese beiden Anwendungen müssen getrennt betrachtet werden, da es sich um unterschiedliche Anwendungsfälle und unterschiedliche Technologien handelt.
- Power-to-Gas beinhaltet die Möglichkeit, das Gas auch für die Wärmeerzeugung zu nutzen und nicht nur zur Rückverstromung bzw. sind auch Elektromobilitätsanwendungen möglich.
- Die letzten Prozent zu 100 % Erneuerbare werden die teuersten. 80 oder 90 % Erneuerbare sind wahrscheinlich wesentlich wirtschaftlicher.

8.2.5 Thermische, stationäre Anwendungsfälle

Für die Gruppe „Thermische Anwendungsfälle“ wurden folgende Bewertungen abgegeben:

Tabelle 34: Bewertung thermische, stationäre Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Einsatzerwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Abwärmennutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung) (Industrie)	2,3	3,9
Saisonale Speicher (Wärmenetz)	2,3	3,7
Saisonale Speicher (Gebäude)	1,9	3,6
Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung der Wärmebereitstellung (Gebäude)	3,3	3,4
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Wärmenetze)	2,0	3,3
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Gebäude)	2,9	3,3

Lastmanagement und Spitzenreduktion (Wärmenetze)	2,9	3,3
Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Industrie)	1,3	3,0
Power-to-Heat (Gebäude)	3,1	3,0
Lastmanagement und Spitzenreduktion (Gebäude)	3,4	3,0
Power-to-Heat (Industrie)	2,7	2,7
Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen (Gebäude)	2,1	2,3
Power-to-Heat (Wärmenetz)	2,6	2,1
Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen (Industrie)	1,7	2,0
Verstromung von Überschusswärme (Industrie)	1,1	1,9
Trennung von Strom- und Wärmebereitstellung	1,8	1,7
Verringerung von Verteilverlusten (Gebäude)	2,0	1,4
Nachfrageorientierter Betrieb von thermischen Solarkraftwerken	1,1	1,3

Die wichtigsten allgemeinen Diskussionspunkte und Anmerkungen in dieser Gruppe waren:

Zu Frage 1 „Einsatzerwartung des Anwendungsfalls“:

- Vier industrielle Anwendungsfälle („Prozessoptimierung“, „Industrielle Abwärmenutzung“, „Energetische Optimierung der Energiebereitstellung“ und „Lastmanagement und Spitzenreduktion“) wurden zum Punkt „Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung) (Industrie)“ zusammengefasst.
- Statt von „Saisonalen Speichern“ wird von Langzeitspeichern gesprochen, die Wärme länger als zwei bis drei Monate speichern.
- „Power-to-Heat“ meint die strompreisgetriebene Nutzung von Überschussstrom.
- Anwendungsfälle „Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen“ generell: Gemeint ist dabei ein Speicher, der sich auf der Quellenseite der Wärmepumpe befindet. Wärmepumpen werden meistens eingesetzt, damit dieser Speicher kleiner werden kann. Dass dadurch die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe erhöht werden kann, ist meist nur ein Zusatznutzen, nicht die Hauptmotivation, einen Speicher einzusetzen.
- Der Anwendungsfall „Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen (Wärmenetz)“ wird weggelassen.
- Gebäude (Wohnbau) generell: Wohnbauträger entscheiden vorrangig nach ökonomischen Gesichtspunkten (Verringerung der Investitionskosten). Dabei wird aus Budgetgründen auf vieles verzichtet, durchaus auch auf den hydraulischen Abgleich der Rohrleitungsnetzwerke. Es gibt Tendenzen, das hydraulische Wärmeversorgungssystem im Wohnbau durch elektrische Systeme zu ersetzen. Mit Netzanschluss und Photovoltaik (PV) werden sowohl die Warmwasserbereitung (Heizstab) als auch die Raumheizung (elektrische Infrarotheizung) bewerkstelligt. Um die PV zukünftig sogar ohne Wechselrichter direkt nutzen zu können (Gleichspannungsnetz), müssen wichtige Fragestellungen wie Brandschutz und Leitungsverlegung gesetzlich geregelt werden.

- Bei der Bewertung des Anwendungsfalls „Verringerung von Verteilverlusten“ fließen die Aspekte Kostenreduktion und Wartungsaufwand mit ein. Da es kaum noch Hausmeister gibt, ist regelmäßige Wartung schwierig.

Zu Frage 2 „Relevanz des Anwendungsfalls für 100 % Erneuerbare“:

- Die „Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen“ durch Speicher leistet nur einen sehr geringen Beitrag für 100 % Erneuerbare. Dessen ungeachtet werden derzeit für die Anwendung im Gebäude Eisspeicher hergestellt und vertrieben (Viessmann).
- Die Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung der Wärmebereitstellung wird unabhängig von der Wärmequelle betrachtet und bezieht sich nicht nur auf Solarthermie. Die konkurrierende Nutzung der Dachflächen spielt hier auch eine wichtige Rolle. Prosumer-Konzepte sind dabei auch von Bedeutung, genauso wie die gemeinsame Versorgung von mehreren Häusern (z. B. Mikronetz Drake Landing).
- Die Trennung von Strom- und Wärmebereitstellung von KWK-Anlagen wird nur für nicht-fossile Brennstoffe eine Rolle spielen (Müllverbrennung und Biomasse beispielsweise). Andere KWK-Anlagen wird es nur dann in einer 100%ig erneuerbaren Energieversorgung geben, wenn es Carbon Capture gibt.

8.2.6 Mobile Anwendungen

Für die Gruppe „Mobile Anwendungsfälle“ wurden folgende Bewertungen abgegeben:

Tabelle 35: Bewertung Mobile Anwendungen

		Anwendungsfall	Einsatzernwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Auto, Motorrad	4,00	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Güterverkehr Kurzstrecke	3,43	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Güterverkehr Langstrecke	2,86	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Busse Kurzstrecke (Linienverkehr)	3,71	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Busse Langstrecke	2,86	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Arbeits- und Sondermaschinen	2,67	3,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Off-Highway-Anwendungen	2,60	3,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Landwirtschaft	2,50	2,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Flugverkehr Kurzstrecke	1,86	3,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Flugverkehr Langstrecke	1,14	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Boote	3,14	2,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Schiffe	2,00	2,00
Elektrisch	Traktion (BEV, FC)	Mikromobilität	3,86	3,00
Elektrisch	(Mild-, Plug-in-) Hybrid	Alle Fahrzeuge	3,83	4,00
Elektrisch	Micro-Hybrid	Alle Fahrzeuge	3,83	2,00

Elektrisch	Systembatterie	Alle Fahrzeuge	3,67	1,00
Thermisch	Alle Fahrzeugkategorien	Optimiertes Thermomanagement (auch für Kühlfahrzeuge)	3,17	4,00
Elektrisch	Traktion (BEV)	Stapler und Flurförderfahrzeuge	4,00	3,00

Die wichtigsten allgemeinen Diskussionspunkte und Anmerkungen in dieser Gruppe waren:

- Bei der Beratung über die Struktur der Vorgabe wird entschieden, Brennstoffzellenantriebe – entgegen ihrer Bauweise – nicht zu Hybriden zu zählen, sondern sie bei den rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen zu berücksichtigen. Grund ist die ansonsten unscharfe Trennung von Hybriden in eine Kategorie, die Emissionen aufweist (z. B. Hybride mit Verbrennungskraftmaschine) und Wasserstoff-Brennstoffzellen mit Batterie-Hybriden, welche keine Vor-Ort-Emissionen haben. Zusätzlich wird noch die Kategorie von Staplern und Flurförderfahrzeugen vor allem in Österreich als relevant angesehen.
- Bei Fahrzeugen für den mobilisierten Individualverkehr (Motorrad, PKW) sind sich die Experten überwiegend einig, dass die Elektromobilität in den nächsten zehn Jahren stark zunimmt.
- Beim Güterverkehr auf der Kurzstrecke gibt es unterschiedliche Meinungen. Von den Befürwortern werden die Praktikabilität, die geringe notwendige Reichweite sowie die niedrigen Betriebskosten als starke Argumente dafür gesehen. Bei den Experten, die nicht an eine sichere Umsetzung glauben, sind es die hohen anfänglichen Investitionskosten, die als abschreckend gesehen werden. Das Gleiche gilt in hohem Ausmaß auch für Busse auf der Kurzstrecke.
- Beim Güter- sowie Busverkehr auf der Langstrecke wird vor allem der hohe erforderliche Energieinhalt der Speicher für einen Einsatz als hinderlich gewertet. Zudem gibt es in Österreich keinen direkten Hersteller von Langstreckenbussen.
- Bei Sonderfahrzeugen wird einerseits die Meinung vertreten, dass der Markt zu klein und uninteressant für Hersteller ist. Andererseits wird als Gegenargument angeführt, dass vor allem in diesem Segment kein so hoher Kostendruck vorhanden ist, was eine Anwendung erleichtern würde. Vor allem bei z. B. Maschinen im Forsteinsatz muss damit gerechnet werden, dass Lademöglichkeiten nicht vorhanden oder nur schwer erreichbar sind. Im landwirtschaftlichen Feldbau wird eine Anwendung wieder als wahrscheinlicher gesehen.
- Flugverkehr auf der Kurzstrecke könnte (weitere) Elektrifizierung erfahren. Auf der Langstrecke wird es wegen der Energieintensität und der nötigen Sicherheit für die nächsten zehn Jahre einstimmig als sehr unrealistisch beurteilt. „Flug Kurzstrecke“ wird aber als Spezialfall gesehen, der in sich äußerst inhomogen ist. Zwischen der Lastenbeförderung auf Kurzstrecken („Lastendrohnen“) und Kurzstreckenlinienflüge muss dabei differenziert werden. Kurzstreckenlinienflüge unterscheiden sich in der Gewichts- und Sicherheitsproblematik nicht grundlegend von der Langstrecke und werden demnach ebenso als technisch schwer umsetzbar betrachtet.
- Bei Booten sind schon viele elektrifizierte Typen im Einsatz und ein weiteres Wachstum des Segments wird erwartet. Auch bei Schiffen können sich einige Experten eine Anwendung vorstellen. Dieser Markt wird aber vor allem in Hinblick auf Österreich als vernachlässigbar

betrachtet. Fährbetrieb wäre ein möglicher Einsatz auch in Österreich. International wird dieses Thema sicher verstärkt Beachtung finden.

- Mikromobilität wird weiter als stark wachsend gesehen.
- Hybridisierung ist zwar nicht mit 100%ig erneuerbarer Energie möglich, wird aber vor allem in den Segmenten, wo viel Energie benötigt wird, als Überbrückung notwendig sein. Sie ist ebenfalls relevant, um künftige 0-Emissions-Zonen bedienen zu können, z. B. Auslieferung in der Stadt oder Einfahrt in den Hafen bei Schiffen. Ähnliches gilt auch für Micro-Hybride, obwohl diese schneller auslaufen werden. Eine Systembatterie wird es auch künftig geben.
- Optimiertes Thermomanagement im Fahrzeug ist aus Sicht der Experten notwendig und wird auch in verschiedenen Formen Einzug halten.
- Stapler und Flurförderfahrzeuge sind jetzt oft schon elektrifiziert. Diese Anwendung wird in Zukunft aufgrund von Einsatzort und Betriebskosten sicher noch wesentlich häufiger werden.

8.3 Arbeitsgruppen zu Anforderungen an Technologien aus den Anwendungsfällen (Use Cases)

In diesem Teil des Workshops wurde analysiert, welche technischen Anforderungen für die als am wichtigsten bewerteten Anwendungsfälle notwendig sind. Daraus lassen sich die für den jeweiligen Anwendungsfall optimalen Speichertechnologien ableiten.

8.3.1 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 1“

Wie in Kapitel 8.2.2 beschrieben, wurden für kleine Speichersysteme v. a. Anwendungen im Prosumer-Bereich als wahrscheinlich und relevant identifiziert. Anforderungen an Speichertechnologien wurden aufgrund der sehr ähnlichen Anforderungen für die einzelnen Anwendungen gesammelt beschrieben. Diese Anforderungen umfassen technologische, regulatorische und wirtschaftliche Anforderungen bzw. offene Punkte:

- **Anlagenkosten:** Zentrale Voraussetzung für die Implementierung der definierten Anwendungen ist eine deutliche Reduktion der Speicherkosten. In der Gruppe wurde mit einer groben Überschlagung etwa 200 EUR/kWh bzw. 10 ct/kWh (gespeicherte Energie) errechnet, damit Speichersysteme ohne Förderung implementiert werden.
- **Anlagencharakteristika:** Kostenreduktion kann neben der Reduktion der Investitionskosten über die Verbesserung der Anlagenperformance erreicht werden:
 - **Systemeffizienz:** Verluste von aktuell bis zu 20 % treten im Speichersystem auf. Eine Steigerung der Effizienz (inklusive Stand-by-Verluste) ist erstrebenswert. Wesentlich ist dazu die Erarbeitung und Einführung von standardisierten Effizienzklassen zur vergleichbaren Bewertung von Speichersystemen und -technologien.
 - **Zyklusfestigkeit:** Mit steigender Zyklusfestigkeit der Speichertechnologien ist eine weitere Reduktion der spezifischen Speicherkosten pro kWh möglich und daher erstrebenswert.

- **Zuverlässigkeit:** Wichtiger Aspekt für die Bereitstellung von Services ist eine hohe Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Ansätze und Konzepte, die die Anlagenzuverlässigkeit kleiner Speichersysteme steigert, sind daher relevant.
- **Systemeinbindung:** Die Systemeinbindung von Speichern erfordert eine jeweilige IKT; Ausfälle von ebendieser können zu großen Problemen führen, wenn sie für das Service zwingend notwendig sind.
- **Anerkennung der Services durch den Kunden** wurde durch deren Einbindung in das Gesamtsystem als relevante Anforderung identifiziert. Dennoch ist diese Anerkennung fraglich (Eingreifen von außen, Bevormundung, Vertrauen in Netzbetreiber, der auf eigene Anlage zugreift?). Eine einheitliche Interaktion zwischen Kunde und Netzbetreiber ist notwendig (Transparenz), ebenso wie Sicherheit bei der Datenübertragung, die Schnittstelle zu Smart Metern, lokale Systeme, geeigneter Forecast (Wetter etc.).
 - **Lokale Schnittstelle:** Die Interaktion mit lokalen Komponenten wie z. B. anderen Speichersystemen, Elektrofahrzeugen, Home-Automation-Systemen und anderen Komponenten muss einfach und robust möglich sein.
 - **Lokale Netzschnittstelle:** Zur zuverlässigen und überprüfbaren Erbringung von Netzdienstleistungen ist eine standardisierte Schnittstelle zum lokalen Netz nötig.
 - **Lokales Netz:** Die Steuerbarkeit durch Netzbetreiber ist notwendig. Diese soll Informationen zur Parametrierung, Datenlieferung (Netzparameter – Anschlussspannungen) und eine mögliche Fernparametrierung (Bsp. Hochladen einer falschen Kennlinie) erlauben. Für diese Schnittstelle ist ein einfaches System notwendig (Bsp. Netzwiederaufbau – nur einzelne Werte von Umspannwerken), da es sonst zum Datenüberfluss kommen kann. Bei Systemtausch muss die Steuerung nach wie vor einfach, robust und standardisiert möglich sein.
 - **Marktschnittstelle:** Zur Erbringung von Zusatzservices ist eine sichere, standardisierte, transparente und hochautomatisierbare Schnittstelle zum Markt notwendig. Wesentlich bei der Erbringung solcher Marktservices sind auch der Wille des Endkunden zur Teilnahme und sein Vertrauen.
 - **Markt:** Ein hoher Automatisierungsgrad ist nötig, um das Service zu erbringen.
- **Lokale Intelligenz:** Neben den Schnittstellen sind die Speichersysteme mit lokaler Intelligenz auszustatten:
 - **Multifunktionale Nutzung:** Ansätze für die parallele Bereitstellung von verschiedenen Dienstleistungen sind notwendig.
 - **Vorhersage:** Effizienter, multifunktionaler bzw. netzfreundlicher Betrieb ist nur mit lokaler Vorhersage von Erzeugung, Last und Speicher möglich.
 - **Messinfrastruktur:** Sollen die Speichersysteme Anwendungen zur Frequenzstabilisierung implementieren, so ist in Abhängigkeit der Anwendung zusätzliche Messinfrastruktur notwendig. Für eine Momentanreserve ist eine hochdynamische, genaue Frequenzmessung notwendig.
- **Regulatorischer Rahmen**
 - **Vollständiges normatives Regelwerk:** Standards zu Performance, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Systemeinbindung müssen vollständig vorhanden sein, damit eine nachhaltige Nutzung der Speicher möglich wird.

- **Stand-Alone-Anwendungen im Netzbetrieb:** Der Betrieb von Speichersystemen durch den Netzbetreiber für Netzanwendungen muss geklärt bzw. ermöglicht werden.
- Die **Vervollständigung des normativen Regelwerkes** ist für den Kunden wichtig (standardisierte Effizienzklassen) und in wirtschaftlicher Hinsicht sehr relevant, da sonst Abregelung besser, Bereich ist entscheidend (große Sprünge in der Effizienz oder z. B. 92/94 %)
- **Konzepte für die multifunktionale Nutzung:** Genaue Frequenzmessung notwendig → Wer ist der Treiber?
- **Netzdienstleistung:** Wirtschaftlich oder verpflichtend? Zuerst Umsetzung in anderen Ländern?

Mögliche Technologien: Als mögliche Technologien für die Anwendung wurden folgende Gruppen identifiziert:

- **Mechanische Speicher**
 - Blockheizkraftwerk, Schwungräder (spielen derzeit in diesen Anwendungen keine Rolle)
- **Thermische Speicher**
 - Heizstäbe, Wärmepumpen (Strom → Wärme)
 - Blockheizkraftwerke mit thermischen Puffern
- **Elektrochemische Speicher:** Als für die Anwendungsfälle mögliche Speichertechnologien wurden alle Sorten Batteriespeicher (insbesondere Lithium) angesehen. Lithium dominiert derzeit den Markt.
- **Chemische Speicher**
 - Mögliche lokale Ansätze mit Brennstoffzelle und Wasserstoff (spielen derzeit in diesen Anwendungen keine Rolle)

8.3.2 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 2“

Die Anforderungen für die zehn in der Gruppe als wichtigste identifizierte Anwendungsfälle lassen sich wie folgt darstellen (die Anwendungsfälle sind absteigend sortiert nach Relevanz – vgl. dazu auch Tabelle 36):

Tabelle 36: Ergebnisse Anforderung an elektrische Anwendungsfälle – Gruppe 2

1 Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig)	● hohe Speicherkapazität (Größenbereich GWh–TWh);
	● hohe Leistung (Größenbereich GW–TW)
	● kann nur durch ein Speichermedium mit einer hohen Energiedichte realisiert werden; Anforderungen aber nicht so hoch wie bei mobilen Anwendungen
	● Netzanbindung: Energiemengen müssen zum Speicher transferiert und abtransportiert werden (für Wiederverstromung)
	● hohe Leistung

2 Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	• geringe Kapazität ist kein Hindernis	
	• hoher Wirkungsgrad	
	• hohe Zyklenzahl (> 1 pro Tag)	
	• bessere Anwendbarkeit von dezentralen Anlagen	
	• kann in großer Stückzahl in Massenproduktion hergestellt werden	
3 Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	• dezentrales Pooling möglich	
	• Zyklenzahl muss hoch sein (~ 1x pro Stunde)	
	• Dynamik erforderlich	
4 Schwarzstartfähigkeit	• Kapazität im Bereich MWh	
	• geringe Selbstentladung	
	• Kapazität im Bereich MWh–GWh (abhängig vom Netzbereich, der aufgebaut werden muss)	
5 Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	• sehr dynamisch (hohe Lastveränderungsgeschwindigkeit)	
	• Zyklenzahl	
	• Dynamik erforderlich	
	• Leistung im Bereich MW	
6 Spitzenreduktion der Last	• Pooling-Lösung möglich (Verwendung von dezentralen Speichern, die im Rahmen von PV-Anlagen gebaut werden)	
	• Leistung im Bereich kW bis MW (abhängig vom Endkunden – Bandbreite von Elektroauto bis Industriebetrieb)	
	• Kapazität im Bereich kWh bis MWh	
7 Spitzenreduktion von Erzeugung	• Zyklenzahl kann gering sein (1x pro Tag)	
	Diskussion der Fragestellung in diesem Zusammenhang:	
	• Residuallast entscheidend; Spitzenerzeugung, zugleich mit Spitzenverbrauch ist kein Problem; Erzeugungsspitze z. B. PV-Peak; kann kurz- und langfristig sein → wird durch 1 und 2 abgedeckt.	
	• Einspeise-Management; → Speicher interessant (z. B. statt Abriegeln von Windrädern)	
	• hier sollte die Energie gar nicht ins Netz kommen → der Speicher muss beim Erzeuger situiert sein	
8 Primärregelung	• Verwendung im Fall eines Netzengpasses (bei 100 % Energie aus erneuerbaren Quellen wird es zweitweise Überkapazitäten geben)	
	Anforderungen	
	• lokale Speicherung; Speicher gekoppelt mit Erzeugungsanlage	
	• sehr hohe Leistungsänderungsgeschwindigkeit	
	• hohe Leistung im MW-Bereich	
9 Sekundärregelung	• Kapazität nicht so relevant (MWh Bereich)	
	• hohe Verfügbarkeit; geringe Ausfallwahrscheinlichkeit (n-1)-Auslegung	
	• 50 Zyklen pro Jahr (immer nur kleine Teile)	
9 Sekundärregelung	• Zeitrahmen zwei Stunden	
	• höhere Kapazität als bei Primärregelung notwendig (1 MW Leistung; bei ~ 1,4 MW Kapazität im Allgemeinen wirtschaftlich)	
	• hohe Verfügbarkeit	

	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsänderungsgeschwindigkeit hoch • sehr hohe Zyklenzahl (10.000/Jahr?)
10 Tertiärregelung	<p>Diskussion: Wird es die im Jahr 2050 noch geben? Sehr geringer Abruf zu erwarten mit sehr geringen Zyklen; schon jetzt pro Tag nur punktuelle Abrufe; Stauchung aller Zeitbereiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • hohe Verfügbarkeit • geringe Zyklen • Kapazitätsanforderungen im MWh-Bereich

8.3.3 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 3“

Die Anforderungen für die Anwendungsfälle lassen sich wie folgt darstellen (vgl. Tabelle 37):

Tabelle 37: Ergebnisse Anforderung an elektrische Anwendungsfälle – Gruppe 3

Engpassmanagement im Netz	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung/C-Faktor • Skalierbarkeit/Größe und Platzverfügbarkeit • modulares Design von Wechselrichter und Batterie • Redundanz/Zuverlässigkeit • Messbarkeit/Ansteuerbarkeit • komplexe Bauweise/Temperaturmanagement
Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung/C-Faktor • hoher Wirkungsgrad • Zyklen
Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonspeicher)	<ul style="list-style-type: none"> • Energie (kWh) • hoher Wirkungsgrad • Stand-by-Verluste
Sekundärregelung	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung • Energie • hohe Verfügbarkeit • hoher Leistungsgradient • örtliche Mindestverteilung • Monitoring und Aktivierung
Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung • sehr hoher Leistungsgradient
Primärregelung	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung • hohe Verfügbarkeit • sehr hoher Leistungsgradient • örtliche Mindestverteilung • Monitoring und Aktivierung
Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität • Kommunikation für Regel- und Steuerungsaufgaben • Verrechnung • abhängig von Zielfunktion und Erzeugungs- und Verbrauchsmix
Spitzenreduktion der Last	<ul style="list-style-type: none"> • skalierbare Leistung

	<ul style="list-style-type: none"> • Ansprechzeit/Verzögerungszeit, abhängig vom Tarifsystem • Automatisierbarkeit/EMS • Messbarkeit
Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	<ul style="list-style-type: none"> • wie Engpassmanagement, jedoch planerisch (nicht operativ) + Mobilität
Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung/geringer Gradient als weiter oben bei Ausgleichsenergiebereitstellung zur Vermeidung starker Gradienten • Energiemenge abhängig vom Markt
Tertiärregelung	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung/geringer Gradient als weiter oben bei Ausgleichsenergiebereitstellung zur Vermeidung starker Gradienten • Energiemenge abhängig vom Markt
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung • Energie • hohe Verfügbarkeit • Integration in Macro-Microgrid
Schwarzstartfähigkeit	(nicht mehr diskutiert)
Spannungsregelung	<ul style="list-style-type: none"> • Wechselrichter und Interface zu Netzbetreiber
Nutzung zeitlich variabler Tarife	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden
Spitzenreduktion der Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden
Momentanreserve	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden
Harmonische/Flicker/Transiente	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden
Blindleistungskompensation	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden
Verminderung von Netzverlusten	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeschieden

8.3.4 Ergebnisse der Gruppe „Thermische Anwendungsfälle“

Die Anforderungen für die Anwendungsfälle lassen sich wie folgt darstellen (die Anwendungsfälle sind absteigend sortiert nach Relevanz für 100 % Erneuerbare – vgl. Tabelle 38):

Tabelle 38: Ergebnisse Anforderung an thermische Anwendungsfälle

	Wichtigste Anforderungen an die Speichertechnologie	Weitere Hinweise und Diskussionspunkte
1 Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung) (Industrie)	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Leistungsdichte • ROI hoch • flexibles Temperaturniveau • Eignung für hohe Temperaturen • technische und wirtschaftliche Planung einfach 	<ul style="list-style-type: none"> • Anstelle der Förderung von Einzelbereitstellungen ist eine Energieraumplanung anzustreben. • Es ist eine ganzheitliche Planung der Prozesse anzustreben, die bspw. auch die Nutzung von Abwärme von Beginn an berücksichtigt.
2 Langzeitspeicher (Wärmenetz)	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Verluste 	<ul style="list-style-type: none"> • Günstige Grundstückskosten bei hohen Kosten für fossile

	<ul style="list-style-type: none"> • nutzbare Deckfläche (z. B. als Kinderspielplatz) • hohe Speicherkapazität • hohe Haltbarkeit des Speichers bzw. dessen Komponenten 	<p>Energieträger fördern den Einsatz von Langzeitspeichern (vgl. Dänemark). Dies sind politische Entscheidungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine Multifunktionalität, die über einen Be-/Entladezyklus pro Jahr hinausgeht, fördert Langzeitspeicher: z. B. Nutzung für Power-to-Heat • Langzeitspeicher sind für Niedertemperatur-Wärmenetze besser geeignet als für Hochtemperatur-Wärmenetze
3 Langzeitspeicher (Gebäude)	<ul style="list-style-type: none"> • kleine Baugröße • architektonisch flexibel gestaltbar • sicher, d. h. ungefährlich für Leib und Leben • wirtschaftlich günstig • muss sich energetisch amortisieren • wartungsfrei oder zumindest einfach zu warten • Langlebigkeit • geringe Verluste 	
4 Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung der Wärmebereitstellung (Gebäude)		<ul style="list-style-type: none"> • Verbundlösungen sind wahrscheinlich weniger verlustbehaftet als Einzellösungen. • Gebäudeübergreifender Wärmeverkauf ist eine gute Möglichkeit zur Bedarfserhöhung. • Power-to-Heat ist eine gute Möglichkeit zur Eigenbedarfsvergrößerung.
5 Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Wärmenetze)	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Leistung • keine Durchmischung der verfügbaren Temperaturniveaus: Schichtspeicher (bei Wasser als Speichermedium) oder Kaskadenspeicher (bei Festkörpern als Speichermedium) 	
6 Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Gebäude)	<ul style="list-style-type: none"> • Speicherung von Wärme und Kälte 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Kühlbedarf wird in Zukunft weiter steigen.
7 Lastmanagement und Spitzenreduktion (Wärmenetze)		<ul style="list-style-type: none"> • Smart Meter für Wärme nötig • Aggregator (als Anbindung zum Markt) nötig und kommunikative Anbindung der Verbraucher nötig (analog zu Stromnetz)

8 Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Industrie)	<ul style="list-style-type: none"> • ROI hoch • hohe Zuverlässigkeit 	
9 Power-to-Heat (Gebäude)		<ul style="list-style-type: none"> • Geschäftsmodelle seitens Netzbetreiber erforderlich • Kombination mit PV und Batteriespeichern ist sinnvoll • Einbindung in das Energiemanagementsystem ist nötig
10 Lastmanagement und Spitzenreduktion (Gebäude)	<ul style="list-style-type: none"> • kleine Baugröße 	
11 Power-to-Heat (Industrie)	<ul style="list-style-type: none"> • ROI hoch 	<ul style="list-style-type: none"> • Geschäftsmodell seitens Energieversorgungsunternehmen nötig
12 Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen (Gebäude)		<ul style="list-style-type: none"> • Wird die Entwicklung dieser Speicher von den Wärmepumpenherstellern vorangetrieben?
13 Power-to-Heat (Wärmenetz)	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Reaktion • wirtschaftlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Planungssicherheit im Sinne von Normen, planbaren Förderungen für die Umsetzung notwendig • Risikoabwägung für erfolgreiche Geschäftsmodelle notwendig

8.3.5 Ergebnisse der Gruppe „Mobile Anwendungsfälle“

Aus der ursprünglichen Liste an Anwendungsfällen wurden mehrere aufgrund geringer Relevanz, vor allem aus österreichischer Sicht, nicht mehr weiter berücksichtigt und die verbliebenen Anwendungsfälle zur weiteren Diskussion nach ähnlichen Anforderungen gruppiert. Da die Anforderungen in der Mobilität meist sehr ähnlich sind, wurde auch eine Überkategorie mit den Hauptanforderungen erstellt. Diese gelten dann auch für alle weiteren Punkte, bei denen nur noch Spezialanforderungen angeführt sind. Die Bewertung findet sich in nachstehender Tabelle (vgl. dazu auch Tabelle 39).

Tabelle 39: Ergebnisse Anforderung an mobile Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Wichtigste Anforderungen an die Speichertechnologie
Alle	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten • Zuverlässigkeit • Sicherheit • Fehlertoleranz • Zyklfestigkeit

	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling
Auto, Motorrad	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte • Ladeinfrastruktur • Ladezeit
Flug – Kurzstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte • Ladezeit • Arbeitstemperatur • Sektorkopplung
Spezialfahrzeuge, Arbeitsmaschinen und Flurförderfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Ladezeit • Energiedichte • Leistungsdichte
Hybrid	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsdichte
Güterverkehr – Kurzstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte
Güterverkehr – Langstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte
Bus – Kurzstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte • Schnellladefähigkeit • Standards
Bus – Langstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Energiedichte

Betont wurde vor allem der Widerspruch zwischen den Anforderungen – jede für sich (insbesondere Energiedichte, Ladezeit und Temperatur) ist technisch gelöst (über das in diesem Bezug optimierte Zelldesign), jedoch nicht die gleichzeitige Erfüllung aller Anforderungen. Unterschiedliche Anforderungen ergeben sich weniger aus dem Anwendungsfall im oben genannten Sinn, sondern mehr aus der gewünschten Reichweite/Unabhängigkeit von der Ladeinfrastruktur.

8.4 Ergebnisse der Arbeitsgruppen zum Backcasting

Bei der Methode „Backcasting“ wurde überlegt, wann eine bestimmte Technologie zur Verfügung stehen muss und welche Entwicklungsschritte bis dahin noch notwendig sind. Mit einer Abschätzung, wie lange jeder Entwicklungsschritt ungefähr dauern könnte, kann ein Startpunkt ermittelt werden, wann mit der Entwicklung der Technologie begonnen werden muss, um rechtzeitig fertig zu sein.

Entlang einer Zeitachse (heute – 2030 – 2040 – 2050) wurden die notwendigen Entwicklungsschritte bis zur Fertigstellung der Technologie der wichtigsten Anwendungsfälle aus den beiden vorhergehenden Analysen dargestellt.

Dabei wurde die Annahme getroffen, dass 2050 100%-Energieproduktion aus Erneuerbaren realisiert ist. Viel früher kann bereits davon ausgegangen werden, dass es schon 100 %

erneuerbaren Strom gibt. Das Ziel „100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ könnte z. B. 2030/35 erreicht sein.

Als erste Fragestellung muss beantwortet werden, welche Speichertypen für die zehn Anwendungsfälle mit der höchsten Priorität verwendbar sind. Um diese Frage zu beantworten, wurden die technischen Parameter für jeden Anwendungsfall definiert und daraus die optimalen Speichertechnologien je Anwendungsfall abgeleitet.

8.4.1 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 1“

- **Anlagenkosten:** sofort
- **Anlagencharakteristika**
 - **Systemeffizienz:** 2030
 - **Zyklusfestigkeit:** 2030
 - **Zuverlässigkeit:** 2025
- **Systemeinbindung**
 - **Lokale Schnittstelle:** 2025
 - **Lokale Netzschnittstelle:** 2030
 - **Marktschnittstelle:** 2025
- **Lokale Intelligenz**
 - **Multifunktionale Nutzung:** 2023
 - **Vorhersage:** 2023
 - **Messinfrastruktur:** 2030
- **Regulatorischer Rahmen**
 - **Vollständiges normatives Regelwerk:** 2020
 - **Stand-Alone-Anwendungen im Netzbetrieb:** 2020

8.4.2 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 2“

Zahlen in Klammern geben die Anwendungsfälle an, bei denen folgende Speichertechnologien zum Einsatz kommen können:

1. Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonalspeicher)
2. Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)
3. Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)
4. Schwarzstartfähigkeit
5. Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)
6. Spitzenreduktion der Last
7. Primärregelung
8. Sekundärregelung
9. Tertiärregelung

Tabelle 40: Ergebnisse Zeiträume zur Realisierung des jeweiligen elektrischen Anwendungsfalls – Gruppe 2

Elektrochemische Speicher (müssen alle für alle Anwendungsfelder bis 2030 abgeschlossen sein)		
Lithium-Ionen-Batterien	2, 3, (4), 5, 6, (7), 8	Abschluss bis 2030
Bleibatterien	4, 6, (8)	Abschluss bis 2030
Natrium (Salzwasserbatterien)	4, 6	Abschluss bis 2030
Redux Flow	4, 3, 6, 9	Abschluss bis 2030
Nickel Batterien	momentan keine Anwendung bekannt	
Metall-Luft	eher mobile Anwendung?	
Chemische Speicher		
Methan	1, (2), 6, 9	Zeitraumen von jetzt bis 2050; Methanisierung funktioniert jetzt schon, aber nicht anwendungsreif
Wasserstoff	2, (6), (9)	Zeitraumen von jetzt bis 2040
Mechanische Speicher		
Pumpspeicher	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	Zeitraumen: von jetzt bis 2030
Schwungräder	kommen nicht vor bei den zehn Anwendungsfällen mit höchster Priorität	
Druckluftspeicher	kommen nicht vor bei den zehn Anwendungsfällen mit höchster Priorität	

Technologien sind zwar vorhanden, sind aber nicht wirtschaftlich.

Nach der Reihung entsprechend der beiden Fragestellungen in den ersten beiden Teilen des Workshops wurden in dieser Gruppe fünf Anwendungsfälle ausgeschieden (Harmonische, Verminderung Netzverluste, Vermeidung Netzausbau, zeitlich variable Tarife, Blindleistungskompensation).

Die vier wesentlichsten Punkte waren:

- Peak-Base-Bewirtschaftung langfristig: vor allem für das Ziel „100 % Energie aus erneuerbaren Quellen“
- Peak-Base-Bewirtschaftung kurzfristig
- Ausgleichsenergiebereitstellung
- Schwarzstartfähigkeit

Der Bedarf von Speicher für das Ziel „100 % Erneuerbare“ ist durchgängig höher (mit Ausnahme für den Anwendungsfall der „unterbrechungsfreien Spannungsversorgung“). Allgemein wurde in der

Gruppe erwartet, dass Speicher in zehn Jahren weniger wichtig sind als für die 100%ige Versorgung mit Energie aus erneuerbaren Quellen.

In weiterer Folge wurden die technologischen Anforderungen für die zehn wichtigsten Anwendungsfälle beschrieben und anschließend ein Mapping mit den Technologien durchgeführt, um die optimalen Speichertechnologien für die Anwendungsfälle zu identifizieren. Beim Backcasting wurde festgestellt, dass alle Speichertechnologien bis 2030 soweit verfügbar sein müssen, um einen Beitrag für das Szenario „100 % Energie aus erneuerbaren Quellen“ darstellen zu können. Nur der Einsatz von Methan für die Anwendung von Power-to-Gas wird erst zu einem späteren Zeitpunkt als Bedarf identifiziert.

Frage: Wird Schwarzstartfähigkeit höher bewertet als netzstabilisierende Maßnahmen wie Primärregelung; und was war das Szenario beim Schwarzstart?

Antwort: bei Primärregelung relativ geringe Leistung bzw. wenig Kapazität erforderlich, aber hohe technische Anforderungen; Szenario „Schwarzstart“: Szenarien bis zur Notversorgung in Spitälern; Smart-Grid-Zellen vielleicht automatisch grundsätzlich autark wieder losstartbar

Regelleistung: großvolumige Speicherbetreiber: erforderliche Leistung für Primär- oder Sekundärregelung relativ sehr gering; dadurch der Fokus auf lang- und kurzfristige Peak-Base-Bewirtschaftung

Schwarzstartfähigkeit: Systemische Entwicklung und Systemanforderungen werden im Jahr 2050 etwas anders aussehen (z. B. zellulare Netze)

8.4.3 Ergebnisse der Gruppe „Elektrische Anwendungsfälle 3“

Tabelle 41: Ergebnisse Zeiträume zur Realisierung des jeweiligen elektrischen Anwendungsfalls – Gruppe 3

	Heute	2020	2030
Engpassmanagement im Netz	PSP (Pumpspeicher) Batterien dezentral		Batterien zentral
Peak-Base-Bewirtschaftung (kurzfristig)	PSP		
Peak-Base-Bewirtschaftung (langfristig – Saisonalspeicher)	PSP		Power-to-X X-to-Power
Sekundärregelung	PSP Power-to-X		Batterien
Ausgleichsenergiebereitstellung (Vermeidung starker Gradienten)	PSP und SP	Batterien	
Primärregelung	PSP		Batterien
Lokale Nutzung lokaler Erzeugung (auch Quartierspeicher)		Lithium-Ionen- Batterien	

Spitzenreduktion der Last		Lithium-Ionen-Batterien	
Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau		Batterien	Power-to-X
Ausgleichsenergiebereitstellung (zeitliche Perspektive)	PSP		
Tertiärregelung	PSP		
Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (Islanding)	Blei- und Lithium-Ionen-Batterien		
Schwarzstartfähigkeit	PSP		
Spannungsregelung	PSP (Transmission) SP		

Die Reihung der Anwendungsfelder war für beide Szenarien etwa gleich. Die Bedeutung des Speichers ist gestiegen für das Szenario „100 % Energie aus erneuerbaren Quellen“. Speicher werden allgemein als sehr bedeutsam angesehen, es gab nur wenige Anwendungsfälle mit einer Bewertung unter 3.

Wichtige Anwendungsfälle waren bei größeren Sprüngen bei der Ausgleichsenergie kürzerer Gradienten; beim Ziel „100 % Energie aus erneuerbaren Quellen“ wichtiger; Nutzung lokaler Energie rund um Quartier-Speicher.

Bei allen Anwendungsfällen beeinflusst die Frage der Kostenbewertung die Wertung.

Backcasting:

Eine wichtige Rolle spielen heute schon die Pumpspeicherkraftwerke. Außer bei lokalen Anwendungen decken sie schon jetzt alle Anwendungsfälle ab. Batteriespeicher folgen dem, die weitere Entwicklung hängt von der Preissituation ab.

Energieintensive Anwendungsfälle werden in Zukunft auch von Batterien übernommen werden.

Auch im Bereich der Sekundärregelung werden Power-to-X-Technologien interessant werden. Auch bei Vermeidung von Netzausbau, wenn Infrastruktur sektorübergreifend geplant wird; langfristige Peak-Base-Bewirtschaftung (jetzt schon Pumpspeicher) in Richtung 2030 ist Power-to-X und chemische Speicher dafür interessant.

Für das Backcasting war es problematisch, dass eine Transitions-Strategie in Österreich fehlt. Offen ist auch der Anteil des österreichischen Verbrauchs, der gedeckt werden soll; z. B. heute: 85 % des Energiebedarfs soll selbst gedeckt werden, Wind, PV und Biomasse sind die Erneuerbaren, die zum Einsatz kommen. Wenn in Zukunft 90 % des österreichischen Bedarfs gedeckt sein soll, so ist der

Zuwachs in diesen Technologien sehr hoch; entsprechend hohe Speicherkapazitäten sind notwendig.

Diskussion:

Orientierung und konkrete festgesetzte Ziele fehlen allen Gruppen. Das Ziel „100 % Energie aus erneuerbaren Quellen“ ist klar, aber die Schritte dorthin, Szenarien und Regulierungsanforderungen sind größtenteils noch nicht geklärt. Trotzdem gibt es schon heute Handlungsbedarf im Forschungs- und Entwicklungsbereich.

Frage: Aufkommen von Batteriespeichern? Batteriekraftwerk oder dezentrale Batterien?

Antwort: Beide Anwendungsfälle sind möglich.

Frage: Engpassmanagement im Netz: Wird das in den nächsten zehn Jahren wirklich ein Thema sein? Wird die Bedeutung sinken?

Antwort: Die Zunahme der Erneuerbaren ist weit schneller als der Netzausbau; das ist ein europaweiter Trend.

8.4.4 Ergebnisse der Gruppe „Thermische Anwendungsfälle“

Die acht relevantesten Speichieranwendungen für 100 % Erneuerbare wurden gemäß ihren Anwendungsfeldern unter „Industrie“, „Gebäude“ und „Wärmenetz“ zusammengefasst. Langzeitspeicher werden weiter unten für „Gebäude“ und „Wärmenetze“ gemeinsam behandelt.

- **Industrie** (Anwendungsfälle „Abwärmenutzung und Prozessoptimierung (inkl. wirtschaftlicher Optimierung) (Industrie)“ und „Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Wärmenetze)“): Der thermische Speicher wird als Wärmesammler für verschiedene Quellen eingesetzt. Dazu werden Hochtemperaturspeicher benötigt:
 - Dampf- und Feststoffspeicher sind bereits marktnah entwickelt und können mit Pilot- und Demoprojekten in Industriebetrieben in weniger als fünf Jahren zur Marktreife gelangen.
 - PCM und thermochemische Speicher können auch für diese Anwendungen eingesetzt werden. Diese Technologien müssen noch weiterentwickelt werden (TRL 4 derzeit) und sollen ab 2030 am Markt verfügbar sein.
- **Gebäude** (Anwendungsfälle „Langzeitspeicher (Gebäude)“, „Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung der Wärmebereitstellung (Gebäude)“ und „Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Gebäude)“): Im Gebäude spielen die Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung und die Flexibilisierung eine wichtige Rolle, ebenso wie langfristige Speicher, die für eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung benötigt werden:
 - Im Gebäude werden Wasserspeicher eingesetzt, die am Markt verfügbar sind.
 - Auch die Bauteilaktivierung ist bereits marktverfügbar.

- **Wärmenetze** (Anwendungsfälle „Lastmanagement und Spitzenreduktion (Wärmenetze)“, „Langzeitspeicher (Wärmenetz)“, „Flexibilisierung der Wärmebereitstellung (Wärmenetze)“): Thermische Speicher werden in den Wärmenetzen zur Flexibilisierung sowie für das Lastmanagement und zur Reduktion der Spitzenlast eingesetzt. Die Vorlauftemperatur wird sich in den Bestandsnetzen auch in Zukunft aufgrund der organisatorischen Randbedingungen nicht ändern (Verträge, Auslegung der Anlagen der Kunden und Ähnliches). Das ist keine Frage der verfügbaren Speichertechnologie. In (Mikro-)Netzen, die neu errichtet werden, sind die Temperaturen jedoch geringer. Die Weiterentwicklung folgender Speichertechnologie ist nötig:
 - o Große Wasserspeicher, die es in anderen Ländern bereits auf TRL 8 gibt, haben in Österreich erst TRL 4. Wesentliche Unterschiede bestehen in den geologischen Gegebenheiten (der höhere Grundwasserspiegel in Österreich erhöht die Speicherverluste) und in den Anforderungen der Wärmenetze (die Temperaturen in Österreichs Bestandsnetzen sind höher.). Hier ist Entwicklungsbedarf gegeben.

Langzeitspeicher spielen eine wichtige Rolle sowohl im **Gebäude** als auch im **Wärmenetz**. Sie werden in Zukunft nicht nur mit Wasser als Speichermedium ausgeführt werden. PCM und thermochemische Speicher sind dafür prinzipiell auch geeignet, müssen aber noch weiterentwickelt werden.

Generell kann festgehalten werden, dass es bereits marktverfügbare oder marktnahe Speicher für alle diskutierten Anwendungen gibt. Die Entwicklungszeit ist daher deutlich geringer als die Zeit, die die Umwälzung des Energiesystems benötigen wird.

8.4.5 Ergebnisse der Gruppe „Mobile Anwendungsfälle“

Bezüglich Backcasting wurde festgestellt, dass alle Technologien am besten sofort verfügbar sein sollten.

Bei der Anwendung von Batterien beeinflussen einander Energiedichte, Ladezeit und Temperatur. Neben einer weiteren Optimierung des Zelldesigns wurde Wasserstoff als Möglichkeit der Auflösung dieses Widerspruchs für bestimmte Anwendungsfälle genannt.

Bezüglich der zeitlichen Abfolge der notwendigen Verfügbarkeit der einzelnen Anforderungen sieht die Gruppe alle Themen außer Recycling als sehr dringend an. Die zeitlich geringere Priorisierung von Recycling ist jedoch nicht mit einer geringeren Bedeutung zu verwechseln, sondern geht darauf zurück, dass ein quantitativ bedeutsames Aufkommen an zu recycelnden Batterien erst in etwa zehn Jahren zu erwarten ist. Second Life – die stationäre Nutzung von für die mobile Anwendung nicht mehr nutzbaren Batterien – als Recyclingmöglichkeit wurde dabei als vielversprechend angesehen. Des Weiteren wurde die Frage der Reparierbarkeit thematisiert.

Für Güterverkehr und Busse auf Langstrecken scheint Wasserstoff die optimale Technologie zu sein, um die benötigte Energiedichte zur Verfügung stellen zu können, während im Kurzstreckenverkehr (insbesondere für Linienbusse) Schnellladung favorisiert wird.

In ähnlicher Form ist beim Individualverkehr eher die Schnellladefunktion bzw. die Verfügbarkeit der entsprechenden Ladeinfrastruktur von Bedeutung. Als potenzieller limitierender Faktor der (Schnell)-Lademöglichkeit von Autos durch Privathaushalte wurden Limitierungen auf Seite des Stromnetzes genannt. Die dafür notwendige Leistungsaufnahme ist für Privathaushalte derzeit in der Regel von den Energieversorgern nicht vorgesehen und wird bisher (weitgehend) nur toleriert.

Frage: Sieht die Gruppe bezüglich Erhöhung der Energiedichte weitere Technologieschritte oder ist Wasserstoff das Ende der Fahnenstange?

Antwort: Spontan gibt es keine weiteren Ideen.

9 Zweiter ExpertInnen-Workshop

9.1 Ergebnisse der Gruppe KLEIN – unter 30 kW

Tabelle 42 zeigt alle Anwendungsfälle nach den Kriterien „Relevanz absteigend“ sowie „Einsatzerwartung aufsteigend“ sortiert. Es wurden im Wesentlichen sechs wichtige Sektorkopplungen identifiziert und diese im weiteren Verlauf der Reihe nach diskutiert.

Tabelle 42: Bewertungsergebnisse-- Gruppe KLEIN – in der Größe unter 30 kW

lfd. Nummer	Anwendungsfeld	Von	Zu	Einsatz- erwartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
1	Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Power	Heat	3,7	3,9
12	Nutzung von günstigem Strom aus dem Netz	Power	Mobility	3,3	3,3
6	Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Power	Heat	2,6	3,1
13	Peak Shaving	Vehicle	X	2,6	3,0
11	Eigennutzung von Strom aus PV	Power	Mobility	3,4	3,0
9	Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Gas	Power	2,7	2,1
4	Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Gas	Power	2,1	2,0
5	Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Gas	Heat	2,1	1,9
10	Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Gas	Heat	2,1	1,9
14	Ausfallsicherheit, Autarkie	Vehicle	X	1,7	1,6

7	Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Heat	Power	1,4	1,4
8	Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Power	Gas	1,6	1,3
2	Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Heat	Power	1,1	1,1
3	Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last	Power	Gas	1,4	1,1

Kommentare zu Anwendungsfall (Sortiert nach Relevanz):

1.) Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

1.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

1.b) Relevanz:

Bei 1: Wie heute, daher kein großer Unterschied für 100 %.

Bei 4: Es wird immer Wärmebedarf geben, die Speicherung ist bei Wärme einfacher, daher wird es das immer geben (z. B. Wasserspeicher).

1.c) Anforderungen:

Sind effizientere Wärmepumpen nötig? Das Potenzial wäre in den steirischen Netzen sehr groß. Rundsteuerung ist zu wenig flexibel für einen „smarten“ Betrieb, daher ist Weiterentwicklung nötig, außerdem werden zusätzlich Smart Meter zur Ansteuerung der einzelnen Kunden benötigt.

Power-to-Heat muss für Marktpartner steuerbar gemacht werden.

Parallel zum kurzfristigen Ausgleich soll der Eigenbedarf erhöht werden.

Einheitliche, standardisierte Schnittstellen (Wärmepumpen mit Heimpladestation) auf den Wärmepumpen sind nötig (Technologien sind dazu vorhanden), außerdem muss man die rechtliche Situation ändern (Stromkunden dürfen derzeit nicht beliebig geschaltet werden).

Das betrifft auch Heimpladestationen.

Der PV-Ausbaugrad in Netzen und auch in den Eigenheimen müsste steigen, um überhaupt Überschuss zu erzielen.

Aus Sicht des Netzbetreibers reicht die Rundsteuerung aus, aus Sicht von Siemens ist sogar Leistungsmodulation nötig, da reicht Rundsteuerung nicht aus. Mit Smart Metern wird es besser.

Technologien (Wärmepumpen) müssen modulierender arbeiten können, da gibt es Forschungsbedarf.

Widerstandsheizung?

Kostengünstigere und effizientere Wärmepumpen wären sehr förderlich. Forschungsbedarf ist nach wie vor für Schichtung in Wasserspeichern nötig (TRL 7–8).

Vakuumdämmung für Untertischspeicher? Gibt es schon, ist aber eventuell noch zu teuer.

1.d) Bis wann verfügbar:

Sofort

12.) Nutzung von günstigem Strom aus dem Netz

12.a) Einsatzerwartung:

Bei 2: Wegen Marktentwicklung. Nachttarif, wenn alle laden, nicht mehr vorhanden. Dann ist der Einsatz eines Heimspeichers wahrscheinlicher. Nicht ohne Förderung über 10 % verbreitet.

12.b) Relevanz:

Keine Kommentare

12.c) Anforderungen:

Siehe Fall 1.

12.d) Bis wann verfügbar:

6.) Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

6.a) Einsatzerwartung:

Bei 1: Keine Projekte zum langfristigen Ausgleich im Gebäude bekannt, aber z. B. Solarhäuser

6.b) Relevanz:

Keine Kommentare

6.c) Anforderungen:

Langzeit-Wärmespeicher: Große Wasserspeicher sind momentan Stand der Technik, in Zukunft können dafür TCM eingesetzt werden (Vorteile sind Anlagenkosten, Energiedichte, Betriebssicherheit, Verluste). Zur elektrischen Beladung der thermischen Speicher muss noch geforscht werden (Widerstandsheizung für Wärmespeicher, die nicht Wasser als Speichermedium nutzen). Mikrowellen zur Beladung sind auch denkbar, günstige elektrische Beladung ist nötig.

Transport des Speichermediums: Aufladen bei Müllverbrennung und Entladung an einem anderen Ort (Zeolith).

Kombinierte Wärme- und Kältespeicherung ist für Gebäude (in Hinblick auf Klimaänderungen) interessant, dafür müssen die Verluste gering sein. Kältespeicher (PCM) können in Kühlhäusern eingesetzt werden.

Die mögliche Beladung von TCM-Speichern „zwischen durch“ muss verbessert werden (hängt von Technologie und von der Prozessgestaltung ab).

6.d) Bis wann verfügbar:

Sofort.

Modellregion (mit Ausnahmeregelungen auch in rechtlicher Hinsicht) jetzt schon umsetzen, weil es drei bis fünf Jahre für die Erstellung von Standards braucht.

Zur Info: Die PV-Einspeisung ist in den Jahren 2010 bis 2013 stark gestiegen und dann stagniert, obwohl die Erwartungen höher waren. Genauso könnte das bei dieser Anwendung sein.

13.) Peak-Shaving

13.a) Einsatzerwartung:

Bei 4: Wenn E-Autos kommen, können große Netzprobleme auftreten, die zur Sperrung von Ladesäulen führt.

13.b) Relevanz:

Keine Kommentare

13.c) Anforderungen:

X = Home, Building: Bidirektionale Lader gibt es derzeit kaum, Regelung, Kommunikation, Schnittstellen nötig (für Reserve für Heimfahrt muss gesorgt sein, wenn vor fremdem Gebäude geparkt wird). Die Technologie ist vorhanden. Bidirektionale Autos für diesen Anwendungsfall fehlen noch (Japan, Nissan „Leaf“). Lebensdauer der Batterie, erhöhte Zyklenfestigkeit (je nach Technologie). Größere Speicher in Autos nötig, sonst für Heimverbrauch uninteressant.

Autos müssen flächendeckend verfügbar sein, um Betreiber dafür zu finden (wegen Risiko).

13.d) Bis wann verfügbar:

Siehe 6.c)

11.) Eigennutzung von Strom aus PV

11.a) Einsatzerwartung:

Bei 2: Nicht in zehn Jahren, weil der Verbrauch zu hoch ist (10 kWh/d) -> Batterie wird gleich für andere Zwecke genutzt.

Bei 4: wenn es beim Arbeitgeber Ladestation gibt

11.b) Relevanz:

Keine Kommentare

11.c) Anforderungen:

Siehe Fall 13.

9.) Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

9.a) Einsatzerwartung:

Bei 1: Strom durch Erneuerbare macht den langfristigen Ausgleich sinnlos.

Bei 4: Wenn Wasserstoff kommt, dann zur langfristigen Speicherung.

9.b) Relevanz:

Bei 4: Wird schon gemacht (Japan).

9.c) Anforderungen:

Brennstoffzellen müssen billiger werden, das gilt für die vorhandenen Technologien.

Wasserstoff wird langfristig flüssig gespeichert werden. Es wird auch die Nutzung des Methanetzes und die nachfolgende Nutzung im Haushalt darunter verstanden. Umwandlung von Gas in Strom im Haushalt ist hier das Thema.

Der Wasserstoffanteil würde steigen, daher müssen die Geräte damit umgehen können.

Volumen statt Energie muss verrechnet werden. Abrechnung muss für verschiedene Gehalte möglich sein.

Wirtschaftlichkeit muss gegeben sein, außer wenn das elektrische Netz überlastet ist.

Eventuell ist dieser Anwendungsfall unrealistisch im Vergleich zur Kombination von PV mit Wärmepumpen. In Ballungsräumen käme Brennstoffzelle eher infrage.

Umwandlung ist größeres Thema als die Speicherung.

4.) Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

4.a) Einsatzerwartung:

Bei 1: Wirtschaftlichkeit (Brennstoffzelle) steht in Frage. PV kann den Bedarf abdecken. Nicht ohne Förderungen. Strom wird nicht viel teurer.

Bei 4: In Japan schon gang und gäbe (staatlich stark gefördert). Wenn dann nur in Kombination mit langfristigem Speicher.

4.b) Relevanz:

Bei 3: Als Reserve relevant bei Batteriespeicher als Redundanz

5.) Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

5.a) Einsatzerwartung:

Bei 1: Gas = Wasserstoff, daheim schwierig, außerdem unklar, ob es überhaupt Wasserstoff geben wird

5.b) Relevanz:

Bei 3: Annahme: Wenn Elektrifizierung, dann nicht zu 100 % als Sicherheit

10.) Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

10.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

10.b) Relevanz:

Bei 1: Erneuerbares Gas zu wertvoll für Heizung, Nutzung zur Stromerzeugung besser

Bei 3: Mehr Chancen je nach großtechnischer Umsetzung als Reserve v. a. bei dezentralen Strukturen (Eigenproduktion, solange das Wetter passt). Autarkie muss nicht unbedingt erreicht werden, Unterschiede zwischen Stadt und ländlichem Bereich.

14.) Ausfallsicherheit, Autarkie

14.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

14.b) Relevanz:

Bei 3: Bei 100 % wird Netzmanagement wichtiger werden, auch elektrisches Netz mehr belastet, Relevanz steigt.

7.) Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

7.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

7.b) Relevanz:

Bei 3: Stirling und ORC eventuell geeignet.

8.) Langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

8.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

8.b) Relevanz:

Was macht man mit Gas im Haushalt? Wenn Wasserstoffauto kommt, kann Gas im Haushalt genutzt werden, sonst ist die Umwandlung zu wenig effizient bei anschließendem Gas-to-Power.

2.) Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

2.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

2.b) Relevanz:

Keine Kommentare

3.) Kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last

3.a) Einsatzerwartung:

Keine Kommentare

3.b) Relevanz:

Was macht man mit Gas im Haushalt? Wenn Wasserstoffauto kommt, kann Gas im Haushalt genutzt werden, sonst ist die Umwandlung zu wenig effizient bei anschließendem Gas-to-Power.

9.2 Ergebnisse der Gruppe MITTEL – 30 kW bis 5 MW

Tabelle 43: Bewertungsergebnisse – Gruppe MITTEL – 30 kW bis 5 MW

Anwendungsfeld	Von	Zu	Einsatzervartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext thermischer Nah- und Fernwärmenetze	Power	Heat	4,0	4,0
	Heat	Power	1,9	2,4
	Power	Gas	2,8	3,8
	Gas	Power	2,2	3,4
	Gas	Heat	1,2	2,2
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext thermischer Nah- und Fernwärmenetze	Power	Heat	2,6	3,0
	Heat	Power	1,3	1,3
	Power	Gas	2,1	3,2
	Gas	Power	1,4	2,9
	Gas	Heat	1,4	2,1
Engpassmanagement und Reduktion von Erzeugungs- und Lastspitzen; Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	Power	Heat	3,0	3,8
	Power	Gas	1,6	2,4
	Heat	Power	1,0	1,4
	Gas	Power	1,2	2,0
Bereitstellung von Regelreserve (Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung) und Ausgleichsenergie	Power	Heat	3,9	3,4
	Power	Gas	1,7	2,1
	Heat	Power	1,2	1,2
	Gas	Power	1,2	2,6

Die für die weitere Betrachtung ausgewählten Sektorkopplungen sind oben **fett** gekennzeichnet.

9.3 Ergebnisse der Gruppe GROSS – über 5 MW

Tabelle 44: Bewertungsergebnisse – Gruppe GROSS – über 5 MW

Anwendungsfeld	Von	Zu	Einsatzervartung	Relevanz für 100 % Erneuerbare
Saisonaler Ausgleich der Energiebereitstellung im großen Leistungsbereich	Power	Gas	2,4	3,8
Bereitstellung von Regelreserve (Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung) und Ausgleichsenergie	Power	Gas	3,0	3,7
Saisonaler Ausgleich der Energiebereitstellung im großen Leistungsbereich	Gas	Power	1,6	3,6
Bereitstellung von Regelreserve (Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung) und Ausgleichsenergie	Power	Heat	3,8	3,4

Engpassmanagement, Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	Power	Gas	2,1	3,2
Engpassmanagement, Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	Power	Heat	2,6	3,2
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Power	Gas	2,9	3,2
Bereitstellung von Regelreserve (Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung) und Ausgleichsenergie	Gas	Power	4,0	3,2
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Power	Heat	3,6	3,0
Engpassmanagement, Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	Gas	Power	1,0	2,9
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Gas	Power	1,2	2,9
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Power	Gas	1,9	2,9
Saisonaler Ausgleich der Energiebereitstellung im großen Leistungsbereich	Power	Heat	1,7	2,2
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Gas	Heat	1,0	2,1
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Power	Heat	1,1	2,0
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Gas	Power	3,2	2,0
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Gas	Heat	1,0	1,9
Engpassmanagement, Vermeidung/Verzögerung von Netzausbau	Heat	Power	1,0	1,1
kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Heat	Power	1,2	1,1
langfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last im Kontext Prozesswärme in der Industrie	Heat	Power	1,0	1,0
Bereitstellung von Regelreserve (Primärregelung, Sekundärregelung, Tertiärregelung) und Ausgleichsenergie	Heat	Power	1,1	1,0

Tabelle 44 zeigt alle Anwendungsfälle nach den Kriterien „Relevanz absteigend“ sowie „Einsatzervartung aufsteigend“ sortiert.

Im Folgenden werden wichtige Diskussionspunkte und Begriffsklärungen zusammengefasst.

- Der kurzfristige Ausgleich bezieht sich auf eine Speicherdauer von < 1 Tag.
- Der langfristige Ausgleich bezieht sich auf eine Speicherdauer von > 3 Monaten.
- Bei der Frage nach den Anwendungsfällen, die in den nächsten zehn Jahren angewandt werden, werden bei Gas-to-Power und Gas-to-Heat Erdgasspeicher eingesetzt. Bei der 100%ig erneuerbaren Energieversorgung werden dabei Biomethan- oder Wasserstoffspeicher gemeint.
- Gas-to-Power als kurzfristiger Ausgleich zwischen Erzeugung und Last in der Industrie kann eine klassische GuD-Anlage sein, die mit einem Gasspeicher ausgestattet ist.
- Power-to-Heat als Engpassmanagement umfasst auch Kälteerzeugung.
- Power-to-Heat zur Bereitstellung von Regelreserve ist bereits Standard und wird in den nächsten zehn Jahren weiter angewandt werden.

Die fettgedruckten Anwendungsfälle wurden für die weitere Bearbeitung ausgewählt.

Reflexion der Auswahl:

An der Diskussion nahmen keine Industrievertreter teil, das kann ein Grund dafür sein, warum den Industriethemen keine so große Bedeutung zugemessen wurde. Allerdings kann man davon ausgehen, dass die Produktionssicherheit für Industriebetriebe an erster Stelle steht und man nicht damit rechnen kann, dass viele Industriebetriebe als Energiedienstleister auftreten und Sektorkopplungsanwendungen betreiben werden. Für den Übergang auf eine 100%ig erneuerbare Energieversorgung ist ein langfristiger Umbau des Energiesystems nötig, die Industrie wird dabei nicht als „First Mover“ auftreten. Das wird eher im Mobilitätsbereich u. Ä. erwartet. Eine weitere Herausforderung für die Industrie ist es, ihre Prozesse auf 100 % erneuerbare Energie umzustellen, dabei spielen Anwendungen zur Sektorkopplung keine große Rolle.

Für den Inhalt verantwortlich

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

Kontakt

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 2 | 1210 Vienna | Austria

www.ait.ac.at

Werner FRIEDL

Electric Energy Systems

Center for Energy

+43 50550-6037

+43 664 966 7231

Impressum

Herausgeber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5, 1060 Wien
www.klimafonds.gv.at

Projektleitung

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4, 1210 Wien
www.ait.ac.at

Projektteam

Werner Friedl, Veronika Wild,
Hartmut Popp, Klaus Kubeczko,
Johannes Kathan

Georg Zahradnik, Bernd Windholz,
Karl-Heinz Leitner, Stefanie Kaser,
Florian Hengstberger

Gestaltung Cover

www.angieneering.net

