



## 1 Zusammenfassung

Die niedersächsischen Universitäten Braunschweig, Clausthal, Göttingen, Hannover, Oldenburg, die Hochschule für angewandte Wissenschaften Ostfalia, sowie die An-Institute Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC Institut) und NEXT ENERGY – EWE Forschungszentrum für Energietechnologie e. V. haben es sich zur Aufgabe gemacht, einen Bericht zu den niedersächsischen Forschungsaktivitäten und -potenzialen im Bereich Energiespeicher und -systeme zu verfassen, um sowohl der niedersächsischen Politik, als auch der niedersächsischen und bundesweiten Industrie ein Profil der hiesigen Forschungslandschaft an die Hand zu geben.

Niedersachsen mit seinen geologischen und geographischen Besonderheiten hat im Vergleich zu den übrigen Bundesländern große Chancen, wesentliche Teile seiner Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen. Naheliegende Aufgaben sind der Ausbau des Stromnetzes sowie die Erhöhung der Speicherkapazität für elektrische Energie.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die relevanten Technologien und die derzeitigen Kompetenzen an den genannten wissenschaftlichen Institutionen. Er ist eine Darstellung der Thematik aus der Sicht der Herausgeber und Coautoren und stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden jeweils die Bedeutung, die Herausforderungen und die Chancen des Einsatzes der verschiedenen Energiespeicher und der daraus resultierende Modifikationsbedarf für das Energiesystem beschrieben. Darüber hinaus werden die Innovations- und Technologiepotenziale, sowie der mögliche Forschungstransfer in die Industrie aufgezeigt und potentielle bzw. erforderliche zukünftige Forschungsaktivitäten innerhalb Niedersachsens identifiziert.

Um dem inter- und transdisziplinären Charakter der Problemstellung gerecht zu werden, werden neben den technischen Betrachtungen auch die Forschungsfelder der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie die Aspekte der Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften diskutiert.



## 2 Motivation

Energiespeicher sind eine wichtige Option zur Stabilisierung und Optimierung unseres Energiesystems. Sie ermöglichen die zeitliche Verschiebung zwischen Erzeugung und Verbrauch und können Erzeugungsanlagen von Verbraucherschwankungen entkoppeln. Eingebettet in ein intelligent verschaltetes Energiesystem können sie eine qualitativ hochwertige, zuverlässige Versorgung bei stark schwankender Erzeugung sicherstellen. Die Situation von Speichern für elektrische Energie unterscheidet sich dabei deutlich von Speichern in Wärme- und Gasnetzen, die ebenfalls ein integraler Bestandteil der jeweiligen Netze sind.

Speicher für elektrische Energie stehen im Spannungsfeld zum Netzausbau, mit dessen Hilfe auch große Energiemengen räumlich (auch europaweit) zwischen Erzeugungsschwerpunkten und Verbrauchsschwerpunkten transportiert werden können. Der räumliche Ausgleich setzt voraus, dass im Netz Abnehmer zeitgleich für gerade lokal anfallende regenerative Energie oder Erzeuger für einen gerade benötigten lokalen Bedarf zur Verfügung stehen. Das Stromnetz kann somit als großer Handelsplatz gesehen werden, vorausgesetzt, ausreichende Transportkapazitäten stehen zur Verfügung. Durch die Liberalisierung wurde bereits das Prinzip aufgegeben, große Kraftwerke immer nahe an großen Verbrauchstandorten zu bauen. Der Stromhandel hat die Erzeugung durch das kostengünstigste Kraftwerk und nicht das Kraftwerk am günstigsten Standort im Netz gefördert, und somit tendenziell bereits zu einer Erhöhung der Transportmengen im Netz geführt. Mit zunehmendem Anteil regenerativer Energie im Verbundnetz steigen die für den örtlichen Ausgleich notwendigen Transportmengen weiter, weil die günstigsten Erzeugungsstandorte (z. B. Offshore Windparks) und die Verbrauchsschwerpunkte bisher weit voneinander entfernt sind. Speicher für elektrische Energie sind aber nicht in der Lage, den Ausbau der Transportnetze völlig zu vermeiden, weil Energiespeicher in der Nähe von Verbrauchsschwerpunkten zur Überbrückung von langen Zeiträumen sehr geringer Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen vorwiegend im Norden Deutschlands zu finden sind. Sie können an dieser Stelle dafür Sorge tragen, dass übermäßig hohe und selten auftretende Überkapazitäten der regenerativen Energien nicht ins Netz eingespeist werden müssen. Somit können sie zur Optimierung und Wirtschaftlichkeit der elektrischen Netze beitragen. Lediglich eine stoffliche Speicherung von Strom und der anschließende Transport über das bestehende Erdgasnetz oder aber ein neu aufzubauendes Wasserstoffnetz sind Optionen in derartigen Zeiten.

Szenarien für eine weitgehend vollständige Stromversorgung aus erneuerbaren Energiequellen zeigen, dass es neben langen Phasen mit einer hohen Überschussproduktion auch Phasen geben wird, in denen für Wochen bedingt durch großräumige, auch ganz Europa betreffende Wetterlagen, einen Mangel an regenerativ erzeugtem Strom geben wird. Für eine unter allen Umständen zuverlässige Stromversorgung ist deshalb weiterhin eine Erzeugungsstruktur notwendig, die eine vollständige Energieversorgung durch konventionelle fossile Energieträger (Erdgas, Kohle usw.) oder durch aus Überschussstrom produzierte Energieträger (Wasserstoff bzw. synthetisch aus Wasserstoff und Kohlenstoffoxiden) sicherstellen kann.



Zur flexibleren Anpassung an die Nachfrage im Strommarkt und Optimierung der Betriebsweise des zukünftigen Kraftwerkparks sind Energiespeicher eine sinnvolle Ergänzung zur wirtschaftlichen Gewährleistung der Versorgungssicherheit.

Für die Energiespeicherforschung ergeben sich einzelne Themenfelder aus der Klassifizierung der Energiespeicher für zukünftige Anwendungen. Geht man von der langfristigen Vision einer zu mehr als 80 % regenerativ gestützten Energieversorgung aus (post 2050), so wird deutlich, dass sich ein sehr hoher Bedarf an Energiespeichern entwickeln wird, wobei sich dieser Bedarf mit den wenigen vorhandenen und noch realisierbaren Großspeichern (Pumpspeicher und große Druckluftspeicher) heute nicht abdecken lässt. Vielmehr wird man jede sich bietende Möglichkeit und Technologie zur Realisierung großer, mittlerer und kleiner Speicher nutzen müssen, wobei mit abnehmender Speichergöße die Speicher immer dezentraler und damit näher an den regenerativen Erzeugern oder an den Verbrauchern positioniert werden könnten.

Unabhängig von den Bemühungen der Grundlagenforschung, neuartige zyklensichere und kostengünstige Speicherprinzipien zu finden, sieht die niedersächsische Forschung zurzeit drei Kategorien von Speichern, wobei in jeder Kategorie Forschungsbedarf besteht.

- **Kurzzeitspeicher** für die transiente Stabilität des Versorgungsnetzes bei plötzlich auftretenden Schwankungen (Sekundenreserve). In diese Kategorie fallen hoch überlastbare Schwungmassenspeicher, Doppelschichtkondensatoren und Batteriespeicher (z. B. Li-Ionen-Batterien). Ggfs. ist eine Kombination mit Umrichter-basierten Anlagen wie z. B. Phasenschiebern oder Stabilisatoren erforderlich, um die erforderliche Kurzschlussleistung und andere Netzparameter zu gewährleisten.
- **Mittelfristige Speicher** zur Reduzierung von Leistungsgradienten im Netz (15 min und Stundenreserve bis zu mehreren Stunden). Mit diesen Speichern können Leistungsgradienten so eingestellt werden, dass z. B. thermische Kraftwerke mit ihren systembedingten großen Zeitkonstanten dem Energiebedarf folgen können. Hier sind die überwiegende Zahl von elektrochemischen Speichern, sowie die Druckluft und Pumpspeichieranlagen einzuordnen.
- **Langzeitspeicher** zur Überbrückung wetterbedingter Ausfälle der regenerativen Erzeuger (Tage bis Wochen). Das kritische großräumige Wetter-Szenario ist z. B. die Situation „14 Tage Windstille bei bedecktem Himmel“. Dies tritt in Deutschland etwa zweimal pro Jahr mit unterschiedlich starker Ausprägung auf. Die hier benötigten Energiemengen sind so groß, dass sie nur durch stoffliche Speicherung von Überschussstrom und einen entsprechenden Kraftwerkspark (Residuallastkraftwerke) abgedeckt werden können. Die stoffliche Speicherung wird dabei als Wasserstoff und/oder als Methan bzw. weitere synthetische, auch flüssige Kohlenwasserstoffe erfolgen.

Neben der Betrachtung von Energiespeichern als Option zur Optimierung des gesamten Energiesystems sind aber auch technische und wirtschaftliche Alternativen zu beachten. Diese Alternativen sind ebenfalls wichtige Bestandteile des hier vorgelegten Dokumentes. Im Kern handelt es sich hier um folgende Optionen:



## 2 Motivation

- Durch eine zeitliche Verschiebung der Nachfrage innerhalb der Stromsparte oder gar durch Verlagerung der Nachfrage von der Stromsparte in eine alternative Sparte wie zum Beispiel die Gassparte kann die momentane Verbrauchsleistung an die momentane Erzeugungsleistung angepasst werden (Demand-Side-Management). Derartige Maßnahmen können zentral koordiniert sowie dezentral selbst organisiert auf Basis von Kommunikationsstrukturen oder lokal auf Basis der Netzspannung und -frequenz entschieden werden.
- Die Kopplung des Stromnetzes mit lokalen Wärmenetzen inkl. des Wärmenetzes von Einfamilienhäusern erlaubt es, Strom thermisch zu nutzen statt ihn zu speichern. Auch hier kann der Verbrauch sehr schnell verändert werden und dem Energieangebot angepasst werden. Zur Kopplung des Stromnetzes zählt auch die Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere unter Verwendung von Brennstoffzellen, die einen Teil des auch langfristig erforderlichen Erzeugungsparks ausmachen können.
- Flexibilisierung des Netzes im Verteilnetzbereich, mit der eine weitere Durchdringung der Nieder- und Mittelspannungsnetze mit Photovoltaik und Windkraftanlagen auch ohne Rückgriff auf Speicher erreicht werden kann.

Aus dieser Zusammenstellung wird deutlich, dass Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit von Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Chemie, Werkstoffphysik, Informations- und Kommunikationstechnik, Leistungselektronik und Wirtschaftswissenschaften unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgreich sein kann. Zur Bearbeitung sind Konsortien zwischen Forschungsinstituten und Industriepartnern besonders geeignet.



### 3 Ziel

Die niedersächsische Landesregierung hat zum 1. Juni 2012 die Landesinitiative Energiespeicher und -systeme eingerichtet um die Entwicklung energieeffizienter und wirtschaftlicher Speichertechnologien voranzutreiben. Dadurch sollen eine Stärkung des Technologiestandortes Niedersachsen im nationalen und internationalen Wettbewerb sowie die Intensivierung der Zusammenarbeit von Wirtschaftsunternehmen und Forschungseinrichtungen erreicht werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf kleine und mittelständische Unternehmen sowie die Umsetzung von Ideen in marktfähige Produkte bzw. Dienstleistungen liegt. Neben Speichertechnologien (z. B. Batterien, Brennstoffzellen oder Redox-Flow-Systeme) für die Kurzzeitspeicherung sollen zusätzlich Themenstellungen in den Bereichen Großspeicher (Power-to-Gas, Druckluft/Dampf usw.) für die Speicherung großer Energiemengen und Energiemanagement (Wasserstoff, Kraft-Wärme-Kopplung, Netzanbindung, Smart Grid, Wärmepumpen usw.) vorangetrieben werden.

Verbunden mit der Etablierung der Landesinitiative war die Einrichtung eines wissenschaftlichen Satelliten, der die Arbeiten der niedersächsischen Wissenschaftler und Forschungseinrichtungen koordinieren und vernetzen soll, um Projekte zu initialisieren, Partner aus der heimischen Industrie zu finden und so einen Mehrwert im Vergleich zu den bisherigen Einzelaktivitäten zu generieren. Daraus ergibt sich die Sicherung bestehender und Schaffung neuer Beschäftigung in Niedersachsen durch den Transfer der Forschungsergebnisse in Produkte für die regionale Industrie. Der wissenschaftliche Satellit ist am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) beheimatet und soll in engem Kontakt mit der Geschäftsstelle der Landesinitiative die wissenschaftliche Ausrichtung aktiv gestalten.

Der vorliegende Bericht hat das Ziel, mittels eines Überblicks über die derzeitigen Herausforderungen und die derzeitigen Kompetenzen an den niedersächsischen wissenschaftlichen Institutionen die Schaffung wissenschaftlicher Exzellenz auf dem Gebiet der Energiespeicher und -systeme zu katalysieren. Dies kann am besten durch die Fokussierung auf Schwerpunkte, in denen bereits Kompetenz vorhanden ist und den Aufbau weiterer Kompetenz, insbesondere in Themengebieten, die für das Land Niedersachsen zukünftig von hoher Priorität sein werden, erreicht werden. Die Schaffung dieser Exzellenz sollte gerade im Bereich der Energieforschung durch eine enge Kooperation der Forschungsinstitute untereinander und auf Basis gemeinsamer Forschungsprojekte erfolgen.

Das vorliegende Dokument beschreibt die thematischen Schwerpunkte, die seitens der niedersächsischen Wissenschaftler im Bereich der Energiespeicher/-systeme gesehen werden, gibt einen Überblick über die bereits vorhandenen Kompetenzen und liefert Ansatzpunkte für F&E-Projekte sowie deren Innovations- und Technologiepotenziale und Forschungstransfer. Darüber hinaus wird der erforderliche Ausbau der Infrastruktur zur Verwirklichung der angestrebten Forschungsarbeiten beschrieben.

Da Niedersachsen durch seine geographische Lage (Windkraft, Biomasse, Erdgasvorkommen und Salzstöcke für Kavernenspeicher) einen großen Anteil an der zukünftigen Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland haben wird, hat



### 3 Ziel

Niedersachsen aus Sicht der niedersächsischen Wissenschaft das Potenzial zum wichtigsten „Energieland“ Deutschlands zu avancieren. Die wissenschaftlichen Interessen der Forschungsinstitute Niedersachsens stehen somit im Einklang mit den Landesinteressen und den Interessen zahlreicher, in Niedersachsen ansässiger Unternehmen und bieten somit eine gute Basis zur Umsetzung des Konzepts.

Das vorliegende Konzept soll den politischen Entscheidungsträgern einen Überblick über die aus Sicht der niedersächsischen Wissenschaft bedeutsamen Schwerpunkte geben und die Einordnung geplanter Aktivitäten in ein umfassendes Gesamtkonzept zum Thema Energiespeicher und -systeme ermöglichen. Den niedersächsischen wissenschaftlichen Einrichtungen dient das Konzept als Basis für die oben genannte thematische Zusammenarbeit, die in gemeinsamen, aufeinander abgestimmten Projektanträgen mit einer Laufzeit von mehreren Jahren münden wird. Der niedersächsischen Industrie, aber auch Unternehmen außerhalb Niedersachsens soll dieser Bericht aufzeigen, welche Schwerpunkte verfolgt werden und mit welchen Aktivitäten zu rechnen sein wird.



## 4 Bedeutung von Energiespeichern für Niedersachsen

Niedersachsen mit seinen geologischen und geographischen Besonderheiten hat im Vergleich zu den übrigen Bundesländern große Chancen, wesentliche Teile seiner Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen. Insbesondere die Kombination aus erhöhter Stromerzeugung durch Offshore-Windenergieanlagen und den geologischen Voraussetzungen zur erzeugungsnahen Untergrundspeicherung von z. B. Wasserstoff in Kavernen oder Porenspeichern bietet ein Potenzial, mit dem Niedersachsen eine Vorreiterrolle im Bereich erneuerbarer Energiesysteme in Europa und der Welt einnehmen kann. Darüber hinaus ist Niedersachsen eine der bedeutendsten Agrarregionen und besitzt eine große landwirtschaftliche Kraft, die auch schon jetzt zur regenerativen grundlastfähigen Energieerzeugung einen Beitrag leistet. Dieser Anteil kann in Zukunft durch Verwertung von landwirtschaftlichen Sekundärrohstoffen weiter gesteigert werden. Der bereits erreichte Status und die vorhandenen Potenziale bieten vielversprechende Ansatzpunkte für eine weitere Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien und einem hohen, auch wirtschaftlich interessanten Export von Energie in andere Bundesländer, sowie in die angrenzenden Länder der Europäischen Union.

Niedersachsen verfügt außerdem mit zahlreichen Produktionsstandorten für Batterien und deren Ausgangsmaterialien, sowie der Volkswagen AG als einem der weltweit größten Hersteller von Fahrzeugen über erhebliche Potenziale, die Elektromobilität auf Basis erneuerbarer Energien und damit Emissionsminderungen im Verkehrsbereich voranzubringen und davon zu profitieren.

Neben dem weiteren Ausbau der Erzeugungskapazität erneuerbarer Energien ist es nicht nur erforderlich, die Anpassungsfähigkeit bzw. Flexibilität des Energiesystems zu erhöhen, sondern auch die Systemeffizienz und die Wirtschaftlichkeit zu steigern. Die zunehmenden Schwankungen auf der Erzeugerseite, sowie die zunehmende Installation von regenerativen Energieerzeugern in strukturarmen bzw. bevölkerungs- und industriearmen Gebieten wie beispielsweise Windenergieanlagen Offshore und in Küstengebieten, sind nicht nur mit dem zeitlichen Verlauf der Nachfrage in Einklang zu bringen, sondern die Energie ist auch an den Ort des Verbrauchs zu transportieren.

Naheliegende Aufgaben sind daher der Ausbau des Stromnetzes sowie die Erhöhung der Speicherkapazität für elektrische Energie, um zum einen die Produktion bei Überkapazitäten nicht reduzieren bzw. „abregeln“ zu müssen und zum anderen, um die Systemstabilität weiterhin garantieren zu können.

In einem Szenario mit vorwiegend fluktuierender Stromerzeugung und dem Rückgang grundlastfähiger Komponenten ist darüber hinaus die deutliche Zunahme zeitlicher Preisschwankungen (insbesondere zeitweilig negative Strompreise) zu erwarten. Auch hier können Speichersysteme als Instrument zur Erbringung von Systemdienstleistungen wie z. B. der Bereitstellung positiver wie auch negativer Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserveleistung, vor allem unter Nutzung von elektrischer Energie zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

## 4 Bedeutung von Energiespeichern für Niedersachsen

Als Kurzzeitspeicher können zentral bereits vorhandene oder noch weiter zu entwickelnde Pump- und Druckluftspeicherkraftwerke sowie dezentral elektrische und elektrochemische Speicher eingesetzt werden. Aufgrund der Begrenzungen hinsichtlich Be- und Entladezeit bzw. Speicherkapazität ist darüber hinaus eine Umwandlung von Überschusskapazitäten in stoffliche/chemische Energiespeicher erforderlich, die als Langzeitspeicher bezeichnet werden. Diese Speicher können sowohl zentral als auch dezentral zum Einsatz kommen. Als Anlagenaggregat ist hier die Wasserelektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff im Einsatz. Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft könnte einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Energieversorgung beitragen. Zusätzlich wird die Basis für den Einsatz von Brennstoffzellen im Mobilitätsbereich geschaffen, deren Technologieentwicklung vom Land Niedersachsen von 2004 bis 2012 in einer eigenen Landesinitiative (Brennstoffzelle und Elektromobilität) vorangetrieben wurde.

Darüber hinaus kann der Wasserstoff einer weiteren stofflichen Nutzung bzw. Veredelung zugeführt werden, wenn eine Kohlenstoffquelle wie z. B. das Kohlendioxid einer Biogasanlage oder auch kohlenoxidhaltige Industrieabgase, zur Verfügung steht. Mit den Prozessen der Methanisierung oder der Fischer-Tropsch Synthese können dann gasförmige (SNG, synthetic natural gas) oder flüssige (Kraftstoffe oder Chemiegrundstoffe) Energieträger erzeugt werden.

Weiter entlastend können Konzepte zur Anpassung von Verbrauchern an die Produktionskapazität wirken, z. B. indem es gelingt, Fahrzeugbatterien einer zukünftigen weit verbreiteten Elektromobilität in der Masse betrachtet intelligent, d. h. vor allem bei „Energieüberschuss“ zu laden. Auch im Bereich des Demand-Side-Managements bilden intelligente Ansteuerungen die Grundlage dieser Technologie. Hier ist die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) als Querschnittsdisziplin von besonderer Bedeutung. Als weiteres übergreifendes Themenfeld ist die Wirtschaftlichkeit, der Rechtsrahmen sowie die gesellschaftliche Akzeptanz der technischen Lösungsvorschläge zu betrachten, um neben der technisch besten Lösung auch die wirtschaftlich attraktivsten und rechtlich und gesellschaftlich möglichen Ansätze zu ermitteln und so die niedersächsische Industrie zu unterstützen und die Umsetzung der Maßnahmen zu ermöglichen bzw. zu beschleunigen.

In der Summe sind die in Teilen bereits etablierten Energiepfade Niedersachsens zu einer regenerativen Energiestruktur für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Versorgung von Industrie, Haushalten und Mobilität zu verknüpfen. Dazu erforderlich ist auch die Einbeziehung der elektrischen Netze, der Leistungselektronik und der Gasnetze, um die einzelnen Technologie-Bausteine zu verknüpfen und eine möglichst hohe Gesamteffizienz des zukünftigen Energieversorgungssystems sicher zu stellen.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau eines Speichersystems mit den Komponenten:

- Energiewandler zur Umformung der elektrischen Energie in die Energieform, die zur Speicherung verwendet wird. Die Rückumformung der gespeicherten Energie in elektrische Energie wird nicht immer mit dem gleichen Aggregat realisiert.

#### 4 Bedeutung von Energiespeichern für Niedersachsen

- Energiespeicher mit stofflichen, physikalischen oder chemischen Speichermedien.
- Netzanschluss mit der Kopplung an das Versorgungsnetz.

Je nach Speichermedium sind Hilfsaggregate erforderlich. Sekundärtechniken mit Mess-, Steuer-, und Regelungstechnik unterstützen bei der Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich der Dynamik und des Anlagenschutzes. Ein übergeordnetes Managementsystem mit moderner Kommunikation ermöglicht die Einbindung in einen Kraftwerkspark.

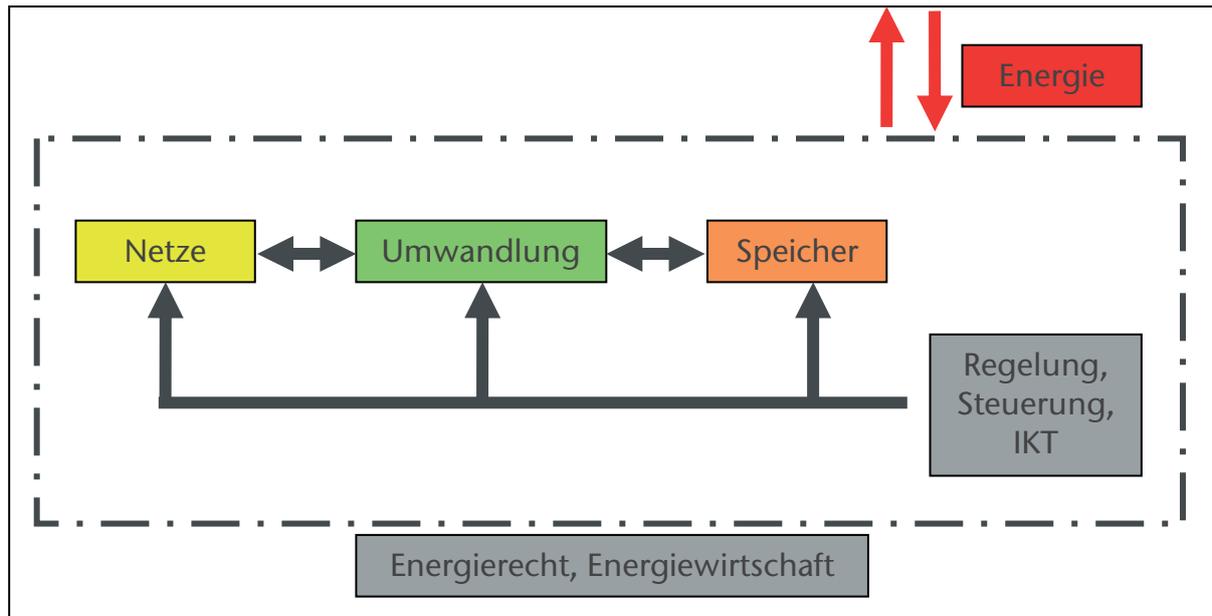


Abbildung 1: Energiespeichersystem

Für die Strukturierung der hier vorliegenden Betrachtungen wird eine Einteilung der Speicher entsprechend ihrer Speicherkapazität vorgenommen. Für jeden Technologiebereich, der einen Forschungsschwerpunkt darstellt, werden nach einer kurzen Einführung die bereits im Land Niedersachsen vorhandenen Vorarbeiten und Kompetenzen sowie der Forschungsbedarf, die Technologie- und Innovationspotenziale und der Forschungstransfer aufgezeigt. Die Querschnittstechnologien Leistungselektronik, IKT, Wirtschaft und Recht schließen die Analyse.



## 5 Elektrische und elektrochemische Speicher

### 5.1 Batterien

#### 5.1.1 Einleitung

Batterien werden je nach Anwendung als dynamische mittelfristige Speicher (unterbrechungsfreie Stromversorgung, netzferne Applikation, Elektromobilität) und Kurzzeitspeicher (Netzstabilisierung im Sekundenbereich) eingesetzt und weisen eine ausgezeichnete dynamische Belastbarkeit bei mittleren Energiedichten auf. Als Zwischenspeicher für regenerative Energien sind wiederaufladbare Sekundärzellen einsetzbar. Neben der Anwendung in der Elektromobilität eignen sich größere Batteriesysteme, z. B. auch Redox-Flow-Systeme, als stationäre, dezentrale Energiespeicher. Der Großteil derzeitiger Sekundärbatterien weist dabei sowohl exzellente Wandlungswirkungsgrade als auch geringe Kapazitätsverluste während der Lagerung auf. Die Speicherung großer Mengen an Elektrizität ist prinzipiell möglich, derzeit jedoch noch mit hohen Kosten verbunden.

Neben weit verbreiteten und kommerzialisierten Technologien wie Lithium(Li)-Ionen- oder Blei-Säure-Batterien gibt es Spezialbatterien für verschiedenste Anwendungen, u. a. Hochtemperaturbatterien, Batterien mit flüssigen oder gasförmigen Reaktanden, darunter auch atmende Batterien, die Luftsauerstoff verzehren. Batterien, bei denen die Energie in einer Flüssigkeit gespeichert wird, sind der Klasse der Flussbatterien zuzuordnen; dazu gehören die Redox-Flow-Batterien. Im Gegensatz zu klassischen Batteriesystemen bieten sie den Vorteil der Trennung von Energieinhalt im Flüssigkeitstank und Leistung im Zellstack. Somit sind beide Größen unabhängig voneinander skalierbar und können auf beliebige Anwendungen abgestimmt werden. Es gibt bereits vereinzelt kommerzialisierte Redox-Flow-Systeme (z. B. Vanadium-Redox-Flow-Batterie). Allen voran im asiatischen Markt werden im zunehmenden Maße Systeme mit Leistungen und Energien im Bereich Megawatt und Megawattstunden angeboten und realisiert. Luft-atmende Sekundärzellen, d. h. sekundäre Batterien mit Luftsauerstoff (Lithium-Luft-Batterie, Zink-Luft-Batterie) sind derzeit noch nicht marktreif, als Primärbatterien jedoch bereits kommerziell erhältlich. Die Attraktivität Luftbasierter Systeme liegt in der im Vergleich zu Li-Ionen-Batterien deutlich höheren Energiedichte und niedrigem Materialeinsatz. Niedrige Materialkosten und geringer Sicherheitsaufwand kommen bei Zink-Luftsauerstoffbatterien hinzu.

Generell ist die Entwicklung im Batteriesektor sehr dynamisch und ein Einstieg in die Forschung und Entwicklung von neuen Technologien sowie von prinzipiell bereits auf anderen Skalenordnungen etablierten Technologien (Li-Ionen Batterien) derzeit attraktiv. Kurzfristig ist aufgrund der derzeit höheren Technologiereife der Li-Ionen-Batterien von einer Dominanz dieser Technologie auszugehen. Prinzipielle Aussagen über die Eignung verschiedener derzeit in Forschung und Entwicklung befindlicher Batteriekonzepte können bereits jetzt unter Berücksichtigung der breit gefächerten Anwendungsanforderungen (mobil/stationär, kurzzeitig/mittelfristig, Leistung/Energie) getroffen werden. Eine zuverlässige Einschätzung, welche der Technologien sich