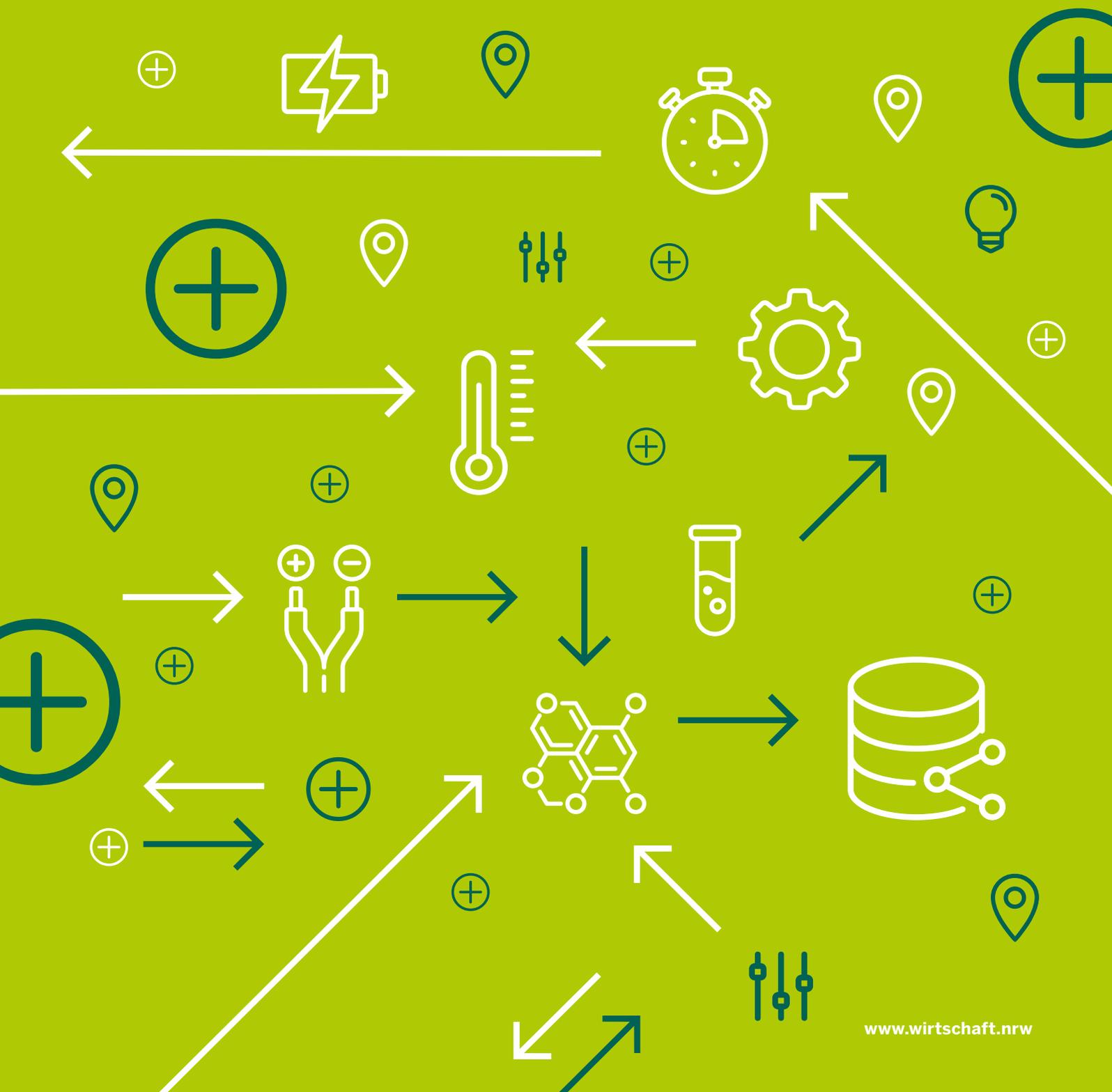




# Energiespeicherkonzept Nordrhein-Westfalen





**„Energiespeicher werden im zukünftigen klimaneutralen Energiesystem basierend auf erneuerbaren Energien eine noch weiterwachsende Bedeutung mit Blick auf die Flexibilität und Versorgungssicherheit erlangen.“**

**Nordrhein-Westfalen versteht sich als Vorreiter in der Energiespeicherentwicklung – dies wegen der historisch hohen Bedeutung des Landes für die Versorgungssicherheit in ganz Deutschland und entsprechend umfassender Energieinfrastrukturen und zugehöriger Kompetenzen in der Energietechnik und Energiewirtschaft bei Unternehmen sowie Hochschul- und Forschungseinrichtungen.“**



**Mona Neubaur**

Ministerin für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

# Energiespeicherkonzept Nordrhein-Westfalen



Liebe Leserinnen und Leser,

Nordrhein-Westfalen ist nicht nur das industrielle Herz Deutschlands, sondern auch ein zentraler Motor der Energiewende. Wir wollen die erste klimaneutrale Industrieregion Europas werden und gehen daher bei der Energie- und Wärmewende voran. Dies stellt uns vor eine doppelte Herausforderung: Zum einen wollen wir bis 2045 klimaneutral werden; zum anderen muss die Transformation des Energiesystems so gestaltet werden, dass sie Versorgungssicherheit, wettbewerbsfähige Energiepreise, Planbarkeit und Zukunftsfähigkeit gewährleistet. Energiespeicher werden dabei im zukünftigen klimaneutralen Energiesystem basierend auf erneuerbaren Energien eine noch weiterwachsende Bedeutung mit Blick auf die Flexibilität und Versorgungssicherheit erlangen. Nordrhein-Westfalen hat historisch eine hohe Bedeutung für die Versorgungssicherheit in ganz Deutschland und weist entsprechend eine bedeutende Energieinfrastruktur auf. Wir verstehen uns daher auch als Vorreiter in der Energiespeicherentwicklung und haben im Frühjahr 2023 einen breiten Beteiligungsprozess initiiert, bei dem wir gemeinsam mit zahlreichen Vertreterinnen und Vertretern aus Unternehmen, Verbänden, Zivilgesellschaft und Wissenschaft notwendige Maßnahmen erarbeitet haben, um Energiespeicher in ein zukunftsfähiges System zu integrieren, welches Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Klimaschutz gleichermaßen berücksichtigt. Für dieses Engagement, die Anregungen und die konstruktiven Diskussionen gilt allen Beteiligten mein herzlicher Dank!

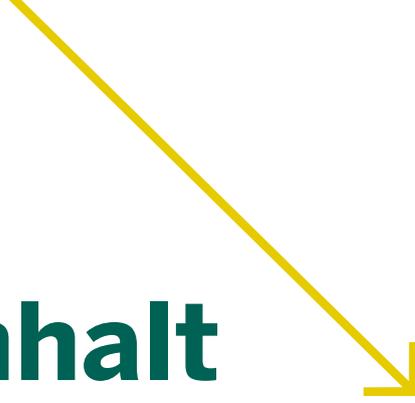
Ich freue mich nun sehr, Ihnen das Energiespeicherkonzept NRW präsentieren zu können. Dieses soll weit mehr als nur eine technische Strategie sein – es bietet einen klaren Handlungsrahmen, um die verschiedenen Speicherlösungen sinnvoll und effizient zu vernetzen und die notwendigen Technologien zu fördern. Alle wesentlichen Energiespeichertechnologien werden dabei in den Blick genommen. So werden Gas- und zunehmend Wasserstoffspeicher eine zentrale Rolle dabei spielen, große Mengen überschüssiger erneuerbarer Energie saisonal zu speichern und bedarfsorientiert bereitzustellen. Andere Speicherformen, wie Batteriesysteme und Pumpspeicher, werden benötigt, um die Flexibilität im Stromnetz sicherzustellen und Lastspitzen abzufedern. Ebenso sind Wärmespeicher in der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) entscheidend, um die Energieeffizienz zu steigern und Wärme bedarfsgerecht verfügbar zu machen. Es ist mir wichtig zu betonen, dass aussichtsreiche Speichertechnologieentwicklungen technisch und anwendungsseitig differenziert und technologieoffen vorangetrieben werden müssen. Es bedarf dabei insbesondere der Entwicklung geeigneter marktlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen, um die dringend erforderlichen Investitionen in Speicherlösungen attraktiv zu machen.

Ich lade Sie herzlich ein, den Weg Nordrhein-Westfalens als Vorreiter in der Energiespeicherentwicklung mit uns gemeinsam zu gestalten.

**Mona Neubaur**

Ministerin für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

# Inhalt



## 01 06–07 Einleitung



## 02 08–13 Zusammenfassung



## 03 14–19 Überblick über Energie- speichertechnologien



## 04 20–27 Stromspeicher: Entwicklung, Perspektiven so- wie Maßnahmen und Handlungserfordernisse



### 21–24 4.1 Entwicklung und Perspektiven



### 25–27 4.2 Maßnahmen und Handlungserfordernisse





# 05

28–33

## Wärmespeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse



29–31

### 5.1

Entwicklung und Perspektiven



32–33

### 5.2

Maßnahmen und Handlungserfordernisse



# 06

34–43

## Wasserstoffspeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse



35–39

### 6.1

Entwicklung und Perspektiven



40–43

### 6.2

Maßnahmen und Handlungserfordernisse



# 07

44–47

## Biogasspeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse



45–46

### 7.1

Entwicklung und Perspektiven



47

### 7.2

Maßnahmen und Handlungserfordernisse



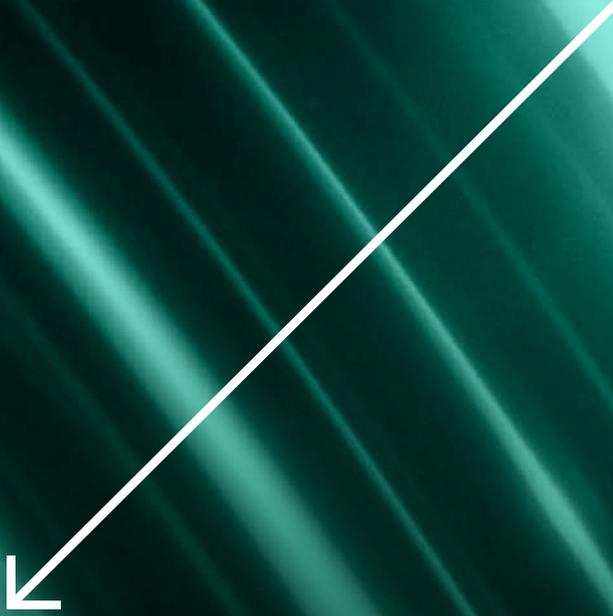
# 08

48–51

## Fazit

52 Quellenverzeichnis

53 Fußnotenverzeichnis



# 01

06–07

## Einleitung



Sowohl dezentrale als auch zentrale Energiespeicher in allen Formen (mechanisch, chemisch, thermisch, elektrochemisch und elektrisch) werden für einen versorgungssicheren Betrieb des zukünftigen Energiesystems immer wichtiger. Die nachfolgend vorgestellten Maßnahmen vertiefen inhaltlich den Themenbereich Speicher der „Energie- und Wärmestrategie“ und stellen eine wertvolle Ergänzung zu dieser umfassenden Grundstrategie dar.



Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahre 2045 treibhausgasneutral zu wirtschaften. In den Sektoren Gebäude, Industrie und Verkehr werden daher zunehmend strombasierte Lösungen und klimaneutrale Brennstoffe zum Einsatz kommen, sei es in direkter Form durch Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien oder indirekt, so z. B. über Sektorkopplungstechnologien als längerfristig speicherbaren Wasserstoff zur Substitution von fossilen Gasen und möglicher Rückverstromung oder als Wärme aus (Groß-)Wärmepumpen und Power-to-Heat.

Die Integration der stark wachsenden Anteile der Stromerzeugung aus Windenergie und Photovoltaik erfordert zukünftig mehr Flexibilität im Energiesystem. Neben der Bedeutung des europaweiten Netzausbaus und Strombinnenmarkts zum grenzüberschreitenden Ausgleich von Erzeugungsspitzen und der Flexibilität bei Verbrauchseinrichtungen wächst damit auch der Bedarf an Energiespeichern (Strom, Wärme, Wasserstoff). Sowohl dezentrale als auch zentrale Energiespeicher in allen Formen (mechanisch, chemisch, thermisch, elektrochemisch und elektrophysikalisch) werden daher für einen versorgungssicheren Betrieb des zukünftigen Energiesystems immer wichtiger.

Dies ist insbesondere auch für das dicht besiedelte Industrieland NRW von hoher Bedeutung. Im Wesentlichen gilt es, ein breites Spektrum an Energiespeichersystemen für

unterschiedliche Anwendungsfelder weiterzuentwickeln, zu optimieren und wirtschaftlich einsetzbar zu machen. Das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (im Folgenden kurz MWIKE genannt) hat hierzu im Frühjahr 2023 den Prozess für ein Energiespeicherkonzept gestartet. In acht von der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate organisierten Workshops unter Beteiligung von Akteurinnen und Akteuren aus Unternehmen, Verbänden, Hochschulen und Forschungseinrichtungen wurden wesentliche Energiespeicherarten untersucht. Neben Gas- und Wasserstoffspeichern standen dabei auch Wärme-, Strom-, und Biogasspeicher im Fokus. Nach einer Bestandsaufnahme und der Ermittlung der zu erwartenden Entwicklungspfade und energiespeicherspezifischen Handlungserfordernisse konnten im Rahmen des Stakeholderprozesses viele wertvolle Informationen gewonnen werden. Darüber hinaus wurden in den vergangenen Monaten vielfältige Gesprächsformate inkl. Workshops mit Unternehmen, Verbänden und der Wissenschaft geführt, deren Ergebnisse im Handlungskonzept „Energiespeicher NRW“ Berücksichtigung fanden.

Die nachfolgend vorgestellten Maßnahmen vertiefen inhaltlich den Themenbereich Speicher der „Energie- und Wärmestrategie“ und stellen eine wertvolle Ergänzung zu dieser umfassenden Grundstrategie dar.

**Im Wesentlichen gilt es, ein breites Spektrum an Energiespeichersystemen für unterschiedliche Anwendungsfelder weiterzuentwickeln, zu optimieren und wirtschaftlich einsetzbar zu machen.**



# 02

## 08–13

### Zusammenfassung



Das MWIKE unterstützt die nachfolgenden Prozesse mit vielfältigen Aktivitäten von der Vernetzung – dies insbesondere auch mit Hilfe der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate – bis hin zur Initiierung geeigneter Rahmensetzungen gegenüber dem Bund und der EU.



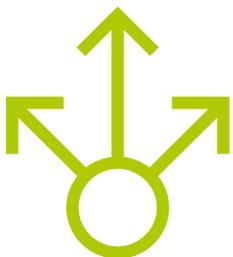
# Energiespeicher sind wichtige Garanten für Flexibilität und Versorgungssicherheit, da sie die Zeitpunkte der Erzeugung und des Verbrauchs von Energie voneinander entkoppeln.

Diese Eigenschaft wird im Energiesystem der Zukunft, welches durch erneuerbare Energien geprägt sein wird, eine nochmals stark zunehmende Rolle beim Ausgleich wachsender Volatilitäten im Energiesystem spielen.

Energiespeichertechnologien gibt es in zahlreichen technischen Ausprägungen. Zu den bedeutendsten Energiespeichern zählen aktuell Mineralöl- und Gasspeicher, Batterie- und Pumpspeicher sowie Wärmespeicher. Besonders die fossilbasierten Energiespeicher bilden heute

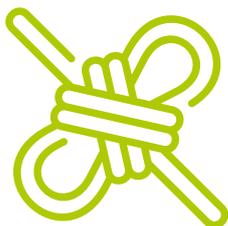
mit ca. 800 TWh (Mineralöl) und rund 250 TWh (Erdgas) das Rückgrat der Versorgungssicherheit in Deutschland. Die häufig erwähnten Stromspeicher weisen dagegen derzeit eine Gesamtspeicherkapazität in der Größenordnung von einem Hundertstel TWh und leisten somit einen wichtigen, aber im Vergleich zu anderen Speicherarten eher untergeordneten, Beitrag. Dies muss sich in der Zukunft ändern, denn ohne ausreichende Energiespeicher kann das Energiesystem der Zukunft nicht funktionieren.

## Folgende zentrale Botschaften des Handlungskonzepts Energiespeicher NRW können zusammengefasst werden:



→ **Der bedarfsgerechte Um-, Aus- und Aufbau der verschiedenen Energieinfrastrukturen ist für den Erfolg der Energie- und Wärmewende essenziell.**

Die Energie- und Wärmewende bedarf eines sehr umfassenden Um- und Neubaus „der richtigen Infrastrukturen im richtigen Umfang am richtigen Ort“. Mit einem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien gewinnen dabei auch Energiespeicher für die Energie- und Wärmewende zunehmend an Bedeutung. Dies gilt für Stromspeicher ebenso wie für Gas- und Wasserstoffspeicher und auch für Wärmespeicher.



→ **Maßnahmen zur Stärkung des erforderlichen Speicherausbaus müssen technologieabhängig und in Abhängigkeit des Marktumfelds im Einzelfall unterschiedlich akzentuiert werden. Im Kern gibt es jedoch gemeinsame Handlungsschwerpunkte.**

Wenngleich die Maßnahmen zur Stärkung des erforderlichen Speicherausbaus technologieabhängig und in Abhängigkeit des Marktumfelds im Einzelfall unterschiedlich akzentuiert werden müssen, so können im Kern doch gemeinsame Handlungsschwerpunkte identifiziert werden:

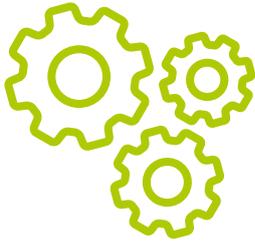
Diese betreffen die **Schaffung verlässlicher Investitionsrahmenbedingungen, insbesondere durch den Abbau regulatorischer Hemmnisse und die Stärkung von Speichergeschäftsmodellen und des Marktdesigns insgesamt**, in welchem sich die Speichertechnologien zukünftig bewegen werden. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass für den Ausbau von Wärme- und Wasserstoffspeichern sowie Pumpspeicherkraftwerken aktuell die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mit Blick auf ein langfristig geeignetes Marktdesign fehlen sowie regulatorische Randbedingungen verbessert werden müssen. Für die notwendige Investitionssicherheit in Speichertechnologien müssen diese angepasst werden. Deshalb sind verlässliche Perspektiven für den notwendigen Speicherausbau im zukünftigen Energiesystem von hoher Bedeutung, da nur so eine bedarfsgerechte Planung des Speicherausbaus möglich wird. Maßnahmen zur Stärkung des Speicherausbaus betreffen hinsichtlich regulatorischer Fragen im Wesentlichen EU- und Bundesrecht.

**Das MWIKE wird sich deshalb auch in die Gesetzgebungsverfahren auf Bundesebene über den Bundesrat einbringen.**



→ **Ein technologieoffener Ausbau der Speichertechnologien und ihre systemische Würdigung als wichtiger Baustein des künftigen Energieversorgungssystems können den Speicherausbau insgesamt stärken.**

Neben dem weiteren technisch und anwendungsseitig differenziert und technologieoffen voranzutreibenden Ausbau der Speichertechnologien wird ihre systemische Würdigung als wichtiger Baustein des künftigen Energieversorgungssystems ein wesentlicher Aspekt werden, der den Speicherausbau auch stärken kann. Hierzu müssen die zukünftigen Energieinfrastrukturen und der zugehörige Transformationsprozess energieträgerübergreifend betrachtet und geplant werden. Denn im Zuge der Sektorenkopplung wachsen die Sektoren immer stärker zusammen – ein wichtiges Bindeglied dabei sind Speichertechnologien. Durch die gemeinsame Betrachtung von Strom-, (Bio-) Gas-, Wasserstoff- und letztlich auch Wärmeinfrastrukturen können Synergieeffekte bei der Planung und Realisierung insbesondere auch von Speichereinfrasturktur genutzt werden.



→ **Der Speicherausbau weist vielschichtige Verzahnungen mit den Ausbauerfordernissen und zugehörigen Handlungsfeldern beim Transformationsprozess im Strom-, Gas- und Wärmesektor und zugehörigen Sektorenkopplungsprozessen auf.**

Die systemische Funktion von Speichern weist komplexe Verzahnungen mit den Ausbauerfordernissen und zugehörigen Handlungsfeldern beim Transformationsprozess im Strom-, Gas- und Wärmesektor insgesamt und mit zugehörigen Sektorenkopplungsprozessen auf. Diesbezüglich sei auf die zusammenhängende Beschreibung dieser komplexen Interdependenzen in der soeben vorgelegten Energie- und Wärmestrategie verwiesen, in der Speichertechnologien ja auch in ihrer Bindegliedfunktion beschrieben werden.



→ **Der erwartete große Speicherausbaubedarf macht die Nutzung sämtlicher Beschleunigungspotenziale bei Planung, Genehmigung und nachgelagerten Verfahren erforderlich.**

Es ist deutlich erkennbar, dass es bezüglich der zu erwartenden großen Speicherausbaubedarfe bereits Anfang bis Mitte des kommenden Jahrzehnts auch einer Beschleunigung des zugehörigen Infrastrukturausbaus bedarf, denn die Vorlaufzeiten – von der Bedarfsermittlung bis zur Realisierung – sind lang. Sämtliche Beschleunigungspotenziale bei Planung, Genehmigung und nachgelagerten Verfahren sind daher zu nutzen.



→ **Batteriespeicher und Pumpspeicherkraftwerke leisten bereits heute einen wichtigen Beitrag zu einem stabilen und sicheren Betrieb des Stromversorgungssystems, welches zukünftig noch stärker deren systemdienliche Eigenschaften nutzen wird.**

Die wichtigsten verfügbaren Kurzzeitspeicher für Strom stellen derzeit Batteriespeicher (Großbatterien und dezentrale Heimspeicher) und Pumpspeicherkraftwerke (PSW) dar. Mit diesen Eigenschaften leisten beide Speichertechnologien bereits heute einen wichtigen Beitrag zu einem stabilen und sicheren Betrieb des Stromversorgungssystems, indem sie insbesondere auch Systemdienstleistungen in Übertragungs- und Verteilnetzen erbringen (z. B. Regelleistung, Spannungshaltung, Schwarzstartfähigkeit). Überdies kann der Einsatz von Stromspeichern als sogenannter „Netzpuffer“ präventiv im Redispatch zur Engpassreduktion im Verbund mit der Nutzung intelligenter und digitaler Ansätze dazu beitragen, den Netzausbaubedarf auf allen Netzebenen zu reduzieren. Dazu müssen Speicher möglichst systemdienlich verortet und eingesetzt werden. Der erforderliche Ausbau von Speichern ist gleichwohl kein Ersatz für den Netzausbau selbst.

Die Gewährleistung der Stabilität des Energiesystems und der Versorgungssicherheit ist primär mit dem möglichst ungehinderten und unmittelbaren Transport von Strom oder auch Gasen vom Ort der Erzeugung zu den Verbrauchsorten verknüpft. Speicher haben jedoch mit ihren systemdienlichen Eigenschaften eine wichtige unterstützende Aufgabe bei der Stärkung der gesamtsystemischen Stabilität, die jedoch weiterhin maßgeblich durch den dringend erforderlichen Netzausbau geprägt sein wird.

**Batteriespeicher** sind aktuell grundsätzlich marktfähig, allerdings sind regulatorische Anpassungen für ein großflächiges Roll-out im Segment der Großspeicher erforderlich. Fahrzeugbatterien im Bereich der E-Mobilität können perspektivisch eine wichtige Rolle spielen, um regional die zusätzlich erforderliche Flexibilität bereitzustellen sowie – bei geeigneten Rahmenbedingungen – die Rolle des Prosumers zu stärken. Hier müssten sowohl Preissignale als auch systemdienliche lokale Netzsignale beim bivalenten Laden Berücksichtigung finden. Der Elektroautomarkt wird voraussichtlich auch mit Blick auf die Kostendegression bei Batterien eine maßgebliche Rolle spielen.

**Pumpspeicherkraftwerke** sind heute ein wichtiger Garant für die Bereitstellung gesicherter Leistung und können elektrische Energie in großer Menge über mehrere Stunden speichern. Sie erbringen wichtige Systemdienstleistungen (z. B. die Schwarzstartfähigkeit). Die aktuelle Marktsituation für PSW bietet derzeit keine ausreichende Perspektive auf wirtschaftliche Tragfähigkeit. Der Neubau eines PSW ist mit erheblichen Eingriffen in die Umwelt und Raumwirkungen verbunden und kann vor Ort zu erheblichen Akzeptanzproblemen führen. Angesichts der Realisierungszeiten von bis zu 15 Jahren für große PSW und vor allem der aktuellen regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erscheint das marktliche Interesse an PSW-Neubauten trotz mehrerer bereits vor rund zehn Jahren entwickelter Projekte im Volumen mehrerer Gigawatt (GW) gering.



→ **Wärmespeicher spielen bereits heute – und in Zukunft noch verstärkt – eine wichtige Rolle als Flexibilisierungsinstrument sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor.**

**Wärmespeicher** spielen bereits heute als Flexibilisierungsinstrument eine wichtige Rolle sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor. Mit Blick auf den Ausbaubedarf ist festzustellen, dass dieser bereits kurzfristig zunehmen wird, sowohl in Wärmenetzstrukturen, z. B. als Puffer-, Tages- oder saisonale Wärmespeicher für Quartiere und integrierte Wärme- und Kältespeicher in Wärme- und Kältenetzen, als auch in industriellen Prozessen (z. B. Hochtemperaturspeicher). Auch thermische Kraftwerke müssen perspektivisch verstärkt mit Wärmespeichern zur weiteren Flexibilisierung und optimierten Fahrweise ausgestattet werden. Wärmespeicher spielen ebenso eine wichtige Rolle bei der Transformation vorhandener KWK-Systeme und ermöglichen mit einem entsprechend änderungsbedürftigen KWK-Design den stromgeführten Einsatz von KWK-Anlagen. So können bedarfsgerecht, effizient und flexibel Strom und Wärme bereitgestellt und dadurch die Versorgungssicherheit insgesamt gestärkt werden.



→ Für die Langzeitspeicherung werden direkte Speicherkapazitäten für elektrische Energie allein nicht ausreichen. Die zukunftsfeste Weiterentwicklung der Gasspeicherkapazitäten in Richtung Wasserstoff und der Neubau von Wasserstoffspeichern haben daher eine hohe Bedeutung.

Insbesondere die Transformation der sehr großen Speicherkapazitäten im Gasbereich für alle Sektoren und die Erschließung neuer **Wasserstoffspeicher** sind wichtig im Hinblick auf die Langzeitspeicherung großer Energiemengen. So eignet sich beispielsweise Wasserstoff als chemisches Langzeitspeichermedium. Die werterhaltende und zukunftsfeste Weiterentwicklung der Gasspeicherkapazitäten in Richtung Wasserstoff hat daher eine hohe Bedeutung. Wasserstoffspeicher sind für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft notwendig. Deshalb müssen die Speicherinfrastrukturen rechtzeitig im sukzessiven transformativen Übergang von der fossilen zur erneuerbaren Energieträgerbasis zur Verfügung stehen, um keine Versorgungssicherheitsdefizite oder Lock-in-Effekte zu erzeugen.

Bereits Anfang der 2030er-Jahre werden ausweislich zahlreicher szenariengestützter Prognosen in nennenswertem Umfang mehrere TWh Wasserstoffspeicher zur Verfügung stehen müssen. Im Laufe der 2030er-Jahre ist dann mit einem weiteren starken Anstieg der Wasserstoffnachfrage und entsprechender Speicherbedarfe zu rechnen. Dem stehen vergleichsweise wenige Projekte mit nur einem Bruchteil der voraussichtlich benötigten Kapazitäten gegenüber. Der Transformationsprozess zum künftigen Um- und Neubau geeigneter Wasserstoffspeicher hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher, rechtlicher und regulatorischer Rahmensetzungen erfordert deshalb kurzfristig Maßnahmen, um den erforderlichen Investitionsentscheidungen hinsichtlich der Bau- und Umrüstungsmaßnahmen und den daraus resultierenden langen Vorlaufzeiten vor einer Inbetriebnahme angemessen Rechnung zu tragen.



→ NRW hat große Kompetenzen in der Speichertechnologieentwicklung, deren Nutzung durch die Landesregierung mit vielfältigen Aktivitäten gestärkt wird.

NRW bietet als landesspezifische Stärken neben einer großen Forschungs- und Entwicklungskompetenz auf Unternehmensseite und bei Hochschulen und Forschungseinrichtungen auch im Maschinen- und Anlagenbau große Potenziale bei der Komponenten- und Systemherstellung im Bereich der Speichertechnologien. Diese Kompetenzen gilt es zu nutzen und bei den hier geplanten Aktivitäten einzubeziehen. Im Wesentlichen gilt es dabei, ein breites Spektrum an Speichersystemen für unterschiedliche Anwendungsfelder zu entwickeln, zu optimieren und wirtschaftlich einsetzbar zu machen. Aussichtsreiche Speichertechnologieentwicklungen sollten dabei sowohl technisch und anwendungsseitig differenziert vorangetrieben und – wo nötig und möglich – skaliert und im industriellen Maßstab eingeführt werden. Hierbei sollten auch dezentrale Speicheroptionen, z. B. in der Industrie, Berücksichtigung finden.

# 03

14–19

## Überblick über Energiespeichertechnologien



Den Schwerpunkt dieses Handlungskonzepts bilden die Kategorien Stromspeicher, Wärmespeicher sowie Wasserstoffspeicher, die nach heutigem Erkenntnisstand ein wichtiges Bindeglied im Energiesystem der Zukunft darstellen werden. Diese Speichertechnologien stärken die versorgungssichere Bereitstellung wesentlicher Energieformen bzw. Energieträger (also Strom, Wärme und auf Basis erneuerbarer Energie erzeugter Gase) in den verschiedenen Verbrauchssektoren und ermöglichen gleichzeitig deren sektorenübergreifende Verknüpfung.

Energiespeicher (Strom, Gas und Wärme, aber auch Mineralöl) nehmen bereits heute eine wichtige Rolle im Energiesystem ein und weisen in den meisten Sektoren einen erheblichen Ausbaubedarf auf. Dezentrale und zentrale Energiespeicher in allen Formen (mechanisch, chemisch, thermisch, elektrochemisch und elektrisch) werden für die Versorgungssicherheit im zukünftigen Energiesystem – basierend auf erneuerbaren Energien

und in zunehmender Sektorenkopplung – immer wichtiger werden. Sie ermöglichen es, die Sektoren Industrie, Strom- und Wärmeversorgung sowie Verkehr enger miteinander zu verzahnen und so durch Flexibilisierung und Ausgleich von Volatilitäten durch dezentrale und zentrale Energiespeicher die Versorgungssicherheit im zukünftigen Energiesystem insgesamt zu stärken.

## Dezentrale und zentrale Energiespeicher



Elektro-  
chemisch



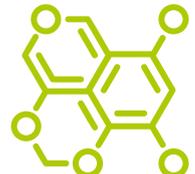
Mechanisch



Elektrisch



Thermisch



Chemisch

Es gibt heute bereits eine Vielzahl an Speichertechnologien mit unterschiedlichen Speichermedien, die sektorenübergreifend in unterschiedlichen Anwendungsfeldern und technischen Ausprägungen eingesetzt werden können. Einige Technologien sind bereits seit Jahrzehnten im technischen Maßstab betriebsbewährt; andere Technologien befinden sich auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen.

Gas- und Mineralölspeicher sind die einzigen derzeit verfügbaren und bedeutsamen Langzeitspeicher. Ihre große Speicherkapazität korrespondiert auch mit der weiterhin sehr hohen Bedeutung dieser Energieträger. So wiesen Mineralöl mit 35,6 Prozent und Erdgas mit 24,8 Prozent im Jahr 2023 weiterhin die höchsten Energieträgeranteile am gesamten Primärenergieverbrauch in Deutschland auf. Die Gesamtspeicherenergie der Erdgasspeicher in Deutschland liegt aktuell bei rund 250 TWh (davon etwa 37 TWh in NRW) und deckt damit etwa ein Viertel des bundesdeutschen Jahresverbrauchs ab.

**Die Gesamtspeicherenergie der  
Erdgasspeicher in Deutschland  
liegt aktuell bei rund**

**250** TWh.

Deutschland besitzt die größte Speicherkapazität für Erdgas in der EU. Auch bei den Mineralölspeichern zeigt sich in Deutschland eine umfangreiche und geografisch breit verteilte Tanklagerkapazität, die im Mineralölkreislauf bewirtschaftet wird. Allein die vom Erdölbevorratungsverband (EBV) gehaltenen Vorräte an Rohöl und Mineralölprodukten entsprechen mit rund 23 Mio. Tonnen einem Speicherenergieinhalt von rund 270 TWh und decken den Gesamtbedarf an Mineralöl in Deutschland für etwa 90 Tage ab. Die gesamte Mineralölspeicherinfrastruktur in Deutschland beträgt nach hier vorliegenden Daten (Stand 31.12.2015) rund 62 Mio. Kubikmeter, wovon 40 Prozent auf Kavernen entfallen. Dies entspricht grob gerechnet einem Energiespeicherinhalt von rund 800 TWh.

Zur vergleichenden Einordnung dieser Zahlen: Die installierte Batteriespeicherkapazität in Deutschland über alle Segmente von Batterieheimspeichern bis zu Großbatteriespeichern liegt derzeit zusammengerechnet bei

etwa 0,013 TWh (zusammengesetzt aus rund 10 GWh für Heimspeicher, rund 1 GWh aus Gewerbespeichern und rund 1,5 GWh für Batteriegroßspeicher, also 0,0125 TWh; gerundet 0,013 TWh), diejenige von an das deutsche Netz angeschlossenen Pumpspeicherkraftwerken bei etwa 0,04 TWh und damit um vier Größenordnungen (1:10.000) unter den verfügbaren Speicherkapazitäten im Erdgas- und Mineralölbereich.

Bezogen auf die Stromspeicherleistung wird der weit überwiegende Anteil (> 90 Prozent) heute weltweit durch Pumpspeicherkraftwerke abgedeckt. Die restlichen netzgekoppelten Speicher betreffen andere mechanische Speicher (alles außer Pumpspeicher), elektrochemische Speicher (Batterien) und thermische Speicher. Nicht-fossile Gasspeicher (z. B. Wasserstoff) haben heute noch wenig Bedeutung.



**Deutschland besitzt die  
größte Speicherkapazität  
für Erdgas in der EU.**

Alle Technologien weisen je nach Eigenschaft und Speichergröße unterschiedliche Vor- und Nachteile auf, die insbesondere über folgende typische Kennzahlen miteinander verglichen werden können:

- **Energiekapazität** (kWh)  
maximal speicherbare Energie im System
- **Leistungskapazität** (kW)  
maximale Leistungsaufnahme und -abgabe
- **Speicherdauer** (h)  
bei voller Leistung
- **Einspeicher- und Ausspeicherzeit** (sec., min.)  
Kurz- und Langzeitspeicher
- **Form der Energiespeicherung**  
potenzielle Energie, Wärme, chemische Energie etc.
- **Lebensdauer des Speichers** (Jahre),
- **Zyklenanzahl**  
Anzahl von Lade- und Entladeprozessen
- **Selbstentladung** (Prozent/h oder Prozent/Zyklus)  
Abnahme der Speicherkapazität bezogen auf die ursprüngliche Kapazität
- **Capex- und Opexkosten** (€/kW und €/kWh)  
Capex = capital expenditure (Investitionskosten),  
Opex = operational expenditure (Betriebskosten)
- **Mögliche Systemdienstleistungen**  
Primär-, Sekundärregelung, saisonale Energiespeicherung etc.
- **Entwicklungsstand der Technologie**  
Technologiereifegrad

Um beispielsweise Dunkelflauten überbrücken zu können, bedarf es – neben einer versorgungssicheren Kraftwerksleistung – insbesondere auch chemischer Speicher, die sukzessive von heutigen erdgasbasierten Systemen auf Wasserstoff und andere erneuerbare Gase umgestellt werden.

Für eine vollständige Dekarbonisierung des gesamten Energiesystems ist darüber hinaus insbesondere auch die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wichtig. Hier spielen Wärmespeicher als Flexibilisierungsinstrument zunehmend volatiler Wärmequellen auf Basis erneuerbarer Energie eine wichtige Rolle und dies sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor. Wärmespeicher werden dabei in leitungsgebundenen Wärme- und Kältenetzen ebenso wie in industriellen Prozessen eine weiter wachsende Bedeutung erlangen. Auch thermische

Kraftwerke müssen perspektivisch verstärkt mit Wärmespeichern zur weiteren Flexibilisierung und optimierten Fahrweise ausgestattet werden. Ebenso werden Wärmespeicher eine wichtige Rolle bei der Transformation vorhandener Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK-Systeme) spielen und ermöglichen mit einem entsprechend änderungsbedürftigen KWK-Design den stromgeführten Einsatz von KWK-Anlagen. So können bedarfsgerecht, effizient und flexibel Strom und Wärme (z. B. für Fernwärmesysteme) bereitgestellt und dadurch die Versorgungssicherheit insgesamt gestärkt werden.

Eine schematische Kategorisierungsübersicht von Energiespeichern nach Energieart und -umwandlung zeigt die nachfolgende Abbildung 1. Technische Parameter verschiedener Speichertechnologien werden in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt:

Abbildung 1: Kategorisierung von Energiespeichern nach Energieart und -umwandlung

Quelle: NRW.Energy4Climate

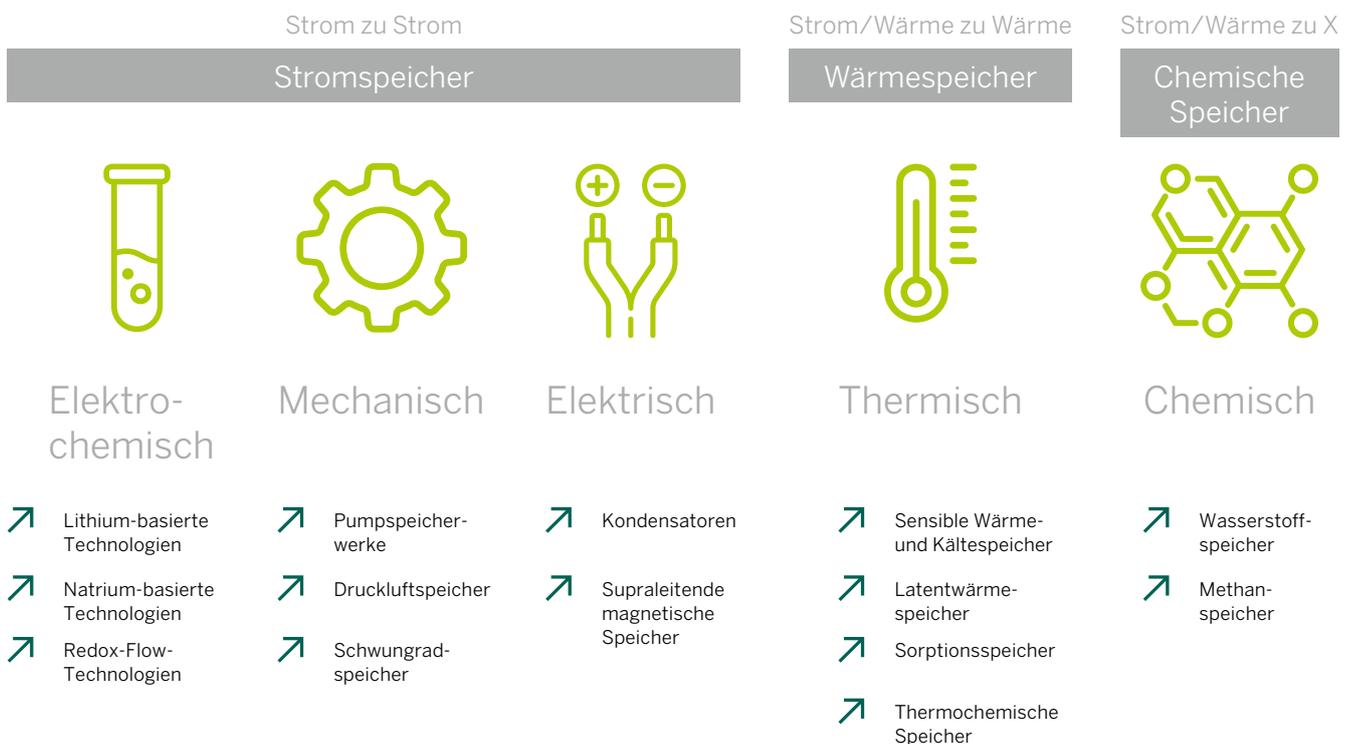


Tabelle 1: Technische Parameter verschiedener Speichertechnologien<sup>1</sup>

	Elektrochemisch		Mechanisch		Thermisch	Chemisch
	Lithium-Ionen-Batterie	Redox-Flow-Batterie	Pumpspeicherkraftwerk	Druckluftspeicher	Sensibler Wärmespeicher: Wärme-zu-Wärme	Wasserstoff: Strom-zu-Gas-(zu-Strom)
<b>Speicherkapazität</b>	≥ Mehrere MWh	≥ Mehrere MWh	Mehrere GWh	Einige GWh	10–50 kWh/t	Bis über 100 GWh
<b>Technische Reife</b>	Kommerzialisierung	Frühphase der Kommerzialisierung	reif	reif	Kommerzialisierung	Demonstration
<b>Wirkungsgrad</b>	85–95 Prozent	60–85 Prozent	75–85 Prozent	45–70 Prozent	50–90 Prozent	20–55 Prozent
<b>Reaktionszeit</b>	Millisekunden	Millisekunden	Sekunden bis Minuten	Minuten	Minuten	Sekunden
<b>Typische Speicherdauer</b>	Einige Minuten bis 4 Stunden	Mehrere Stunden	Mehrere Stunden	Mehrere Stunden	Stunden bis Monate	Mehrere Monate
<b>Lebensdauer</b>	5–15 Jahre	5–10 Jahre	40–60 Jahre	20–40 Jahre	Über 30 Jahre	Über 30 Jahre
<b>Typische Anwendungen</b>	Elektromobilität, Time Shifting, Spannungsqualität, Inselnetz	Time Shifting, Inselnetz	Time Shifting, Spannungsqualität	Time Shifting, Spannungsqualität	Time Shifting, saisonale Wärmespeicherung	Time Shifting, Rohstoff für die chemische und petrochemische Industrie, Treibstoff

Den Schwerpunkt dieses Handlungskonzepts bilden die Kategorien Stromspeicher, Wärmespeicher sowie Wasserstoffspeicher, die nach heutigem Erkenntnisstand ein wichtiges Bindeglied im Energiesystem der Zukunft darstellen werden. Diese Speichertechnologien stärken die versorgungssichere Bereitstellung wesentlicher Energieformen bzw. Energieträger, also Strom, Wärme

und auf Basis erneuerbarer Energie erzeugter Gase, in den verschiedenen Verbrauchssektoren und ermöglichen gleichzeitig deren sektorenübergreifende Verknüpfung. Abschließend gibt das Handlungskonzept einen Überblick über die Rolle von Biogasspeichern als weiteren Baustein der Energiespeicherung in Deutschland und NRW.

# 04

20–27

## **Stromspeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse**



Pumpspeicherwerke, Großbatterien und dezentrale Heimspeicher – überwiegend ausgeführt als Lithium-Ionen-Batterien – stellen derzeit die wichtigsten verfügbaren Kurzzeitspeicher für Strom dar, um in einem zunehmend durch erneuerbare Energien geprägten Energiesystem die notwendige Flexibilität zwischen Angebot und Nachfrage gewährleisten zu können.



## 4.1 Entwicklung und Perspektiven

Stromspeicher gibt es in unterschiedlichen technologischen Ausprägungen, deren bereits vielfach betriebsbewährte Varianten sich grob in folgende Speicherarten unterteilen lassen:

- **Großspeicher (Pumpspeicherkraftwerke, Großbatteriespeicher),**
- **Kleinspeicher (Gewerbespeicher, Heimspeicher und rückspeisende Elektromobile).**

**Großbatterien und dezentrale Heimspeicher – überwiegend ausgeführt als Lithium-Ionen-Batterien – und PSW stellen derzeit die wichtigsten verfügbaren Kurzzeitspeicher für Strom dar, um in einem zunehmend durch erneuerbare Energien geprägten Energiesystem die notwendige Flexibilität zwischen Angebot und Nachfrage gewährleisten zu können.**

Die Ausspeisedauern bei PSW bewegen sich meist im Bereich von rund 4h, auch Batteriespeicher sind aktuell mit typischerweise 1h bis 2h Kapazität eher als Kurzzeitspeicher ausgelegt. Infolge der Erwartung sinkender Kosten für Batteriespeicherkapazitäten (Skaleneffekte durch den Einsatz in der Elektromobilität) und des marktgetriebenen Bedarfs an Flexibilität wird auch gemäß des Szenariorahmens zum Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber für den Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045, Version 2025 (Stand Juni 2024), angenommen, dass sich das durchschnittliche Verhältnis von Speicherkapazität zu Speicherleistung bei Großbatteriespeichern bis 2045 auf vier Stunden erhöhen dürfte.

Es geht bei diesen Speichertechnologien also um eine schnelle Leistungsabgabe und weniger um eine längerfristige Kapazitätsbereitstellung (Energieinhalt). Mit diesen Eigenschaften tragen beide Speichertechnologien bereits heute zu einem stabilen und sicheren Betrieb des Stromversorgungssystems bei, indem sie insbesondere auch systemdienliche Netzdienstleistungen in Übertragungs- und Verteilnetzen erbringen (z. B. Regelleistung, Spannungshaltung, Blindleistungskompensation oder Schwarzstartfähigkeit).

### Entwicklung auf Bundesebene

Im Segment der Batteriespeicher hat es in den letzten Jahren insbesondere durch den Einsatz von Heimspeichern eine erhebliche Ausbaudynamik gegeben. Heimspeicher werden heutzutage hauptsächlich für die Optimierung des Eigenverbrauchs, aber in Zukunft auch zum Teil strommarktorientiert eingesetzt. Vor allem in Kombination mit Photovoltaik (PV), Wärmepumpen und Elektromobilität bieten Heimspeicher große Flexibilitätspotenziale.

Ende 2023 waren rund 1,1 Mio. Heimspeicher (typischerweise mit einer Speicherkapazität von unter 10 kWh) mit einer Gesamtleistung von rund 6,1 GW in Deutschland installiert. Die zugehörige aggregierte Speicherkapazität liegt damit bei rund 9,8 GWh. Ende 2020 lag sie noch bei 1,5 GWh (zur Umrechnung: 1 GWh = 0,001 TWh).

**Es geht bei diesen Speichertechnologien also um eine schnelle Leistungsabgabe und weniger um eine längerfristige Kapazitätsbereitstellung (Energieinhalt).**

## Der Markt für **Gewerbe- und Industrie-**speicher wächst und hat zwischen 2021 und 2022 ein Wachstum von

380 Prozent **verzeichnet.**

Als Gewerbespeicher werden Stromspeicher mit einer Speicherkapazität von etwa 30 kWh bis 1.000 kWh bezeichnet. Bezüglich der installierten Speicherkapazität wurde die Schwelle von 1 GWh im Jahr 2022 überschritten. Dieses Wachstum ist vor allem auf neue Anwendungsgebiete wie die Integration großer Photovoltaik- und Windparks, die Energieoptimierung von Industriestandorten oder den Handel an volatilen Energiemärkten zurückzuführen.

Die installierte Leistung von Batteriegroßspeichern in Deutschland wächst ebenso stark an und liegt bei derzeit rund 1,6 GW mit einer zugehörigen Speicherkapazität von rund 1,5 GWh. Großbatteriespeicher haben typischerweise eine Speicherkapazität von über 1.000 kWh. Sie werden derzeit überwiegend zur Erbringung von Systemdienstleistungen eingesetzt und liefern mittlerweile einen erheblichen Teil der Primärregelreserve. Dabei erfolgt die Vermarktung am Spot- und auch am Regelleistungsmarkt. Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich aus dem „Spread“ (Preisdifferenz zwischen Hochpreis- und Niedrigpreiszeiten). Auch eine netzdienliche Nutzung ist gemäß Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045 der deutschen Übertragungsnetzbetreiber vorgesehen, um eine Reduktion von Redispatch und EE-Abregelung zu unterstützen. Daneben eröffnen sich für Großbatterien zunehmend neue Anwendungsfelder, wie z. B. als „Netzbooster“ zur Netzbetriebsführung sowie bei der Optimierung des Energiemanagements an großen Industriestandorten.

### Entwicklung auf Landesebene

In NRW sind aktuell insgesamt knapp 2,2 GWh (Januar 2024) an stationären Batteriespeichern vorhanden. Der größte Anteil an gemeldeten Batteriespeichern in NRW entfällt auf die Heimspeicher (1,9 GWh). Auch die Landesregierung hat diesen Hochlauf unterstützt. Von 2016 bis 2022 wurden in NRW in etwa 61.000 Anträgen stationäre Batteriespeicher in Verbindung mit neu zu errichtenden PV-Anlagen mit insgesamt mehr als 100 Mio. EUR gefördert. Großspeicher (223,1 MWh) bilden in NRW den zweitgrößten Markt vor den Gewerbespeichern (102,6 MWh).

### Perspektiven

Die mit Fortschreiten der Energiewende wachsende Bedeutung von Stromspeichern wird teilweise unterschiedlich prognostiziert. Dabei spielen die unterstellten Annahmen zum künftigen Strombedarf und zum Fortschritt des Netzausbaus ebenso eine Rolle wie der erreichbare Grad der Sektorenkopplung im Energiesystem insgesamt. **Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der erforderliche Ausbau von Speichern kein Ersatz für den Netzausbau selbst sein kann.** Die Gewährleistung der Stabilität des Energiesystems und der Versorgungssicherheit ist primär mit dem möglichst ungehinderten und unmittelbaren Transport von Strom oder auch Gas vom Ort der Erzeugung zu den Verbrauchsorten verknüpft. Speicher haben jedoch mit ihren systemdienlichen Eigenschaften eine wichtige unterstützende Aufgabe bei der Stärkung der gesamtsystemischen Stabilität, die jedoch weiterhin maßgeblich durch den dringend erforderlichen Netzausbau geprägt sein wird.

Es ist deutlich erkennbar, dass aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien, der zunehmenden Elektrifizierung und Sektorenkopplung sowie der weiteren zu erwartenden Skaleneffekte bei der Kostendegression von Batterien aus dem Elektroautomarkt mit einer weiteren signifikanten Zunahme der Batteriespeicherkapazität zu rechnen sein dürfte. So werden beispielsweise bezüglich des Zubaubedarfs von Stromspeichern bis 2030 bzw. 2045 im Entwurf des Szenariorahmens zum Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045, Version 2025 (Stand Juni 2024), im Jahr 2037 deutschlandweit szenarienabhängig zwischen 18 und 36 GW installierte Kapazitäten für Großbatteriespeicher (zugehörige Speicherkapazität zwischen 36 und 72 GWh) erwartet; das entspricht mindestens dem Zwanzigfachen des Ausbaustands an Großbatteriespeichern in Deutschland Ende 2023.

Ein Großteil der gemeldeten Großbatteriespeicher ist mit einem Verhältnis von Speicherkapazität (Energie, z. B. angegeben in GWh) zu installierter Speicherleistung (z. B. angegeben in GW) von zwei Stunden geplant und soll bereits bis zum Jahr 2028 in Betrieb gehen. Für das Jahr 2045 werden Großbatteriespeicher mit einer Anschlussleistung zwischen 21 und 44 GW (zugehörige Speicherkapazität zwischen 84 und 175 GWh) in Deutschland gemäß den betrachteten Szenarien des Netzentwicklungsplans Strom 2037/2045, Version 2025, angenommen. Großbatteriespeicher werden dabei einerseits am Strommarkt, andererseits als „Netzpuffer“ für den Einsatz im präventiven Engpassmanagement und somit zur Verbesserung der Auslastung der Netze, mithin für eine Verringerung der Abregelungen von Erneuerbaren bedingt durch Netzengpässe betrieben.

Dieser präventive Einsatz im Redispatch zur Engpassreduktion sowie die Nutzung intelligenter und digitaler Ansätze können dazu beitragen, den Netzausbaubedarf auf allen Netzebenen zu reduzieren. Für die räumliche Verteilung der Großbatteriespeicher trifft der Netzentwicklungsplan daher auch die Annahme, dass Großbatteriespeicher verstärkt in der Nähe von Freiflächen-PV-Anlagen errichtet werden.

Ausgehend vom Bestand wird auch ein weiterer Zubau der Kleinbatteriespeicher unterstellt. Deren Zubau und räumliche Verteilung orientieren sich insbesondere an der Installation neuer PV-Aufdachanlagen. Bei dezentralen PV-Batteriespeichern geht der Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045, Version 2025, szenarienabhängig von 40 bis 60 GW installierter Speicherleistung im Jahr 2037 (zugehörige Speicherkapazitäten zwischen 99 und 149 GWh) und 52 bis 75 GW (zugehörige Speicherkapazitäten zwischen 131 und 188 GWh) im Jahr 2045 aus. Dabei wurde angenommen, dass das durchschnittliche Verhältnis aus Speicherkapazität zu installierter Leistung bei Kleinbatteriespeichern 2,5 kWh/kW beträgt. Die Kleinbatteriespeicher können bei maximaler Leistung also für maximal zweieinhalb Stunden Energie ein- bzw. ausspeichern, bis sie vollständig geladen bzw. entladen sind.

Zum Vergleich: Stand Ende 2023 waren in Deutschland rund 6 GW Batteriespeicher im Heim- und Gewerbesegment installiert. Diese Werte können unter Berücksichtigung des typischen Anteils von Anlagen in NRW, die im Marktstammdatenregister erfasst sind, zu etwa einem Fünftel dem Gesamtumfang installierter Batteriespeicherkapazitäten in NRW zugeschrieben werden.

Neben stationären Stromspeichern bieten Batterien in Elektrofahrzeugen grundsätzlich ein großes Potenzial für die Bereitstellung und den flächendeckenden Einsatz von Flexibilitäten im Stromnetz. Eine Studie zum bidirektionalen Laden der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate kommt zu dem Ergebnis, dass deutschlandweit im Jahr 2030 rund 100 GWh und im Jahr 2035 rund 380 GWh Batteriespeicherkapazität durch die Nutzung von Elektroautos zur Verfügung stehen können.

Die genannten Dimensionen des erwarteten Ausbaus von Batteriespeichern veranschaulichen die unbestritten stark wachsende Bedeutung von Stromspeichern für das Energiesystem, auch wenn sich die tatsächlichen Hochlaufkurven der jeweiligen Technologien nur schwerlich prognostizieren lassen. Bisher durchgeführte Netzbetriebsanalysen haben ergeben, dass es zwischen 80 und 100 Prozent Anteil erneuerbarer Energien am Strommix systembedingt mit Blick auf einen stabilen Netzbetrieb zu einer Erhöhung des Speicherbedarfs etwa um den Faktor 2–4 kommen dürfte. In diesem Falle müssten vor allem Langzeitspeicher (z. B. Wasserstoffspeicher, siehe Abschnitt 6) verstärkt ausgebaut werden.

## Pumpspeicherkraftwerke

Mit Blick auf die zukünftige Entwicklung der Pumpspeicherkapazitäten ist festzustellen, dass es in den vergangenen Jahren deutschlandweit keinen nennenswerten Zubau an Pumpspeicherkraftwerken gab. Grund für die Einstellung etwaiger Entwicklungsprojekte waren in der Regel wirtschaftliche Erwägungen sowie zum Teil konkurrierende Flächennutzungsansprüche. Überdies stellen Großbatteriespeicher durch die bereits erzielten und im Zuge der weiteren Entwicklungen bei der E-Mobilität noch erwarteten weiteren Kostendegressionseffekte bei Batterien ebenso wie durch die erheblich einfachere Realisierbarkeit eine wachsende Konkurrenz dar.

Mit Blick auf die zukünftige Entwicklung der Pumpspeicherkapazitäten gehen die meisten Energieszenarien vor diesem Hintergrund von einer eher stagnierenden Entwicklung bis 2045 aus. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Neubauprojekte sehr zeit- und kostenintensiv sind und dass daher in andere Energiespeichersysteme investiert wird. Auch die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Langfristszenarien gehen eher von einer stagnierenden Entwicklung bis 2045 aus. Der Entwurf des Netzentwicklungsplans Strom 2037/2045, Version 2025, geht zwar langfristig von einer bundesweit verfügbaren Pumpspeicherleistung von 11,7 GW aus, dabei werden jedoch auch Pumpspeicher aus Luxemburg und Österreich, die auch in das deutsche Übertragungsnetz einspeisen, berücksichtigt. Aktuell liegt die Gesamtkapazität aller ans deutsche Netz angeschlossenen Pumpspeicherkraftwerke bei rund 40 GWh (gesamte Anschlussleistung 9,7 GW). Diese Pumpspeicherkraftwerke stellen einen großen Anteil der Sekundärregelreserve im Netz und ihnen kommt wegen ihrer schnellen Verfügbarkeiten und ihrer Schwarzstartfähigkeit eine besondere Rolle bei der Gewährleistung der Netzstabilität und des Netzwiederaufbaus zu. Zum Vergleich: Die Speicherkapazität von zur Erbringung von Systemdienstleistungen präqualifizierten Großbatteriespeichern liegt derzeit noch bei unter 1,5 GWh. In NRW liegt das PSW Herdecke (Leistung 153 MW, Energiegehalt 590 MWh) und Rönkhausen (140 MW, 690 MWh).

In den vergangenen zehn Jahren wurden unterschiedliche Gutachten und Analysen von verschiedenen Landesregierungen in Auftrag gegeben, die die Möglichkeit zur Errichtung von Pumpspeicherkraftwerken in NRW

untersuchten. So weist beispielsweise die 2016 im Auftrag des Landes erstellte Potenzialstudie zu Pumpspeicherkraftwerken in NRW zwar erhebliche technisch machbare Potenziale für neue Pumpspeichieranlagen aus (Speicherpotenzial von ca. 55,7 GWh an 27 Standorten), deren Realisierung sich jedoch vor allem aus technischen und wirtschaftlichen Gründen schwierig gestalten dürfte. Angesprochen wurde in der Potenzialstudie auch die anspruchsvolle technische Umsetzung in Bergwerken: Die seinerzeit noch für die potenzielle Nutzung in Betracht gezogenen aktiven Bergwerke (2016) sind nunmehr stillgelegt, der Rückzug aus den untertägigen Grubenbauen ist erfolgt und dort steigt das Grubenwasser an – auch diese Bergwerke kommen daher nicht mehr in Betracht.

Insbesondere auch im Zusammenhang mit dem Betrieb von Pumpspeichertechnologien in Tagebaurestlöchern während und nach der Befüllungsphase zur Anlage eines Restsees haben Landesregierungen über mehrere Legislaturperioden hinweg immer wieder eine mögliche Realisierbarkeit geprüft; so zum Beispiel in einer 2019 initiierten Untersuchung von 26 Varianten für die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes in Tagebauen im Rheinischen Revier. Die Möglichkeit, in Tagebaurestlöchern Pumpspeicherkraftwerke zu errichten und während und nach der Befüllungsphase zur Anlage eines Restsees zu betreiben, hört sich angesichts großer physikalisch möglicher Speicherpotentiale zunächst sehr vielversprechend an. Neben den bereits beschriebenen wirtschaftlichen Herausforderungen treten bei dieser Form der Nachnutzung jedoch geologische sowie bergbau- und gründungstechnische Gegebenheiten als entscheidende Hindernisse auf. Im Übrigen ist auch die Akzeptanz solcher Speichieranlagen in Tagebaurestseen seitens der Anrainerkommunen zu hinterfragen, da es hier viele Konkurrenzen zu anderweitigen Nutzungen gibt.

Im Ergebnis aller durchgeführten Untersuchungen wurden somit zwar erhebliche Pumpspeicherpotenziale aus technischer Sicht ermittelt, jedoch wurde den Projekten angesichts verhältnismäßig langer Realisierungszeiten und der aus dem Strommarkt und der Regulatorik resultierenden Rahmenbedingungen regelmäßig eine fehlende Wirtschaftlichkeit attestiert. Auch konkrete Projektansätze zum Neubau von Pumpspeicherkraftwerken in NRW (z. B. PSW Nethe im Kreis Höxter und PSW Rur im Rursee) haben das Genehmigungsverfahren jeweils gar nicht erst erreicht.

## 4.2 Maßnahmen und Handlungserfordernisse

Die oben skizzierten starken Ausbauentwicklungen bei Batteriespeichern zeigen, dass die regulatorischen (insbesondere die Befreiung von den Netzentgelten) und marktlichen Rahmenbedingungen hier grundsätzlich geeignet erscheinen, den weiteren Ausbau im Wesentlichen marktgetrieben erwarten zu können. Jedoch sollten die zukünftigen Ausbaubedarfe insbesondere bei Großbatteriespeichern durch nachstehend beschriebene Maßnahmen gestärkt werden, die dem Abbau weiterhin bestehender Hemmnisse dienen:

→ **Stromspeicher durch eine systemische Würdigung in Verbindung mit klaren Entwicklungsperspektiven stärker in den Fokus der Energiewende rücken.**

Stromspeicher und der Prozess der Stromspeicherung sollten systemisch als wichtiger und verbindender Baustein zwischen Erzeuger-, Transport- und Verbraucherebene und auch in ihrer sektorenkoppelnden Eigenschaft bewertet und verstanden werden. Das MWIKE setzt sich daher auch weiterhin dafür ein, dass Stromspeicher noch stärker bei aktuellen und zukünftigen Erzeugungs- und Systemstrategien des Bundes Berücksichtigung finden.

Mit der Studie „Integrierte Netzplanung NRW“, die die Synergieeffekte einer gemeinsamen Planung des Strom-, Gas- und Wasserstoffnetzes analysiert, hat NRW die Idee einer systemübergreifenden Betrachtung auch bundesweit adressiert. Das Bundeswirtschaftsministerium und die Bundesnetzagentur haben die integrierte Netzplanung aufgegriffen. Der Gesetzgebungsprozess mit den gesetzlichen Grundlagen für eine integrierte Netzplanung Gas und Wasserstoff parallel zur Netzentwicklungsplanung Strom wurde im ersten Halbjahr 2024 abgeschlossen.

Nach Inkrafttreten der Regelungen stellen die Übertragungsnetzbetreiber und die Fernleitungsnetzbetreiber jeweils Szenariorahmen auf, die von der Bundesnetzagentur konsultiert werden. Die Übertragungsnetzbetreiber und Fernleitungsnetzbetreiber haben im Februar und März 2024 daher eine erste gemeinsame Großverbraucherabfrage durchgeführt. Erstmals kann so, nach dem Vorbild der integrierten Netzplanung NRW, die Bedarfsentwicklung auf einer einheitlichen Grundlage aufbauen, die in der Analyse auch Speicher umfasst.

→ **Aussichtsreiche Stromspeichertechnologieentwicklungen technisch und anwendungsseitig differenziert und technologieoffen vorantreiben.**

Aussichtsreiche Speichertechnologieentwicklungen sollten technisch und anwendungsseitig differenziert und technologieoffen vorangetrieben und – wo nötig und möglich – skaliert und im industriellen Maßstab eingeführt werden. Der Verbindung des Elektrizitätsbereiches mit dem Gasbereich (Power-to-Gas) und auch dem Wärmebereich (Power-to-Heat) fällt dabei eine ebenso bedeutende Rolle zu wie dem Erhalt und der Weiterentwicklung der Gasspeicherkapazitäten und der bestehenden Pumpspeicherwerke in Deutschland.

Bei der geplanten Einführung eines Kapazitätsmarktes sollte die Teilnahme von Stromspeichern ermöglicht werden. Denn die Stromspeicher gewinnen bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien am Strommix überproportional an Bedeutung.

Das MWIKE begrüßt es daher sehr, dass die Einigung der Bundesregierung zum Haushalt 2024/2025 und zum Wachstumspakt gemäß Einigungspapier „Wachstumsinitiative – neue wirtschaftliche Dynamik für Deutschland“ vom 5. Juli 2024 bei der geplanten Einführung eines Kapazitätsmarktes nunmehr auch die Teilnahmemöglichkeit von Stromspeichern (Pumpspeicher und Batteriespeicher) als Beitrag zur gesicherten Leistung eröffnet hat. Die o. g. Verständigung des Bundes sieht unter anderem im Vorgriff auf einen umfassenden Kapazitätsmechanismus Ausschreibungen von 12,5 GW an Kraftwerkskapazität und 500 MW an Langzeitspeichern vor. Die Umsetzung soll im Rahmen eines Kraftwerks-sicherheitsgesetzes erfolgen.

Ferner hat der Bund neben dem aktuell vorgelegten Papier zur künftigen Ausgestaltung des Strommarktdesigns ein weiteres Papier mit den Optionen für die Ausgestaltungsvarianten des Kapazitätsmechanismus angekündigt. Die weitere Ausgestaltung der angesprochenen Prozesse – insbesondere mit Blick auf zeitnahe und konkrete Ausschreibungsmodalitäten, damit die versorgungssichere Leistung nunmehr auch zügig realisiert werden kann – wird das MWIKE intensiv und konstruktiv begleiten.

## → Hemmnisse abbauen und Stromspeicher-Geschäftsmodelle stärken.

Damit Stromspeicher ihre unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten tatsächlich nutzen und dadurch zur Systemstabilität und -sicherheit beitragen können, braucht es Geschäftsmodelle für die verschiedenen Betriebskonzepte. Der energiewirtschaftliche Rahmen (bspw. Netzentgelte, der Strommarkt oder Ausschreibungen von Systemdienstleistungen) sollte dabei so gestaltet werden, dass ein systemdienlicher Betrieb von Stromspeichern angereizt und Multi-Use-Ansätze ermöglicht werden.

Im Hinblick auf das Mittel- und Niederspannungsnetz reizt die aktuelle Regulatorik die Nutzung von Flexibilitätspotenzialen durch Speicher nicht ausreichend an. Grund ist die bisherige systematische Kategorisierung von Instrumenten zur netzorientierten Flexibilitätsnutzung in erzeugungs- und verbrauchsseitige Flexibilitätsoptionen. Speicher mit eigenem Netzanschluss können bei Instrumenten mit freiwilliger Teilnahme, also zeitvariablen Netzentgelten und lokalen Flexibilitätsmärkten, grundsätzlich ähnlich auftreten wie Verbraucher. Sie können jedoch auch ins Netz zurückspeisen. Hierfür liefern Netzentgelte beim heutigen Stand keine spezifischen Anreize, da sie sich nur auf die Stromentnahme beziehen. Die pauschale Einordnung der Zwischenspeicherung von aus dem Netz entnommener elektrischer Energie hinsichtlich der Pflicht zur Zahlung von Netzentgelten, Abgaben und Umlagen als Letztverbrauch benachteiligt die Zwischenspeicherung überdies systematisch.

Eine Weiterentwicklung der Regulatorik, die der besonderen und systemdienlichen Funktion von Speichern als Erzeuger und Verbraucher in differenzierter Art und Weise je nach Einsatzzweck gerecht wird, wäre daher zu prüfen. Hierbei sollten Speicher hinsichtlich der zur Zwischenspeicherung aus dem Netz entnommenen elektrischen Energie insbesondere hinsichtlich der Netzentgelte weder schlechter noch bessergestellt werden als die Erzeugung oder der Letztverbrauch selbst. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die Möglichkeiten der Verteilernetzbetreiber, nach § 14c EnWG Flexibilitäten am Markt zu beschaffen, um ihr Netz effizient zu betreiben, derzeit nicht umgesetzt werden und daher entsprechend weiterentwickelt werden müssen. Eine solche Weiterentwicklung könnte dann auch begünstigend auf den Stromspeicherausbau wirken, da Speicher entsprechende Dienstleistungen anbieten könnten.

Gemäß dem Einigungspapier „Wachstumsinitiative – neue wirtschaftliche Dynamik für Deutschland“ der Bundesregierung zum Haushalt 24/25 und zum Wachstumspakt vom 5. Juli 2024 hat die Bundesregierung angekündigt, „... die Rahmenbedingungen für die Nutzung

von Stromspeichern so optimieren, dass sich die Ausbaudynamik noch verstärkt und die vielfältigen Funktionen von Stromspeichern sowohl für den Strommarkt als auch das Stromnetz optimal genutzt werden können“.

Hierbei spielten gemäß Bundesregierung „... unverzerrte Preissignale, zeitvariable regionale Netzentgelte und eine optimierte Integration von EE-Anlagen ...“ eine wichtige Rolle. Daher begrüße und unterstütze die Bundesregierung das Vorhaben der Bundesnetzagentur als unabhängige Regulierungsbehörde, „... die gegenwärtigen Rabatte und Ausnahmen bei den Netzentgelten für Speicher mit dem Ziel einer kosteneffizienten Systemdienlichkeit im Stromnetz und -markt weiterzuentwickeln und so langfristige Planungssicherheit für Speicher zu schaffen“. Die oben skizzierten Ankündigungen der Bundesregierung zur Stärkung des weiteren Ausbaus von Stromspeichern werden seitens des MWIKE ebenfalls begrüßt und hinsichtlich der weiteren konkreten Ausgestaltung konstruktiv begleitet.

## → Genehmigungsverfahren für Stromspeicher beschleunigen.

Um das Potenzial für den Neubau und die Erweiterung von Großspeichern erschließen zu können, bestehen sowohl energierechtliche als auch wasserrechtliche und immissionsschutzrechtliche Verfahrensmöglichkeiten. In diesem Rahmen wären sowohl baurechtliche als auch sicherheitsrechtliche Vorschriften auf hinreichend konkrete Anforderungen hinsichtlich der Auslegung von Speicheranlagen zu überprüfen, um die genehmigungsrechtlichen Anforderungen zu vereinfachen.

Auch diverse betriebspraktische Fragen mit jeweils spezifischem Einzelfallcharakter können den weiteren zügigen Ausbau von Speichern hemmen. Das MWIKE begrüßt, dass die Bundesregierung solche Aspekte nunmehr in einem Branchendialog unter Beteiligung der Länder aufgegriffen hat und wird diesen Prozess konstruktiv begleiten.

## → Dezentrale Ansätze für Stromspeicheranlagen fördern.

Der Ausbau erneuerbarer Energien kann nach den Szenarien des Entwurfs des Netzentwicklungsplans Strom 2037/2045, Version 2025, Hand in Hand mit der Nutzung von Stromspeichern erfolgen. Diese könnten beispielsweise in unmittelbarer Nähe zu Windenergie- und PV-Freiflächenanlagen überschüssige oder in den jeweiligen Zeiträumen nicht transportierbare Strommengen dem Bedarf bzw. der Netzkapazität anpassen, noch bevor die Anlagen abgeregelt werden müssten. Überdies könnten Speicher in Kombination mit solchen Verbrauchern eingesetzt werden, die ihre Nachfrage prozessbedingt nicht

# „ ... die Rahmenbedingungen für die Nutzung von Stromspeichern so optimieren, dass sich die Ausbaudynamik noch verstärkt und die vielfältigen Funktionen von Stromspeichern sowohl für den Strommarkt als auch das Stromnetz optimal genutzt werden können.“

Einigungspapier „Wachstumsinitiative – neue wirtschaftliche Dynamik für Deutschland“  
Bundesregierung zum Haushalt 24/25

flexibilisieren können und den Speichereinsatz insofern zum Peak Shaving von Preis- bzw. Erzeugungsspitzen wirtschaftlich nutzen.

Derzeit fehlen jedoch Anreize und Instrumente im gesetzlich-regulatorischen Rahmen, um diese Technologien zur Entlastung – insbesondere der lokalen bzw. regionalen Verteilnetze – zu nutzen und somit deren Aufnahmefähigkeit zu steigern. **Damit der Ausbau und Einsatz von Stromspeichern nicht nur marktdienlich, sondern auch netz- und systemdienlich erfolgt, muss er entsprechend strategisch angereizt und flankiert werden.**

Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld betrifft den Ausbau von Quartiers-, Gewerbe- und Industriespeichern, die gerade bei der starken Mittelstands-Unternehmensstruktur in NRW hohe Flexibilitätspotenziale ermöglichen können. Maßnahmen zur Stärkung des Ausbaus solcher Speicheranwendungen sind obenstehend unter der Rubrik „Hemmnisse abbauen und StromspeicherGeschäftsmotive stärken“ beschrieben.

## → Rahmenbedingungen für bidirektionales Laden und Vehicle-to-Grid verbessern.

Im Hinblick auf das bidirektionale Laden ist festzustellen, dass aktuell nur wenige Fahrzeuge verfügbar sind, die bidirektional ladefähig sind. Zudem fehlt eine breite Marktverfügbarkeit von bidirektionalen Ladeeinrichtungen. Allerdings hat ein Großteil der Hersteller für die nahe Zukunft Fahrzeuge geplant, die bidirektional ladefähig

sein werden. Um die Versorgung der Stromnetze durch Fahrzeuge (Vehicle-to-Grid) zu ermöglichen und wirtschaftlich attraktiv zu gestalten, sind Anpassungen des Rechtsrahmens notwendig. Die aktuell noch bestehenden Hemmnisse sind die fehlende Regulatorik, die Digitalisierung des Stromnetzes inklusive intelligenter Messsysteme sowie eine herstellerübergreifende normierte Lösung für bidirektionale Ladevorgänge.

## → Smarten Verteilnetzausbau weiter stärken.

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert die Sicherstellung ausreichender Netzkapazitäten und Systemdienstleistungen für eine hauptsächlich fluktuierende Erzeugung. Dabei kommt insbesondere auf das Verteilnetz ein hoher Ausbaubedarf zu. Smarte Verteilnetze können die Beobachtbarkeit und Steuerung von dezentralen Erzeugern sowie Verbrauchern im Netz in Echtzeit ermöglichen. Dies ermöglicht wiederum eine bessere Netzauslastung sowie die Bereitstellung von –Flexibilitäten. Nur unter diesen Rahmenbedingungen können Speicher einen flexiblen Beitrag zur Stärkung des Verteilnetzes und damit zur Versorgungssicherheit insgesamt bieten und entsprechende systemdienliche, marktgestützte Aufgaben i. S. des § 14a EnWG übernehmen, was auch den weiteren Ausbau von Speichern insgesamt begünstigen dürfte.

# 05

28–33

## **Wärmespeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse**



Wärmespeicher insgesamt müssen kurz- und mittelfristig deutlich ausgebaut werden, da sie eine Schlüsseltechnologie für die Flexibilisierung und Systemintegration im zukünftigen Energiesystem darstellen.



## 5.1 Entwicklung und Perspektiven

Über die Hälfte des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs entfällt auf den Wärmesektor. Dieser wird aktuell noch zu über 80 Prozent mit fossilen Brennstoffen gedeckt. Deshalb kommt dessen Defossilisierung zukünftig eine besondere Rolle bei der Transformation des Energiesystems zu. NRW hat es sich dabei, ebenso wie der Bund, zum Ziel gesetzt, bis 2045 eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen. Ausbau und Transformation der leitungsgebundenen Wärme- und Kälteversorgung in NRW sind dabei wichtige Ziele auf dem Weg in Richtung Klimaneutralität bis 2045 und auch wesentliche Elemente eines versorgungssicheren Wärmesystems. Die Fern- und Nahwärme wird sich in NRW zu einem wesentlichen Pfeiler der klimaneutralen Wärmeversorgung im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich entwickeln und kann einen Versorgungsanteil von 22 bis 26 Prozent und damit in etwa eine Verdoppelung gegenüber dem heutigen Ausbaustand erreichen.

Da zur Erreichung des Ziels der Klimaneutralität im Gebäudesektor bereits bis 2030 – auch flankiert durch gesetzliche Vorgaben wie beispielsweise das Gebäudeenergiegesetz (GEG) oder das Wärmeplanungsgesetz (WPG) – signifikante Fortschritte bei der Reduzierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe erzielt werden müssen, wird sich der Ausbau und die Transformation von Wärmeinfrastrukturen deutlich verstärken. Dies betrifft auch die konsequente Entwicklung der Nah- und Fernwärme in Richtung Klimaneutralität, nicht zuletzt wegen steigender CO<sub>2</sub>- und Brennstoffpreise.

Insbesondere im Zuge der kommunalen Wärmeplanung sollen gesamtsystemoptimierte Wärmeinfrastrukturen die vorhandenen regionalen/kommunalen Quellen und Senken für Wärme durch jeweils förderfähige Schaltungsbestandteile wie Wärmespeicher, Wärmepumpen, grünen Wasserstoff oder Derivate sowie auch durch industrielle Abwärme in eine energiestromoptimierte Balance bringen. Hierbei sollten u. a. auch Niedrigtemperaturnetze – wo möglich – angereizt werden.

Eine zukünftige Wärmeversorgung aus erneuerbaren Quellen bedingt dabei eine verstärkte Integration von Wärmespeichern in Wärmeinfrastrukturen, um so eine Entkopplung und Verschiebung von Wärmeerzeugung und -bedarf und dadurch eine Optimierung und Flexibilisierung des Anlagen- und Netzbetriebs erreichen zu können. Wärmespeicher werden kurz- und mittelfristig deutlich ausgebaut werden müssen, da sie eine Schlüsseltechnologie für die Flexibilisierung und Systemintegration im zukünftigen Energiesystem darstellen.

Der verstärkte Ausbaubedarf an Wärmespeichern besteht sowohl in Wärmenetzstrukturen (z. B. als Puffer-, Tages- oder saisonaler Wärmespeicher für Quartiere und integrierter Wärme- und Kältespeicher in Wärme- und Kältenetzen), als auch in industriellen Prozessen (z. B. Hochtemperaturspeicher). Wärmespeicher werden dabei u. a. auch in Kombination mit Großwärmepumpen im Wärmenetz die notwendige Flexibilität gewährleisten und ermöglichen dabei die Erschließung von unterschiedlichen erneuerbaren Wärmequellen und Abwärmepotenzialen zur Reduzierung und Substitution fossiler Primärenergieträger. Auch die Vorteile von wasserbasierten Wärmespeichern im Hinblick auf eine bessere Druckhaltung und Wasserreserve für das Gesamtsystem sind in diesem Zusammenhang bedeutend.

**Wärme- und Kältespeicher werden bereits heute in Wohngebäuden, Quartieren, Gewerbe und Industrie sowie in Wärmenetzen eingesetzt.**

Zu den Fernwärmespeichertechnologien zählen drucklose Speicher (<100°C), Druckspeicher (>100°C) sowie Erdbeckenspeicher und andere saisonale bzw. Multifunktionsspeicher, die neben der saisonalen Speicherung zusätzlich eine kurzfristige Be- und Entladung ermöglichen.

Ebenso werden Wärmespeicher zur Effizienzsteigerung oder Flexibilisierung in industriellen oder Kraftwerksprozessen und in Power-to-Heat-(to-Power)-Anwendungen eingesetzt, wo sie eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Prozesswärme, Prozessdampf und Strom ermöglichen. So werden thermische Kraftwerke zukünftig verstärkt mit Wärmespeichern zur weiteren Flexibilisierung und optimierten Fahrweise ausgestattet werden. **Wärmespeicher spielen somit auch bei der Transformation vorhandener KWK-Systeme eine wichtige Rolle und ermöglichen zukünftig einen verstärkt stromgeführten Betrieb von KWK-Anlagen, die bedarfsgerecht, effizient und flexibel Strom und Wärme bereitstellen und so die Versorgungssicherheit insgesamt stärken.**

Durch derartige Prozesse unter Nutzung von Wärmespeichern kann überdies eine sektorenübergreifende Verknüpfung verschiedener Energieströme aus dem Strom-, Gas-, und Wärmesektor erfolgen und so ein maßgeblicher Beitrag für die Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien insgesamt geleistet werden. Neben Wärmespeichern, die an Energieversorgungsinfrastrukturen gekoppelt sind, müssen auch dezentrale Anwendungen, z. B. an Industriestandorten, berücksichtigt werden.

Thermische Speicher unterscheiden sich einerseits nach dem Nutztemperaturniveau (Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturspeicher), nach der Dauer der Wärme-

speicherung (Kurzzeitspeicher oder saisonale Speicher) sowie nach dem zugrundeliegenden thermodynamischen Prinzip der Wärmespeicherung (z. B. sensible Speicher, Latentwärmespeicher, thermochemische Speicher etc.). Die weiteren Ausbauprognosen für Wärmespeicher variieren je nach Studie recht deutlich. Es ist jedoch bereits bis 2030 insgesamt von einem starken Aufwuchs des Wärmespeicherbedarfs auszugehen. So steigt der Bedarf an thermischen Speichern bis 2030 laut Fraunhofer ISI voraussichtlich auf 624 bis 631 GWh (Deutschland) bzw. auf 139 GWh (NRW). Für das Jahr 2045 liegen die Prognosen je nach Szenario bei zwischen 690 und 871 GWh (Deutschland) bzw. zwischen 141 und 201 GWh (NRW). Dann stellen Wärmespeicher – insbesondere auch in Kombination mit Großwärmepumpen – im Wärmenetz die notwendige Flexibilität im Energiesystem bereit und werden als wesentlicher Bestandteil des Wärmenetzes gesehen.

Im Rahmen der vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) durchgeführten Wärmestudie NRW wird für das Jahr 2045 ein Wärmebedarf für die Wohn- und Nichtwohngebäude von rund 148 TWh im moderaten Einsparzenario prognostiziert. Hiervon sollen nach der Energie- und Wärmestrategie für NRW circa 32 TWh (also 32.000 GWh) aus leitungsgebundener Nah- und Fernwärme gedeckt werden. Dies entspricht etwa einer Verdreifachung der Versorgung von rund 11 TWh/a aus dem Jahr 2022. Daraus resultiert auch ein starker Ausbaubedarf an Fernwärmespeichern, deren aktueller Bestand nach Auswertungen des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) in Deutschland rund 24 GWh und in NRW ca. 5 GWh beträgt.

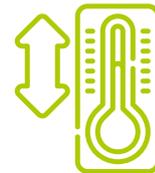
## Thermische Speicher unterscheiden sich nach



**Nutztemperaturniveau**  
(Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturspeicher)



**Dauer der Wärmespeicherung** (Kurzzeitspeicher oder saisonale Speicher)



**Thermodynamischem Prinzip** (sensible Speicher, Latentwärmespeicher, thermochemische Speicher)

Abbildung 2: Fernwärmespeicherkapazität in Deutschland<sup>2</sup>



## 5.2 Maßnahmen und Handlungserfordernisse

Der Transformationsprozess aus einer fossil geprägten in eine defossilisierte Wärmeversorgung erfordert auch einen zukünftig erheblich stärkeren Ausbau von Wärmespeichern aus den oben beschriebenen Gründen. Angesichts einer Vielzahl verfügbarer betriebsbewährter Wärmespeichertechnologien ist der stärkere Ausbau von Wärmespeichern dabei weniger als technische, sondern eher als wirtschaftliche und regulatorische Herausforderung zu bewerten. Insbesondere folgende Maßnahmen und Handlungserfordernisse können dazu beitragen, die Hürden für den erforderlichen Ausbau thermischer Speicher abzubauen und die Planungs- und Investitionssicherheit zu erhöhen:

### → Wirtschaftlichkeit von Wärmespeicherprojekten stärken.

Durch das Ermöglichen neuer Geschäftsmodelle könnte die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern gestärkt werden. Denn die fehlende Gleichzeitigkeit von Angebot an und Nachfrage nach Wärme hat auch einen wirtschaftlichen Wert, z. B. für die Erbringung von Systemdienstleistungen durch Speicher. Die Speichervorhaltung als Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Flexibilität sollte entsprechend durch eine adäquate Vergütung von Flexibilität und netzdienlicher Leistungen von thermischen Energiespeichern stärker angereizt werden. Hier könnten zur Stärkung des Wärmespeicherausbaus beispielsweise flexible Stromtarife i. S. einer strommarktoptimierten Speicherfahrweise durch Einspeicherung von EE-Überschussstrom ebenso geprüft werden wie systemdienliche Befreiungstatbestände bei Abgaben, Umlagen, Netzentgelten und auch Baukostenzuschüssen. Dafür wird sich das MWIKE gegenüber dem Bund einsetzen.

→ Fördermaßnahmen für Wärmespeicher im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) stärken und ausweiten sowie die großen Potenziale von Wärmespeichern im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen.

Die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) schafft Anreize für Wärmenetzbetreiber, in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu investieren und bestehende Netze zu defossilisieren. Zuschüsse sind beispielsweise an Kommunen möglich, die ein Nahwärmenetz mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien im Neubaugebiet errichten oder bestehende Fernwärmenetze auf erneuerbare Energien und Abwärme umrüsten. Die BEW braucht eine solide langfristige Finanzierung mit einem wesentlich höheren Budget, da die Gelder aktuell jährlich durch den Bundeshaushalt freigegeben werden. Auf dieser Basis haben Unternehmen keine langfristige Planungssicherheit, da bei der Erstellung von Transformationsplänen nach der BEW seitens der Unternehmen planerische Perspektiven bis zur Klimaneutralität im Jahr 2045 erforderlich sind. Aus den genannten Gründen setzt das MWIKE sich dafür ein, dass die BEW langfristig finanziell abgesichert wird.

**Um die Kraft-Wärme-Kopplung als wichtigen Bestandteil eines zukünftigen versorgungssicheren Kraftwerks zu stärken, bedarf es einer Flexibilisierung der KWK i. S. einer vorwiegend stromgeführten Anlagenfahrweise.** Hier können Wärmespeicher wesentlicher Bestandteil der hierfür notwendigen Flexibilisierung sein. Deshalb sollte eine Integration von thermischen Speichern besonders in einem KWK-System bereits in der Planungsphase geprüft und im Rahmen der Modernisierung oder beim Bau von Wärme- und Kältenetzen einbezogen werden. Wärmespeicher leisten dann einen wesentlichen Beitrag zur Flexibilisierung von KWK-Systemen und tragen wesentlich zur Transformation eines neuen KWK-Designs bei. Aus den genannten Gründen sollte das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) mindestens bis 2035 verlängert werden. Für die genannten Forderungen setzt sich das MWIKE gegenüber dem Bund ein und hat dies auch in entsprechenden Bundesratsanträgen akzentuiert.

## → Wärmespeicherprojekte mit dem Fokus auf systemischen Ansätzen für die Anwendung von Hochtemperaturwärmespeichern in Industrie und Gewerbe.

Der Einsatz von Wärme- und Kältespeichern als Flexibilisierungsinstrumente in Wärmenetzen, Industrie und Gewerbe sowie Quartieren ist ein wichtiger Baustein der Defossilisierung des Wärmesystems und sollte entsprechend weiterentwickelt werden. Angesichts sehr vielfältiger Anwendungsfelder (öffentliche Versorgung, Gewerbe, Industrie), eingesetzter Technologien und denkbarer gesamtsystemischer Ansätze und zugehöriger technischer Verschaltungen sind viele spezifische und im Einzelfall auch auf Bundes- und Landesebene förderfähige Projektansätze denkbar und sinnvoll. Daher wird es hier – wieder neben regulatorischen Herausforderungen – auch verstärkt um mögliche direkte Fördermaßnahmen gehen, die auch das Land unterstützen kann (sofern nicht Bundesförderung wie beim BEW möglich).

Das MWIKE wird geeignete Unterstützungsangebote für die leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung, insbesondere auf Basis erneuerbarer Energien und Abwärme, in Ergänzung zur Bundesförderung weiterentwickeln. In diesem Zusammenhang wird in NRW mit Blick auf den für die vollständige Defossilisierung von leitungsgebundener Wärme notwendigen Hochlauf von Wärmespeicherinfrastrukturen die finanzielle Flankierung mit Landes- und EU-Fördermitteln passgenau und ergänzend zur Bundesförderung weiterentwickelt.

Die Unterstützung soll sich an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Unternehmen mit öffentlichem Gesellschaftshintergrund gleichermaßen richten. Angesprochen werden sollen auch Akteurinnen und Akteure, die Projekte im Bereich der quartiersbezogenen Wärme- und Kälteversorgung planen. Ebenso sollten auch Elemente einer verstärkten Innovationsförderung wie z. B. für saisonale Wärmespeicher als Aquifer/Erdsonden-Speicher oder auch Hochtemperaturwärmespeicher mit Feststoffspeichermedien genutzt werden, um zugehörige Pilotprojekte in NRW voranzutreiben. Die Projektinitiierung wird dabei insbesondere auch von der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate unterstützt werden.

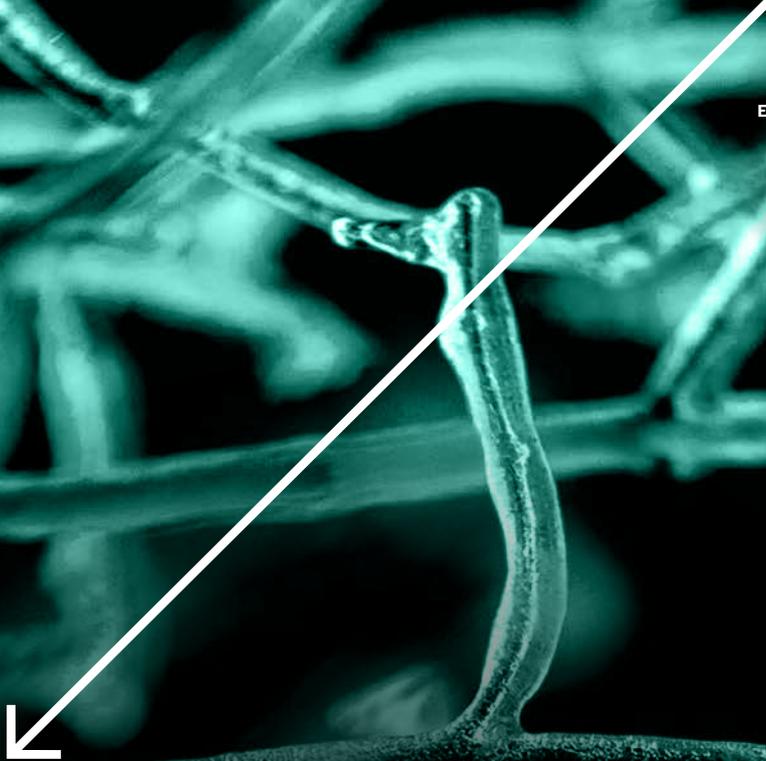
## → Digitalisierung der Wärmenetze vorantreiben.

Die Digitalisierung der Wärmenetze ist insbesondere mit Blick auf die oben skizzierte Optimierung gesamtsystemischer Ansätze erforderlich. Dies ist notwendig, um Energieströme z. B. hinsichtlich Temperatur- und Druck- oder auch Durchflussmengen zeit- und ortsscharf zu erfassen und so die Absicherung von Wärmemenge und Leistung sowie die Druckhaltung und Wasserreserve zu gewährleisten. Auch die Prognostizierbarkeit des Angebots volatiler Erzeuger ist bei der Einsatzplanung von Speichern einzubeziehen. Nur auf Basis dieser genannten Parameter ist ein optimierter Anlagen- und Netzbetrieb sowie eine zugrundeliegende effiziente Auslegung und Integration von Speichern möglich.

## → Integration von Wärme- und Kältespeichern zur effizienten Wärmeversorgung von Gebäuden und Quartieren ermöglichen.

Wärme- und Kältespeicher zur Versorgung von Gebäuden und Quartieren stellen einen wichtigen Bestandteil für ein effizientes Wärmeversorgungssystem dar und ermöglichen den Einsatz von erneuerbaren Energie- und Wärmequellen. Mit dem Förderprogramm *progres.nrw* – Klimaschutztechnik wird die Integration von Wärme- und Kältespeichern in Wärmeversorgungssystemen zur privaten und gewerblichen Nutzung finanziell gefördert. Das MWIKE fördert darüber hinaus auch Konzepte zur Umstellung der Wärmeversorgung in Quartieren, bei denen ein systemischer Ansatz verfolgt wird und die Berücksichtigung von Speichertechnologien integraler Bestandteil ist.

Darüber hinaus etabliert das MWIKE mit den Auszeichnungen „KlimaQuartier.NRW“ und „Energieeffiziente Nichtwohngebäude in NRW“ eine Blaupause für besonders klimafreundliche Quartiere und Gebäude. Die Projekte dienen als Best Practice für besonders effiziente Energiesysteme, die sich durch den optimalen Einsatz von Flexibilisierungsmöglichkeiten durch u. a. Wärme- und Kältespeicher auszeichnen. Die Auszeichnungen werden mit finanziellen Mitteln flankiert.



# 06

34–43

## Wasserstoffspeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse



Im Hinblick auf die Möglichkeit, große Mengen erneuerbarer Energien längerfristig zu speichern, eignet sich beispielsweise Wasserstoff als chemisches Langzeitspeichermedium. Ein Teil der heutigen Erdgasspeicherinfrastruktur könnte auch für Wasserstoff und Wasserstoffderivate genutzt werden. Dies ist bedeutsam, da zukünftig voraussichtlich Wasserstoff für das Energiesystem und die Industrie ein zentraler Energieträger und Rohstoff sein wird.



## 6.1 Entwicklung und Perspektiven

Die Langzeitspeicherung im heutigen Energiesystem wird insbesondere durch Erdgasspeicher sichergestellt, die in Deutschland ein sehr hohes Speichervolumen von rund 250 TWh aufweisen und damit etwa ein Viertel des bundesdeutschen Jahresverbrauchs an Erdgas umfassen. Ein Teil der heutigen Erdgasspeicherinfrastruktur könnte auch für Wasserstoff und Wasserstoffderivate genutzt werden. Dies ist bedeutsam, da zukünftig voraussichtlich Wasserstoff für das Energiesystem und die Industrie ein zentraler Energieträger und Rohstoff sein wird. Dabei müssen die technischen Aspekte einer Umrüstung von Kavernen für die Wasserstoffspeicherung und die damit verbundenen Zeitbedarfe berücksichtigt werden.

Für die Erreichung der Klimaschutzziele bis 2045 spielt Wasserstoff eine zentrale Rolle, da die sektorenkoppelnden Eigenschaften dieses Energieträgers und seiner Derivate eine große Bandbreite von Einsatzmöglichkeiten erlauben. Diese reichen von der energieintensiven Industrie, wie z. B. Stahl und Chemie, über die Energiewirtschaft bis hin zum Verkehrssektor. Als Speicher für Strom aus erneuerbaren Energien, als Kraftstoff oder in der Industrie wird er immer dort zum Einsatz kommen, wo eine direkte Nutzung von erneuerbaren Energien technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht tragfähig ist. Auch als Brennstoff für den Residuallast-Kraftwerkspark wird Wasserstoff zur Anwendung kommen.

Gerade für das Industrieland NRW ist dies von besonderer Bedeutung, daher kommt folgerichtig voraussichtlich auch knapp ein Drittel der nationalen Wasserstoffnachfrage langfristig aus NRW. Treiber dieser Entwicklung ist unter anderem eine steigende Wasserstoffnachfrage der hiesigen Industrie. Die Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie sieht für Deutschland einen Wasserstoffimportanteil (in Form von Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten, energetisch und stofflich) aus dem Ausland von 50 bis 70 Prozent (45 bis 90 TWh) im Jahr 2030 vor. NRW liegt wegen seiner hohen industriellen Bedarfe am oberen Ende dieser Importquote bzw. wird diese sogar überschreiten, da es auch Wasserstoffimporte aus anderen Bundesländern nach NRW geben wird. In dem im Juli 2024 vorgelegten Wasserstoffimportkonzept des MWIKE wird der Zugang des Landes zu Wasserstoffimporten und die Sichtbarmachung des Landes als wichtiger zukünftiger Absatzmarkt für Wasserstoff detailliert dargestellt.

Wasserstoff wird im zukünftigen Energiesystem wie beschrieben eine wichtige Rolle übernehmen. Daraus ergibt sich folgerichtig auch ein Bedarf an Wasserstoffspeichern, die als chemische Langzeitspeicher dienen und vielschichtige Anforderungen erfüllen werden. So werden Wasserstoffspeicher benötigt, um Angebot und Nachfrage von Energieträgern zu entkoppeln, die in verschiedenen Sektoren wie der Industrie (als Prozesswärme oder stoffliche Nutzung in der energieintensiven Industrie) und dem Verkehr eingesetzt werden. Dabei wird sich voraussichtlich das Anforderungsprofil an Wasserstoffspeicher im Vergleich zu den heutigen Erdgasspeichern ändern. Während letztere weitgehend kontinuierlich in den Sommermonaten befüllt werden, um in den Wintermonaten Energiemengen wieder abzugeben, werden Wasserstoffspeicher in Zukunft auch kurzfristige Flexibilität anbieten müssen. Sie können große Wasserstoffmengen bei geringer Leistung einspeichern und durch die hohen Drücke (in den Speichern) mit hoher Leistung wieder ausspeichern. Auf diese Weise wird die notwendige zusätzliche Flexibilität zur Deckung von Verbrauchsspitzen bereitgestellt.

Wasserstoffspeicher dienen somit zum einen der Aufnahme und Absicherung von Importmengen, zum anderen fällt ihnen aber auch die Aufgabe zu, die Integration einer volatilen EE-geprägten Wasserstofferzeugung zu ermöglichen. Ebenso dienen sie auch der durchgehenden und sicheren Verfügbarkeit von Wasserstoff auf der industriellen Abnehmerseite sowie der Versorgung von Kraftwerken zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit (in Kombination mit Wasserstoff-Rückverstromungsanlagen) und der Abdeckung von Leistungsanforderungen für einen saisonalen Ausgleich, insbesondere im Bereich Wärme.

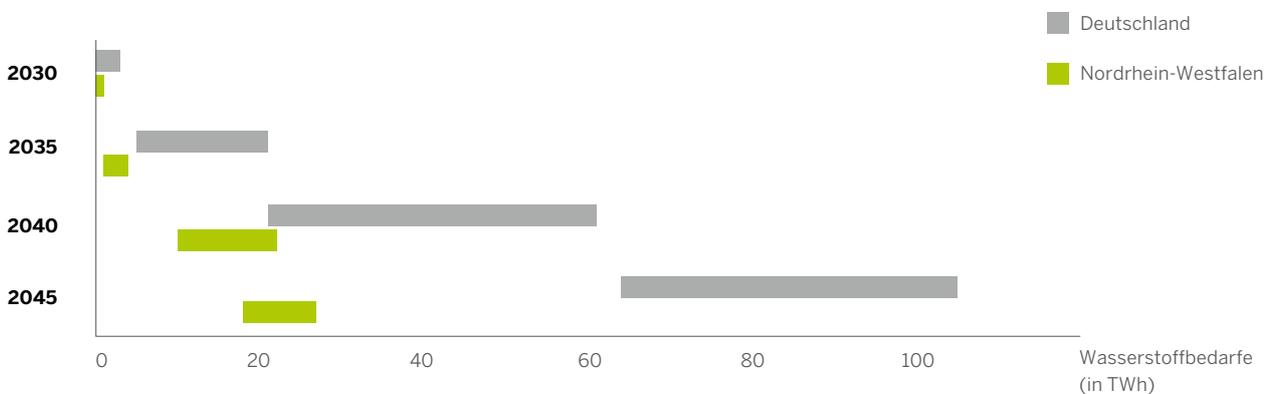
Die skizzierten vielschichtigen Aufgaben von Wasserstoffspeichern können sich zeitlich und regional sehr unterscheiden, je nach Ausprägung der Wasserstoffwertschöpfungsketten und des Wasserstoffmarktes. Die Eigenschaft von Wasserstoffspeichern, als saisonale Langzeitenergiespeicher zu wirken und hierbei im Vergleich zu anderen Speichertechnologien um Größenordnungen höhere Energieinhalte speichern zu können, stellt ähnlich wie bei Erdgasspeichern eine äußerst wichtige Fähigkeit dar, um die Versorgungssicherheit auch in einem künftigen Energiesystem gewährleisten zu können, so z. B. bei sogenannten Dunkelflauten.

Die Prognosen zum künftigen Bedarf an Wasserstoffspeichern variieren – auch angesichts der weiter bestehenden Unsicherheiten in Bezug auf die Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit von Wasserstoff auf der Zeitschiene – noch deutlich. Auch sind der Wasserstoffspeicherbedarf und die entsprechenden Speichervarianten mit Blick auf den europäischen und nationalen Energieverbund nur schwerlich regional bestimmbar und hängen zudem von zahlreichen Faktoren (wie beispielsweise dem tatsächlichen Zubau an Leistungen aus erneuerbaren Energien, dem Fortschritt im Netzausbau sowie dem angestrebten und erreichten Grad an Elektrifizierung bzw. an Sektorenkopplung) ab, die insgesamt die Spannweite der erwarteten Wasserstoffspeicherkapazitäten sehr groß werden lässt.

Mit dem Projekt „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ des BMWK wurde im November 2022 der Bedarf für Wasserstoffspeicher quantitativ beschrieben. Alle Szenarien zeigen einen stark wachsenden Kapazitätsbedarf von Wasserstoffspeichern auf. Für Deutschland bzw. für NRW werden dabei folgende Wasserstoffspeicherbedarfe für die Zukunft ausgewiesen:

- ✓ 2030: <1 bis 3 TWh (NRW: max. 1 TWh)
- ✓ 2035: 5 bis 21 TWh (NRW: 1 bis 4 TWh)
- ✓ 2040: 21 bis 61 TWh (NRW: 10 bis 22 TWh)
- ✓ 2045: 64 bis 105 TWh (NRW: 18 bis 27 TWh)

Abbildung 3: Zukünftige Wasserstoffspeicherbedarfe für Deutschland und NRW



Im Rahmen sogenannter Orientierungsszenarien zur Erreichung der Treibhausgasneutralität für das Jahr 2045 wurde der Bedarf an Wasserstoffspeichern im Rahmen des o. g. Projekts nunmehr weiter eingegrenzt und zwischen 76 und 80 Terawattstunden (TWh) für das Jahr 2045 ausgewiesen ([www.langfristszenarien.de](http://www.langfristszenarien.de)). Der europäische Bedarf an Wasserstoffspeicherkapazitäten liegt demnach zwischen 223 und 240 TWh. Bis zum Jahr 2030 wächst der Bedarf zunächst langsam auf 2 TWh an. Bereits im Jahr 2035 sind aber schon zwischen 14 und 17 TWh erforderlich.

Im Zeitraum zwischen 2035 und 2040 steigt der Bedarf am stärksten und erreicht zwischen 52 und 55 TWh im Jahr 2040.

In NRW als dicht besiedeltem Industrieland wird wegen der erwarteten hohen Wasserstoffbedarfe, die langfristig etwa 30 Prozent des deutschen Wasserstoffbedarfs insgesamt ausmachen könnten, ein ebenfalls hoher Bedarf an Wasserstoffspeicherkapazitäten erwartet. Dieser könnte szenarienabhängig etwa einem Viertel bis zu einem guten Drittel der erwarteten bundesweiten Wasserstoffspeicherbedarfe entsprechen (25–37 Prozent<sup>3</sup>).

# Derzeit entfallen auf NRW rd. **25** Prozent der gesamten Erdgas-Kavernenspeicherkapazität in Deutschland.

In NRW sind zurzeit im Bereich Epe und im Bereich Xanten Untergrundspeicher für Gas und Öl angelegt und in Betrieb. Am Standort Epe laufen im Kavernenfeld die Vorbereitungen zur Realisierung des ersten kommerziell nutzbaren Untergrundspeichers für Wasserstoff in Deutschland. Die Förderzusage u. a. für den Wasserstoffspeicher in Epe, der Teil des integrierten IPCEI-Projekts GET H2 ist, hat das betreibende Unternehmen RWE Gas Storage West im Juli 2024 erhalten (IPCEI = Important Project of Common European Interest). Gegenstand des Projekts ist die Darstellung eines integrierten Systemansatzes aus Wasserstoffproduktion, Transport und Speicherung.

Neben der Speicherung von großen Mengen Wasserstoff – wie beschrieben – können darüber hinaus auch lokale Wasserstoffspeicherkonzepte und die Weiterentwicklung von H<sub>2</sub>-Technologien (wie z. B. Metallhydridspeicher, liquid organic hydrogen carrier (LOHC)-Technologie) für das künftige Energiesystem bedeutsam werden. Sie sind jedoch mit Blick auf den Fokus des vorliegenden Speicherkonzeptes und ihre gegenwärtige praktische Bedeutung von untergeordneter Relevanz. Des Weiteren plant ein Unternehmen einen untertägigen Druckluftspeicher im Kavernenfeld Epe, in dem bei Überschuss an erneuerbarer Stromproduktion aus Wind und Solar die Energie als Druckluft eingespeichert werden soll.

Trotz der skizzierten großen Prognoseunsicherheiten machen die oben beschriebenen Zahlengerüste deutlich, dass auch bereits in einer kurzfristigen Perspektive eine stärkere Nachfrage nach Wasserstoff und Wasserstoffderivaten möglich ist und somit voraussichtlich bereits Anfang der 2030er-Jahre in nennenswerterem Umfang Wasserstoffspeicher zur Verfügung stehen müssen. Spätestens im Laufe der 2030er-Jahre ist jedoch mit einem starken Anstieg der Wasserstoffnachfrage und entsprechenden Speicherbedarfen zu rechnen.

Die meisten Betreiber von heutigen Gasspeichern verfolgen auch bereits konkrete Projekte. Für die Betreiber ist aber eine entsprechende Nachfrage und Zahlungsbereitschaft Voraussetzung für die Realisierung dieser Projekte. Daher sind aktuell von zahlreichen Marktteilnehmern Marktkonsultationen bei Energieversorgern, Kraftwerksbetreibern, Wasserstoffproduzenten und -abnehmern sowie Händlern durchgeführt worden, um ein Bild zum zukünftigen Bedarf an Wasserstoffspeicherkapazitäten und der zugehörigen Zahlungsbereitschaft entwickeln zu können. Im Ergebnis stützen diese Konsultationen – wie z. B. diejenige von Uniper Energy Storage – mit einer Ausweisung eines hohen Bedarfs an Wasserstoffspeicherkapazitäten ab Beginn der 2030er-Jahre (Uniper Energy Storage: ab 2029) die oben skizzierten Entwicklungsprognosen für die zukünftige Wasserstoffspeicherung.

Aus den oben genannten Randbedingungen ergibt sich, dass zur Umsetzung der Energiewende nicht nur die Umwidmung bestehender Erdgasspeicher, sondern auch der Neubau von Wasserstoffspeichern notwendig sein wird. Da der Bedarf an Neu- und Umbau zu Wasserstoffspeichern bereits ab 2030 bestehen dürfte, muss hier bereits kurzfristig gehandelt werden. Dies ergibt sich aus den für die Umrüstung oder den Neubau von Untergrundspeichern benötigten langen Zeiträumen: Die Umrüstung von bestehenden Gaskavernen oder die Herstellung neuer Kavernen durch Solung der Salzlagerstätte in einem bestehenden Kavernenfeld, die anschließend für die Wasserstoffspeicherung umgerüstet werden können, wird mindestens fünf bis zehn Jahre in Anspruch nehmen.

An neuen Standorten ist von noch längeren Zeiträumen auszugehen. Ein Untergrundspeicher für die Speicherung von Gasen besteht dabei immer aus einer Obertageanlage und den über Leitungen mit ihr verbundenen Kavernen. Auf der Obertageanlage kommt das Gas aus der Fernleitung oder der Kaverne an und wird entweder verdichtet oder entspannt. Der Parallelbetrieb mit Erdgas und Wasserstoff ist hierbei nicht möglich und daher muss zumindest bei sukzessiver Umstellung vor der Speicherung von Wasserstoff zunächst eine zweite Obertageanlage gebaut bzw. die bestehende Anlage erweitert werden.

Neben diesen Aspekten muss berücksichtigt werden, dass für den Neubau eines Untergrundspeichers zunächst eine Kaverne erstellt werden muss. In NRW werden Kavernen primär für die Salzgewinnung durch Solung erstellt. Die Sole wird dabei von der chemischen Industrie abgenommen. Eine Skalierung des Soleabsatzes bzw. falls notwendig die Entsorgung der Sole ist somit nur sehr eingeschränkt möglich. Die Schaffung neuer Kavernen zur Nutzung als Untergrundspeicher kann daher auch nur mit großem zeitlichen Vorlauf erfolgen.

All dies unterstreicht die Notwendigkeit kurzfristig zu schaffender Anreizsetzungen und geeigneter Rahmenbedingungen. Die erforderlichen Investitionsentscheidungen hinsichtlich der Bau- und Umrüstungsmaßnahmen müssen von den Unternehmen zeitnah getroffen werden können, um die Bereitstellung von Wasserstoffspeicherkapazitäten bis 2030 und für die Folgejahre zu realisieren. Zudem müssen auch Anschlüsse an Wasserstoffnetze erfolgen.

Nach jetzigem Kenntnisstand sind von den bestehenden Erdgasspeichern nur Kavernenspeicher weitgehend eingeschränkt für die Wasserstoffspeicherung geeignet und nicht die ebenfalls derzeit für Erdgas außerhalb von NRW verwendeten Porenspeicher. Somit kommt für die Wasserstoffspeicherung im Untergrund derzeit grundsätzlich die Umrüstung bestehender Solkavernen, die Umrüstung bestehender Erdgas-Speicherkavernen oder die gezielte Herstellung von Speicherraum durch Solung in Betracht.

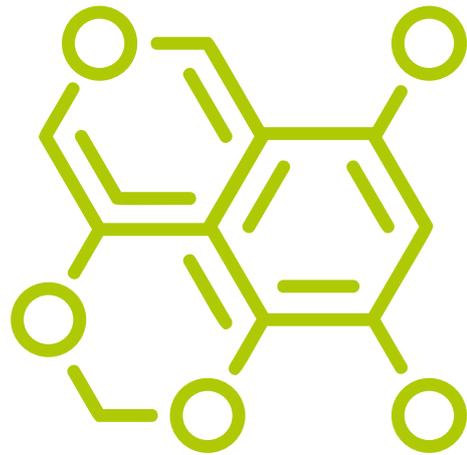
Damit wird laut aktuellen Prognosen im Bestand heutiger Erdgasspeicher ein maximales Potenzial von Wasserstoffspeicherkapazitäten in Höhe von 33 TWh bei Umrüstung aller Erdgaskavernen in Deutschland ermöglicht. Der Großteil der Gasspeicherkapazitäten, die auf Wasserstoff umrüstbar sind, befindet sich in Niedersachsen, NRW und Sachsen-Anhalt. Entsprechend müssen bereits Anfang der 2030er-Jahre ausreichende Wasserstoffspeicherkapazitäten insbesondere auch in NRW zur Verfügung stehen. Gleichzeitig wird mit Blick

auf die oben ausgeführten langfristigen Wasserstoffspeicherbedarfe in Deutschland (76–80 TWh im Jahr 2045) ebenfalls sehr deutlich, dass die alleinige Umrüstung bestehender Kavernen nicht ausreichen wird, um ein versorgungssicheres Energiesystem auf Basis erneuerbarer Energien zu verwirklichen. Es bedarf vielmehr auch zahlreicher neuer Wasserstoffkavernenspeicher.

Neben Solkavernen in unterschiedlichen Entwicklungsstufen verfügen sowohl Niedersachsen als auch NRW über wenige solgefüllte, zurzeit ungenutzte Kavernen, die bereits jetzt grundsätzlich für die Wasserstoffspeicherung eingesetzt werden könnten. In Niedersachsen ist zudem eine größere Anzahl von Kavernen genehmigt und z. T. angesolt, gebohrt oder geplant und könnte bei entsprechender Speichernachfrage entwickelt werden. In Sachsen-Anhalt werden an verschiedenen Standorten Kavernen gesolt, die zu einem späteren Zeitpunkt ggf. als Wasserstoffspeicher genutzt werden können. In NRW werden Kavernen primär für die Soleproduktion erstellt. Nur bei dementsprechendem Bedarf werden Kavernen aus dem Solprozess herausgenommen und für Speicherezwecke zur Verfügung gestellt.

Dem hohen Bedarf an Wasserstoffspeicherkapazitäten in der Zukunft stehen derzeit nur vereinzelte Pilotprojekte bzw. Projektideen zur Entwicklung von Wasserstoffspeichern gegenüber, die aller Voraussicht nach die bis 2030 erforderlichen Wasserstoffspeicherkapazitäten nur in Teilen abdecken können. So sind aktuell deutschlandweit bis 2030 lediglich Wasserstoffspeicherprojekte im Umfang von 1 bis 2 TWh in Planung (vornehmlich in Epe in NRW und in Etzel in Niedersachsen). Die aktuell in NRW von einem Unternehmen projektierte und genehmigte Umrüstung einer Solkaverne und einer Erdgasspeicherkaverne für eine Wasserstoffspeicherung weist beispielsweise lediglich eine Speicherkapazität von ca. 0,1 TWh aus.

Erhebliche wirtschaftliche Risiken, insbesondere zu künftigen Erlösmöglichkeiten, verhindern bislang umfangreichere Investitionstätigkeiten und Projektentwicklungen. So stehen auch bei den derzeit bekannten Projekten im Gesamtumfang von rund 1–2 TWh vielfach finale Investitionsentscheidungen noch aus. Der Handlungsdruck wird auch dadurch verstärkt, dass Deutschland das weitaus größte Speicherpotenzial in Europa aufweist und daher eine zentrale Rolle im europäischen Wasserstoffnetz als Speicherstandort einnehmen muss, der auch für die Bedarfe anderer europäischer Länder zur Verfügung steht und so die zukünftige europäische Versorgungssicherheit in einem Energiesystem absichert, welches umfänglich Wasserstoff einsetzen wird.



## Aktivitäten des MWIKE

- ✔ Das MWIKE hat bereits ab Frühjahr/Sommer 2023 im politischen Prozess gegenüber dem Bund dafür geworben, kurzfristige Anreize zu setzen und die erforderlichen Rahmenbedingungen für eine zügige Umsetzung von Wasserstoffspeicherprojekten zu schaffen. Das Bundeswirtschaftsministerium hat diesbezüglich angekündigt, im Laufe des Jahres eine Wasserstoffspeicherstrategie vorzulegen.
- ✔ NRW wird aufgrund seiner Rolle als wichtiger Standort für Speicher und im kontinuierlichen Austausch mit der insbesondere auch in NRW beheimateten Branche der Speicherbetreiber auch diesen Prozess auf Ebene des Bundes eng und konstruktiv begleiten, wobei die Entwicklung geeigneter Förderinstrumente, verlässliche Rahmenbedingungen und die Schaffung eines geeigneten Marktdesigns im Fokus stehen.
- ✔ Die Notwendigkeit einer integrierten systemischen Planung der erforderlichen Infrastrukturen für Gas/Wasserstoff und Strom wurden mit der Systementwicklungsstrategie und der integrierten Netzentwicklungsplanung nach dem Vorbild von NRW seitens des Bundes nunmehr aufgegriffen.
- ✔ Mit seiner im Jahr 2020 veröffentlichten Wasserstoff-Roadmap hat NRW frühzeitig konkrete Zielvorgaben zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft erarbeitet und seither zusammen mit vielen anderen Stakeholdern intensiv an deren Umsetzung gearbeitet.
- ✔ Durch das im Juli 2024 vorgelegte Wasserstoffimportkonzept des MWIKE wurde der Zugang des Landes zu Wasserstoffimporten und die Sichtbarmachung des Landes als wichtiger zukünftiger Absatzmarkt für Wasserstoff nochmals stärker akzentuiert.
- ✔ Das MWIKE hat überdies im Frühjahr 2023 den bereits beschriebenen Prozess für das nunmehr hier vorliegende Energiespeicherkonzept gestartet.

## 6.2 Maßnahmen und Handlungserfordernisse

Aus Sicht des MWIKE sind insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich, um die Entwicklung des Um- und Neubaus von Wasserstoffspeichern zu stärken:

### → Wasserstoffspeicherstrategie des Bundes begleiten.

Das Bundeswirtschaftsministerium hat angekündigt, im Laufe des Jahres eine Wasserstoffspeicherstrategie vorzulegen. NRW wird aufgrund seiner Rolle als wichtiger Standort für Speicher und als Industriestandort mit hohen Wasserstoffbedarfen gemeinsam mit den Speicherbetreibern auch diesen Bundesprozess eng und konstruktiv begleiten. Das MWIKE wird sich dabei insbesondere für die Identifikation und Erschließung von Möglichkeiten zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie die Schaffung geeigneter Anreize für Unternehmen in NRW einsetzen.

### → Geeignete Förderinstrumente für Wasserstoffspeicher entwickeln.

Derzeit gibt es keinen Speichermarkt für Wasserstoff, daher ist voraussichtlich eine staatliche Unterstützung notwendig, um wirtschaftliche Geschäftsmodelle zu erschließen. Der Aufbau der erforderlichen Wasserstoffspeicherkapazitäten in gewünschtem Ausmaß und der gebotenen Zügigkeit durch den Umbau bestehender Unterspeicher für Erdgas und den Neubau wird nach Einschätzung aller Stakeholder auch nicht aus dem Markt selbst heraus erfolgen, da der Hochlauf des Wasserstoffmarkts noch nicht konkret genug absehbar ist und die Investitionsgrundlagen derzeit noch zu unsicher sind (Verfügbarkeit und Preis von Wasserstoff sowie Nachfragerisiken bei Wasserstoff).

Aus Sicht des MWIKE sind daher insbesondere staatliche Garantien und Finanzierungsinstrumente für den Speicherneubau und -ausbau auf Bundesebene erforderlich, die die Brücke hin zu einem funktionierenden und mit ebenfalls auskömmlichen regulatorischen Rahmenbedingungen versehenen Wasserstoffmarkt darstellen müssen.

Insbesondere der lange zeitliche Vorlauf für den Um- und Neubau von Wasserstoffspeichern erfordert betriebliche Entscheidungen zu einem (sehr frühen) Zeitpunkt. Daher braucht es Instrumente, die die Erschließung oder Sicherung solcher Infrastrukturen ermöglichen, damit zu einem späteren Zeitpunkt überhaupt noch die Möglichkeit einer Speicherentwicklung besteht.

Insofern müssen im Rahmen einer in die Wasserstoffstrategie der Bundesregierung einzubettenden Wasserstoffspeicherstrategie wirksame Förderinstrumente für Vorhaben zur Entwicklung von Wasserstoffspeichern definiert werden, um die notwendige Investitionssicherheit herstellen zu können.

Das MWIKE schlägt daher im Einklang mit einem entsprechenden Entschließungsantrag des Bundesrats vor, dass der Bund prüfen möge, welche geeigneten Förderinstrumente und Marktanreize so gesetzt werden können, dass sie einen wirtschaftlichen Betrieb von Speichern mit der dazugehörigen Investitionssicherheit ermöglichen. Hierbei könnten solche Finanzierungsinstrumente zielführend sein, die die hohen Upfront-Kosten für die erstellungsbedingten Investitionen in die Wasserstoffspeicher über den Zeitverlauf strecken, so dass die ersten Kunden des Speichers nicht überproportional hohe Kosten tragen müssen. Diese Vorgehensweise würde eine Analogie zur H<sub>2</sub>-Kernnetz-Förderung aufweisen. Auch die Nutzung sogenannter Differenzverträge (Contracts for Differences (CfDs)) sollte als Beitrag zu entwickelnder Finanzierungsmechanismen für den Aufbau und wirtschaftlichen Betrieb von Wasserstoffspeichern mit der dazugehörigen Investitionssicherheit seitens des Bundes geprüft werden.

Die zu entwickelnden Förderinstrumente müssen auch den Neuaufschluss von Kavernen und deren Solung berücksichtigen und anreizen (dies ist z. B. relevant für das Kavernenfeld Epe in NRW, wo Solung und Unterspeicherung von unterschiedlichen Unternehmen betrieben werden). Zu beachten ist auch, dass solche Förderinstrumente zeitnah erforderlich sind, da die Realisierungszeiten für Wasserstoffspeicher lang sind und gleichzeitig auch der versorgungssichere Transformationspfad vom Erdgas hin zum Wasserstoff ohne Versorgungssicherheitsverluste, aber auch ohne Lock-In-Effekte ausgestaltet werden muss.





## Es bedarf eines **stabilen politischen, finanziellen und regulatorischen Rahmens** für einen **liquiden und sich selbst tragenden Wasserstoffmarkt**.

→ **Verlässliche Rahmenbedingungen und Schaffung eines geeigneten Marktdesigns.**

Es bedarf eines stabilen politischen, finanziellen und regulatorischen Rahmens für einen liquiden und sich selbst tragenden Wasserstoffmarkt. Dafür setzt sich das MWIKE gegenüber dem Bund und der EU ein. Hierfür ist eine möglichst breite Diversifizierung des Wasserstoffbezugs sowohl mit Blick auf Herkunftsländer als auch mit Blick auf Transporttechnologien ebenso erforderlich wie harmonisierte, mindestens europaweite Vorgaben für handelsfähige und genormte Produkte, die an liquiden Märkten handelbar sind. Nur wenn sich frühzeitig verlässliche Voraussetzungen für Investitionssicherheit in allen Wertschöpfungsstufen – Erzeugung/Import, Handel, Transport, Verteilung und Speicher sowie die Nachfrageseite – bieten, werden auch die Investitionsentscheidungen über die erforderliche Umrüstung oder den Neubau von Wasserstoffspeichern getroffen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die künftige Ausgestaltung des Regulierungsrahmens für Wasserstoffspeicher auch Aus- bzw. Rückwirkungen auf den Marktrahmen für bestehende Gasspeicher haben wird. Der zu entwerfende Marktrahmen für die Anreizung der Entwicklung von Wasserstoffspeicherkapazitäten muss dabei so ausgestaltet werden, dass er weiterhin auch bei rückläufigem Gasbedarf ausreichend Speicherkapazitäten zur Versorgungssicherheit im Erdgasmarkt sicherstellen kann und keine Lock-in-Effekte erzeugt werden.

→ **Integrierte systemische Planung der erforderlichen Infrastrukturen vorantreiben.**

Es ist eine systemische und sektorenübergreifende Planung sowohl von Wasserstoffnetz und Wasserstoffspeichern als auch der Strom- und Erdgasinfrastruktur vonnöten, um die bestehende Energieinfrastruktur zukunftsweisend zu nutzen und die erforderlichen infrastrukturellen Neubauerfordernisse zu optimieren.

**NRW verfügt heute über eine hervorragende Energieinfrastruktur (z. B. Strom- und Erdgasnetze, Gasspeicher), die auch das Rückgrat für die zukünftige Energieversorgung bilden sollte.** Wegen der erforderlichen hohen Anschlussleistungen ist die Wasserstoffversorgung dabei auch immer zusammen mit neu zu errichtenden H<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-ready-Kraftwerken zu denken, die zukünftig vornehmlich als Backup für die volatil einspeisenden erneuerbaren Energien dienen werden. So wird es im gesamten deutschen Verbundsystem bedeutsam sein, ob die jeweils geplante Lage eines Untertagespeichers auch kurzfristig Flexibilitäten im Wasserstofftransportnetz bereitstellen kann, da weniger Volumen, aber hohe Ein- und Ausspeicherraten aufgrund der volatilen Wasserstofferzeugung aus regenerativem Strom zu erwarten sind.

Ebenfalls wird es bedeutsam sein, ob die Standorte der Speicher mit denen der geplanten Rückverstromungskraftwerke zusammenpassen oder es aus Gründen der schnellen Leistungsbereitstellung an den Kraftwerksstandorten vielleicht zusätzlicher kleinerer Übertagespeicher bedarf.

Insofern sind die Kraftwerks- und die H<sub>2</sub>-Speicherstrategie gemeinsam zu denken und umzusetzen. Die nach Vorbild der Studie „Integrierte Netzplanung NRW“ auf Bundesebene geschaffene integrierte Netzentwicklungsplanung Gas und Wasserstoff auf Grundlage eines Szenariorahmens mit der parallel durchgeführten Netzentwicklungsplanung Strom wird durch das MWIKE daher ausdrücklich unterstützt. Die Ausgestaltung der Systementwicklungsstrategie des BMWK mit den aktuell vorgelegten Ankerpunkten wird konstruktiv begleitet.

### → Genehmigungsverfahren beschleunigen.

Die Entwicklung einer neuen Kaverne für die anschließende Nutzung als Speicher erfordert ca. zehn Jahre, sofern es sich um ein bestehendes Kavernenfeld handelt. Die Umrüstung einer solchen Kaverne zur Speicherkaverne nimmt noch einmal Zeit für die technischen Maßnahmen und Genehmigungsverfahren in Anspruch, wobei die Genehmigungsverfahren für die geplante Umrüstung bei rechtzeitiger Planung und Beantragung bereits während des noch laufenden Solungsbetriebs durchgeführt und abgeschlossen werden können.

Sofern der Neuaufschluss eines Kavernenfeldes notwendig ist, sind die Zeiträume momentan sehr schwierig zu kalkulieren. Jegliche Beschleunigungsbemühungen in den erforderlichen Verfahren von der Bundes- bis hin zur regionalen Ebene sind daher zu begrüßen.

Die Bundesregierung hat den Entwurf eines Gesetzes zur Beschleunigung der Verfügbarkeit von Wasserstoff und zur Änderung weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen

für den Wasserstoffhochlauf sowie zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften in das Gesetzgebungsverfahren eingebracht. Dieses Gesetz beinhaltet auch ein Gesetz zur planungs- und genehmigungsrechtlichen Beschleunigung der Erzeugung, der Speicherung und des Imports von Wasserstoff (Wasserstoffbeschleunigungsgesetz – WasserstoffBG). Vorlaufend hatten die Bundesländer und Verbände Gelegenheit zur Stellungnahme zum Referentenentwurf. Derzeit befindet sich der Gesetzesentwurf in der Ausschussberatung.

Das MWIKE begrüßt den vorgelegten Entwurf, da er darauf abzielt, die rechtlichen Rahmenbedingungen für einen vereinfachten und beschleunigten Auf- und Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur zu schaffen, und damit dazu beiträgt, den erforderlichen Markthochlauf von Wasserstoff zu beschleunigen. Besonders zu begrüßen ist, dass die Vorhaben der Erzeugung, Speicherung und des Imports von Wasserstoff in ihrer Schlüsselrolle bei planerischen Abwägungen gestärkt werden, indem ihnen ein überragendes öffentliches Interesse zuerkannt und festgestellt wird, dass sie der Wahrung der öffentlichen Sicherheit dienen. Insbesondere ist vorgesehen, Regelungen zur Beschleunigung und Vereinfachung wasserrechtlicher und immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren zu schaffen.

Das MWIKE hat mit einem Antrag im Bundesratsverfahren darum gebeten, in die mit dem Gesetzentwurf vorgesehenen Regelungen zur Vereinfachung und Beschleunigung wasser- beziehungsweise immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren auch die bergrechtlichen Zulassungsverfahren entsprechend einzubeziehen.

**Sofern es sich um ein bestehendes Kavernenfeld handelt, erfordert die Entwicklung für die anschließende Nutzung als Speicher ca.**

**10** Jahre.

Alternativ wurde gebeten, entsprechende Regelungen im Rahmen der geplanten Novellierung des Bergrechts vorzusehen.

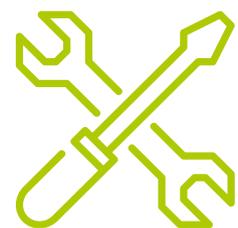
Wichtig ist es aber auch festzustellen, dass die erforderlichen Genehmigungsverfahren den gesamten Umsetzungsprozess jedes Vorhabens begleiten müssen und gleichwohl nur einen Teil der Planungszeit für ein Vorhaben in Anspruch nehmen. So hat beispielsweise das Genehmigungsverfahren zur Planfeststellung des ersten Wasserstoffspeicherprojektes in NRW weniger als 12 Monate gedauert. Das Gesamtprojekt dauert nach Plan mehr als 4,5 Jahre bis zum Regelbetrieb.

→ Geeignete Standorte für Wasserstoffspeicher frühzeitig sichern.

Es müssen wirksame Anreize für Unternehmen der Salzgewinnung durch Solung für den Erhalt von Kavernen in einer für die Speicherung geeigneten Größe gesetzt werden, um diese als Kavernen für eine Nutzung zur

Wasserstoffspeicherung zu sichern. Hierfür ist es von hoher Relevanz, auch die weiteren notwendigen Anlagenteile und Maßnahmen zur Entwicklung eines Speichers zu berücksichtigen.

Es müssen ortsnah entsprechend geeignete Ausbauflächen vorgehalten werden, und daneben sind die notwendigen Genehmigungen (insbesondere bergrechtliche Betriebsplanzulassungen) für die Speicher zu erteilen. Zudem muss dafür Sorge getragen werden, dass für die Solung und auch den Prozess der Umrüstung bestehender Erdgasspeicherkavernen auf Wasserstoff in ausreichender Menge Wasser zur Verfügung steht. Die Erschließung von Wasserquellen alternativ zur bisherigen Wasserentnahme aus Grundwasserleitern wird zurzeit geprüft und von uns begleitet. Darüber hinaus steht das MWIKE in einem intensiven Austausch mit den Stakeholdern der Speicherbranche in NRW, um über bestehende Hemmnisse beim Ausbau der Speicherpotenziale informiert zu sein und beim Abbau von Hemmnissen unterstützen zu können.



### Solung

Salzgewinnung

### Benötigtes Wasser

Verfügbarkeit in ausreichender Menge

### Umrüstung

Speicherkavernen für Erdgas auf Speicherung von Wasserstoff

# 07

44–47

## **Biogasspeicher: Entwicklung, Perspektiven sowie Maßnahmen und Handlungserfordernisse**



Biogasspeicher sind eine weitere technisch und betriebsbewährt verfügbare Speicheroption. Sie sind bei der Verstromung von Biogas, möglichst in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, bedeutsam im Hinblick auf verstärkte Flexibilitätsanforderungen im zukünftigen Energiesystem. Biogasanlagen mit Speicher leisten einen wichtigen Beitrag bei der versorgungssicheren Bereitstellung von Energie in Form von Strom und Wärme und müssen zukunftsfest weiterentwickelt werden.



## 7.1 Entwicklung und Perspektiven

Beim Blick auf technisch und betriebsbewährt verfügbare Speicheroptionen ist insbesondere auch die Rolle von Biogasspeichern bei der Verstromung von Biogas, möglichst in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, von Relevanz. Speziell die Stromerzeugung aus Biogas ist im Hinblick auf verstärkte Flexibilitätsanforderungen im zukünftigen Energiesystem von besonderem Interesse, da sie steuerbar ist und so einen Beitrag zu einer versorgungssicheren Bereitstellung von Energie in Form von Strom und Wärme leistet. Diese flexible Einsetzbarkeit des zumeist regional verfügbaren Energierohstoffs Biogas gilt es daher zukunfts-fest weiterzuentwickeln. Deshalb wurde dieses Themenfeld im Rahmen eines Workshops mit der Branche diskutiert. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse erarbeitet und notwendige Maßnahmen vorgeschlagen, die nunmehr in das Energiespeicherkonzept für NRW integriert wurden.

Aufgrund der schwankenden Biogasproduktion in einer Biogasanlage wird Biogas in großen Gasspeichern vorgehalten. Der Biogasspeicher gleicht die Schwankungen aus und dient der optimierten Bereitstellung des Gases für ein Blockheizkraftwerk oder eine Biogasaufbereitungsanlage. Bestehende Bioenergieanlagen sind aufgrund der politischen Vorgaben für mehr Flexibilität zunehmend mit entsprechenden Speichern ausgestattet. Der gesamte verfügbare Energiegehalt von Biogas bezogen auf die installierte Fermenterkapazität in Deutschland beträgt derzeit 95 TWh. Davon werden 85 TWh für die Vor-Ort-Verstromung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen genutzt und 10 TWh in weiteren EEG-Vermarktungen sowie Wärme- und Kraftstoffanwendungen und in der stofflichen Nutzung oder dem Export eingesetzt.

### Status Quo sowie Potenziale

Ende 2023 waren in Deutschland unter Berücksichtigung von Anlagenstilllegungen und Außerbetriebnahmen rund 8.700 Biogasproduktionsanlagen (inkl. Aufbereitungsanlagen für Biomethan) mit einer installierten Anlagenkapazität von insgesamt 7,7 GW (inklusive der Leistung für die Flexibilisierung der Stromerzeugung) in Betrieb. Diese Anlagen erzeugten aufgrund der EEG-Förderung überwiegend in Grundlast fahrend rund 28,7 TWh in Vor-Ort-Verstromung und deckten so rund 6,4 Prozent des in Deutschland in 2023 erzeugten und ins Netz eingespeisten Stroms (insgesamt rund 450 TWh) ab. Hinzu kommt die erzeugte Wärme aus Biogasanlagen, die etwa 10 Prozent der produzierten erneuerbaren Wärme ausmacht.

Die installierte Stromerzeugungsleistung aus Biomasse in NRW beträgt derzeit ca. 1 GW<sub>el</sub>, wovon der weit überwiegende Anteil mit rund 560 MW auf Biogasanlagen entfällt und auf dem zweiten Platz Altholz-Heizkraftwerke mit rund 133 MW folgen. Die Stromeinspeisung ins NRW-Netz aus Biogas lag in 2023 bei rund 2,5 TWh. Dies entspricht bei einer Gesamteinspeisung von rund 95 TWh über alle Energieträger einem Versorgungsanteil durch Biogas von rund 2,6 Prozent. Verbunden mit der Stromerzeugung zumeist in Vor-Ort-KWK ist dabei auch eine Wärmeleistung von rund 1,2 TWh erzeugt worden. Biogas leistet also neben der Stromerzeugung zusätzlich einen nennenswerten Beitrag für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung insbesondere im ländlichen Raum.

**Der gesamte verfügbare Energiegehalt von Biogas bezogen auf die installierte Fermenterkapazität in Deutschland beträgt derzeit**

95 TWh.

Trotz des skizzierten versorgungssicheren Beitrags, den Biogasanlagen auch im zukünftigen Energiesystem durch Möglichkeiten der Flexibilisierung leisten können, sehen sich die Betreiber dieser Anlagen mit wirtschaftlichen Herausforderungen insbesondere aufgrund des Auslaufens der 20-jährigen EEG-Förderperiode konfrontiert. So endet die EEG-Förderung für über 90 Prozent der Biogasanlagen zwischen 2025 und 2034. Nach Einschätzung der Branche droht daher in den nächsten Jahren ein Rückbau vieler Biogasanlagen aufgrund fehlender Anreize für den Weiterbetrieb, da ein Weiterbetrieb von Biogasanlagen unter den aktuellen Bedingungen ohne Förderung in der Regel als nicht wirtschaftlich bewertet wird. Dies korrespondiert mit der Entwicklung, dass nach einem Peak in der Neuinstallation solcher Anlagen um das Jahr 2010 seit 2014 kaum noch Neuinstallationen erfolgten und das zu verzeichnende Wachstum neuer Anwendungen von Biogas im Bereich Kraftstoffherstellung und bei Anwendungen in der Industrie den Rückbau von Bestandsanlagen bisher offenbar nicht aufhalten konnte.

Vor diesem Hintergrund sollte insbesondere für bestehende und neu zu bauende Biogasanlagen eine Perspektive für die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit im zukünftigen Energiesystem geöffnet werden, indem Biogasanlagen zunehmend Erlöse aus dem Markt generieren müssen. Die Bestandsanlagen weisen bisher jedoch überwiegend eine unzureichende Flexibilisierung auf. Ebenso besitzen die Bestandsanlagen vielfach noch deutliche Verbesserungspotentiale bei der Wärmenutzung. Erwartbar dürfte die Zukunft von Biogas weiterhin im Wesentlichen in der Vor-Ort-Verbrennung in KWK-Anlagen liegen. Seitens der Landesregierung werden aber auch alternative Ansätze sowie der Zusammenschluss von Biogasanlagen zu Biogasclustern befürwortet und Fördermöglichkeiten geprüft. Stromerlöse aus Biogasanlagen werden dabei insbesondere aus einem flexiblen Anlagenbetrieb durch Beiträge zur Abdeckung hoher Residuallasten zu erwarten sein – dann, wenn die Beiträge von Windkraft und Photovoltaik zur Stromerzeugung gering sind. Da die einzusetzende Biomasse nicht beliebig vermehrbar ist, wird es bei der Biogasverstromung tendenziell um die Erbringung einer mit heute in etwa vergleichbaren bzw. auch moderat steigerungsfähigen Stromerzeugungsmenge in erheblich gekürzten jährlichen Betriebsstunden gehen. Die installierte Anlagenleistung müsste entsprechend insbesondere durch Überbauung bestehender Standorte stark gesteigert werden. Ebenso wird es um die Erschließung von Wärmeverwertungsoptionen gehen, die zur Finanzierung der Erzeugungskosten beitragen können.

Die Flexibilisierung von Biogasanlagen könnte dabei wirkungsvoll mit dem Zubau von Gasspeichern, mit dem Anlegen von Substratvorräten und der Überbauung

des vorhandenen KWK-Anlagenbestands mit flexiblen Neuanlagen erfolgen.

Realisierte Beispiele für eine konsequente Flexibilisierung existieren bereits und zeichnen sich typischerweise durch folgende, fallspezifisch an regionale Randbedingungen anzupassende Zusammenschaltungen von Komponenten und Systemverbundeigenschaften aus:

- Überbauung bestehender Biogasanlagen (möglichst auf Basis von KWK) mit einer Erhöhung der installierten Anlagengesamtleistung am Standort durchaus um das Zwei- bis Dreifache (teilweise werden auch höhere Überbauungsgrade diskutiert). Die Bestandsanlagen und die neuen flexibleren KWK-Anlagen speisen dann marktgetrieben in das Stromnetz ein.
- Einhergehend mit der Überbauung mit zusätzlicher Anlagenleistung werden auch die Gasspeicher für Reingas in räumlicher Nähe zu vorhandenen und überbauten KWK-Anlagen vergrößert. Derzeit werden Speichergrößen im einstelligen Stundenbereich genutzt, die im Sinne einer Flexibilisierungsertüchtigung in Richtung 8 h bis 12 h Speicherbarkeit (teilweise werden auch bereits 60 h realisiert) erweitert werden sollten.
- Auch die Weiterentwicklung und Vergrößerung von Substratlagerern können die Flexibilisierung von Biogasanlagen weiter stärken. Die Lagerung von Substraten wie z. B. nachwachsenden Rohstoffen und Mais ist im Silo bis zu 24 Monate möglich und stellt somit auch eine Langzeitspeicheroption dar. Die Aktivierbarkeit und damit auch die Zeitspanne bis zum Einsatz dieses Energieträgers zur Verstromung für den Strommarkt hängt jedoch vom Fermenterraum der Biogasanlage ab. Bestehende Biogasanlagen verfügen jedoch typischerweise über große Fermentervolumina, was hier begünstigend wirkt.
- Durch eine angepasste Substratlagerung können auch saisonbedingte Effekte durch eine variable Gasproduktion ausgeglichen werden. Die Biogasanlagen können so im Winter und Sommer durch die zeitweilige Fütterung von mehr oder energiereicheren Substraten auch unterschiedliche Erzeugungsprofile fahren, um in Kälteperioden mehr Wärme und/oder mehr Strom zu erzeugen.
- Die Flexibilisierung von Biogas begünstigt auch den Einsatz von Wärmespeichern, die in Kombination mit Großwärmepumpen zu einer optimierten strommarktorientierten Fahrweise führen und gleichzeitig insbesondere im ländlichen Raum zur Versorgung über Nahwärmenetze beitragen können.

## 7.2. Maßnahmen und Handlungserfordernisse

Der Beitrag speicherbarer Bioenergie ist vor dem beschriebenen Hintergrund ihres möglichen systemdienlichen und flexiblen Einsatzes im zukünftigen Energiesystem bedeutend. Wenngleich das Biomassepotenzial in Nordrhein-Westfalen besonders angesichts der hohen Siedlungs- und Industriedichte und bestehender Flächenkonkurrenzen zwischen den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr begrenzt erscheint, so sind insbesondere die Potenziale durch die Abfall- und Reststoffverwertung noch nicht ausgeschöpft. Vor diesem Hintergrund wurde in der Energie- und Wärmestrategie NRW auch das Ziel gesetzt, die installierte Leistung der Biomasseenergie von derzeit rund 1,3 GW in einem Korridor von 1,5 bis zu 1,8 GW bis 2030 in Nordrhein-Westfalen auszubauen. Eine auf Landesebene bereits in Auftrag gegebene Potenzialstudie des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen wird sämtliche Potenziale für die Nutzung von Bioenergie erfassen und Handlungsvorschläge benennen. Das Land bringt sich intensiv und konstruktiv in die Einarbeitung der nationalen Biomassestrategie (NABIS) auf Bundesebene ein. Darüber hinaus wird eine eigene Biomassestrategie des Landes NRW erarbeitet.

Die Speicherung und Verwertung von Biogas deckt hierbei wie beschrieben den Speicherbedarf zwischen Kurzzeitspeichern (wie Batterien) und saisonalen Speichern (wie Wasserstoffspeichern) ab und kann Strom-, Wärme- und Wasserstoffspeicher (auch in Kombination mit Rückverstromungsanlagen) als wichtige Bausteine im zukünftigen Energiesystem insofern sinnvoll ergänzen, wenn hierzu die erforderlichen Weiterentwicklungsmaßnahmen mit Blick auf eine flexiblere Biogasanlagenausgestaltung ergriffen werden. Da konkrete Maßnahmen und Handlungserfordernisse auch in Bezug auf die zukunftsfeste Weiterentwicklung von bestehenden und neu zu errichtenden Biogasanlagen und deren durch Speichermöglichkeiten flexibilisierten versorgungssicheren Beitrag im zukünftigen Energiesystem Gegenstand genannter, vertiefender Analysen des Landes sein werden, sollen nachfolgend zugehörige Handlungsfelder zur Stärkung der Rolle der Biogasspeicher zunächst eher übergreifend dargestellt werden:

### → Aktuelle und zukünftige Potenziale zur Nutzung von Biomasse in allen Sektoren neu bewerten.

Eine Biomassestrategie auf Landesebene soll die nationale Biomassestrategie (NABIS) ergänzen, um regionale

Gegebenheiten und Potenziale besser zu berücksichtigen. Aus diesen regionalen Gegebenheiten und Potenzialen sollen landesspezifische Ziele und Maßnahmen zur Erreichung der Ziele abgeleitet werden. Die angestrebte verstärkte Nutzung von Reststoffen, Bioabfällen und Wirtschaftsdünger wird dabei voraussichtlich Anpassungen des Rechtsrahmens, insbesondere des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, der Bioabfallverordnung, des Landesabfallgesetzes und kommunaler Satzungen, erfordern.

### → Anpassungen ausbauen und auf zukünftig verstärkt flexible Fahrweise im Sinne der Versorgungssicherheit bzw. Systemdienlichkeit auszulegen.

Zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit insbesondere auch von Biogasanlagen sind Investitionen in deren Flexibilisierung (Überbauung der Anlagenleistung, Gasspeichererweiterungen, Regelungstechnik etc.), die technische Auskopplung und die Nutzung der Wärme (Wärmespeicher) sowie in Maßnahmen zur Erfüllung der immissionsschutzrechtlichen und störfallverordnungsbedingten (z. B. relevant bei der Vergrößerung der Biogasspeicher) Vorgaben notwendig. Diese Investitionen bedürfen einer Absicherung und langfristiger Planungssicherheit durch regulatorische und rechtliche Anpassungen insbesondere auf Bundesebene. Diesbezüglich sollten seitens des Bundes deutliche Steigerungen der Ausschreibungsvolumina für Biogasanlagen gemäß EEG und KWKG ebenso geprüft werden wie Steigerungen der Kapazitätzahlungen (Flexibilitätszuschlag) und mögliche Entlastungen bei den Netzentgelten. Die Rahmenbedingungen müssen dabei so gesetzt werden, dass die Weiternutzung von Biogasanlagen auch nach Ende des Förderzeitraums attraktiv bleibt.

### → Fehlende gesicherte Zukunftsperspektive auflösen.

Die mit der Flexibilisierung von Biogasanlagen einhergehende wachsende Bedeutung der entstehenden Verbundsysteme auch für lokale und kommunale Wärmeversorgungskonzepte trifft derzeit gemäß Einschätzung der Bioenergiebranche auf ein Dilemma, welches sich aus der derzeit noch fehlenden gesicherten Zukunftsperspektive ergibt. Offenbar zögern viele Kommunen, Biogasanlagen in ihren kommunalen Wärmeplanungen zu berücksichtigen, wenn sie hören, dass der Betriebshorizont bestehender Anlagen nur noch wenige Jahre beträgt, es aber keine sichere Perspektive für den Weiterbetrieb gibt. Dieser Zirkelschluss muss durch tragfähige Rahmenbedingungen für die zukunftsfeste Weiterentwicklung von Biogasanlagen aufgelöst werden.

# 08

48–51  
**Fazit**



**Wie im Rahmen des vorliegenden Handlungskonzepts beschrieben, gewinnen Energiespeicher für eine kosteneffiziente und versorgungssichere Umsetzung der Transformation des Energiesystems zunehmend an Bedeutung. Dies gilt für Stromspeicher und Wärmespeicher ebenso wie für Gas- und Wasserstoffspeicher. Ihr bedarfsgerechter Um-, Aus- und Aufbau ist insofern ein wichtiger Bestandteil der Energie- und Wärmewende.**

#### Stromspeicher



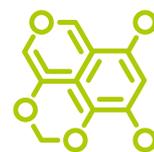
Batteriespeicher und Pumpspeicherkraftwerke liefern bereits heute einen wichtigen Beitrag zu einem stabilen und sicheren Betrieb des Stromversorgungssystems, welches zukünftig noch stärker deren systemdienliche Eigenschaften nutzen wird. Für die Langzeitspeicherung werden hingegen direkte Speicherkapazitäten für elektrische Energie allein nicht ausreichen.

#### Wärmespeicher



Wärmespeicher spielen bereits heute und in Zukunft noch verstärkt eine wichtige Rolle als Flexibilisierungsinstrument sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor.

#### Chemische Speicher



Die zukunftsste Weiterentwicklung der Gasspeicherkapazitäten in Richtung Wasserstoff und der Neubau von Wasserstoffspeichern haben daher eine hohe Bedeutung.

Die hier skizzierten Einsatzfelder, Ausbauerfordernisse und zugehörige Handlungsfelder im Speicherbereich weisen vielschichtige Verzahnungen mit den Transformationsprozessen im Strom-, Gas- und Wärmesektor und zugehörigen Sektorenkopplungsprozessen insgesamt auf. Diesbezüglich sei auf die zusammenhängende Beschreibung dieser komplexen Interdependenzen in der soeben vorgelegten Energie- und Wärmestrategie

verwiesen, in der Speichertechnologien ja auch in ihrer Bindegliedfunktion beschrieben werden.

Wenngleich die Maßnahmen zur Stärkung des erforderlichen Speicherausbaus technologieabhängig und in Abhängigkeit des Marktumfelds im Einzelfall unterschiedlich akzentuiert werden müssen, so können im Kern doch gemeinsame Handlungsschwerpunkte identifiziert werden.

## Diese betreffen die



### **Schaffung verlässlicher Investitionsrahmenbedingungen**

insbesondere durch den Abbau regulatorischer Hemmnisse



### **Stärkung von Speichergeschäftsmodellen**



### **Stärkung des Marktdesigns insgesamt**

in welchem sich die Speichertechnologien zukünftig bewegen werden

**Für die notwendige Investitionssicherheit in Speichertechnologien müssen diese Rahmenbedingungen angepasst werden.**

NRW als bedeutendes Industrie- und Energieland hat nicht nur große Bedarfe an Speichern im künftigen Energiesystem, sondern auch große Kompetenzen in der Speichertechnologieentwicklung auf Unternehmensseite und bei Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Ebenso gibt es hier auch große zugehörige Potenziale im Maschinen- und Anlagenbau bei der Komponenten- und Systemherstellung. Alle diese Kompetenzen sollten bei der Umsetzung der hier skizzierten Maßnahmen zur Stärkung des weiteren Speicherausbaus genutzt werden. Hierzu gilt es, weiter ein breites Spektrum an Speichersystemen für unterschiedliche Anwendungsfelder zu entwickeln, zu optimieren und wirtschaftlich einsetzbar zu machen. Ausichtsreiche Speichertechnologieentwicklungen sollten dabei technisch und anwendungsseitig differenziert vorangetrieben und – wo nötig und möglich – skaliert und im industriellen Maßstab eingeführt werden. Hierbei sollten auch dezentrale Speicheroptionen, z. B. in der Industrie, Berücksichtigung finden.



Das MWIKE stützt diese Prozesse mit vielfältigen Aktivitäten von der Vernetzung – dies insbesondere auch mit Hilfe der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate – bis hin zur Initiierung geeigneter Rahmensetzungen gegenüber dem Bund und der EU, denn die Maßnahmen zur Stärkung des Speicherausbaus betreffen im Wesentlichen EU- und Bundesrecht hinsichtlich regulatorischer Fragen.

## Aktivitäten des MWIKE

**Das MWIKE wird sich deshalb auch gemäß den im vorliegenden Konzeptpapier verankerten Handlungsschwerpunkten in die Gesetzgebungsverfahren auf Bundesebene über den Bundesrat einbringen.**

# Quellenverzeichnis

AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2023). Hauptbericht 2022.

BDEW-Stromspeicherstrategie, Berlin, 1. Dezember 2023 Positionspapier BDEW-Speicherstrategie für die Stromversorgung.

BMWK „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ mit den drei Hauptszenarien: starke Elektrifizierung, starke Nutzung von grünem Wasserstoff, starke Nutzung von synthetischen Kohlenwasserstoffen.

BMWK „Stromspeicher-Strategie“ Handlungsfelder und Maßnahmen für eine anhaltende Ausbaudynamik und optimale Systemintegration von Stromspeichern, Stand 08.12.2023.

e-mobil BW, NRW.Energy4Climate (Hrsg.) (2023), Bidirektionales Laden in Deutschland – Marktentwicklung und Potenziale. URL: [www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/mobilitaet/Potenzialanalyse-bidirektionales-Laden.pdf](http://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/mobilitaet/Potenzialanalyse-bidirektionales-Laden.pdf) (Zugriff am 07.11.2024)

Fraunhofer ISI (2021): Langfristszenarien 3. Wissenschaftliche Analysen zur Dekarbonisierung Deutschlands. In: Langfristszenarien. URL: [www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/](http://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/) (Zugriff am 05.01.2024)

„Groß- und Gewerbespeicher“. In: pv magazine, 03/2023. (2023), S. 20–23.

Initiative Energien Speichern e.V. Stellungnahme im Rahmen des Stakeholder-Workshops des MWIKE zum Thema Infrastrukturen vom 10. November 2023.

Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045 (2023), zweiter Entwurf | Übertragungsnetzbetreiber CC-BY-4.0.

NRW.Energy4Climate (2022), Factsheet Wasserstoffkavernenspeicher. URL: [www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Newsroom/2022/factsheet-kavernenspeicher-cr-energy4climate.pdf](http://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Newsroom/2022/factsheet-kavernenspeicher-cr-energy4climate.pdf) (Zugriff am 11.01.2024)

RWTH Aachen University (2023): Battery Charts. URL: [www.battery-charts.rwth-aachen.de](http://www.battery-charts.rwth-aachen.de) (Zugriff am 11.01.2024)

Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045, Version 2025, Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber

# Fußnotenverzeichnis

<sup>1</sup> Definition von „Time Shifting“: Zeitliche Verschiebung des Energieangebots.

Verwendete Quellen: (a) Directorate-General for Energy. (2020), Database of the European energy storage technologies and facilities, Publications Office, URL: <https://doi.org/10.2906/101110101114/1>; (b) World Energy Council. (2020), Five Steps to Energy Storage, Innovation Insights Brief, URL: [www.worldenergy.org/assets/downloads/Five\\_steps\\_to\\_energy\\_storage\\_v301.pdf](http://www.worldenergy.org/assets/downloads/Five_steps_to_energy_storage_v301.pdf); (c) Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. (2015), Technologie-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030, URL: [www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/TRM-SES.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/TRM-SES.pdf); (d) BVES – Bundesverband Energiespeicher Systeme e.V. (2023), Saisonale Wärmespeicher für die Energiewende, Positionspapier, URL: [www.bves.de/wp-content/uploads/2023/09/2300824\\_Saisonalspeicher\\_fuer\\_die\\_Waermewende\\_BVES.pdf](http://www.bves.de/wp-content/uploads/2023/09/2300824_Saisonalspeicher_fuer_die_Waermewende_BVES.pdf) (e) eigene Erkenntnisse

<sup>2</sup> Bildquelle: (c) Copyright AGFW, Frankfurt am Main. Quelle: AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2023). Hauptbericht 2022.

<sup>3</sup> Bezogen auf die Szenarien T45-Strom und T45-H2.

# Impressum

**Herausgeber:**

Ministerium für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

Berger Allee 25

40213 Düsseldorf

Tel.: +49 (0) 211/61772-0

Fax: +49 (0) 211/61772-777

Internet: [www.wirtschaft.nrw](http://www.wirtschaft.nrw)

E-Mail: [poststelle@mwike.nrw.de](mailto:poststelle@mwike.nrw.de)

Abteilung: „Energie“

[energiedialog@mwike.nrw.de](mailto:energiedialog@mwike.nrw.de)

**Bildnachweise:**

© MWIKE NRW/F. Wiedemeier (S. 3)

© unsplash/Adam Kring (S. 6)

© unsplash/Drew Easley (S. 8)

© unsplash/Susan Wilkinson (S. 14)

© unsplash/Andrei Zolotarev (S. 20)

© unsplash/Shraga Kopstein (S. 28)

© unsplash/Michael Skok (S. 34)

© freepik.com/fanjianhua (S. 44)

© unsplash/Nathan Dumlao (S. 48)

© MWIKE NRW/E. Lichtenscheidt – Foto Berger Allee (S. 56)

**Gestaltung:**

[www.heimrich-hannot.de](http://www.heimrich-hannot.de)

Die Publikation ist auf der Homepage des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen unter [www.wirtschaft.nrw/broschuerenservice](http://www.wirtschaft.nrw/broschuerenservice) als PDF-Dokument abrufbar.

**Hinweis**

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerberinnen und -bewerbern oder Wahlhelferinnen und -helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt hiervon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinarbeit der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



**Ministerium für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen**  
Berger Allee 25, 40213 Düsseldorf  
[www.wirtschaft.nrw](http://www.wirtschaft.nrw)

