



Zukunftsthema Wasser: Energiewende und Wasserwende



Gefördert durch

Von Dirk Filzek, House of Energy e. V.

HINTERGRUND

Die globale Transformation des Energiesystems ist ein wesentlicher Baustein, um unsere Klimaziele zu erreichen. Die Energieinfrastruktur wird systematisch umgebaut und für die Zukunft fit gemacht. Stichworte sind regenerative Energien, Elektrizität, Wärme, Wasserstoff, Sektorenkopplung und multimodale Netze. Für die **Resilienz** der Energieversorgung wird das Thema **Klimaanpassung** zunehmend bedeutend.

Die **Funktionalität der kritischen Energieinfrastruktur** muss auch gewährleistet bleiben, wenn mit dem Klimawandel extreme Witterungsverhältnisse häufiger auftreten. Stürme, Überflutungen und Waldbrände sind das eine. Eine verlässliche **Verfügbarkeit der Ressource Wasser** ist nicht minder wichtig, um den Betrieb von Energieanlagen unterschiedlicher Art aufrecht erhalten zu können. Um zukünftigen gravierenden Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit vorzubeugen, müssen wir einen neuen Umgang mit Wasser entwickeln – nicht zuletzt, um Krisen und Verteilungskämpfen vorzubeugen.

Dieser Beitrag führt in das Zukunftsthema Wasser ein und gibt einen Überblick über Wechselwirkungen mit der Energiewirtschaft. Letztlich soll er dafür sensibilisieren, **bei Planung und Investition in Energieprojekte** die Auswirkungen des **Klimawandels und sich verändernder Wasserverfügbarkeiten** mitzudenken und frühzeitig ein geeignetes **Wassermanagement** einzuführen – sowohl im nationalen als auch im internationalen Kontext.

ASPEKTE

Die Herausforderung

Wasser in ausreichender Menge und von guter Qualität ist die Grundlage allen Lebens. Diese Ressource ist unersetzlich für die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung, die Stabilität der Ökosysteme, die Landwirtschaft und die Wirtschaft. **Wasser ist systemrelevant**. Wassermangel zählt zu den größten Risiken für die globale Sicherheit. Kein Wunder, dass die UN sauberes Wasser zu den zentralen

Nachhaltigkeitszielen zählt und zur Aufrechterhaltung der Wassersicherheit die Koordinationsstelle „UN Water“ eingerichtet hat [1].

In Deutschland sind wir noch daran gewöhnt, dass Wasser an jedem Ort zur Verfügung steht – zu jeder Zeit und in der gewünschten Menge. Bislang trat kein flächendeckender Wassermangel („Wasserstress“) auf. Die Trinkwasserversorgung ist derzeit noch gesichert. Doch angesichts des Klimawandels ist diese Gewissheit auch für Mitteleuropa in Frage gestellt. Bereits jetzt kommt es regional zu deutlichen Defiziten in der Verfügbarkeit der kritischen Ressource Wasser. Grund genug, eine **nachhaltige Wasserwirtschaft** einzuführen und zu etablieren. Dazu wurde 2023 die **Nationale Wasserstrategie** verabschiedet (Einzelheiten s.u.). Diese „Wasserwende“ ist auch für die Transformation des Energiesystems von Bedeutung, nicht nur für die Wasserstoffproduktion.

Darüber hinaus müssen wir uns mit dem **Mittelmeerraum** auseinandersetzen, der einen Hot Spot des Klimawandels darstellt und für den ein **intensiver Wasserstress** erwartet wird [2]. Dieser Erkenntnis müssen wir Rechnung tragen, wenn dort Energieprojekte entstehen sollen, die in großem Stil den Export grüner Energieträger in die industriell geprägten Regionen Mitteleuropas ermöglichen. Prof. Dr. Martina Flörke von der Ruhr-Universität Bochum untersuchte mithilfe des WaterGAP3-Modells, ob der Wasserbedarf an Standorten mit Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien im Jahr 2040 gedeckt werden kann. Sie kam zu dem Ergebnis, dass an **bis zu 42 Prozent der Standorte weltweit ein Defizit zu erwarten** ist, weil dort künftig mehr Wasser benötigt wird als verfügbar ist. Einige Standorte, die im **Mittelmeerraum** zur Energiegewinnung genutzt würden, müsse man **grundsätzlich hinterfragen**. [3] Am Beispiel eines Solarkraftwerks in Marokko wird der Konflikt zwischen den Nachhaltigkeitszielen für Wasser und Energie deutlich: Für Kühlung und Reinigung der Spiegel werden fünf Liter Wasser pro produzierter Kilowattstunde Strom benötigt. Das sind jährlich in Summe zwei Millionen Kubikmeter Wasser an diesem Standort. In der trockenen, landwirtschaftlich geprägten Region seien die Menschen für ihr tägliches Leben auf das Wasser angewiesen. [4] Infolge

des Klimawandels muss damit gerechnet werden, dass sich das Wasserdargebot in der Region weiter verringert.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgung

Wenn sich mit dem Klimawandel die Lufttemperatur erhöht, kann die Luft physikalisch gesehen mehr Wasser aufnehmen – sieben Prozent mehr Wasserdampf pro Grad Celsius. Dementsprechend lassen Klimamodelle erwarten, dass die Jahressumme der Niederschläge bis Mitte des Jahrhunderts um 4 % und Ende des Jahrhunderts um 6 % zunimmt [5].

Trotzdem steigt das Risiko von Wassermangellagen, denn für den **Wasserhaushalt einer Landschaft** spielen mehrere Faktoren eine Rolle, die sich mit dem Klimawandel relevant verändern werden, wie die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung, die Fähigkeit der Böden zur Wasseraufnahme oder die Speisung von Gewässern aus Gletschern. Hinzu kommt die Nutzung durch den Menschen.

Der Deutsche Wetterdienst erwartet mit dem Klimawandel **feuchtere Winter und trockenere Sommer**. Zusätzlich verändern sich Eintrittswahrscheinlichkeit und Intensität von **Extremereignissen**. Lokal auftretende Starkregenereignisse dürften zunehmen. Ein Teil der Niederschläge fließt dann rasch oberflächlich ab, ohne der **Grundwasserneubildung** zugutezukommen. Auch mit einer höheren Intensität von Hitzewellen und längeren Dürreperioden ist zu rechnen. Die Zahl der Tage mit problematischer Trockenheit wird überall zunehmen. Wetterlagen mit Tiefdruck- und Hochdruck-

gebieten, deren Luftmassen sich quasi-stationär festsetzen, können dazu führen, dass über einen längeren Zeitraum viel Niederschlag in einer begrenzten Region niedergeht oder aber sich **lang anhaltende Trockenperioden** einstellen. Regional ist mit unterschiedlichen Trends der Veränderungen zu rechnen. Insbesondere der Nordosten Deutschlands wird von intensiven Trockenheiten betroffen sein. Auch werden sich **ungünstige Abfolgen von (Extrem-)Ereignissen** häufiger einstellen. [5] Letzteres ist aus Sicht der Klimaanpassung besonders herausfordernd.

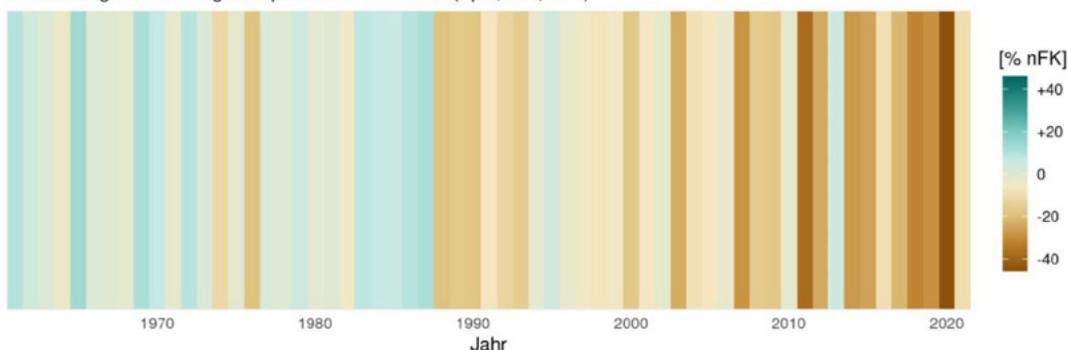
Schon jetzt beobachtet der Deutsche Wetterdienst eine zunehmende **Frühjahrstrockenheit**, die zu erheblichen Beeinträchtigungen bei der **Pflanzenentwicklung** führt, was vor allem die Land- und Forstwirtschaft betrifft (siehe Abbildung)[6] – und damit u.a. auch die energetische Biomassenutzung.

Sind die **Böden** aufgrund einer Dürre zu trocken geworden, reduziert sich ihre Fähigkeit zur Wasseraufnahme. Diese **Benetzungshemmung** tritt auf, weil sich bei Trockenheit vermehrt Fette und Wachse aus den organischen Bodenbestandteilen, z. B. Pflanzenresten, herauslösen und auf den mineralischen Bodenanteilen ablagern – je nach Bodentyp. [7]

Als Folge fließt Regenwasser oberflächlich ab, anstatt einzusickern, und schwemmt fruchtbaren Boden mit sich (Erosion). Auch ein oberflächlich feuchter Boden kann in der Tiefe trocken sein. Wenn wenig Wasser im Boden ist, kann auch nur wenig Grundwasser neugebildet werden.

Abweichung Bodenfeuchte unter Winterweizen für realen Boden [% nFK]

Abweichung von der Vergleichsperiode 1961 - 1990 (April, Mai, Juni)



Stand: 24.02.2022 21:35

Abbildung: DWD (2022) [6]

Seit 1961 steigt die jährliche Zahl an Monaten, in denen **niedrige Grundwasserstände** gemessen werden, signifikant an. Besonders deutlich wirken sich dabei über mehrere Jahre hinweg auftretende Niederschlagsdefizite aus. [8]

Zusätzlich und verstärkend steigt der **zivilisatorische Wasserverbrauch** bei heißer Witterung und ausbleibenden Niederschlägen dürrebedingt weiter an, insbesondere für die Landwirtschaft, aber auch z. B. für die privaten Haushalte. Mit dem steigenden Nutzungsdruck beschleunigt sich der **Rückgang der Wasserreserven**, die schon aufgrund der Witterung eine negative Wasserbilanz aufweisen (geringere Speisung, höhere Verdunstung).

Bereits jetzt geraten unsere Gewässer zunehmend unter Druck, wie die vergangenen Jahre seit dem Sommer 2018 eindrücklich gezeigt haben. **Verschiedene Wirtschaftszweige** wie die Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Energieproduktion, Schifffahrt, Industrie, Fischerei und Aquakultur waren direkt betroffen. In Landkreisen mehrerer Bundesländer kam es zu Einschränkungen bestimmter Wassernutzungen für mehrere Sommerwochen.

Die Wintermonate brachten mehrfach nicht genug Niederschlag, um die Böden wieder ausreichend mit Wasser aufzufüllen. Regional kam es zu starken Beeinträchtigungen von Ökosystemen. Daraus ergeben sich Konsequenzen für die **Erhaltung eines intakten Naturhaushalts**, auch im Hinblick auf die Kohlenstoff-Speicherfunktion von Ökosystemen (z. B. Moore, Wälder) im Sinne des Klimaschutzes.

In einer **Risikoanalyse** kam die Bundesregierung 2019 zu dem Schluss, dass lange Dürreperioden (insbesondere in Verbindung mit Hitzewellen) zu **Problemen bei der Versorgung der Bevölkerung** mit Trinkwasser führen können. Da es an kontinuierlicher Erfahrung im Umgang mit Dürren fehle, sei die theoretische Vorbereitung umso wichtiger. [9]

Eine **Warnung** sollte uns die Situation in Montevideo in **Uruguay** während der Dürre 2023 sein. Die Bevölkerung in der sonst wasserreichen Region konnte nicht mehr mit sauberem Leitungswasser versorgt werden. Auf diese Not war die Gesellschaft nicht vorbereitet. In verschiedenen Ländern ist schon jetzt zu beobachten, dass Trinkwasser aus privaten Tankfahrzeugen zu hohen Preisen verkauft wird – aus Quellen außerhalb staatlicher Kontrollen.

Marokko ist vielfach im Zusammenhang mit der Produk-

tion von Wasserstoff im Gespräch. Insbesondere für die am Mittelmeer gelegene Region mit Marokko, in der die Menschen bereits heute unter Wassermangel leiden [10], wird prognostiziert, dass die **Winterniederschläge** in den kommenden Jahrzehnten **um bis zu 40 % zurückgehen** könnten. Modelle zeigen, dass sich mit dem Klimawandel die winterliche Luftzirkulation für die Region großräumig und nachteilig verändert. Daraus folgt eine starke Reduzierung der Wasserressourcen, was die Fähigkeit, Nahrungsmittel anzubauen und die **Region zu entwickeln**, bedrohlich einschränkt. [2]

Derartiger Wassermangel dürfte nicht ohne Konsequenzen für die **Stabilität der Region** bleiben. **Syrien** hat bereits ein solches Szenario der Destabilisierung aufgrund von Dürre erlebt. Zwischen 2006 und 2011 war Syrien von einer außergewöhnlichen Dürre betroffen. 75 % der Bauern verloren ihre Ernten und 1,5 Millionen Menschen mussten in die Städte umsiedeln, denen die Aufnahmekapazität fehlte [11]. Nachdem 2011 der Bürgerkrieg ausbrach, suchten viele Menschen Schutz in Europa.

Erste **Nutzungskonflikte um Wasser** deuten sich auch in Deutschland an, wie z. B. der Streit um die Gigafactory von Tesla im trockenen Brandenburg gezeigt hat. Dürren werden häufiger werden, länger andauern und mehr Menschen betreffen. Wie häufig Dürren in Mitteleuropa auftreten werden, hängt vom Ausmaß des globalen Temperaturanstiegs ab. [12]

Wasserverfügbarkeit für jeden Zweck wird also zukünftig keine Selbstverständlichkeit mehr sein. Das Wasserthema zwingt uns, in **größeren Zeiträumen** und größeren räumlichen Bezügen zu denken. Wassermangel und Dürre besitzen das Potenzial, zur dauerhaften Bedrohung für Umwelt und Wirtschaft in Europa zu werden. [13]

Schlussfolgerungen für ein Handlungskonzept

Daraus lassen sich mehrere Schlüsse ziehen:

1. Konsequenter Klimaschutz ist für die **Sicherheit der Wasserversorgung** erforderlich.
2. Um den **Wasserhaushalt von Gewässern** und Ökosystemen zu verbessern, sind naturnahe Strukturen in der Landschaft wiederherzustellen.

3. Für die **Resilienz der Energieversorgung** muss heute ein zukunftsgerichtetes Wassermanagement beginnen, das die Klimafolgen einbezieht.
4. Bei der Wassernutzung sollte zwischen Trinkwasser- und Betriebswasserqualität unterschieden und wo möglich eine Kreislaufführung für Prozesswasser etabliert werden. Chemische Substanzen im Abwasser sollten im Sinne der **Kreislaufwirtschaft** als Ressourcen genutzt werden. [14]

Als **Indikator** für die Umweltwirkung einer Wassernutzung kann der „Wasserfußabdruck“ und speziell in Bezug auf die Wasserknappheit ein **knappheitsgewichteter Wasserfußabdruck (Water Scarcity Footprint)** ermittelt werden [15]. Ein erfolversprechendes Wassermanagement ist integrativ zu gestalten und **mehrdimensional zu denken**, auch damit es den verschiedenen UN-Nachhaltigkeitszielen gleichermaßen zugutekommt.

Die Wasserwende wird international und national bereits eingeleitet.

Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) aus dem Jahr 2000 dient einer integrierten Wasserpolitik in der Gemeinschaft. Sie schafft einen rechtlichen Rahmen für den Schutz von Wasser, für die Erreichung eines guten Gewässerzustands und für die Beachtung von Nachhaltigkeitsgrundsätzen bei der Wassernutzung. [16]

In Deutschland ist die Wasserrahmenrichtlinie im Wasserhaushaltsgesetz (WHG), in der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) und in der Grundwasserverordnung (GrwV) verankert. Die Gewässerbewirtschaftung hat nach dem Handlungsprinzip der Nachhaltigkeit zu erfolgen.

Nationale Wasserstrategie von 2023

Im März 2023 verabschiedete das Bundeskabinett die **Nationale Wasserstrategie** [17]. Damit wurden ressortübergreifend die Grundlagen für ein modernes Wassermanagement gelegt.

Kernziele der Nationalen Wasserstrategie sind, die Versorgung mit Trinkwasser zu gewährleisten, Grundwasser

und Ökosysteme zu schützen sowie Landwirtschaft und Wirtschaft ausreichend mit Wasser zu versorgen. Im Mittelpunkt steht die **Vorsorge** – ein Leitprinzip des Umweltrechts. Dies schließt die Vorsorge für künftige Generationen ein, unter anderem, indem die Wasserversorgungs-Infrastruktur an die Folgen des Klimawandels angepasst wird. Die für den Menschen erforderlichen oder von ihm gewünschten Wassernutzungen sind mit den biologischen Lebensraumfunktionen der Gewässer in Einklang zu bringen, und zwar unter sich dynamisch verändernden Rahmenbedingungen.

Ein **Wassermanagement** soll dazu führen, dass Mangellagen möglichst nicht eintreten. Grundvoraussetzung dafür, dass das Wasser nicht knapp wird, sind der Schutz und die Wiederherstellung eines **naturnahen Wasserhaushaltes**. Die Wasserinfrastrukturen sind derart zu sanieren und weiterzuentwickeln, dass sie Extremereignissen widerstehen und eine sichere Wasserversorgung gewährleistet ist. Um eine gute Wasserqualität im Grund- und Oberflächenwasser zu erreichen, auch bei geringerer Wasserführung, gilt es zudem, das Einleiten gefährlicher Stoffe zu begrenzen.

Die **Anforderungen an die Wasserinfrastrukturen** steigen also, denn sie müssen vielfältige Funktionen für die Daseinsvorsorge inklusive Klimaschutz und Energiewende, Klimaanpassung, Ressourcenschonung und Naturschutz erfüllen. Die **Transformation der Wasserinfrastrukturen** erfordert daher einen stärker **integrativen und systemischen Ansatz** für die Gewässerbewirtschaftung. Über den aktuellen Wirkungsbereich der Wasserwirtschaft hinaus sollen Akteure mit ihren Verantwortlichkeiten und Handlungsmöglichkeiten einbezogen und deren Interessen berücksichtigt werden. Auch die **Energiewirtschaft soll eingebunden werden**, um zu gewährleisten, dass eine nachhaltige Bereitstellung von Energie und Ressourcen weiter möglich bleibt.

Bei der Wassernutzung soll zwischen unterschiedlichen **Wasserqualitäten** unterschieden werden: Trinkwasser und Betriebswasser. Grundsätzlich gilt der **Sparsamkeitsgrundsatz**: Wassersparende und -schonende Verfahren, Produkte und Anwendungen sollen zum Einsatz kommen und eine **kreislauforientierte Nutzung** des Wassers und der darin enthaltenen (Roh-)Stoffe (z. B. Phosphor) soll zu mehr Nachhaltigkeit führen. Mit der Rückgewinnung des im Abwasser enthaltenen **Phosphors** könnte etwa die Hälfte der jährlichen Phosphormineraldüngerimporte eingespart werden.

Die **Wasser-Datenstrategie** hat zum Ziel, das Wassermanagement mit harmonisierten Daten zu unterstützen. Um genauer vorherzusagen, wo Wasser in Zukunft verfügbar ist und gebraucht wird, soll die Datenbasis erweitert und die Prognosefähigkeit gestärkt werden.

Im Fall von regionalen Wasserknappheiten wird es **Wasser-rationierungen** entlang von **Wassernutzungshierarchien** geben. Die zuständigen Behörden entscheiden anhand einer noch zu erstellenden bundesweiten Leitlinie, wozu Wasser vorrangig genutzt werden darf. Vorrang hat die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser. Die Abgabe von Trinkwasser an Großverbraucher und zu Zwecken, für die kein sauberes Trinkwasser benötigt werden, wird reduziert werden können.

Der **Energieeinsatz in der Wasserwirtschaft** könnte sich durch die geplanten Vorgaben in der Nationalen Wasserstrategie um bis zu 30 % erhöhen, wie der VKU feststellt [18].

Sektorenkopplung Wasser & Energie

Die Nationale Wasserstrategie sieht vor, die Sektoren der Wasser-, Energie- und Abfallwirtschaft zu koppeln und in einem gemeinsamen holistischen Ansatz zu optimieren. So kann es z. B. eine gemeinsame Nutzung von **Speicherinfrastrukturen** geben. Weiterhin lässt sich die **Abwasserwärme** für die Wärmeversorgung in Wärmenetzen nutzen, z. B. indem Wärmepumpen die Temperatur auf das benötigte Niveau anheben. Klärschlamm aus der Abwasseraufbereitung kann zur Energieerzeugung genutzt werden, indem in Faultürmen **Klärgas** gewonnen wird. Die Eigenstromerzeugung kann die Resilienz der kritischen Wasserinfrastruktur stärken (Stichwort Stromausfall).

Kühlung von Großkraftwerken

Knapp 85 % der Wassernutzung in der deutschen Wirtschaft dienten 2019 der Anlagenkühlung, allen voran der Flusswasserkühlung von Kraftwerken [19]. Dies setzt voraus, dass ausreichende Wasserentnahmen zur Kühlung möglich sind, ohne die Gewässerökosysteme zu gefährden. Durch die Transformation des Energiesystems weg von Großkraftwerken und hin zu dezentralen Erneuerbare-Energien-Anlagen wird eine deutliche **Reduzierung der Kühlwasserentnahmen** um 50–60 % bis 2030 und um 70–85 % bis 2050 erwartet [17, S. 55].

Dies ist eine gute Nachricht für die Versorgungssicherheit mit Energie und Wasser in Zeiten des Klimawandels. Im Dürresommer 2022 wurde deutlich sichtbar, welche **Konsequenzen** es hat, wenn der Kraftwerksbetrieb zu stark vom Wasserangebot abhängt: In Deutschland führte der niedrige Rheinpegel dazu, dass der Schiffsverkehr eingestellt wurde und Kohlekraftwerken nicht mit Kohle beliefert werden konnten. In Frankreich musste ein Teil der Kernkraftwerke heruntergefahren werden, weil es an Kühlwasser mangelte. Zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit mussten vorübergehende Ausnahmeregelungen für einige Kernkraftwerke getroffen werden, wonach höhere Wassertemperaturen bei der Rückleitung von Kühlwasser gestattet wurden.

Während einer **Hitzewelle** sind nicht nur Großkraftwerke von einer gedrosselten Stromeinspeisung betroffen. Auch Wind- und Photovoltaikanlagen liefern weniger Strom ins Netz, weil Wind ausbleibt und sich der Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen bei höheren Temperaturen reduziert. Das **Stromversorgungssystem kann unter Anspannung geraten**, wenn bei Hitzewellen zusätzlich zu einer gedrosselten Stromproduktion der Stromverbrauch weiter ansteigt, z. B. für Kühlung und Klimatisierung. [20]

Wasserstoffproduktion

Wasserstoff gilt als wichtiger Baustein und Energieträger für die Energiewende. Perspektivisch ist vorgesehen, so viel Wasserstoff wie möglich in heimischen **Elektrolyseuren** zu produzieren und ansonsten den Bedarf über Importe zu decken. Die Wahl der Standorte für heimische Elektrolyseure entscheidet sich vor allem anhand der Wirtschaftlichkeit und (Strom-)Netzdienlichkeit. Die dezentral verteilten Anlagen befinden sich daher nicht unbedingt an großen Flüssen oder am Meer. Für einige Regionen Deutschlands kann dies bedeuten, dass der Wasserbedarf steigt.

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) kommt zu dem Schluss, dass die Wasserressourcen in Deutschland für die bis 2030 von der Politik geplanten Elektrolysekapazitäten von 10 GW grundsätzlich ausreichen. Angenommen wurde eine Auslastung von 2.500 Volllaststunden mit einem Bedarf von bis 9 Mio. Kubikmeter Süßwasser aus natürlichen Ressourcen. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 entwichen 300 Mio. Kubikmeter aus den Kraftwerks-Kühltürmen. Auch 40 GW Elektrolysekapazität (zwei Drittel onshore) seien machbar und **Nutzungskonflikte vermeidbar**. [21]

Für ein konkretes Elektrolyseurprojekt entscheidend sind die **Bedingungen vor Ort** und wie sie sich mit dem Klimawandel in der betroffenen Region **verändern** werden. Dies sollte frühzeitig in die Planungen einbezogen werden. Der DVGW empfiehlt die konsequente Umsetzung eines **integralen Wassermanagements** und stellt fest, dass die Umsetzung erst erfolgreich wird, wenn Elektrolysebetreiber, Wasserversorger und Genehmigungsbehörden ihr Know-how gemeinsam einsetzen [21]. In der Nationalen Wasserstrategie ist vorgesehen, dass Rahmenkonzepte und **Anwendungsvorschriften für die Produktion** innovativer Energieträger wie Wasserstoff erarbeitet werden, um die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu minimieren und Konkurrenzsituationen mit anderen Wassernutzungen vorzubeugen [17].

Für die Erzeugung von einem Kilogramm grünem Wasserstoff werden nach Angaben des DVGW rund 10 Liter Reinstwasser benötigt. Unter Berücksichtigung der Prozessschritte und je nach Wasserquelle kann der **Bedarf zwischen 12 und 30 Litern pro Kilogramm erzeugtem Wasserstoff** liegen. Bei Grundwasser liegt die Ausbeute an Reinstwasser bei 75–80 %, bei Meerwasser bei 40–50 %. Kühlwasser für den Betrieb der Elektrolyseure muss zusätzlich bereitgestellt werden. [21] **Wasserquellen** an Land können sowohl Oberflächen- und Grundwasser als auch gereinigtes Abwasser sein. Aufbereitetes Trinkwasser sollte nicht verwendet werden. Je nach Entfernung von der Küste kann alternativ entsalztes Meerwasser eingesetzt werden.

Meerwasserentsalzung für die Wasserstoffproduktion

Um eine Wasserstoffproduktion offshore auf dem Meer zu ermöglichen und ebenso in Regionen, in denen Süßwasser nur begrenzt verfügbar ist, wird die Meerwasserentsalzung zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Speziell in sonnenreichen, von Wassermangel geplagten Regionen der Welt dürften Wasserstoffprojekte mit Meerwasserentsalzung insbesondere dann erfolgreich sein, wenn sie die ansässige Bevölkerung dabei unterstützen, ihre Trinkwasser- und Energieversorgung zukunftsfähig auszubauen und ihre **Daseinsvorsorge** zu stärken.

Meerwasser-Entsalzungsanlagen erfordern ein fachgerechtes Umweltmanagement, umso mehr, wenn sie zukünftig in großem Stil gebaut werden. Die Ansaugpumpen können Fische und Meerestiere verletzen und töten. Ein zentra-

ler Punkt sind die **Abfall-Laugen („Solen“)**, die bei der Meerwasserentsalzung entstehen. Sie haben einen hohen Salzgehalt und enthalten giftige Chemikalien, die bei der Entsalzung zum Einsatz kommen. Bislang werden diese Laugen zumeist unbehandelt ins Meer zurückgeleitet, wobei sich Bereiche mit reduziertem Sauerstoffgehalt ausbilden. Dies ist problematisch für die Lebewesen im Ökosystem Meer. Am schädlichsten wirkt die Salzlauge dort, wo das Meer ruhig und nicht gut durchmischt ist. [22]

2022 gab es weltweit mehr als 20.000 Anlagen, die täglich über 100 Millionen Kubikmeter Trinkwasser und über 160 Millionen Kubikmeter Salzlauge („Sole“) produzieren, also 1,6 Liter Sole je Liter Trinkwasser. Zwei Technologien kommen im Wesentlichen zum Einsatz: die **thermische Entsalzung** und die **Umkehrosmose**. Bei der thermischen Methode wird das Salzwasser verdunstet und das kondensierende salzfreie Wasser genutzt. Bei der Umkehrosmose wird Salzwasser unter hohem Druck durch halbdurchlässige Membranen gepresst, in denen das Salz zurückbleibt (bei Meerwasser zwischen 55 und 70 Bar). Rund 20 Prozent der bestehenden Anlagen arbeiten thermisch, vielfach, indem die Abwärme eines fossilen Kraftwerks genutzt wird. Für die modernere Umkehrosmose, die inzwischen bei 80 % der Anlagen zum Einsatz kommt, wird elektrische Energie benötigt. Aufgrund von Fortschritten in der Membrantechnologie konnte der Energiebedarf von 15 bis 20 Kilowattstunden pro Kubikmeter Trinkwasser rund 4 Kilowattstunden sinken. [23]

Die Meerwasser-Entsalzung wird unerlässlich sein. Daher werden dringend neue Verfahren und Entwicklungen zur **Vermeidung, Behandlung und Nutzung der Laugen als Ressource** benötigt.

Unterirdische Wärme- und Kältespeicher

Der Wärmemarkt hat einen Anteil von rund 40 Prozent an den energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland. Für den Umstieg auf regenerative Wärmequellen im Zuge der Wärmewende werden thermische (Saisonal-)Speicher benötigt. Sobald Grundwasser zur thermischen Speicherung genutzt werden soll, werden **Konzepte zur thermischen Grundwasserbewirtschaftung** erforderlich, denn die Temperaturänderungen dürfen sich nicht nachteilig auf das Grundwasser auswirken. Um ausreichende Wärmespeicherkapazitäten vorhalten und nutzen zu können, sollen thermische Bewirtschaftungspläne für verdichtete

Stadträume erstellt werden, die die Qualitätsziele für das Grundwasser berücksichtigen. [17]

Wasserkraftnutzung

Die Wasserkraftnutzung hat eine lange Tradition. Unterschieden wird in Laufwasser-, Speicher- und Kleinwasserkraftwerke. Die größten Potenziale liegen im Süden der Republik, da dort ein geeignetes Gefälle gegeben ist. Von den rund 8.300 Wasserkraftanlagen in Deutschland speisen etwa 7.300 Anlagen ca. 20 Terrawattstunden Strom pro Jahr in das öffentliche Stromnetz ein. 90 % der Anlagen sind Kleinwasserkraftwerke bis 1 Megawatt Leistung. Sie erzeugen ca. 15 % des Stroms aus Wasserkraft. [17] Grundlastfähigkeit und Regelbarkeit sind nennenswerte Vorteile der Wasserkraft, solange ein ausreichendes Wasserdargebot vorhanden ist.

Das nutzbare Potenzial der Wasserkraft ist in Deutschland bereits weitestgehend **ausgeschöpft**. Durch Modernisierung bestehender Anlagen (Maschinenwirkungsgrade, Vergrößerung des Ausbaudurchflusses) kann die Stromausbeute noch etwas erhöht werden [24]. Infolge des Klimawandels wird erwartet, dass die Stromproduktion aus Wasserkraft in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zurückgeht. Es muss mit einer **Mindererzeugung um bis zu 15 %** gerechnet werden, denn die Stromerzeugung reagiert sensitiv auf das Wasserdargebot und der Klimawandel wirkt sich auf die Pegelstände der Fließgewässer aus. [25]

Im Zuge der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurde die Energiegewinnung aus Wasserkraft an 33 % der Fließgewässer bzw. 45.000 km Fließstrecke von den Bundesländern als signifikante Belastung eingestuft [17]. Die damit verbundenen erheblichen Eingriffe in Natur und Landschaft laufen oftmals **Umweltzielen im Gewässerschutz** zuwider. Um die Fallhöhe für das Wasser herzustellen, wird das Fließgewässer mittels Querbauwerken angestaut. Dies verändert sowohl die Durchgängigkeit des Fließgewässers als auch den Wasserhaushalt in den angrenzenden Flussauen, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Ökosysteme. [26]. In vielen Fällen gibt es Mehrfachnutzen von Anstauungen, z. B. für die Schifffahrt. In jedem Fall sind Maßnahmen zur Minderung der Umweltauswirkungen zu treffen.

Rohstoffe für die Energiewende

Wie die Internationale Energieagentur IEA feststellt [27], geht die Gewinnung von Mineralien für die Energiewende vielfach mit einem **hohen Wassereinsatz** einher und kann **lang anhaltende Wasserverschmutzung** verursachen. Wird Grundwasser auf das Abbaugelände gepumpt, kann dies dazu führen, dass der Grundwasserspiegel im Umfeld sinkt oder dass kommunizierende Grundwasserleiter und Gewässer verunreinigt werden.

Durch ein betriebliches **Wassermanagement mit einem Wassermonitoring** kann der Bergbau seinen Wasserfußabdruck reduzieren. Grundsätzlich sollten Wasserverluste minimiert werden, etwa durch eine Überwachung der Rohrleitungen, Filterung von schlammigen Rückständen oder die Reduzierung offener feuchter Flächen. Weniger wasserintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen und auf Verdunstung basierende Prozesse, wenn möglich, ersetzt werden. Oftmals kann Wasser von geringerer Qualität verwendet werden, z. B. **im Kreislauf geführtes Prozesswasser**. Abwässer aus dem Bergbau enthalten giftige Substanzen wie Restmetalle und Chemikalien, die im Prozess verwendet werden. Wichtig ist, die Menge des kontaminierten Wassers in der Fläche des Bergbaus zu reduzieren und zu verhindern, dass dies in Gewässer gelangt. Industrielle Behandlungstechniken machen es möglich, Schadstoffe aus den verbleibenden Abwässern zu entfernen. [27]

Im Rahmen der Transformation zu einer **Green Economy** spielt die **Kreislaufwirtschaft** (circular economy) eine zentrale Rolle – auch mit Blick auf benötigte Rohstoffe. Die Kreislaufwirtschaft bildet ein Schlüsselement, um Klimaneutralität zu erreichen, die **Nutzung natürlicher Ressourcen zu verlangsamen** und die Zerstörung von Landschaften, Lebensräumen und biologischer Vielfalt zu verringern. Die EU importiert einen Großteil der von ihr verbrauchten Rohstoffe. Da bedeutende Rohstoffe weltweit nur begrenzt verfügbar sind und knapp werden, hilft die Kreislaufwirtschaft auch dabei, **Rohstoffabhängigkeiten** von anderen Ländern zu überwinden und die wirtschaftliche und geopolitische Resilienz zu stärken. Konsequenterweise plant die EU, bis spätestens 2050 eine CO₂-neutrale, nachhaltige, giftfreie und geschlossene Kreislaufwirtschaft zu erreichen [28]. Forschung und Innovation können dazu beitragen, einen **Ersatz für kritische Materialien zu finden** und den Einsatz unkritischer Materialien für bestimmte Technologien zu ermöglichen.

FAZIT

Angesichts des Klimawandels muss der **Ressource Wasser** mehr Aufmerksamkeit beigemessen werden. Es bestehen vielfältige Wechselwirkungen zwischen Wasserverfügbarkeit und Energiewende. Energieanlagen unterschiedlicher Art sind direkt oder indirekt auf eine verlässliche Wasserversorgung angewiesen, worauf im vorliegenden Beitrag näher eingegangen wird. Beispiele sind die Wasserstoffproduktion, die Kühlung thermischer Kraftwerke, der Betrieb von Wasserkraftwerken, etc.

Für die **Resilienz der Energieversorgung** sind Maßnahmen zur **Klimaanpassung** erforderlich. Dies gilt auch für Deutschland und umso mehr für den Mittelmeerraum. **Dürren** werden zeitlich und räumlich ausgeprägter auftreten, ebenso ungünstige Abfolgen von (Extrem-)Ereignissen. Bezogen auf das einzelne Energieprojekt kann die Wirtschaftlichkeit betroffen sein, wenn die Wasserverfügbarkeit immer häufiger eingeschränkt ist. Mit Blick auf die Versorgungssicherheit darf die Funktionalität der kritischen Energieinfrastruktur nicht beeinträchtigt werden, selbst wenn Mangellagen eintreten.

Zur Sicherung der Wasserversorgung sind konsequente Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung erforderlich. Die Einflüsse des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit sind **regional unterschiedlich**. Um Mangellagen vorzubeugen und die dauerhafte Versorgung mit ausreichend sauberem Wasser zu sichern, muss jetzt vorgesorgt werden. Dazu steht eine **Transformation der Wasserinfrastrukturen** bevor. Dazu wurde 2023 die **Nationale Wasserstrategie** verabschiedet. Dreh- und Angelpunkt sind der Schutz und die Wiederherstellung eines naturnahen Wasserhaushaltes.

Darüber hinaus sind Wassernutzungen neu zu denken. Ein sparsamer und nachhaltiger Umgang mit Wasser und ein zukunftsorientiertes **Wassermanagement** werden immer wichtiger, auch für Projekte der Energiewende. **Wasserströme sind unter Nachhaltigkeitsaspekten auszulegen**. Für viele Nutzungen kann Wasser mit Betriebswasserqualität abseits des aufbereiteten Trinkwassers genutzt werden. Eine Kreislaufführung von Prozesswasser hilft, den Bedarf zu minimieren. [14] Chemische **Substanzen** im Abwasser sollten, soweit möglich, als Ressourcen genutzt werden. Wasserbedarf und -verschmutzung können mit neuen Verfahren reduziert werden. Es gibt bereits viele Lösungen.

Nun müssen Innovationen in Wirtschaft und Gesellschaft verankert werden. Unterstützt werden kann dies durch Datenmanagement, Prognosesysteme und Bewirtschaftungspläne.

Bei der notwendigen Beschleunigung der **Energiewende** müssen nachhaltige Beeinträchtigungen des Wasserhaushaltes vermieden werden. Dies bezieht sich auf die **gesamte Wertschöpfungskette** von den Rohstoffen über die Anlagenherstellung bis zum Anlagenbetrieb. Insbesondere bei der Planung von Einrichtungen, für deren Betrieb eine **Wasserzufuhr notwendig** ist, etwa für die Wasserstoffproduktion, sind die **Gegebenheiten vor Ort zu prüfen**. Mit einzukalkulieren dabei ist das Maß, in dem erwartet werden kann, dass die **Wasserverfügbarkeit infolge des Klimawandels** abnimmt. **Konkurrenzsituationen** mit anderen Wassernutzungen sind so weit wie möglich zu vermeiden.

Damit dies in der Praxis gelingen kann, wird ein **integriertes Wassermanagement** angeraten, für das Anlagenbetreiber, Wasserversorger und Genehmigungsbehörden ihr Wissen zusammenbringen.

QUELLEN:

- [1] UN Water: <https://www.unwater.org/>. Darin: Task Force on Water Security (2013): Water Security and the Global Water Agenda. <https://www.unwater.org/publications/water-security-and-global-water-agenda>
- [2] Tuel, A. & Eltahir, E. A. B. (2020): Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot? In: Journal of Climate, Vol. 33. https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/14/JCLI-D-19-0910.1.xml?tab_body=pdf
- [3] Weiler, J. (2021): Defizite vorprogrammiert - Wie viel Wasser benötigt die Energiegewinnung 2024? <https://www.scinexx.de/dossierartikel/defizite-vorprogrammiert>
- [4] Weiler, J. (2021): Energie gegen Wasser? Nachhaltigkeitsziele im Konflikt. <https://www.scinexx.de/dossierartikel/energie-gegen-wasser>

- [5] DWD (Deutscher Wetterdienst) (2020): Nationaler Klimareport. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareports/download_report_aufgabe-4.pdf?blob=publicationFile&v=2%20%20Seite%202023
- [6] DWD (Deutscher Wetterdienst) (2022): Klimapressekonferenz am 29. März 2022. https://www.dwd.de/DE/presse/pressekonferenzen/DE/2022/PK_29_03_2022/rede_fuchs_2022.pdf?blob=publicationFile&v=2
- [7] BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2020): Dürre macht Böden wasserabweisender. <https://www.scinexx.de/news/geowissen/duerre-macht-boeden-wasserabweisender>
- [8] UBA (Umweltbundesamt) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. (S. 48 f.) https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf
- [9] Deutscher Bundestag (2019): Drucksache 19/9521. Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/095/1909521.pdf>
- [10] Euronews (2022): Kaum noch Trinkwasser: Wie Marokko mit der Dürre kämpft. <https://de.euronews.com/2022/08/12/kaum-noch-trinkwasser-wie-marokko-mit-der-durre-kampft>
- [11] Plumer, B. (2013): Drought helped cause Syria's war. Will climate Change bring more like it? In: The Washington Post. <https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2013/09/10/drought-helped-caused-syrias-war-will-climate-change-bring-more-like-it>
- [12] Marx, A., UFZ (Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle). In: Reimer, Nick & Staud, Toralf (2021): Deutschland 2050. Wie der Klimawandel unser Leben verändern wird. S. 112
- [13] Hanke, Th. (2023): Der Wassermangel in Europa ist ein Desaster mit Ansage. In: Handelsblatt vom 28.04.2023. <https://www.handelsblatt.com/meinung/kolumnen/duerre-der-wassermangel-in-europa-ist-ein-desaster-mit-ansage/29113366.html>
- [14] Industr.com (2023): Wie Kommunen die Wasserwende beschleunigen können. <https://www.industr.com/de/wie-kommunen-die-wasserwende-beschleunigen-koennen-2693820>
- [15] UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2022): Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks. Zur Abbildung möglicher qualitativer und quantitativer Wasserbelastungen entlang eines Produktlebenszyklus. In: Texte 4/2022. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_44-2022_konzeptionelle_weiterentwicklung_des_wasserfussabdrucks.pdf
- [16] RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2000): https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF
- [17] BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2023): Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nationale_wasserstrategie_2023_bf.pdf sowie <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/nationale-wasserstrategie-2171158>
- [18] VKU (Verband kommunaler Unternehmen e. V.) (2023): Bundesregierung verabschiedet neues Energieeffizienzgesetz. <https://www.vku.de/themen/energieeffizienzgesetz>
- [19] DESTATIS (Statistisches Bundesamt) (2022): 85 % der Wassernutzung in der Wirtschaft dienten 2019 der Kühlung von Anlagen. Zahl der Woche Nr. 34. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_34_p002.html

- [20] Deutscher Bundestag (2019): Drucksache 19/9521. Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/095/1909521.pdf>
- [21] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) (2023): Genügend Wasser für die Elektrolyse. Wieviel Wasser wird für die Erzeugung von grünem Wasserstoff benötigt und gibt es ausreichende Ressourcen? <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/h2o-fuer-elektrolyse-dvgw-factsheet.pdf>
- [22] Mrasek, V. (2019): Entsalzungsanlagen für Meerwasser. Sole-Rückstände viel größer als gedacht. In: Deutschlandfunk Archiv. <https://www.deutschlandfunk.de/entsalzungsanlagen-fuer-meerwasser-sole-rueckstaende-viel-100.html>
- [23] Goergen, R. (2022): Meerwasserentsalzung. Mit Hochdruck gegen den Wassermangel. In: Spektrum.de, Hintergrund 16.11.2022. <https://www.spektrum.de/news/meerwasserentsalzung-mit-hochdruck-gegen-den-wassermangel/2077344>
- [24] Ing.-büro Floecksmühle, IHS Stuttgart, Hydrotec, Fichtner (2010): Potenzialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbastrategie. Schlussbericht. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/schlussbericht-potentialermittlung-wasserkraftnutzung.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [25] UBA (Umweltbundesamt) (2012): Klimafolgen für die Wasserkraftnutzung in Deutschland und Aufstellung von Anpassungsstrategien. Texte 3/2012. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4288.pdf>
- [26] UBA (Umweltbundesamt) (2023): Energie aus Wasserkraft. Auswirkungen der Wasserkraftnutzung auf die Ökologie. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft#auswirkungen-der-wasserkraftnutzung-auf-die-okologie>
- [27] IEA (International Energy Agency) (2021): The Role of Critical Minerals in Clean Energy. World Energy Outlook Special Report. S. 216 ff. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- [28] Europäisches Parlament (2021): Kreislaufwirtschaft: Strengere EU-Regeln für Verbrauch und Recycling. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20210204IPR97114/kreislaufwirtschaft-stren-gere-eu-regeln-fur-verbrauch-und-recycling>

ANSPRECHPARTNER

Dirk Filzek

d.filzek@house-of-energy.org
www.house-of-energy.org