

# **Auswirkungen der Nutzung Erneuerbarer Energien auf den Wasserhaushalt**

Rita Keuneke  
Armin Gauß  
Oliver Buchholz

In dieser Studie werden die Auswirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien und damit der Reduzierung der thermischen Kraftwerke und der Kühlwassermengen auf die Wassermenge und die Temperatur der Gewässer aufgezeigt. Die Energiewende hat positive Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Gewässer. Im Vergleich zu den Kühlwassermengen der thermischen Kraftwerke ist der Wasserbedarf für den Betrieb der Erneuerbaren Energien um mehrere Größenordnungen geringer.

Stichworte: Erneuerbare Energien, Klimawandel, konventionelle Kraftwerke, Trend, Wärmeeinleitung, Wasserentnahme, Wasserhaushalt

## **1 Einleitung**

In den letzten Jahren konnte ein Rückgang der Wasserentnahmemengen durch die Energieversorgung festgestellt werden. Es wird angenommen, dass dieser Trend unter anderem auf die rückläufige Kühlwasserentnahme konventioneller Energieträger und damit indirekt auf den zunehmenden Ausbau von Erneuerbaren Energien zurückzuführen ist. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte deshalb untersucht werden, welche Auswirkungen der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie (inklusive Bewässerung von Energiepflanzen) und tiefe Geothermie zur Stromerzeugung auf den Wasserhaushalt hat.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, zunächst einen Überblick zum aktuellen Stand der Auswirkungen der konventionellen thermischen Kraftwerke

auf den Wasserhaushalt der Gewässer zu geben. Dabei standen die Wasserentnahmen und die Wärmeeinleitungen im Fokus der Untersuchungen. Neben der Abschätzung potentiell positiver Effekte durch eine rückläufige Kühlwasserentnahme sollte auf der anderen Seite analysiert werden, ob und in welchem Ausmaß der Betrieb von Anlagen zur Stromerzeugung aus den oben genannten Erneuerbaren Energien Wasserentnahmen erfordert. Darauf aufbauend erfolgte eine Analyse der gegenwärtigen Wasserentnahmen durch die Energieversorgung und eine Abschätzung des zukünftigen Wasserbedarfs sowohl auf Bundesebene als auch auf Ebene von Flusseinzugsgebieten. Ein weiteres Ziel war es, die gegenwärtigen und zukünftigen Wärmeeinleitungen aus Kühlwasser und deren Auswirkungen auf die Gewässertemperatur unter Berücksichtigung von Temperaturerhöhungen und Abflussveränderungen in Folge des Klimawandels zu untersuchen. Abschließend wurden Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft und das Datenmonitoring abgeleitet.

Umfangreiche Wasserentnahmen und die Einleitungen von erwärmtem Kühlwasser haben einen wesentlichen Einfluss auf den ökologischen Zustand der Gewässer. Zum einen beeinflussen die Wasserentnahmen die Abflusshöhe und das Abflussgeschehen in Fließgewässern und führen somit zu einer Einengung des Lebensraums aquatischer Organismen. Zum anderen bewirkt eine steigende Wassertemperatur einen abnehmenden Sauerstoffgehalt, der wiederum die Lebensbedingungen der Gewässerbiozönose und insbesondere der Fische und deren Widerstandsfähigkeit gegenüber Belastungen und Krankheitserregern verschlechtert. Das ist vor allem in Hitzeperioden bei Niedrigwasser relevant, wie z. B. im Jahr 2018.

## 2 Stand der Auswirkungen thermischer Kraftwerke

Für die Ermittlung des Kühlwassereinflusses der thermischen Kraftwerke wurde ein Bottom-Up-Ansatz gewählt, bei dem für jedes thermische Kraftwerk die Kühlwassermenge und die eingeleitete Temperatur anhand des Kraftwerkstyps (z. B. Braunkohle, Atomkraft etc.) und der Kühltechnologie abgeschätzt wurden. Ausgangsbasis waren Daten der UBA-Kraftwerksliste, die aktualisiert, ergänzt und mit Hilfe weiterer Quellen (z. B. EEX-Transparency) plausibilisiert wurden. Die Aufstellung umfasst deutsche Kraftwerke (Stand Mitte 2019) mit einer installierten Leistung von mindestens 100 MW.

Im Jahr 2017 waren laut Kraftwerkliste 125 thermische Kraftwerke in Betrieb. Mit 78 Kraftwerken stellen Braunkohle- und Steinkohle-Kraftwerke fast 2/3 aller Kraftwerke. Etwa ein Viertel der Kraftwerke verfügt über Durchlaufkühlung (33 KW) und ca. drei Viertel über Kühltürme (92 KW). 2017 gab es noch sechs Kernkraftwerke.

Im Rheineinzugsgebiet finden sich die meisten Kraftwerke. Diese 70 Kraftwerke entsprechen 56 % aller großen Kraftwerke in Deutschland. 51 Kraftwerke davon sind mit Kühlturm-Technik, 19 mit Durchlaufkühlung ausgestattet. Dazu gehören die Braunkohlekraftwerke des Rheinischen Reviers im Erft- und im Maas-Einzugsgebiet. Die nächstgrößere Anzahl an Kraftwerken befindet sich im Elbeeinzugsgebiet mit 22 Kraftwerken. Dies sind rund 18 % aller erfassten größeren Kraftwerke. 20 der 22 Kraftwerke sind mit Kühltürmen ausgestattet und zwei mit einer Durchlaufkühlung. Die anderen Kraftwerke verteilen sich im Wesentlichen auf das Weser-, Donau- und Ems-Einzugsgebiet.

Die aktuell und in der Vergangenheit eingesetzten Wassermengen zur Kühlung von thermischen Großkraftwerken liegen weit über anderen betrachteten Wassernutzungen in der Energiewirtschaft. Aufgrund von technischen Randbedingungen erfordert dabei insbesondere die Kühlung von Kohle- und Kernkraftwerken große Kühlleistungen. Diese wurden in der Vergangenheit teilweise mittels Durchlaufkühlung und sehr großen Wassermengen realisiert. Bei Kraftwerken, die permanent mit Kühltürmen betrieben werden, wird nur ein Bruchteil der Wassermenge wie bei einer vergleichbaren Durchlaufkühlung benötigt. In der Praxis kann bei manchen Kraftwerken auch bei vorhandenen Kühltürmen bei geeigneten Randbedingungen ein Betrieb mit Durchlaufkühlung erfolgen.

Bei Gasturbinen oder GuD-Kraftwerksprozessen mit den Primärenergieträgern Gas oder Mineralöl fallen technisch bedingt wesentlich geringere Kühlleistungen als bei Kohle- und Kernkraftwerken an. Falls zusätzlich ein Betrieb mit dezentralen Anlagen oder mit Kraft-Wärmekopplung (KWK) erfolgt, verringern sich der Kühlbedarf und damit die benötigten Wassermengen weiter.

Die insgesamt verwendeten Wassermengen zur Kühlung von Kraftwerken haben seit 1990 bereits stark abgenommen (Abbildung 1). Die Wassermengen wurden durch den vermehrten Einsatz von Kühltürmen, durch Effizienzsteigerungen und den bereits laufenden Ausstieg aus der Kernenergie

bereits erheblich reduziert. Bei einer zusätzlichen Umsetzung des geplanten Kohleausstiegs wird eine weitere starke Reduktion der eingesetzten Kühlwassermenge erwartet. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiterentwickelte Kraftwerksdatenbank erlaubt durch eine Verknüpfung mit EEX-Marktdaten und davon abgeleiteten Projektionen und Szenarien Analysen des zukünftigen Wasserbedarfs durch die Energiewirtschaft mit zeitlich hochaufgelösten Kraftwerkeinsätzen.

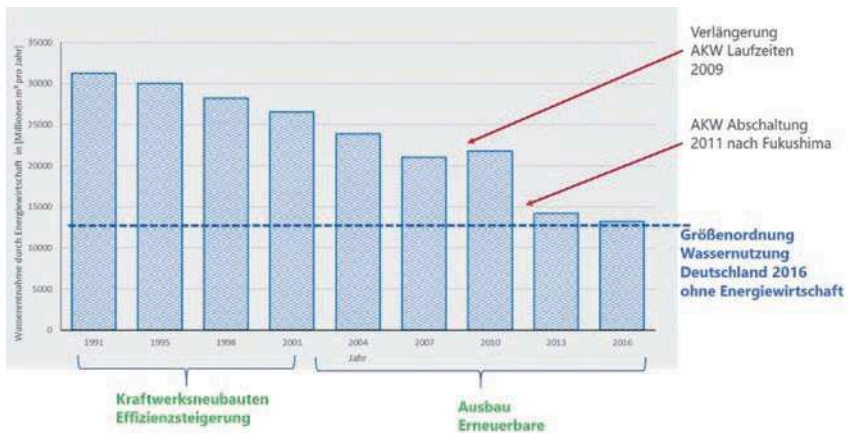


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der Wasserentnahme durch die Energiewirtschaft

### 3 Wasserentnahmen für Erneuerbare Energien

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass es kaum belastbare Daten zum operativen Wasserbedarf der Erneuerbaren Energien Technologien Windkraft, Photovoltaik, Bioenergie und Geothermie gibt. Aufgrund der unzureichenden Datenlage ist es momentan nicht möglich, den tatsächlichen Wasserbedarf zu ermitteln.

Für Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen ergibt sich im Betrieb nur für die Reinigung der Anlagen ein Wasserbedarf.

Im Betrieb von Bioenergieanlagen ist der zu erwartende Wasserbedarf stark abhängig von der anlagenpezifischen technischen Konfiguration und

vom eingesetzten Substrat. Im Projekt wurde zudem untersucht, wie hoch der Wasserbedarf für die Bewässerung von Energiepflanzen ist.

Aufgrund der aktuell nur geringen installierten elektrischen Leistung spielt der absolute Wasserbedarf (ca. 170.000 m<sup>3</sup>/a) der tiefen Geothermie eine untergeordnete Rolle. Der Wasserbedarf schwankt für verschiedenen Kühlverfahren und Untergrundgegebenheiten.

Es ist anzunehmen, dass das für Erneuerbare Energien Technologien eingesetzte Wasser nur zu sehr geringen Teilen dem Oberflächenwasser entnommen wird. Häufiger werden Versorgungsnetze bzw. im Fall der Bewässerung von Energiepflanzen Grundwasser als Wasserquellen genutzt.

In Summe wurde, unter der Einbeziehung der Bewässerung von Energiepflanzen, für das Jahr 2018 ein absoluter Wasserbedarf von rund 21 Mio. m<sup>3</sup> für den Betrieb von Erneuerbare Energien Anlagen abgeschätzt. Im Verhältnis zu den gesamten Wasserentnahmen zur nichtöffentlichen Versorgung in Deutschland (2016: 18,75 Mrd. m<sup>3</sup>) und zu den Wasserentnahmen für Energieerzeugung (2016: 16,64 Mrd. m<sup>3</sup>) ist dieser Anteil sehr gering (0,11 % bzw. 0,13 %) (vgl. DESTATIS 2018).

Die dieser Forschungsarbeit zugrunde gelegten GreenSzenarien prognostizieren für 2050 im Vergleich zu 2018 eine Verdreifachung der Windenergie und eine Verfünffachung der Photovoltaik. In den Szenarien wird kein Einsatz von Energiepflanzen für Bioenergie mehr angenommen. Dadurch reduziert sich der Wasserbedarf für Bioenergie zukünftig sehr stark. In Abhängigkeit der verwendeten Kühltechnologie wird bei der tiefen Geothermie zukünftig bei verzehnfachter installierter elektrischer Leistung ein Wasserbedarf von 1,5 bis 22,5 Mio. m<sup>3</sup>/a errechnet. Grob kann daher eine Summe von 3,1 bis 24,1 Mio. m<sup>3</sup>/a für das Jahr 2050 abgeschätzt werden.

## 4 Analyse und Bewertung der Wasserentnahmen

Obwohl dem Gewässer bei der Durchlaufkühlung große Wassermengen entnommen werden, entsteht hier bezogen auf den Abfluss kein Verlust, weil das Wasser dem Fließgewässer direkt wieder zugeführt wird. Es findet eine Gewässerbelastung durch Erwärmung statt (Abbildung 2). Bundesweit besaßen im Jahr 2017 insgesamt 33 der 125 Kraftwerke und davon 20 Erdgaskraftwerke eine Durchlaufkühlung (Tabelle 1). Der Kühlwasserbedarf betrug insgesamt 357 m<sup>3</sup>/s oder 11,2 Mrd. m<sup>3</sup>/a.

Der Wasserbedarf für den Betrieb der Erneuerbaren Energien war aufgrund der defizitären Datenlage nicht seriös abschätzbar. Trotzdem war zu erkennen, dass dieser im Vergleich zu den Kühlwassermengen um mehrere Größenordnungen geringer war. Er ist daher im Rahmen dieser Studie vernachlässigbar, zumal der Bedarf häufig nicht aus Flusswasser gedeckt wurde.

**Tabelle 1:** Anteil der Kraftwerke pro Kraftwerkstyp und Kühltechnik, 2017

<b>Kraftwerkstyp</b>		<b>Kühlturm</b>	<b>Durchlauf- kühlung</b>	<b>Summe</b>	<b>Anteil</b>
<b>BRK</b>	Braunkohle	38	0	38	30 %
<b>DGAS</b>	Dampfkraftwerk Gas	8	4	12	10 %
<b>GUD</b>	Gas- und Dampfturbinenkraftwerk	12	16	28	22 %
<b>KKW</b>	Kernkraftwerk	6	1	7	6 %
<b>STK</b>	Steinkohle	28	12	40	32 %
<b>Summe</b>		<b>92</b>	<b>33</b>	<b>125</b>	<b>100 %</b>

Auch ist nicht abschätzbar, ob zukünftig ein größerer Bedarf an Wasser durch die Speichertechnologie Power-to-Gas in Deutschland entstehen wird, weil die Erzeugung von Wasserstoff ggf. in klimatisch vorteilhafteren Regionen betrieben wird.

Bei der Kühlturmkühlung hingegen wird dem Gewässer die Menge entnommen, die zum Ausgleich der Verdunstungsverluste erforderlich ist. Eine Wärmeeinleitung in das Gewässer findet nicht statt. Im Jahr 2017 waren noch 92 Kraftwerke mit Kühlturm-Technik in Betrieb (Tabelle 1). Deren Wasserentnahmen betragen ohne Wärmeauskopplung, was den ungünstigeren Fall aus wasserwirtschaftlicher Sicht darstellt, ca. 29,6 m<sup>3</sup>/s oder 935 Mio. m<sup>3</sup>/a. Dies entspricht einer Verdunstungshöhe von 2,6 mm/a. Gemessen an der jährlichen Verdunstungshöhe in Deutschland von 532 mm pro Jahr ist dieser Wert vernachlässigbar. Werden die einzelnen Flussgebiete betrachtet, sind deutliche Unterschiede zu erkennen. So betrug die Wasserentnahme im Rhein-Einzugsgebiet 4,3 mm, im Elbe-Einzugsgebiet 2,1 mm und im Donau-Einzugsgebiet 1,5 mm.

In Case Studies, die für die vorhandene Szenarien zur Energiewende und zum Klimawandel genutzt wurden, wurde ermittelt, dass die Wasserentnahmen für den Betrieb der Kühltürme in Deutschland 2025 auf 56 % und

2040/2050 auf 10 % der Wasserentnahmewerte von 2017 sinken werden, so dass auch die Relevanz für die Wasserbilanz weiter abnimmt. Für die einzelnen Flussgebiete variieren diese Zahlen je nach Anzahl der Kraftwerke. So nehmen die Entnahmen im Elbe-Einzugsgebiet entsprechend der Szenarien in den Case Studies beispielsweise von 100 % im Jahr 2017 auf 87 % im Jahr 2025 und auf 0,8 % 2040/2050 ab. Bezogen auf das ganze Bundesgebiet bzw. die jeweiligen Flusseinzugsgebiete sind die Verdunstungsverluste zu vernachlässigen. Sie liegen in Größenordnungen weniger Millimeter Verdunstungshöhe.

## 5 Auswirkungen von Wärmeeinleitungen auf die Gewässertemperatur

Das Aufstellen von Wärmelastplänen hat schon in den 1970er Jahren gezeigt, dass die Wärmebelastung aus der Durchlaufkühlung problematisch für die Gewässer und ihre Biozönose ist. In der Folge wurden Kraftwerke mit Kühlturmtechnik gebaut, die keine Wärme in das Gewässer einleiten. Weiterhin und insbesondere bei bestehenden Kraftwerken wurde die Wärmeeinleitung durch Genehmigungsaufgaben begrenzt. In besonders trockenen und heißen Sommern sind sowohl Kraftwerke gedrosselt worden als auch Ausnahmegenehmigungen erteilt worden, um einerseits die Gewässer nicht zu sehr zu belasten und um andererseits die Stromversorgung sicher zu stellen.

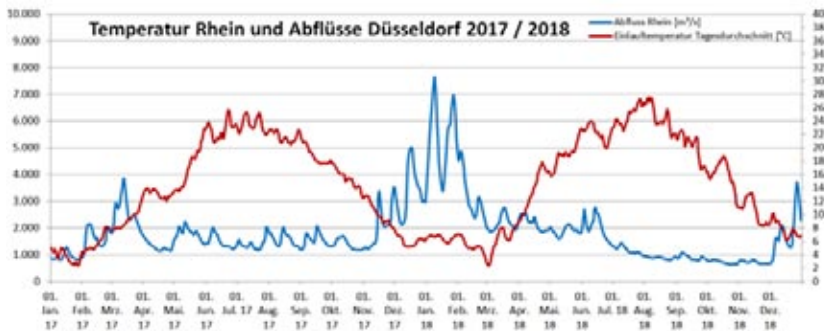


Abbildung 2: Kühlwassertemperaturen Einlauf und Auslauf für Kraftwerk Lausward für 2017 und 2018 Quelle: eigene Darstellung mit Daten von WSV und StW Düsseldorf

Zukünftig ist ein Rückgang der Belastung aus thermischen Einleitungen zu erwarten, allerdings wird in Folge der Klimaerwärmung die Gewässertemperatur um ca. 2 °C zunehmen. Insbesondere bei kleineren Gewässern und im Umfeld der Kühlwassereinleitung ist zum Schutz der Biozöten auf eine Gewässerverträglichkeit der Kühlwassereinleitung zu achten. Trotz des Rückgangs von Wärmeeinleitungen durch den Ausstieg aus der Atomenergie und den Braunkohleausstieg kann es zukünftig erforderlich werden, eine Anpassung der Genehmigungsaufgaben in Betracht zu ziehen, da die ausschöpfbare Spannbreite an zulässiger Gewässertemperaturerhöhung abnimmt. Maßnahmen wie z. B. der Neubau von Kühlanlagen oder die Aufstellung von Wärmelastplänen können auch in die Bewirtschaftungspläne aufgenommen werden.

## 6 Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass der geplante Ausbau der Erneuerbaren Energien und somit die Reduzierung der Anzahl der thermischen Kraftwerke und der damit einhergehenden Nutzung von Kühlwasser zu einer Verbesserung des Zustands des Wasserhaushalts der Gewässer sowohl in Bezug auf die Wassermengen als auch in Bezug auf die Temperatur führen wird. Kritische Temperatur- oder Abflusszustände der Gewässer aufgrund von Kühlwassernutzungen sind in Zukunft auch regional nicht zu erwarten. Je nach gewähltem Szenario ist mit einer schnelleren oder langsameren Verbesserung des aktuellen Zustands zu rechnen. Je konsequenter und schneller der vollständige Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger für energetische Anwendungen erfolgt und mit einem ambitionierten Ausbau der Erneuerbaren Energien einhergeht, umso schneller verringern sich auch die negativen Auswirkungen der Kühlwassernutzung auf den Wasserhaushalt.

Um die positiven Effekte der Energiewende auf den Wasserhaushalt zu bewahren, ist bei der Nutzung alternativer Energie- und Speicherformen der Einfluss auf den Wasserhaushalt zu prüfen. Eine zukünftige deutliche Verschlechterung des Zustands des Wasserhaushalts der Gewässer durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien wird basierend auf den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens nur in zwei Fällen erwartet: großflächiger Ausbau der Bewässerung von Energiepflanzen mit Oberflächenwasser und/oder von tiefen Geothermiekraftwerken mit wasserintensiver Kraft-



werks- und Kühltechnologie. Sollten die amtlichen Statistiken für die bewässerte Fläche von Kulturpflanzen insgesamt bzw. die für Bewässerung eingesetzte Wassermenge zukünftig einen signifikant steigenden Trend zeigen, sollte geprüft werden, ob dies u.a. auf die Bewässerung von Energiepflanzen zurückzuführen ist. Im Falle der tiefen Geothermiekraftwerke wird davon ausgegangen, dass die Aspekte des Wasserhaushaltes bei der Genehmigung geprüft werden.

Bei den Abschätzungen hat sich herausgestellt, dass vorhandene Daten für den vorliegenden Zweck nur eingeschränkt geeignet und teilweise mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Während für die hydrologischen Parameter ein gutes Netz an Pegeln mit langen Beobachtungszeitreihen zur Verfügung steht, gibt es deutlich weniger Messstellen zur Erfassung der Gewässertemperatur mit häufig lückenhaften oder ungeprüften Daten. Es wird daher empfohlen, die Daten, die von den Kraftwerksbetreibern erhoben werden, zu veröffentlichen, um sie im Sinne von open science nutzen zu können.

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse aus Case Studies des Projekts zeigen, dass die Energiewende positive Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Gewässer hat. Eine Verschärfung kritischer Temperatur- oder Abflusszustände der Gewässer aufgrund von Kühlwassernutzungen sind in Zukunft auch regional nicht zu erwarten. Dabei wurden auch Einflüsse des Klimawandels auf den Wasserhaushalt berücksichtigt.

Je konsequenter und schneller der vollständige Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger für energetische Anwendungen erfolgt und mit einem ambitionierten Ausbau der erneuerbaren Energien einhergeht, umso schneller verringern sich auch die negativen Auswirkungen der Kühlwassernutzung auf den Wasserhaushalt.

## 8 Literatur

- BVG (Bundesverband Geothermie) (2019): Geothermie in Zahlen.  
<https://www.geothermie.de/geothermie/geothermie-in-zahlen.html>  
(15.09.2019)
- DESTATIS (Statistisches Bundesamt) (2018): Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung 2016. Fachserie 19 Reihe 2.2
- EEX-Transparency Plattform (2019): Kraftwerksdaten der EEX  
Transparenzplattform. <https://www.eex-transparency.com/de/power/>  
(24.07.2019)
- UBA (Umweltbundesamt) (2019), Datenbank Kraftwerke in Deutschland:  
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland> (17.04.2019)

Autoren:

Rita Keuneke  
Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH  
Bachstr. 62-64  
52066 Aachen  
Tel.: +49 241 565272 50  
E-Mail: [rita.keuneke@floecksmuehle-fwt.de](mailto:rita.keuneke@floecksmuehle-fwt.de)

Armin Gauß  
Fichtner GmbH & Co. KG  
Sarweystr. 3  
70191 Stuttgart  
Tel.: +49 711 8995 1487  
E-Mail: [armin.gauss@fichtner.de](mailto:armin.gauss@fichtner.de)

Dr. Oliver Buchholz  
Hydrotec Ingenieurgesellschaft mbH  
Bachstr. 62-64  
52066 Aachen  
Tel.: +49 241 94689 54  
E-Mail: [oliver.buchholz@hydrotec.de](mailto:oliver.buchholz@hydrotec.de)