

# Potenzialstudie Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen

Die Wasserkraft kann als relativ konstante, witterungsunabhängige Energiequelle einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten. Die Studie zeigt, dass bereits ein Großteil des in Nordrhein-Westfalen (NRW) vorhandenen Wasserkraftpotenzials genutzt wird. Ungenutzte Potenziale wurden insbesondere an bestehenden Wasserkraftanlagen durch einen zusätzlichen Ausbau identifiziert. Unter Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben wurden gewässerökologisch relevante Szenarien entwickelt, zusätzliche Potenziale ermittelt sowie weitere Aspekte betrachtet.

Pia Anderer, Stephan Heimerl, Niklas Raffalski und Ulrich Wolf-Schumann

## 1 Potenzialstudien Erneuerbare Energien in NRW

Zur Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen des Ausbaus Erneuerbarer Energien in Nordrhein-Westfalen (NRW) veröffentlichte das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) im Auftrag des damaligen Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) seit 2012 Potenzialstudien zu den erneuerbaren Energieformen Windenergie, Solarenergie, Biomassenutzung, Geothermie und Wasserkraft. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden der Öffentlichkeit auch über das Fachinformationssystem Energieatlas NRW ([www.energieatlasnrw.de](http://www.energieatlasnrw.de)) zugänglich gemacht. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Arbeiten für die 2017 veröffentlichte Potenzialstudie Wasserkraft NRW und ihre wesentlichen Ergebnisse.

Grundsätzliches Ziel der Umweltverwaltung des Landes Nordrhein-Westfalen im Bereich der Wasserkraftnutzung ist es, die Anforderungen des Klimaschutzes (Ausbau der Erneuerbaren Energien) mit den Anforderungen des Gewässerzustands gemäß Wasserrahmenrichtlinie und des Naturschutzes (z. B. Durchgängigkeit von Fließgewässern für Wanderfische etc.) möglichst in Einklang zu bringen.

NRW war das erste Bundesland, in dem bereits zwischen 2000 und 2005 systematisch umfangreiche technische und ökologische Daten zu Querbauwerken und Wasserkraftanlagen erhoben und in einem Informationssystem dargestellt wurden (QUIS NRW). Im Jahr 2006 wurde im Auftrag des damaligen Umweltministeriums erstmals eine Potenzialermittlung für die Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen durchgeführt [1]. Im

Rahmen der Potenzialstudie Erneuerbare Energien des LANUV wurde jedoch die Überarbeitung und Aktualisierung der vorgenannten Studie als erforderlich angesehen, u. a. da sich wesentliche rechtliche Rahmenbedingungen geändert hatten und weitergehende Fragestellungen untersucht werden sollten (z. B. Einfluss des Klimawandels).

In der aktuellen Untersuchung werden neben der Analyse des derzeitigen Bestandes an Wasserkraftanlagen die ungenutzten Potenziale an vorhandenen Querbauwerken und Talsperren im Land sowie das Ausbaupotenzial an bereits bestehenden Wasserkraftanlagen untersucht und quantifiziert.

Darüber hinaus wurde die Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung geprüft sowie die Potenziale zur Wasserkraftnutzung an Infrastrukturanlagen und für kinetische Strömungsmaschinen betrachtet. Die Grundlagen sowie die verwendeten Methoden zur Potenzialabschätzung für kinetische Strömungsmaschinen sind in [2] ausführlich dokumentiert.

## 2 Methodik

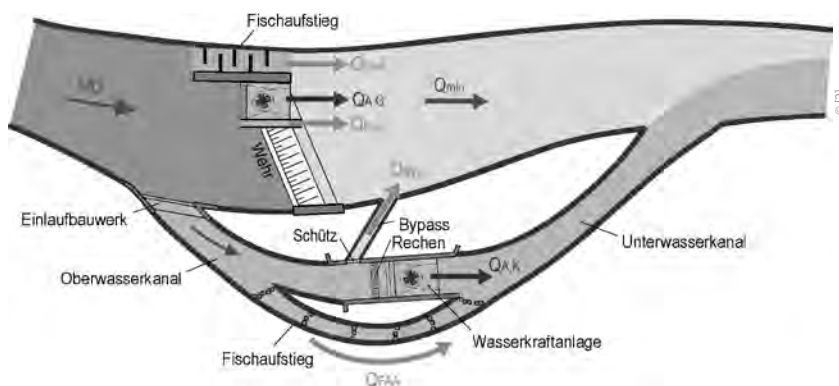
Das methodische Vorgehen orientiert sich in weiten Teilen an der Vorgehensweise der Potenzialstudie Arnsberg [3], in der das erschließbare Restpotenzial der Wasserkraft im Regierungsbezirk Arnsberg ermittelt wurde. Im Unterschied zu der bundesweiten Studie zum Wasserkraftpotenzial [4] entspricht diese Methodik dabei grundsätzlich auch derjenigen, die in anderen Regionen Deutschlands verwendet wurde (s. u. a. [5], [6]), womit eine Vergleichbarkeit sichergestellt wurde.

### 2.1 Datengrundlage

Im Rahmen der Studie wurden umfangreiche Daten zu Querbauwerken, Wasserkraftanlagen und Fischaufstiegsanlagen ausgewertet. Dabei wurde die Datenbasis für die Potenzialuntersuchung aus zahlreichen Quellen erstellt. Dazu gehörten die Gewässerstrukturkartierung in NRW aus den Jahren 2011 bis 2013, das Stauanlagenverzeichnis NRW, die Potenzialuntersuchung zu Pumpspeicherkraftwerken in NRW, eine Befragung der Betreiber von Talsperren, das Querbauwerke Informationssystem QUIS, die Daten der Bundesnetzagentur zu den nach EEG

### Kompakt

- Der Großteil des Wasserkraftpotenzials in NRW wird bereits genutzt.
- Zubaupotenziale wurden für verschiedene Szenarien bestimmt.
- Theoretische Zubaupotenziale liegen im Bereich von 10 % bis 20 % der derzeitigen durchschnittlichen Jahresarbeit.



**Bild 1:** Standort eines Querbauwerkes mit zwei Wasserkraftanlagen und Abflussaufteilung über Fischaufstiegsanlagen  $Q_{FAA}$  und Bypässe  $Q_{Byp}$ , Mindestabfluss  $Q_{min}$  sowie den Ausbaudurchflüssen  $Q_{A,G}$ ,  $Q_{A,K}$  der Wasserkraftanlagen; MQ: mittlerer Abfluss des Gewässers

geförderten Wasserkraftanlagen, die Daten aus der Potenzialstudie Arnsberg und die Bewirtschaftungspläne des Landes NRW.

Nach der Integration aller Daten in einen zentralen Datenbestand wurde eine Geodatenbank erstellt, so dass die Lokalisierung der Standorte innerhalb der Gewässersysteme und die Betrachtung mit Hilfe topographischer Karten möglich wurden.

### 2.2 Untersuchte Standorte

Für ganz NRW wurden insgesamt 815 Standorte bezüglich ihres Potenzials untersucht. Diese erfüllen die definierten Mindestkriterien: sie liegen an bereits bestehenden Querbauwerken an einem Gewässerabschnitt mit einem Mittelabfluss MQ von mindestens  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  und besitzen eine Mindestabsturzhöhe bzw. Fallhöhe von  $0,8 \text{ m}$ .

Rund 35 % der Standorte verfügen über eine Ausleitung zu einer ehemaligen oder aktuell in Betrieb befindlichen Wasserkraftanlage, an 81 Standorten befinden sich Talsperren.

### 2.3 Potenzialermittlung

Der Potenzial-Begriff wird in der Literatur nicht immer eindeutig verwendet. Er wird sowohl zur Bezeichnung einer Energie (Einheit z. B. Gigawattstunde [GWh]) als auch einer Leistung (Einheit z. B. Kilowatt [kW]) genutzt. Um eine genauere Spezifizierung zu erreichen, wird im Folgenden falls erforderlich die Stromerzeugung mit dem Begriff Erzeugungspotenzial und die installierte Leistung mit dem Begriff Leistungspotenzial benannt.

Für alle Standorte wurde als theoretische Größe das technische Leistungspotenzial  $P_{tech}$  ermittelt gemäß:

$$P_{tech} = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h_f \cdot Q_A \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

$$= 0,75 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot h_f \cdot Q_A \quad [\text{kW}]$$

mit

$\eta$  Gesamtwirkungsgrad (als mittlerer Wert wurde gewählt: 0,75)

$\rho$  Dichte des Wassers ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$h_f$  mittlere Absturzhöhe am Wehr bzw. Fallhöhe der Wasserkraftanlage [m]

$Q_A$  Ausbaudurchfluss der Wasserkraftanlage [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Der Ausbaudurchfluss  $Q_A$  gibt dabei den maximal von einer Wasserkraftanlage zu verarbeitenden Wasserdurchfluss an. Ist er für eine bestehende Wasserkraftanlage nicht bekannt, so wird

er als Produkt aus einem bekannten bzw. geschätzten Ausbaugrad  $\varepsilon$  und dem Mittelabfluss MQ des Gewässers ermittelt:

$$Q_A = \varepsilon \cdot MQ \quad (2)$$

In Anlehnung an die Potenzialstudie Arnsberg wurde für bisher ungenutzte Standorte der Ausbaudurchfluss nicht auf MQ bezogen, sondern es wurde vom mittleren Abfluss ein ökologischer Abfluss  $Q_{öko}$  abgezogen und ein Ausbaugrad  $\varepsilon_2$  definiert. Dieser berücksichtigt, dass nach aktueller Gesetzeslage bei Neuanlagen immer ein Abfluss für gewässerökologische Maßnahmen, wie z. B. Fischaufstiegs- und Bypassanlagen oder die Mindestwassermengen in Ausleitungsstrecken, abzugeben ist, der für die Wasserkraftnutzung nicht zur Verfügung steht (**Bild 1**). Für manche Anlagenkonstellationen können diese Einzelabflüsse miteinander verrechnet werden. So kann der Mindestabfluss  $Q_{min}$  aus der Dotation der Fischaufstiegsanlage  $Q_{FAA}$  und der Bypässe  $Q_{Byp}$  bestehen.

Der Ausbaudurchfluss  $Q_A$  ergibt sich damit aus:

$$Q_A = \varepsilon_2 \cdot (MQ - Q_{öko}) \quad (3)$$

mit  $\varepsilon_2 = 1,3$ .

Die Größe der ökologisch relevanten Abflüsse hängt von verschiedenen Faktoren ab [2] und kann für eine landesweite Auswertung nur pauschal vorgegeben werden:

- Dotation der Fischaufstiegsanlage:  $Q_{FAA} = 150$  bis  $700 \text{ l/s}$  in Abhängigkeit der Fischgewässertypen und Leitarten.
- Bypassdotation:  $Q_{Byp} = 3,5\%$  von  $Q_A$  bzw.  $2\%$  von  $Q_A$  für große Wasserkraftanlagen.
- Mindestabfluss:  $Q_{min} = 0,33$  bis  $0,5 \text{ MNQ}$  in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße.

Das Erzeugungspotenzial  $E_{tech}$ , d. h. die von einer potenziellen Wasserkraftanlage zu erzeugende Jahresarbeit, wird durch Multiplikation des Leistungspotenzials ( $P_{tech}$ ) mit den Volllaststunden ( $t_{voll}$ ) ermittelt:

$$E_{tech} = t_{voll} \cdot P_{tech} \quad [\text{MWh/a}] \quad (4)$$

An Standorten mit bestehender Wasserkraftnutzung wurden die Jahresvolllaststunden der in Betrieb befindlichen Anlage auch für den Ausbau übernommen. Für neue Standorte wurden die Volllaststunden aus dem Mittelwert der Jahreserzeugung zahlreicher Wasserkraftanlagen abgeleitet [2]. Sie

liegen zwischen 4 650 h/a für sehr gleichmäßige Abflüsse und 3 650 h/a für sehr ungleichmäßige Abflüsse der Gewässer für  $\epsilon_2 = 1,3$ .

Für alle zu untersuchenden Standorte in NRW wurde gemäß der beschriebenen Vorgehensweise das technisch-theoretische Potenzial ermittelt. Dieses Potenzial steht theoretisch einer Nutzung zur Verfügung, wird aber an Standorten mit bestehender Wasserkraftnutzung zum Teil bereits in Anspruch genommen. Für diese ergibt sich das ungenutzte Potenzial durch Abzug der bereits installierten Leistung. Für bestehende Wasserkraftanlagen kann so ein Ausbaupotenzial ausgewiesen werden.

Die Daten zum ausbaubaren Potenzial an Talsperren wurden im Zuge einer Betreiberumfrage ermittelt.

### 2.4 Differenzierte Betrachtung der Potenziale

Vor dem Hintergrund der landesweiten Betrachtung konnten weder Gutachten für einzelne Standorte erstellt noch sämtliche für die Genehmigung von Wasserkraftanlagen relevanten Aspekte in aller Tiefe und räumlichen Konkrettheit berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung des sogenannten differenzierten Potenzials wurden aufbauend auf dem zunächst bestimmten technisch-theoretischen Potenzial jedoch weitere ökologische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, um damit eine bessere Einschätzung der Potenziale und ihrer Realisierungswahrscheinlichkeiten zu erreichen. Um dabei auch solche Kriterien erfassen und bewerten zu können, aus denen derzeit keine eindeutigen Rückschlüsse über die Zulässigkeit von Wasserkraftanlagen möglich sind, wurde für das differenzierte Potenzial ein „maximales Szenario“ und ein „minimales Szenario“ betrachtet. Zur Ermittlung des differenzierten Potenzials wurden grundsätzlich folgende Kriterien herangezogen:

- Lage in Schutzgebieten (Naturschutz- und Natura-2000-Gebiete, Nationalparke),
- Anlagenleistung,
- Lage in Zielartengewässern für Lachs und Aal,
- Maßnahmen zur Durchgängigkeit (WHG, WRRL, Umsetzungsfahrpläne).

### Schutzgebiete

Der Neubau von Wasserkraftanlagen an Querbauwerken ist in Naturschutzgebieten, FFH- und Vogelschutzgebieten sowie dem Nationalpark Eifel gemäß der Biodiversitätsstrategie des Landes NRW nicht zulässig. Der Ausbau bestehender Wasserkraftanlagen ist jedoch grundsätzlich bei einer Einzelfallbetrachtung im Rahmen von wasserrechtlichen Zulassungen weiterhin möglich. Im differenzierten Potenzial wurden daher keine neuen Standorte in diesen Schutzgebieten berücksichtigt.

### Anlagenleistung

Das ungenutzte technisch-theoretische Potenzial wurde für Auswertungen und Berechnungen landesweit ab einer Anlagenleistung  $\geq 10$  kW identifiziert. Diese Grenze trägt der Tatsache Rech-

nung, dass bei einem Ausbau von Anlagen kleiner Leistung möglicherweise relativ geringe Leistungssteigerungen auch ohne großen Aufwand wirtschaftlich realisierbar sind.

Die Ermittlung des landesweiten noch ungenutzten differenzierten Potenzials erfolgte jedoch nur für Standorte mit einem ungenutzten technisch-theoretischen Potenzial von mindestens 50 kW. Durch diesen Grenzwert sollen wirtschaftliche Kriterien und Realisierungsmöglichkeiten im Rahmen der landesweiten Betrachtung pauschal berücksichtigt werden, ebenso das bei kleineren Anlagen evtl. ungünstigere Verhältnis von Nutzen (Energieertrag) und ökologischen Kosten.

### Zielartengewässer für Lachs und Aal

In den Zielartengewässern für Aal und Lachs ist der Schutz der Zielarten von vorrangiger Bedeutung. Es ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, ob ein Zubau von Wasserkraftanlagen in diesen Gewässern grundsätzlich zulässig ist. Daher wurde untersucht, welcher Anteil des technisch-theoretischen Gesamtpotenzials sich in den entsprechenden Gewässerabschnitten befindet, und dieses Potenzial differenziert in den minimalen und maximalen Szenarien ausgewiesen.

### Bewirtschaftungsziele, Maßnahmenpläne und Umsetzungsfahrpläne (UFP)

Gesetzlich ist vorgegeben, dass alle Fließgewässer in NRW durchgängig zu gestalten sind und die ihnen im Bewirtschaftungsplan vorgegebenen Ziele, in der Regel den guten ökologischen Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial, erreichen sollen. Das heißt unter anderem, dass an allen Wasserkraftanlagen und den damit in Verbindung stehenden Querbauwerken Maßnahmen für den Fischaufstieg, den Fischschutz und den Fischabstieg vorzusehen sind. Dabei kann auch ein Rückbau vor-



**Bild 2:** In Betrieb befindliche Wasserkraftanlagen in Nordrhein-Westfalen (2015)

**Tabelle 1:** Daten zum Bestand an Wasserkraftanlagen in Nordrhein-Westfalen (Quelle: [2])

	Anzahl WKA	Leistung [MW]	Durchschnittliche Jahresarbeit [GWh/a]
WKA an Talsperren (ohne PSW)	38	93,2	208,0
WKA an anderen Standorten	389	95,9	325,0
<b>Summe</b>	<b>427</b>	<b>189,1</b>	<b>533,0</b>
PSW	2	293	-

handener Querbauwerke und nicht betriebener Wasserkraftanlagen Vorrang vor einer Nutzung haben. Bei der Einschätzung der Realisierbarkeit des ungenutzten Potenzials wurden die im Zuge der WRRL-Berichterstattung erarbeiteten Bewirtschaftungsziele und Maßnahmen zur Durchgängigkeit der Gewässer aus dem Maßnahmenprogramm 2015 berücksichtigt.

### Weitere Restriktionen

Nicht betrachtet wurden aufgrund der vorgesehenen Bearbeitungstiefe bei der Potenzialausweisung mögliche Nutzungskonflikte, die technische Machbarkeit, die konkrete Wirtschaftlichkeit, Naturschutzziele oder Wasserrechte. Dies kann nur in einer Betrachtung des Einzelfalles erfolgen.

## 3 Anlagenbestand und genutztes Potenzial der Wasserkraft

In Nordrhein-Westfalen waren im Jahr 2015 insgesamt 427 Wasserkraftanlagen und zwei Pumpspeicherkraftwerke (PSW) in Betrieb (**Bild 2**). 351 Wasserkraftanlagen wurden im Anlagenverzeichnis der Bundesnetzagentur zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geführt und speisten somit den erzeugten Strom in das öffentliche Stromnetz ein. An 40 Talsperren fand eine Wasserkraftnutzung statt. Davon waren zwei als reine PSW mit künstlichem Oberbecken mit einer Leistung von 293 MW in Betrieb. Die Sorpetalsperre, deren PSW momentan außer

Betrieb ist, ist dabei nicht berücksichtigt. Sie wurde ursprünglich als gemischtes Speicher- und Pumpspeicherkraftwerk mit einer Turbinenleistung von 7,4 MW genutzt. Insgesamt wurde in 2015 durch die Wasserkraft eine Strommenge von 533 GWh/a bei einer Gesamtleistung von 189,1 MW erzeugt (ohne PSW, **Tabelle 1**).

Etwa 9% aller Wasserkraftanlagen liegen an Talsperren und verfügen über einen Anteil an der installierten Leistung von 50% bzw. von 40% bezogen auf die durchschnittliche Jahresarbeit.

Betrachtet man die Wasserkraftanlagen in verschiedenen Leistungsklassen, zeigt sich, dass relativ wenige Anlagen mit großer Leistung den Großteil der Jahresarbeit an Wasserkraftstrom erzeugen (**Bild 3**).

**Bild 4** zeigt die Lage der Wasserkraftanlagen nach Leistungsklassen. Zahlreiche Anlagen sind im Regierungsbezirk Arnsberg verortet. Dort sind auch in Summe die größte Leistung und Jahresarbeit zu verzeichnen.

## 4 Ausbaupotenziale in NRW

### 4.1 Potenziale an Talsperren

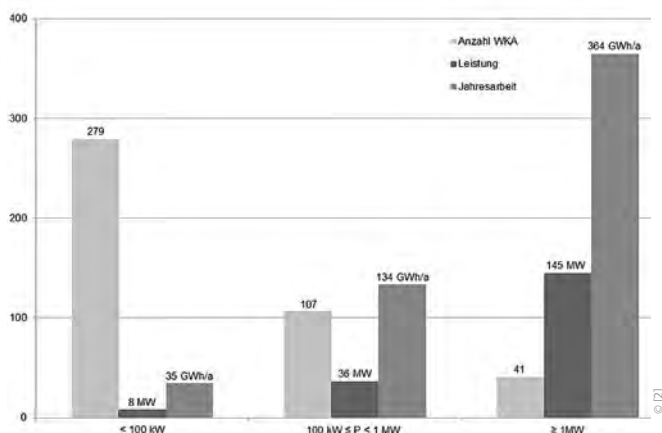
An Talsperren wurde das Potenzial auf Basis einer Betreiberumfrage ermittelt. Diese ergab, dass das nutzbare und wirtschaftliche Potenzial an den Talsperren bereits weitestgehend ausgeschöpft ist. Obwohl technisch ein größeres Potenzial vorhanden ist, kann dieses aufgrund anderer wichtiger Aufgaben der Talsperren, wie insbesondere Trink- und Brauchwasserbereitstellung, nicht für die Wasserkraftnutzung herangezogen werden.

Etliche Rückmeldungen von Betreibern schlossen eine weitere wirtschaftliche Nutzung der Wasserkraft aus. Teilweise fand wie an der Sorpetalsperre eine Umnutzung vom Pumpspeicherbetrieb in einen reinen Speicherbetrieb statt oder eine vorhandene Wasserkraftanlage wurde, wie z. B. an der Herbringhamer Talsperre, rückgebaut.

Ein ungenutztes Potenzial wurde einzig von den Betreibern der Wupper-Talsperre gemeldet. Dabei wurden ein Leistungspotenzial von 1 MW und ein Erzeugungspotenzial von 0,8 GWh/a angegeben. Hier liegen bereits konkrete Planungen für einen Ausbau vor. Dieses Potenzial ist in die Auswertung des technisch-theoretischen Potenzials eingeflossen.

### 4.2 Technisch-theoretisches Potenzial

Das ungenutzte Potenzial konnte im Rahmen der landesweiten Analyse nicht detaillierter bezüglich der wirtschaftlichen,



**Bild 3:** In Betrieb befindliche Wasserkraftanlagen nach Anzahl, Leistung und Jahresarbeit (ohne PSW)

**Tabelle 2:** Ungenutztes technisch-theoretisches Wasserkraftpotenzial und differenzierte Potenziale (unter Berücksichtigung des geplanten Ausbaupotenzials an der Wupper-Talsperre) (Quelle: [2])

Ungenutztes technisch-theoretisches Wasserkraftpotenzial			
$P_{pot} \geq 10 \text{ kW}$	Anzahl Standorte	Leistungspotenzial [MW]	Erzeugungspotenzial [GWh/a]
gesamt	532	42,3	141,4
davon Ausbau	81	9,5	35,9
Ungenutztes differenziertes Wasserkraftpotenzial			
Ohne neue Standorte von Wasserkraftanlagen in Schutzgebieten, sowie ohne neue Standorte mit Maßnahmen, die in den Umsetzungsfahrplänen explizit und ausschließlich den Rückbau fordern.			
$P_{pot} \geq 50 \text{ kW}$	Anzahl Standorte	Leistungspotenzial [MW]	Erzeugungspotenzial [GWh/a]
<b>maximales Szenariol, gesamt</b>	<b>128</b>	<b>24,4</b>	<b>107,9</b>
davon Ausbau	35	8,4	31,4
Potenzial an Standorten mit installierbarer Leistung $\geq 100 \text{ kW}$	60	19,8	87,2
ohne neue Standorte in Zielartengewässern Lachs und Aal.	89	20,8	91,0
ohne neue Standorte mit Maßnahmenkombination* „Rückbau / Umbau / Herstellung der Durchgängigkeit“ entsprechend Umsetzungsfahrplänen	66	15,4	63,7
<b>minimales Szenario</b>			
ohne a) neue Standorte in Zielartengewässern Lachs und Aal und ohne b) neue Standorte mit Maßnahmen „Rückbau/Umbau/Herstellung der Durchgängigkeit“	<b>54</b>	<b>14,4</b>	<b>59,8</b>

\* Die Maßnahme „Rückbau/Umbau/Herstellung der Durchgängigkeit“ sieht einen Rückbau als alleinige Maßnahme nicht vor; dieser kann aber auch nicht ausgeschlossen werden. Daher wurde das Potenzial dieser Maßnahmenkombination in einer eigenen Kategorie berechnet

technischen oder ökologischen Realisierungsmöglichkeiten untersucht werden. Daher wird es im Folgenden als technisch-theoretisches Potenzial bezeichnet.

An insgesamt 532 Standorten von Querbauwerken oder Wasserkraftanlagen, die über ein ungenutztes Potenzial von mindestens 10 kW verfügen, wurde ein zusätzliches technisch-theoretisches Leistungspotenzial von 42,3 MW (**Tabelle 2**) ermittelt. Etwa 22,5 % dieses Leistungspotenzials bzw. 9,5 MW entfallen dabei auf ungenutzte Potenziale an bestehenden Wasserkraftanlagen und stellen somit das Ausbaupotenzial dar. Das ungenutzte technisch-theoretische Erzeugungspotenzial beträgt in NRW insgesamt 141,4 GWh/a.

Wird berücksichtigt, dass nach der Biodiversitätsstrategie des Landes NRW in bestimmten Schutzgebieten (Nationalparke, FFH-, Vogelschutz- und Naturschutzgebiete) keine neuen Wasserkraftanlagen errichtet werden dürfen, reduziert sich die Zahl der potenziell nutzbaren Standorte auf 395. **Bild 5** zeigt, dass sich 28 % des ungenutzten technisch-theoretischen Leistungspotenzials an bisher nicht durch die Wasserkraft genutzten Standorten innerhalb von Schutzgebieten befindet. Dieses Potenzial kann derzeit nicht genutzt werden und bleibt bei den weiteren Auswertungen unberücksichtigt. 64 % des Potenzials liegt außerhalb der relevanten Schutzgebiete und 8 % an bestehenden Wasserkraftanlagen innerhalb derselben. Unter Berücksichtigung der Biodiversitätsstrategie des Landes NRW ergibt sich ein ungenutztes technisch-theoretisches Leistungspotenzial von 30,5 MW.

### 4.3 Differenziertes Potenzial

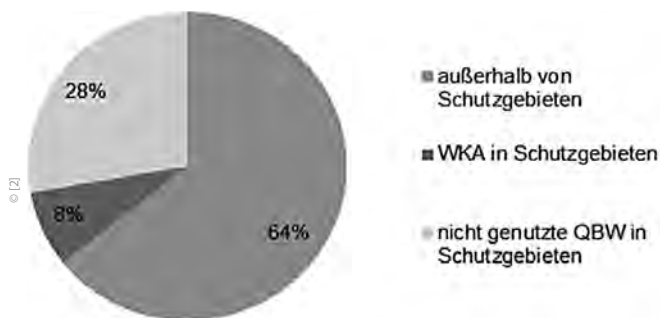
Im Gegensatz zum technisch-theoretischen Potenzial wurde das differenzierte Potenzial nur für potenzielle Anlagenstandorte mit einer Mindestleistung von 50 kW betrachtet. Diese wurden

außerdem in Bezug auf ihre Lage in Schutzgebieten und Zielartengewässern für Lachs und Aal untersucht. Außerdem wurde ein möglicher Einfluss der WRRL-Umsetzungsfahrpläne auf die Ausbaumöglichkeiten an den Standorten analysiert. Das differenzierte Potenzial wird zusammenfassend in einem minimalen und einem maximalen Szenario eingestuft, was eine erste Einschätzung der Realisierbarkeit ermöglichen soll.

Im maximalen Szenario beträgt das ungenutzte differenzierte Potenzial für Standorte mit einer Mindestleistung P von 50 kW außerhalb von Schutzgebieten (bzw. innerhalb von Schutzgebieten an bereits bestehenden Wasserkraftanlagen) 24,4 MW bzw. 107,9 GWh/a (**Tabelle 2**). Ausgehend von diesem



**Bild 4:** In Betrieb befindliche Wasserkraftanlagen in Nordrhein-Westfalen, Darstellung nach Leistungsklassen



**Bild 5:** Anteile des ungenutzten technisch-theoretischen Leistungspotenzials für Anlagen mit einer Leistung  $\geq 10$  kW nach Lage

Erzeugungspotenzial könnten etwa 34 700 Haushalte in NRW mit regenerativem Strom versorgt werden (der statistische Musterhaushalt verbraucht 3 107 kWh/a). Das Ausbaupotenzial bestehender Wasserkraftanlagen in Schutzgebieten beträgt dabei etwa 8,4 MW. Etwa die Hälfte der potenziellen Standorte würde über eine installierte Leistung  $\geq 100$  kW verfügen.

**Bild 6** zeigt die Lage der Standorte potenzieller WKA mit einer Leistung  $\geq 50$  kW (differenziertes Potenzial, maximales Szenario).

Ein Teil des Potenzials befindet sich in Zielartengewässern für Lachs und Aal. Aktuell ist nicht abschließend geklärt, ob neue Wasserkraftanlagen in diesen Zielartengewässern zulässig sind. Sollten diese nicht zulässig sein, reduziert sich das möglicherweise nutzbare technisch-theoretische Potenzial auf 20,8 MW bzw. 91,0 GWh/a.

Im Zuge der Aufstellung der Umsetzungsfahrpläne wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit vorgeschlagen. Diese betreffen auch Standorte mit ungenutztem Potenzial, wobei der Einfluss der einzelnen Maßnahme auf die ausbaubare Größe des Potenzials nicht abschätzbar ist. Werden die Potenziale der Standorte, an denen Maßnahmen den Ausbau des ungenutzten Potenzials möglicherweise verhindern könnten, nicht berücksichtigt, so verbleiben 66 Standorte mit einem ungenutzten Potenzial von 15,4 MW und einer potenziellen Jahresarbeit von 63,7 GWh.

Im minimalen Szenario reduziert sich das differenzierte Potenzial damit auf 14,4 MW bzw. 59,8 GWh/a, wenn der Bau neuer Wasserkraftanlagen weder in Zielartengewässern zugelassen wird noch an Standorten, die möglicherweise im Zuge von Durchgängigkeitsmaßnahmen umgebaut werden. Damit könnten zusätzlich etwa 19 200 Haushalte in NRW mit regenerativem Strom versorgt werden.

## 5 Potenziale an Infrastruktureinrichtungen

Für die grundsätzlich möglichen Einsatzbereiche der Wasserkraft an Infrastruktureinrichtungen ergab die Datenerhebung und -recherche, dass einige wenige Anlagen am Ablauf von Kläranlagen existieren, wie z. B. an den Kläranlagen Emschermündung und Bottrop, jedoch die Nutzung der Wasserkraft in Kanalnetzen aufgrund der besonderen Randbedingungen bis auf weiteres nicht möglich ist. Mögliche Potenziale in Brauchwasser- und Trinkwasserversorgungssystemen werden zum Teil seit Jahren genutzt. Zusätzliche Potenziale konnten nicht identifiziert werden.



**Bild 6:** Standorte potenzieller Wasserkraftanlagen ohne neue Anlagen in Schutzgebieten

## 6 Relevanz von kinetischen Strömungsmaschinen

Seit etlichen Jahrtausenden wird die kinetische Energie von strömendem Wasser ohne nennenswerten, spürbaren Aufstau u. a. in Fluss- oder Schiffmühlen durch den Menschen genutzt, wobei in den letzten Jahrzehnten auch andere Formen, wie beispielsweise Mantelturbinen unterschiedlicher Bauform, in den Fokus gerückt sind.

Eine theoretische Betrachtung zeigt [7], dass die theoretisch nutzbare kinetische Energie deutlich geringer ist als die potenzielle Energie bei einem Aufstau. So ergibt sich für einen Fluss wie den Rhein mit einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 2 m/s eine theoretisch nutzbare äquivalente Fallhöhe für klassische Wasserkraftanlagen von  $h_{f, \text{äq, theo}} = 0,203$  m und für frei umströmte Strömungsmaschinen von  $h_{f, \text{eff, max}} = 0,12$  m.

Die weiteren Randbedingungen (Maschinengröße, Sicherheitsabstand zur Wasseroberfläche, verfügbare Wassertiefe etc.) führen zu dem Ergebnis, dass die meisten Binnengewässer aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten und geringen Wassertiefen für frei umströmte kinetische Strömungsmaschinen letztlich ungeeignet sind und eine derartige Nutzung wirtschaftlich nicht darstellbar ist. So ergibt sich beispielsweise für den Rhein bei einer optimistischen Betrachtung von 2 m/s und einem möglichen Rotordurchmesser von 2 m eine elektrische Leistung von unter

Pia Anderer, Stephan Heimerl, Niklas Raffalski und Ulrich Wolf-Schumann

### The hydropower potential in North Rhine-Westphalia

Hydropower is a relatively constant, weather-independent energy source, which can make a contribution to the energy transition towards renewable sources. The study shows that a large part of the hydropower potential available in North Rhine-Westphalia (NRW) is already being used. Additional potentials have been identified especially through expansion of existing hydropower plants. Taking legal requirements into account, scenarios relevant to aquatic ecology were developed, additional potentials identified and other aspects considered.

10 kW. Diese Größe wird allgemein für einen gerade noch wirtschaftlichen Betrieb von Strömungsmaschinen angesehen.

Auch für NRW ergibt sich somit, dass eine wirtschaftliche Nutzung der kinetischen Energie bis auf weiteres nicht sinnvoll möglich ist [2].

## 7 Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung

Eine Literaturlauswertung und exemplarische Simulationen für Beispielanlagen an verschiedenen Standorten in NRW führen für die nahe Zukunft (Zeitraum 2020 bis 2050) zu der Prognose, dass sich zu erwartende Klimaveränderungen in NRW auf die durchschnittliche Wasserkraftnutzung vermutlich nur moderat auswirken werden [2]. Für größere Wasserkraftanlagen sind in naher Zukunft im Mittel geringe Steigerungen der Energieerzeugung möglich, während bei kleinen Anlagen mit leichten Erzeugungseinbußen gerechnet werden muss. In der fernen Zukunft 2070 bis 2100 sind bei allen untersuchten Anlagen überwiegend Erzeugungseinbußen wahrscheinlich. Im Einzelfall konnten hiervon allerdings auch Abweichungen ermittelt werden, da von manchen Modellen sowohl ein Zuwachs als auch eine Reduktion der Energieerzeugung berechnet wurde. Nach den Beispielanalysen bewegen sich die Zu- und Abnahmen in einem Korridor, der zwar auch normalen hydrologischen Schwankungen entspricht, aber trotzdem die Rentabilität spürbar verschlechtern dürfte.

## 8 Fazit

Für Nordrhein-Westfalen ist das Gesamtpotenzial der Wasserkraft selbst bei Zugrundelegung des maximalen Szenarios mit rund 0,6 TWh/a relativ gering.

Dennoch gibt es Gründe, den Ausbau der bisher noch ungenutzten Wasserkraftpotenziale in Nordrhein-Westfalen zu unterstützen, insbesondere an potenziellen Standorten für besonders große Anlagen oder bei dem Ausbau bestehender Anlagen. Die Technik der Wasserkraftnutzung ist ausgereift, besitzt relativ hohe Wirkungsgrade und kann je nach Standort eine gute Wirtschaftlichkeit erzielen. Zudem ermöglicht die meist relativ gleichmäßige Stromerzeugung von Wasserkraftanlagen im Gegensatz zur Wind- oder Solarenergie den Einsatz als Grundlastkraftwerke.

Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Nutzung der Wasserkraft in Fließgewässern Einfluss auf den Lebensraum der aquatischen Fauna und Flora hat. Im Spannungsfeld von Klimaschutz und Energiewende einerseits und den Ansprüchen des Gewässer- und Naturschutzes andererseits gilt es daher stets, die unterschiedlichen Ziele und Interessen so weit wie möglich in Einklang zu bringen.

## Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW sowie den

Mitgliedern der Projekt begleitenden Arbeitsgruppe für ihre Unterstützung und die anregenden Diskussionen.

## Autoren

### Dipl.-Phys. Pia Anderer

Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH  
Bachstr. 62-64  
52066 Aachen  
pia.anderer@floecksmuehle-fwt.de

### Prof. Dr.-Ing. Stephan Heimerl

Fichtner Water & Transportation GmbH  
Sarweystr. 3  
70191 Stuttgart  
Stephan.Heimerl@fwt.fichtner.de

### Niklas Raffalski

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
45133 Essen  
Niklas.Raffalski@lanuv.nrw.de

### Dipl.-Ing. Ulrich Wolf-Schumann

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH  
Bachstraße 62-64  
52066 Aachen  
uws@hydrotec.de

## Literatur

- [1] Anderer, P., U. Dumont, R. Kolf: Das Wasserkraftpotenzial in Nordrhein-Westfalen, In: Wasser und Abfall, Heft 7-8, 2007, S. 16-20.
- [2] Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 5 - Wasserkraft, Hrsg. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Fachbericht 40, Recklinghausen, 2017.
- [3] Dahlem Ingenieure et al. (Hrsg.): Aktionsprogramm erneuerbare Energien, Ermittlung des erschließbaren Restpotenzials der Wasserkraft im Regierungsbezirk Arnsberg. Abschlussbericht im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg, 2013.
- [4] Anderer, P.; Dumont, U.; Heimerl, S.; Ruprecht, A.; Wolf-Schumann, U.: Das Wasserkraftpotential in Deutschland. In: WasserWirtschaft 100 (2010), Heft 9, S. 12-16.
- [5] Anderer, P.; Dumont, U.; Linnenweber, C.; Schneider, B.: Das Wasserkraftpotenzial in Rheinland-Pfalz. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (2009), Heft 4, S. 223-227.
- [6] Reiss, J.; Becker, A.; Heimerl, S.: Ergebnisse der Wasserkraftpotenzialermittlung in Baden-Württemberg. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 10, S. 18-23.
- [7] Giesecke, J.; Heimerl, S.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen - Planung, Bau und Betrieb. 6. A. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2014.



## Potenzial Wasserkraft

Seidel, Chr.: Mögliche Flexibilisierungspotenziale der Wasserkraft in Deutschland. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 10/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/15098180](http://www.springerprofessional.de/link/15098180)

Reiss, J.; Becker, A.; Heimerl, S.: Ergebnisse der Wasserkraftpotenzialermittlung in Baden-Württemberg. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 10/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/15098170](http://www.springerprofessional.de/link/15098170)