

Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen im Überblick

Inhalt

Einführung	4
Wasserkraft in NRW	5
Rechtliche Rahmenbedingungen	6
Planungs- und Genehmigungsverfahren	7
Technik und Bauweisen	8
Berechnung von Leistung und Arbeit	15
Ökologische Durchgängigkeit und Fischschutz	16
Förderlandschaft Wasserkraft	20
Beratungsangebote der EnergieAgentur.NRW	23
Praxisbeispiele	24
Weitere Informationen	29
Glossar	30

Einführung

Die Wasserkraft hat in Nordrhein-Westfalen eine lange Tradition. Sie trägt zur dezentralen Energiewende unseres Landes bei. Sie ist ein stetig verfügbarer Bestandteil im Energiemix der erneuerbaren Energien. Sie dient der Netzstabilität.

Gleichzeitig sollen vor dem Hintergrund der EU-Wasserrahmenrichtlinie die Gewässer als Lebensraum für Flora und Fauna und als Ressource für zukünftige Generationen erhalten, beziehungsweise weiterentwickelt werden.

Bereits in der Antike haben die Menschen die Kraft des Wassers für vielseitige Zwecke genutzt. Zunächst mechanisch mit einfachen Schöpfrädern, Mühlen, Säge- und Hammerwerken, später, seit Ende des 19. Jahrhunderts, dann auch elektrisch. Die Wasserkraft ist somit eine der ältesten genutzten Energiequellen der Menschheit und zählt gemeinsam mit der Sonnenenergie, der Windkraft, der Bioenergie und der Geothermie zu den erneuerbaren Energien.

So hat die Wasserkraftnutzung in NRW mit ihrer langen Tradition entscheidend zur Industrialisierung zwischen Rhein und Ruhr beigetragen.

Während die Wasserkraft in Deutschland als feste Größe etabliert ist und ein nur noch relativ geringer Ausbau zu verzeichnen ist, wächst das internationale Gewicht der Wasserkraft stetig. Weltweit werden aktuell mehr als 15 Prozent (%) der gewonnenen elektrischen Energie aus Wasserkraft erzeugt. Damit ist die Wasserkraft weltweit der mit Abstand größte Energieproduzent unter den erneuerbaren Energien (Worldbank 2017).

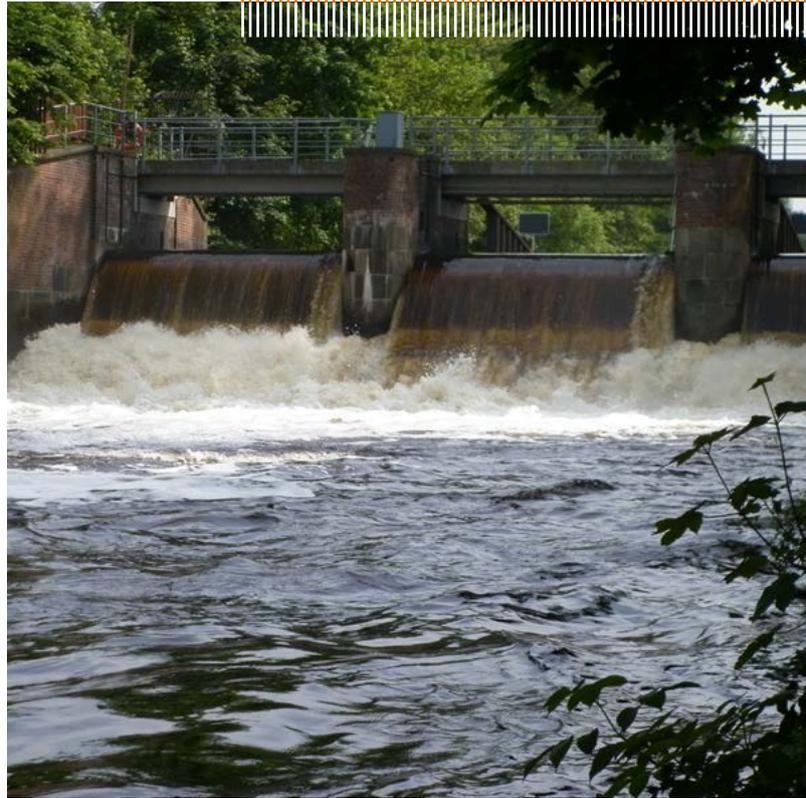
Die gewässerverträgliche Gestaltung der Wasserkraft ist Herausforderung und Chance zugleich. Die Strukturen der Fließgewässer in Deutschland wurden in der Geschichte, insbesondere im 19. und 20. Jahrhundert anthropogen überformt. So ist aus einer Naturlandschaft eine Kulturlandschaft geworden. Querbauwerke unterbrechen die lineare Durchgängigkeit der Flusssysteme für Fische und aquatische Wirbellose. Aus diesem Grund ist es heutzutage besonders wichtig, die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten aufzuzeigen und zu erweitern, um Wasserkraft innovativ zu nutzen und gleichzeitig einen Beitrag zur gewässerökologischen Verbesserung zu leisten.

Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen

Die Wasserkraft zählt global nach wie vor zu den bedeutendsten und am intensivsten genutzten erneuerbaren Energiequellen. Zwar variiert der Wasserkraftanteil an der Stromerzeugung je nach Land, es finden sich jedoch auf allen Kontinenten Länder mit Wasserkraftanteilen von 50 % und mehr (World Energy Council, World Energy Resources 2015).

Europäische Länder wie Norwegen und Island sind aufgrund ihrer topographischen Gegebenheiten besonders begünstigt. Sie können ihren Strombedarf fast vollständig aus Wasserkraft decken. In Luxemburg, Österreich, Italien, der Schweiz und Schweden stammen über 50 % des erzeugten Stroms aus Wasserkraft. Demgegenüber weist Deutschland und letztlich auch Nordrhein-Westfalen weniger günstige naturräumliche Voraussetzungen für die Energiegewinnung mittels Wasserkraft auf. Dennoch hat sie in NRW eine lange Tradition. Die Etablierung und Optimierung des komplexen Talsperrensystems mit multifunktionaler Nutzung ist Vorbild über die Region hinaus.

Nordrhein-Westfalen besitzt ein Gewässernetz von mehr als 50.000 km Länge sowie rund 5.100 meist sehr kleiner Seen. Die Wasserkraft hat entscheidend zur Industrialisierung zwischen Rhein und Ruhr beigetragen. Das Erzeugungspotenzial der Wasserkraft wird in NRW auf durchschnittlich 600 Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a) geschätzt. Es wird bereits zu rd. 87 % genutzt. (Quelle: Energieversorgungsstrategie NRW 2019, LANUV-Potenzialstudie Wasserkraft 2017). Die tatsächlichen Erzeugungswerte liegen derzeit bei 549 GWh/a, dokumentiert durch den Energieatlas NRW. Mit diesen überdurchschnittlichen Werten liegt Nordrhein-Westfalen im bundesdeutschen Vergleich auf dem fünften Platz, bezogen auf die Höhe der installierten Leistung sogar auf Platz vier (Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien, Projekt „Föderal Erneuerbar“). Dennoch gibt es gute Gründe, den Ausbau der bisher noch ungenutzten Wasserkraftpotenziale in Nordrhein-Westfalen zu unterstützen, insbesondere an potenziellen Standorten für besonders große Anlagen oder bei dem Repowering bestehender Anlagen. Die Technik der Wasserkraft ist ausgereift, besitzt relativ hohe Wirkungsgrade und kann je nach Standort eine gute Wirtschaftlichkeit erzielen. Zudem ermöglicht die Wasserkrafttechnik im Gegensatz zu Wind- und Solarenergie einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung und Netzdienlichkeit (Quelle: Energieversorgungsstrategie NRW 2019, LANUV-Potenzialstudie Wasserkraft 2017).



Aktuell sind in NRW knapp 450 Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung von circa 200 Megawatt (MW) in Betrieb. 93 MW bzw. etwa 50 % der gesamten Leistung ist an Talsperren installiert. Die Talsperren dienen oft primär der Trink- oder Brauchwassergewinnung. An 38 der insgesamt 53 Talsperren in NRW nutzt man die Wasserkraft zur Stromerzeugung. Insgesamt werden in NRW jährlich ca. 550 Millionen (Mio.) Kilowattstunden (kWh) Strom aus Wasserkraft erzeugt, was einer Versorgung von 171.500 Haushalten entspricht (der statistische Musterhaushalt verbraucht 3.207 Kilowattstunden pro Jahr (kWh/a)). Aus Talsperren stammen davon 208 Mio. kWh. Außerdem werden in NRW zwei Pumpspeicherwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 300 MW betrieben (Quelle: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 5 – Wasserkraft, LANUV 2017), die aktuellen Werte werden veröffentlicht auf: www.energieatlas.nrw.de.

Durch die Stromerzeugung aus Wasserkraft mit 12 Gramm (g) Kohlendioxid je Kilowattstunde (CO_2/kWh) werden in NRW ca. 250.800 Tonnen (t) Kohlendioxid je Jahr (CO_2/a) eingespart. Als Vergleich dazu: Der deutsche Strommix weist 468 g CO_2/kWh auf. Laut Angaben des Umweltbundesamtes verursacht im Mittel jeder Bundesbürger durch Energieverbrauch und Konsum jährlich einen Treibhausgasausstoß von 12 t CO_2 -Äquivalenten. Die Wasserkraftnutzung in NRW entspricht den CO_2 -Emissionen von 23.000 Bürgerinnen und Bürgern (Quelle: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 5 – Wasserkraft, LANUV 2017).

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Genehmigung von Wasserkraftanlagen ist durch gesetzliche Bestimmungen auf Bundes- und Landesebene geregelt. Die Gesetzgebung im Bereich Wasserhaushalt wurde in den letzten Jahren insbesondere durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie geprägt.

Im Folgenden sind wesentliche Richtlinien und Gesetze aufgeführt, die beim Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen zu berücksichtigen sind:

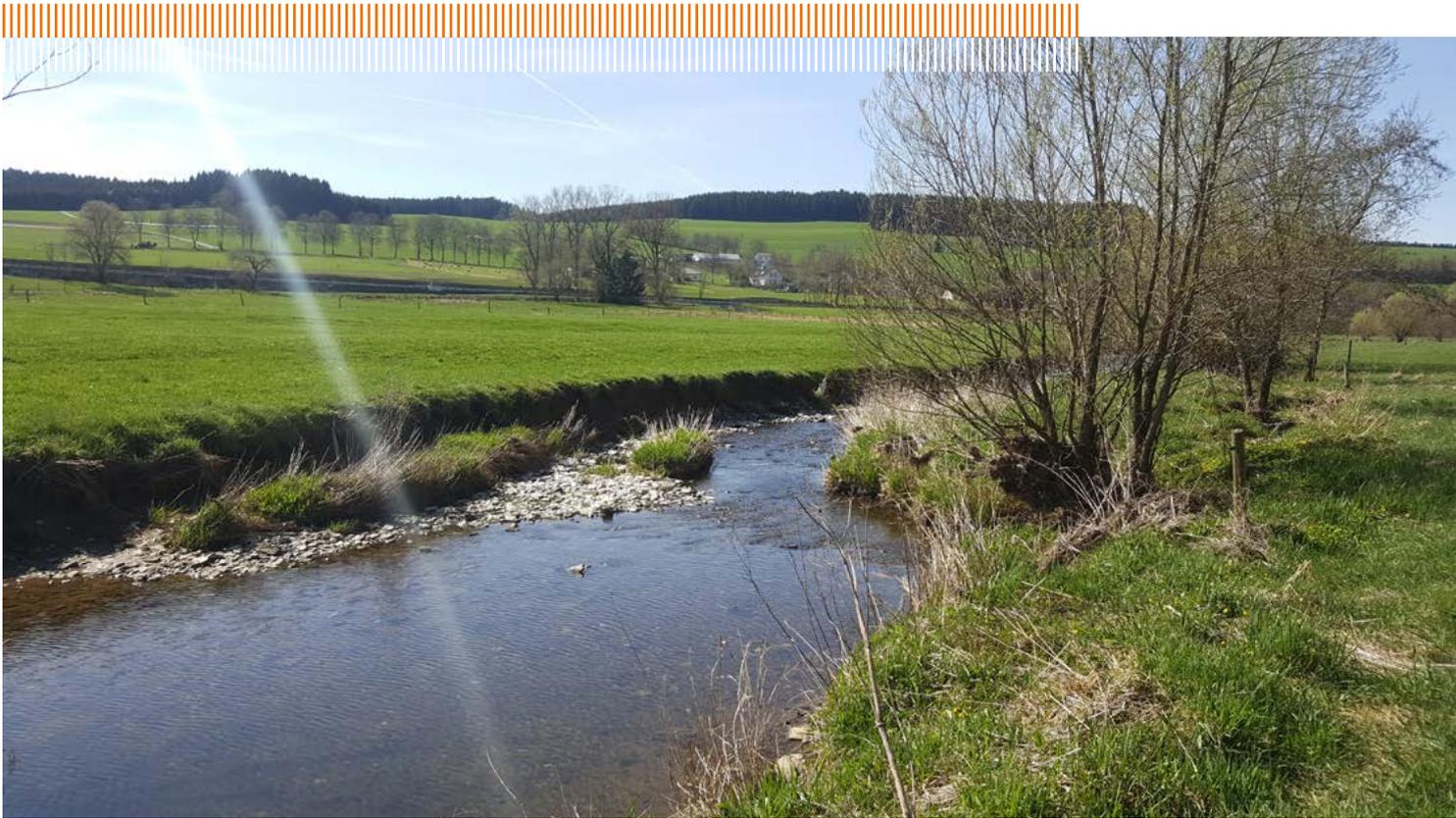
Europäische Richtlinien	EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien (EU-EE-RL)
	EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL)
	EU-Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung (EU-UVP-RL)
	EU-Aalverordnung (EU-Aal VO)
Bundesgesetze	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
	Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)
	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)
	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)
	Umweltschadensgesetz (USchadG)
Landesgesetze und -regelungen	Landeswassergesetz (LWG)
	Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG)
	Denkmalschutzgesetz NRW (DSchG)
	Landesfischereigesetz (LFischG) und Landesfischereiverordnung (LFischVO)
	Biodiversitätsstrategie NRW
	Energieversorgungsstrategie NRW (EVS NRW)

In Ergänzung zu den aufgeführten Gesetzen wird der wasserrechtliche Vollzug in Erlassen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften geregelt. In Bezug auf die Wasserkraft sind insbesondere folgende Erlasse zu beachten:

- Erlass „Durchgängigkeit der Gewässer an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen“ (MUNLV, 2009), der u. a. die rechtlichen Bedingungen beim Ausbau der Wasserkraft konkretisiert
- Erlass zur „Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen und Fischschutzeinrichtungen an Wasserkraftanlagen“ (MKULNV, 2014)
- Erlass „Fischschutz mit Horizontalrechen“ (MKULNV, 2015)

Darin werden u. a. der Mindestabfluss in Ausleitungstrecken und die Dotation von Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlagen geregelt.





Planungs- und Genehmigungsverfahren

Der Gesetzgeber schreibt für den Betrieb einer Wasserkraftanlage zwingend eine Genehmigung vor. Die in dieser Broschüre genannten Punkte sind als Leitfaden und Denkanstöße zu verstehen. Das eigentliche Wasserrechtsverfahren ist gesetzlich geregelt und dementsprechend verpflichtend.

Grundsätzlich ist es ratsam, sich im Planungs- und Genehmigungsprozess von Wasserkraftanlagen fachkundig beraten zu lassen.

Die zuständigen Behörden sind in die „untere Wasserbehörde“ (UWB), die „obere Wasserbehörde“ (OWB) und die „oberste Wasserbehörde“ (obersteWB) unterteilt. Die „oberste WB“ ist das für die Wasserwirtschaft zuständige Ministerium.

Zu Beginn des durchaus komplexen Prozesses gibt es in der Regel einen sogenannten Scoping-Termin, der eine Art Antragsvorbesprechung darstellt. Während dieses Termins, der unter Leitung der für das Wasserrechtsverfahren zuständigen Behörde stattfindet, wird besprochen, welche Tatbestände berührt sind und welche Verfahrenserfordernisse es gibt. Dies können Belange wie zum Beispiel Baurecht, Bauleitplanung, Umwelt- und Naturschutz, Nachbarschaftsrecht und Lärmschutz sein, die entsprechend in den Verfahrensablauf integriert werden.

Zentrales Verfahren ist das Wasserrechtsverfahren. In dessen Antragsunterlagen werden die wesentlichen Auswirkungen auf das Gewässer, die Ufer und die Anlieger dargestellt.

Da umweltrechtliche Fragen für die beabsichtigte Wasserkraftnutzung große Einschränkungen bedeuten können, ist im Einzelfall eine Umweltverträglichkeitsvorprüfung sinnvoll. Für größere Projekte kann auch eine landesplanerische Vorprüfung in einem Raumordnungsverfahren erforderlich werden.

Grundsätzlich sollte parallel zur technischen Planung die naturschutzfachliche Planung stattfinden. Auch wenn Prüfungsumfang und Inhalt von Standort zu Standort verschieden und immer mit den Fachbehörden abzuklären sind, sollten Betreiber darauf vorbereitet sein, dass der zeitliche und auch der finanzielle Aufwand der naturschutzfachlichen Planung ebenso bedeutsam wie der technische Planungsaufwand sein kann.



Technik und Bauweisen

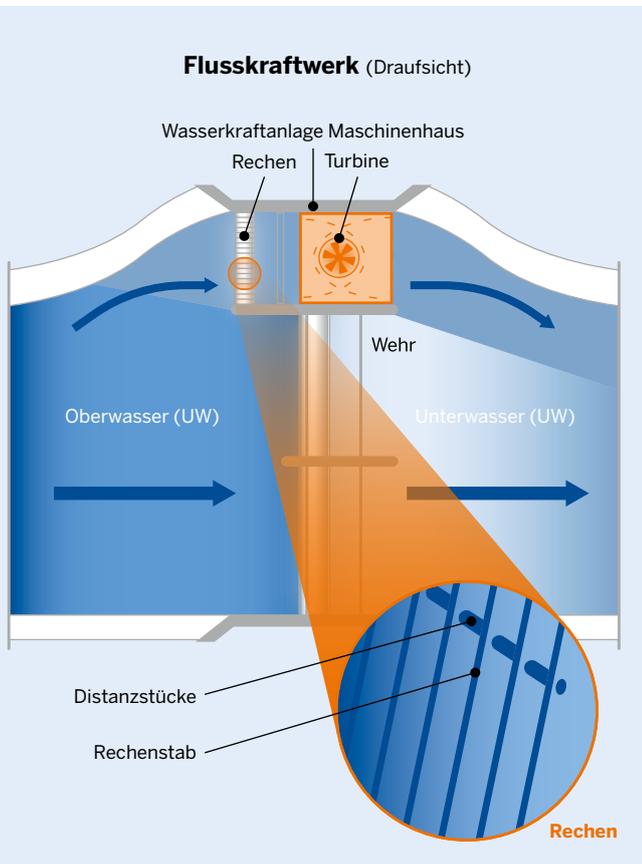
Die Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftprojekten hängt, wie bei allen Kraftwerken, von den jeweiligen Erlösen sowie den Investitions- und Betriebskosten ab.

Wasserkraftprojekte werden für eine lange Lebensdauer ausgelegt und weisen aufgrund ihres natürlichen Umfelds und ihrer Standortspezifika eine hohe technische Komplexität mit jeweils spezialisierten Anlagenteilen auf. Einflussfaktoren sind z. B. die nutzbaren Wassermengen, die geologische Situation, die Siedlungs- und Verkehrsverhältnisse, sich unterscheidende regionale Umweltschutzauflagen und weitere Aspekte. Diese in ihrer Gesamtheit betrachtet, spielen bei der richtigen Wahl der Bauweise einer Wasserkraftanlage eine Rolle. Auch die Kosten für den Bau einer Anlage schwanken erheblich, da sie sich nach der Größe der Anlage, den Gewässereigenschaften und der durchzuführenden Maßnahmen richten. Eine gängige Aussage innerhalb der Wasserkraftbranche ist jedoch, dass „es keine zwei identischen Wasserkraftstandorte“ gebe.

Es gibt keine allgemeingültige Klassifizierung von Wasserkraftanlagen. Je nach Betrachtungsweise lassen sie sich beispielsweise nach ihrer energiewirtschaftlichen Bedeutung (Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerk), der Topographie (Flusskraftwerk, Laufwasser- und -Speicherkraftwerk) oder der installierten Leistung unterscheiden. Eine weitere Möglichkeit der Differenzierung kann an Hand der Nutzfallhöhe ($h < 15$ Meter (m) Niederdruck-, $15\text{m} < h < 50\text{m}$ Mitteldruck-, $h > 50\text{m}$ Hochdruckanlage) getroffen werden.

Grundsätzlich lassen sich jedoch Laufwasser- und Speicherkraftwerke unterscheiden. Dabei sind Laufwasserkraftwerke entweder als Fluss- oder Ausleitungskraftwerke konzipiert.

Laufwasserkraftwerke



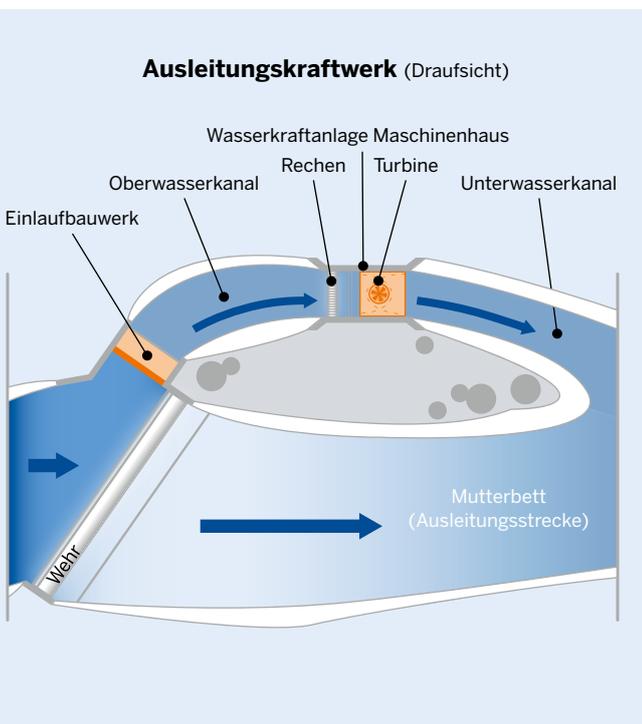
Flusskraftwerk

Flusskraftwerke werden direkt im Fluss errichtet, sie kommen ohne eine Ausleitung des Wassers in einen Seitenkanal aus.

Das Krafthaus ist neben dem Wehr angeordnet.

Das zum Antrieb der Wasserkraftanlage genutzte Wasser wird direkt nach der Passage der Turbine in das Unterwasser abgegeben.

Fluss- und Ausleitungskraftwerke finden sich in NRW an allen größeren Flüssen.



Ausleitungskraftwerk

Das Mutterbett des Flusses wird durch ein Wehr aufgestaut. Aus dem Staubereich wird durch einen Seitenkanal (Triebwerkskanal, Mühlengraben) die für den Betrieb des Wasserkraftwerks benötigte Wassermenge abgeführt. Ausgenutzt wird der Höhenunterschied zwischen dem Oberwasserkanal (Obergraben) und dem Unterwasserkanal (Untergraben)

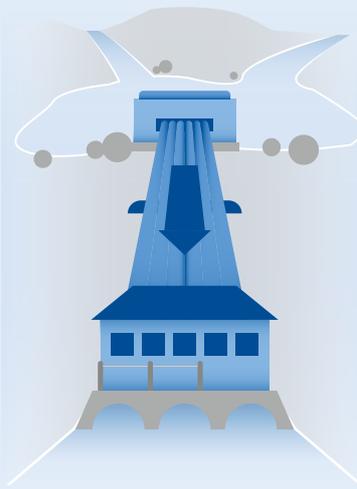
Das Wehr wird im Minimum von dem vorgeschriebenen Mindestabfluss überströmt.

Ausleitungs- und Flusskraftwerke finden sich in NRW an allen größeren Flüssen.

Laufwasserkraftwerk



Speicherkraftwerk



Pumpspeicherwerk



Speicherkraftwerke

Diese stauen ein oder mehrere natürliche Gewässer durch eine Stauanlage künstlich auf, halten das Wasser dort zurück und erzielen so eine größere Nutzfallhöhe.

Das Wasser dient dabei der Speicherung elektrischer Energie in Form von potenzieller Lageenergie des gestauten Oberflächenwassers. Je nach Bedarf kann es dann zur Stromerzeugung reguliert über Turbinen abgelassen werden und erzeugt so elektrische Energie.

Neben der energetischen Stromerzeugung übernehmen die Anlagen zumeist weitere Funktionen in der Kulturlandschaft, wie etwa den Hochwasserschutz, die Trinkwassergewinnung sowie Naherholungs- und Freizeitnutzungszwecke (z. B. Möhnesee, Hennetalsperre, Biggeseesee, Bevertalsperre).

Pumpspeicherwerke

Sie bilden eine Sonderform innerhalb der Speicherkraftwerke. Ein vorwiegend künstliches Oberbecken sowie ein angelegter Stausee auf einem deutlich geringeren Niveau sind durch Druckrohre und ein Krafthaus miteinander verbunden. Die Lageenergie des Wassers aus dem Oberbecken wird durch große Fallhöhen mittels Turbinen, die einen Generator antreiben, in elektrische Energie umgewandelt.

In Zeiten eines geringen Strombedarfs im Verbundnetz, wird das Wasser dann wieder in das Oberbecken gepumpt. Vorzugsweise werden Standorte in Hinblick auf die Größe der Speicherreservoirs, den zu erzielenden Höhenunterschied, sowie nach der kürzest möglichen Länge des Triebwasserweges und der Nähe zu Versorgungszentren gewählt. Allgemein kann man für Pumpspeicherwerke von hohen Gesamtwirkungsgraden ausgehen.

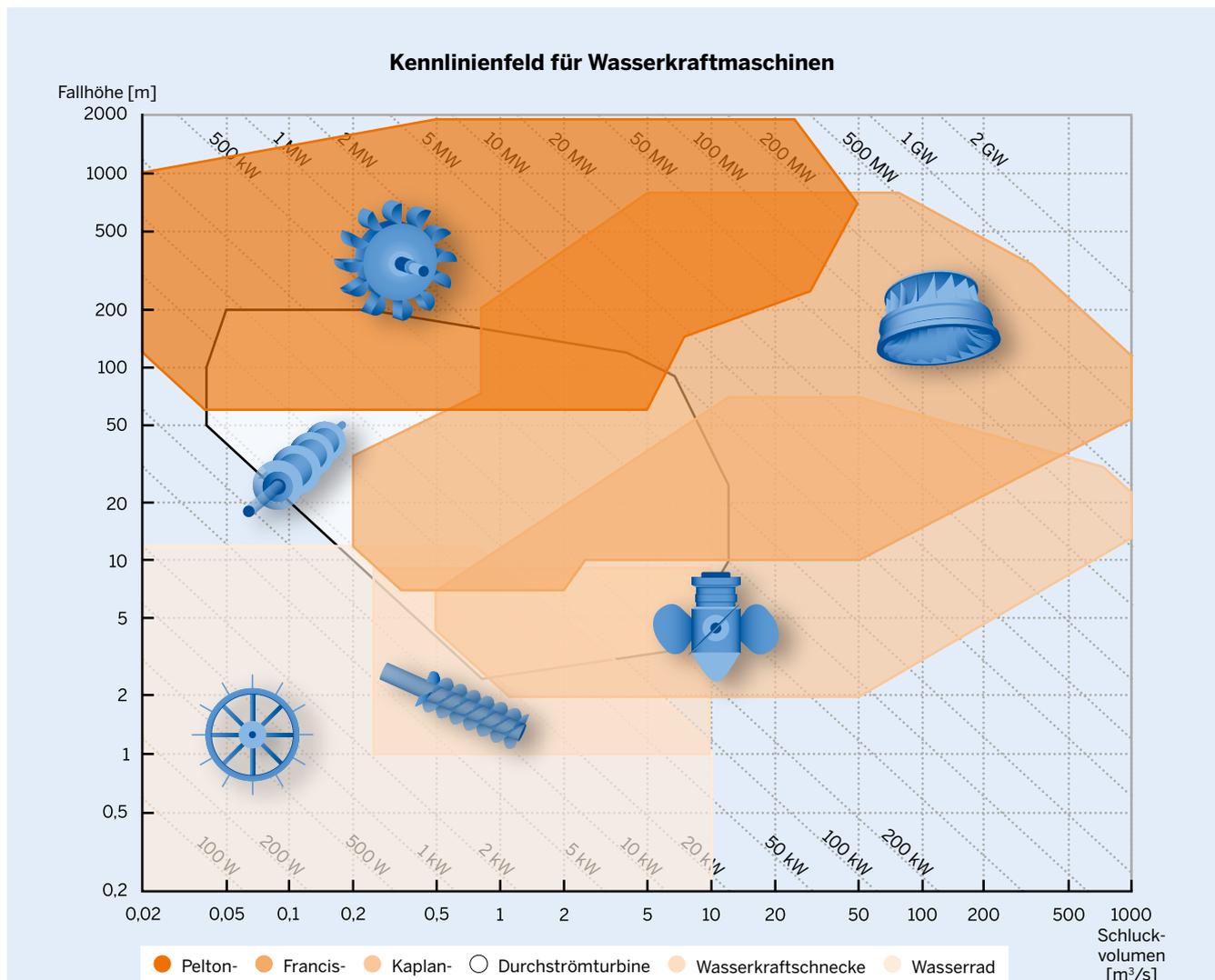
Im Gegensatz zu anderen Speicherformen hat die Speicherdauer keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad des Gesamtsystems.

Turbinentypen

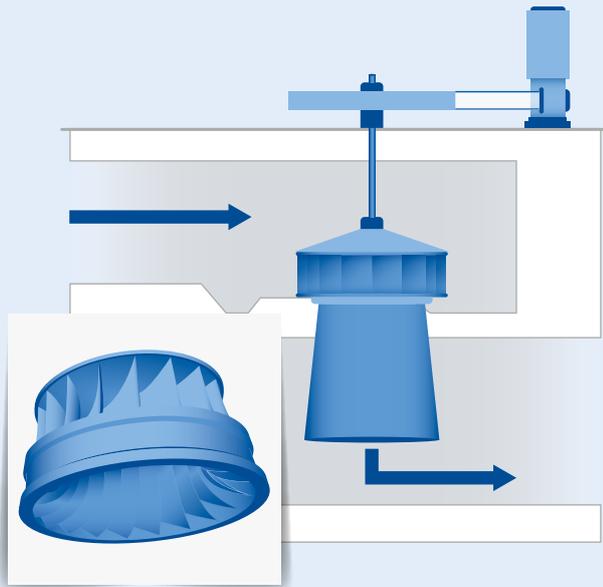
Die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Umwandlung der potenziellen in elektrische Energie mittels Wasserkraft sind nach dem heutigen Stand der Technik breit gefächert und variieren vor allem entsprechend der jeweiligen Fallhöhe und des möglichen Schluckvolumens am jeweiligen Standort. Meist erfolgt die Transformation im sogenannten Krafthaus durch hydraulische Strömungsmaschinen in Kopplung mit einem Generator. Die Auswahl der hydraulischen Strömungsmaschine ist ebenfalls sehr individuell zu treffen.

Bei Anlagen mit großen Nutzfallhöhen und einem geringen Durchfluss fällt die Auswahl der Turbine anders aus, als etwa bei einer geringen Fallhöhe und einem großen Durchfluss. Eine Untergliederung kann nach Funktionsprinzipien erfolgen, bei denen man Wasserräder, Wasserkraftschnecken und Turbinen unterscheidet.

Im Niederdruckbereich werden außer der Pelton-Turbine alle Turbinenkonstruktionen in sehr unterschiedlichen Einbauvarianten verwendet. Im Mitteldruckbereich finden hauptsächlich Francis- und Durchströmturbinen Verwendung. Kaplan-turbinen sind im Mitteldruckbereich auch vertreten, aber nicht die Regel. Kaplan- und Durchströmturbinen bieten im Teillastbereich Vorteile gegenüber den Francis-Turbinen. Die Hochdruckkraftwerke schließlich sind eine Domäne der Francis- und Pelton-Turbinen, wobei letztere umso eher eingesetzt werden, je größer die Fallhöhe ist. Pelton-Turbinen können mit einer oder auch mehreren Düsen ausgerüstet werden. Durch mehrere Düsen kann sich die Pelton-Turbine hervorragend an das jahreszeitlich variierende Wasserdargebot anpassen.



Francis-Schachtturbine



Francis-Turbine

Die Francis-Spiralturbine verteilt das Wasser durch ein schneckenförmiges Rohr gleichmäßig über den Umfang auf den Leitapparat und das Laufwerk. Daraufhin wird das Wasser durch den stationären Leitapparat, welcher verstellbare Leitschaufeln hat, auf die gegenläufig gekrümmten Schaufeln des Laufrades gelenkt. Bei der nach dem gleichen Prinzip funktionierenden Francis-Schachtturbine ist kein gesondertes Spiralgehäuse vorhanden und das Wasser läuft allseitig, ungelenkt, direkt in den Leitapparat. Die Leitschaufeln regulieren den Wasserzufluss zum Laufwerk und verursachen eine Strömungsrichtung die eine optimale Energieumsetzung im Laufwerk ermöglicht.

Der Leitapparat mit den Leitschaufeln dient auch zur Regulierung der Turbinenleistung und damit der Regelung der Wasserstände im Oberwasser der Anlage. Durch das sogenannte Saugrohr, das sich an den Austritt des Laufrades anschließt, wird das Wasser nach der Durchströmung des Laufrades abgeleitet. Neben der Ableitung des Wassers erfolgt noch eine Umsetzung von Strömungsgeschwindigkeit in Unterdruck, was wesentlich für den Wirkungsgrad der Turbine ist. Die Ausführung des Saugrohrs sollte sorgfältig betrachtet werden.

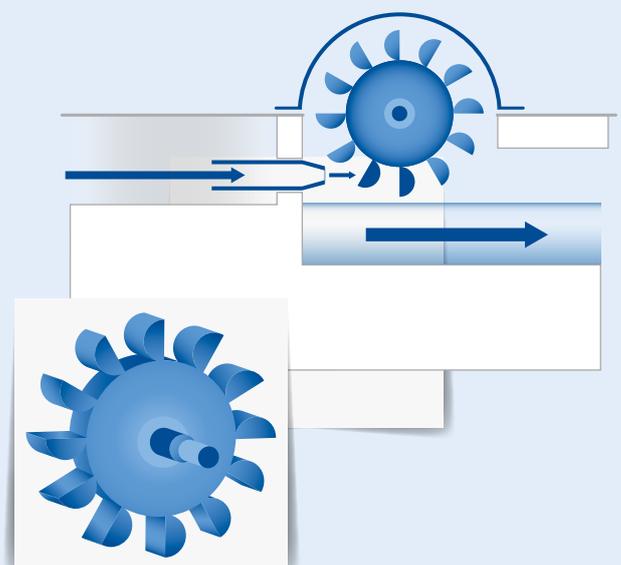
Francis-Turbinen sind die am häufigsten eingesetzten Turbinentypen in Wasserkraftwerken. Sie werden in allen Fallhöhenbereichen eingesetzt, je nach Größe der Turbine können kleine bis sehr große Volumenströme verarbeitet werden. In der Vergangenheit wurden verschiedene Variationen gebaut, unter anderem z. B. Zwillingturbinen mit waagerechter Welle, wenn große Wassermengen zu verarbeiten waren.

Pelton-Turbine

Bei der Pelton- oder Freistrahlturbine wird die Bewegungsenergie und der Impuls des Wassers auf das Laufwerk genutzt, wobei das Wasser auf die becherförmigen Halbschalen des Laufrades gelenkt wird. Nach dem Düsenaustritt herrschen atmosphärische Bedingungen, daher wird dieser Turbinentyp auch als Gleichdruckturbine bezeichnet.

Im Gegensatz zu Francis- oder Kaplan-turbinen wird kein Druck umgesetzt. Pelton-Turbinen werden bei großen und sehr großen Fallhöhen eingesetzt, z. B. bei Speicherkraftwerken im Hochgebirge. Sind die zu verarbeitenden Wassermengen variabel, so werden oft mehrere Düsen im Turbinengehäuse eingebaut, die alle auf dasselbe Laufwerk wirken. Hierdurch wird ein sehr gutes Teillastverhalten erreicht. Der Wirkungsgrad von Pelton-Turbinen ist sehr hoch. Pelton-Turbinen treiben den Generator in der Regel ohne Riementriebe oder Getriebe direkt an.

Pelton-Turbine

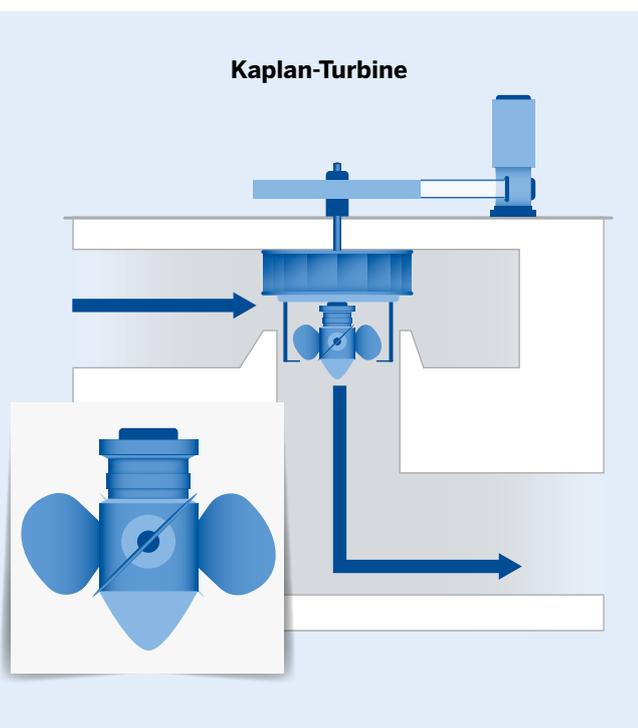


Kaplan-Turbine

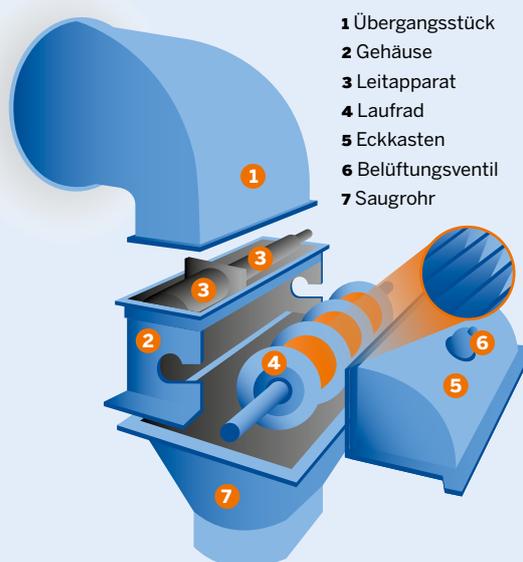
Das Konstruktionsprinzip des Laufrades gleicht einem Schiffspropeller. Das Kaplanlaufrad mit drei bis sechs Schaufeln kann verstellt werden, um im Zusammenspiel mit dem Leitapparat auf Schwankungen der Wasserführung und des Gefälles zu reagieren. Durch das feinabgestimmte Verhalten von Leitapparat und Laufrad ergeben sich sehr gute Wirkungsgrade auch schon im Teillastbereich.

Der Leitapparat gleicht dem der Francis-Turbine, das Laufrad ist aber versetzt dazu positioniert und wird in axialer Richtung durchströmt. Kaplan-Turbinen sind bei vergleichbaren hydraulischen Bedingungen „schnellläufiger“ als Francis-Turbinen und haben daher ein vergleichsweise kleineres Bauvolumen.

Eine Eigenheit der Bauform ist ein in der Regel aufwändigeres Saugrohr. Leistungsstarke Kaplan-Turbinen werden mit vertikaler Welle ausgeführt. Es gibt Schacht-, Spiral- und Rohrturbinen – jeweils mit etlichen Variationen, wie zum Beispiel Maschinen mit feststehenden Leitschaufeln oder feststehenden Laufschaufeln (Propeller). Während Schachtturbinen meistens vertikal ins Gewässer eingebracht werden, sind Rohrturbinen in der Regel horizontal, in Strömungsrichtung des Wassers, installiert. Auf diese Weise lassen sich Umlenkverluste minimieren. Die Turbinenwelle treibt entweder ein Getriebe oder einen Riementrieb oder direkt einen Generator an. Kaplan-Turbinen werden bei niedrigen und mittleren Fallhöhen und mittleren bis sehr großen Durchflussmengen eingesetzt.



Durchströmturbine



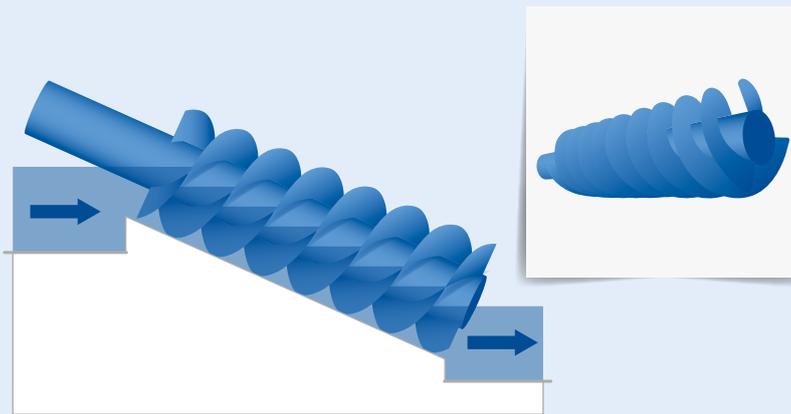
Durchströmturbine

Die Durchströmturbine oder, je nach Entwickler auch Banki-, Ossberger oder Michell-Turbine genannt, zeichnet sich durch einen einfachen und robusten Aufbau aus, und stellt eine Kleinwasserkraftturbine mit gutem Teillastverhalten bei guten Wirkungsgraden dar.

Bei diesem Turbinentyp wird das Wasser durch einen Leitapparat auf das Laufrad mit gekrümmten Schaufeln quer zugeführt. Das Laufrad wird einmal von außen nach innen, und dann von innen nach außen durchströmt, was den Namen begründet.

Durchströmturbinen sind zwar nicht so verschleißarm wie die anderen Turbinentypen, haben sich aber im Bereich der Kleinwasserkraftanlagen wegen ihres vorteilhaften Preis-Leistungsverhältnisses und ihrer guten Steuerbarkeit einen festen Platz erarbeitet. Sie weisen auch bei schwankenden Wassermengen einen guten Wirkungsgradverlauf auf.

Wasserkraftschnecke



Wasserkraftschnecke

Eine Wasserkraftschnecke folgt dem Prinzip der archimedischen Schnecke (jedoch in Umkehrung). Sie findet Verwendung bei geringen Fallhöhen und wird auch häufig zur Verstromung von Restwassermengen eingesetzt.

Ein Vorteil dieser Technik sind die verhältnismäßig geringen Kosten, aufgrund der Möglichkeit der weitgehenden Vormontage im Werk. Die Schnecke wird durch den Druck des Wassers auf das Gewinde in Bewegung gesetzt und dreht sich in der Regel sehr langsam. Das nachgeschaltete Getriebe erhöht dann die Drehzahl für den Generator.

Wasserkraftschnecken gelten als robuste Technologie, dabei sind sie sehr fischschonend, treibgutverträglich und somit recht wartungsfreundlich.

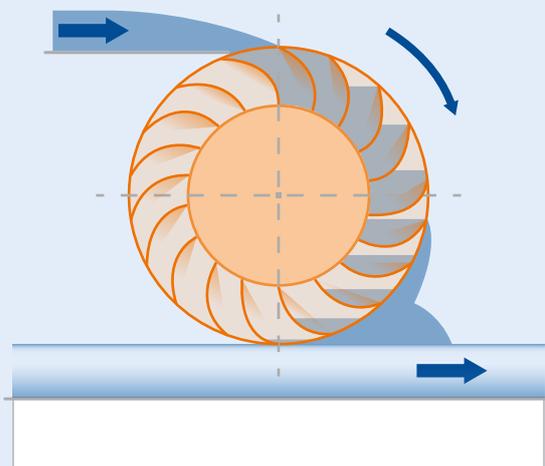
Wasserräder

Wasserräder stellen die Urform der hydraulischen Strömungsmaschine und letztlich auch der Turbine dar. Sie unterscheiden sich nach der Art des Wasserzulaufes und dem Eintrittspunkt des Wassers in das Rad. Es gibt ober-, unter- und mittelschlächige Wasserräder. Weiter unterscheiden sich zwei Bauarten von Wasserrädern. Schaufelräder, bei denen Bretter oder Bleche als Schaufeln dienen, und Zellenräder mit geschlossenen Behältern, die das Wasser für ca. eine halbe Umdrehung halten.

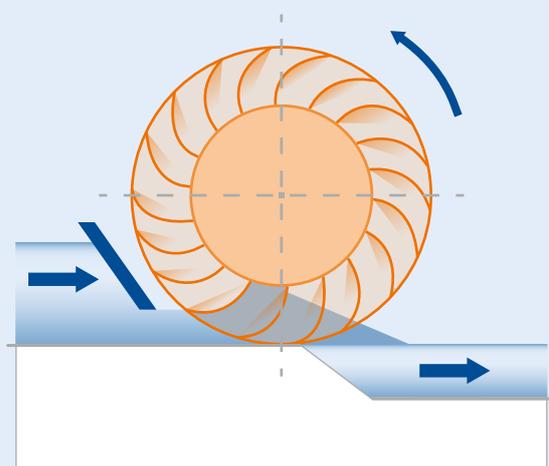
Die Technik ist wartungsarm. Nach wie vor werden sie bei kleineren Durchflüssen und niedrigem Gefälle eingesetzt.

Zur Stromproduktion werden Wasserräder heute hauptsächlich an historischen Standorten eingesetzt, z. B. um den speziellen Charakter einer alten Mühle zu erhalten.

Wasserrad (oberschlächig)



Wasserrad (unterschlächig)



Berechnung von Leistung und Arbeit

Zur Nutzung von Wasserkraft spielen die Schwerkraft und die daraus resultierende Geschwindigkeit und / oder der Druck des Wassers eine Rolle. Rein physikalisch wird die potenzielle Lageenergie sowie kinetische Bewegungsenergie mittels einer Wasserkraftmaschine in mechanische Arbeit (elektrische Leistung) umgewandelt. Der sogenannte Gesamtwirkungsgrad beinhaltet sämtliche Verluste der Turbinen, des Getriebes, des Generators etc. Für Wasserkraftanlagen liegt der Gesamtwirkungsgrad bei rund 80 % und ist somit im Vergleich zu den meisten Kraftwerkstypen sehr hoch.

Die naturräumlichen Voraussetzungen eines Standortes sind ein Hauptkriterium der Wasserkraftnutzung. So ist eine sinnvolle Stromgewinnung stets abhängig vom Wasserangebot, der nutzbaren Fallhöhe und der ökologischen Vertretbarkeit. Zusammenfassend gilt: Dort, wo idea-

erweise viel und konstant Wasser auf möglichst kurzer Distanz eine möglichst große Höhendifferenz überwindet und das für einen möglichst großen Zeitraum im Jahresverlauf, ist die Wasserkraft besonders sinnvoll zu nutzen.

Grundsätzlich lässt sich die nutzbare Leistung P (in kW) einer Wasserkraftanlage wie folgt berechnen: Dabei ist P abhängig von dem Wasserdurchfluss Q (in Kubikmeter je Sekunde (m^3/s)) und der Fallhöhe (Wasserbau) H (in m) sowie dem Wirkungsgrad der Gesamtanlage.

Näherungsweise Berechnung bei einem geschätzten Gesamtwirkungsgrad von ca. 80 % $\approx 8,0$:

$$P = Q \times H \times 8,0$$

Beispiel

Durch die Turbine eines Laufwasserkraftwerks strömen 30 Kubikmeter pro Sekunde (m^3/s), bei einer Fallhöhe von 5 Metern (m).

Damit ergibt sich eine Leistung von $P = 30 \text{ m}^3/\text{s} \times 5 \text{ m} \times 8,0 = 1.200 \text{ kW}$.

Die exakte Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$P = Q \times H \times g \times \text{Turbine} \times \text{Getriebe} \times \text{Generator}$

P	ergibt sich in kW
Q	wird in m^3/s eingesetzt
H	wird in m eingesetzt
g	ist die Erdbeschleunigung 9,81 Meter je Sekunde zum Quadrat (m/s^2)
η Turbine	Wirkungsgrad der Turbine als Faktor, z. B. 0,9 für 90 % für aktuelle Turbinen
η Getriebe	Wirkungsgrad des Getriebes als Faktor, z. B. 0,98 für 98 % für aktuelle einstufige Getriebe, je Stufe kann z. B. mit ca. 2 % gerechnet werden
η Generator	Wirkungsgrad des Generators als Faktor, z. B. 0,94 für 94 % für aktuelle Generatoren

weitere mögliche Wirkungsgarde (exemplarisch):

η Riementrieb Wirkungsgrad eines Riementriebs als Faktor, z. B. 0,98 für 98 % bei einstufigen Trieben

η FU Wirkungsgrad eines Frequenzumrichters als Faktor, z. B. 0,95 für 95 %, zu bedenken ist, dass ein gewisser systematischer Verlust von z. B. 3 % unabhängig von der Last vorliegt.

Am obigen Beispiel ergibt sich eine Leistung von:

$P = 30 \text{ m}^3/\text{s} \times 5 \text{ m} \times 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 \times 0,9 \times 0,98 \times 0,94 = 1.219 \text{ kW}$.
Bei dem Beispiel liegt ein einstufiges Getriebe zu Grunde.

Zur Abschätzung der jährlich zu erwartenden Stromerzeugung, der sogenannten Jahresarbeit, rechnet man mit durchschnittlichen Volllaststunden. Dabei wird die maximal durch die Turbinenanlage erreichbare elektrische Leistung mit z. B. dem statistischen Mittelwert von 4.400 Stunden je Jahr (h/a) multipliziert.

Je nach Standort variieren die Volllaststunden meist zwischen 4.000 und 6.000 h/a.

In der Fortsetzung des obigen Beispiels ergäben sich:
 $1.200 \text{ kW} \times 4.400 \text{ h/a} = \mathbf{5.280.000 \text{ kWh/a}}$



Ökologische Durchgängigkeit und Fischschutz

Der Einsatz bewährter Einrichtungen oder die Erarbeitung neuer und innovativer technischer Möglichkeiten für den Fischschutz und den Fischeauf- sowie den Fischabstieg ist eine Voraussetzung für den Erhalt und den Ausbau der Wasserkraftnutzung bundesweit und in Nordrhein-Westfalen.

Dabei muss die Schädigung abwandernder Fische an der Wasserkraftanlage vermindert und gleichzeitig die lineare Durchgängigkeit in beide Richtungen hergestellt werden.

Bei Ausleitungskraftwerken ist zu dem auf die ausreichende Versorgung mit Mindestwasser im Mutterbett zu achten. Die Informationen und die Regeln dazu werden von dem „Handbuch Querbauwerke“, in „DWA-Themen - Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen“ sowie dem Regelwerk „Merkblatt DWA-M 509 – Fischeaufstiegsanlagen“ bereitgestellt.



Fischschutz und Fischabstieg

Fische orientieren sich bei ihrer Abwanderung an der Hauptströmung. In der Konsequenz bewegen sie sich in Richtung der Turbinen. Die Aufgabe des Fischschutzes ist es die Tiere vor kraftwerksbedingten Schädigungen zu schützen. Um das Eindringen von Fischen in gefährliche Anlagenteile zu verhindern, werden Fischschutzrechen eingesetzt.

Die Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen soll 0,5 Meter je Sekunde (m/s) nicht überschreiten, da die Fische sonst nicht mehr gegen die Strömung anschwimmen können und gegen den Rechen gepresst werden könnten. Während der Fischschutz die Abwanderung durch die Turbine verhindern soll, sollen durch Fischabstiegshilfen alternative Wanderkorridore bereitgestellt werden.

Die Auffindbarkeit der Fischabstiegshilfen und die Gestaltung der Bypassöffnung entscheiden, ob die Fischabstiegshilfe von oberflächennah oder sohnah abwandernden Arten genutzt werden kann.

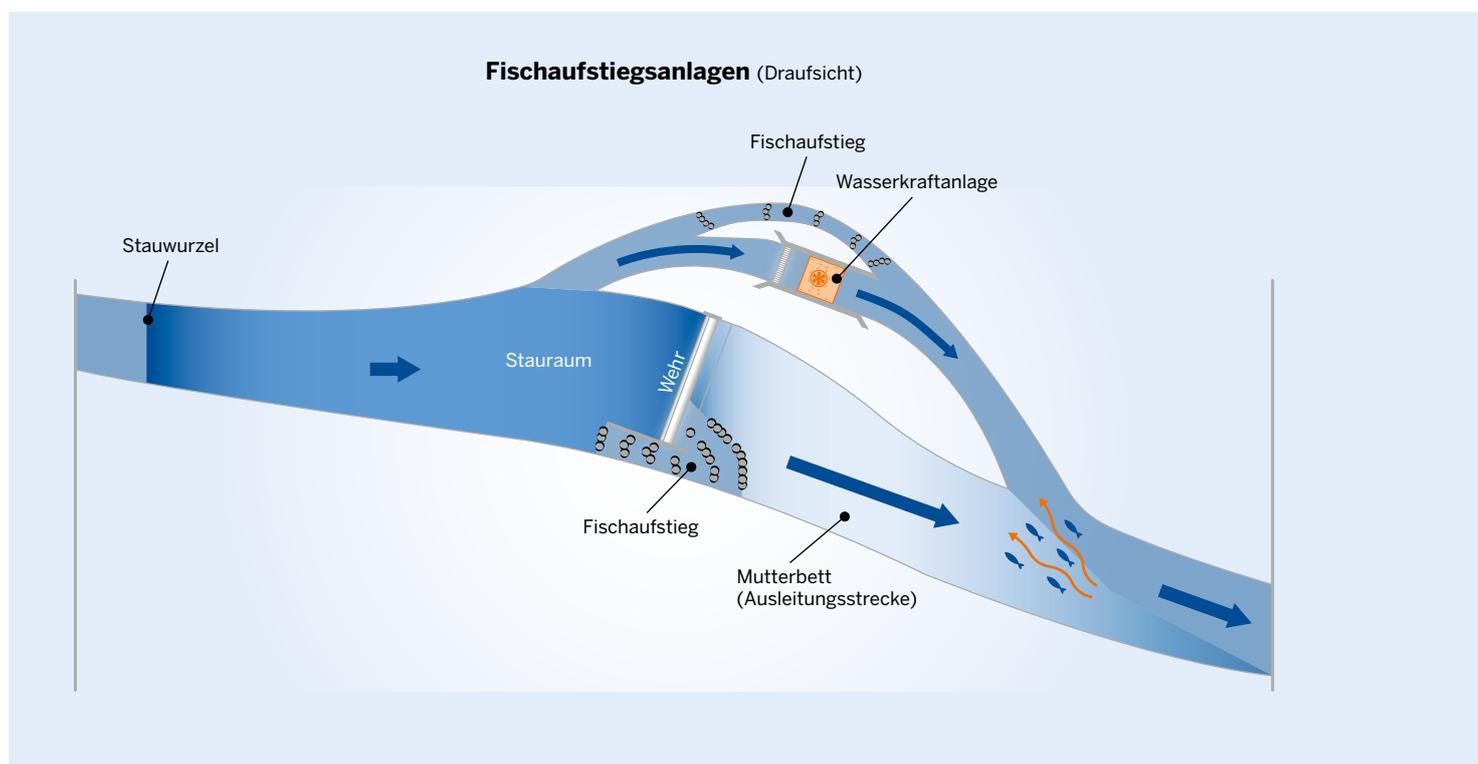
Naturnahe Fischaufstiegsanlagen

Umgehungsgerinne

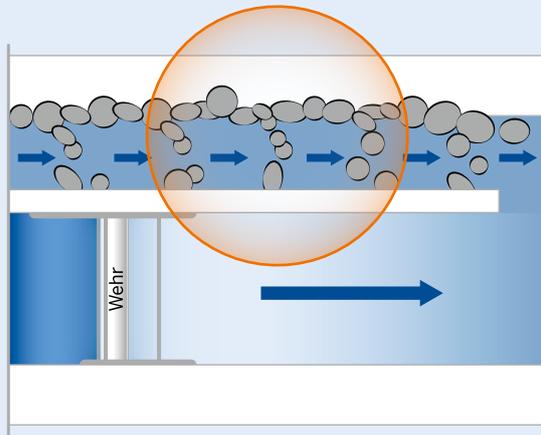
Durch ein Umgehungsgerinne können Querbauwerke großräumig umgangen werden. Die Konsequenz ist jedoch, dass weniger Wasser am Wehr zur Verfügung steht und in der Regel ein erhöhter Platzbedarf besteht. Das Gefälle des Umgehungsgerinnes darf das Verhältnis 1:100 nicht überschreiten, damit die Fließgeschwindigkeit nicht überschritten und die Fließtiefen nicht unterschritten werden. Bei der Errichtung wird versucht eine möglichst naturnahe Situation zu schaffen, um der Aquafauna einen entsprechenden Lebensraum zu bieten.

Raue Rampe

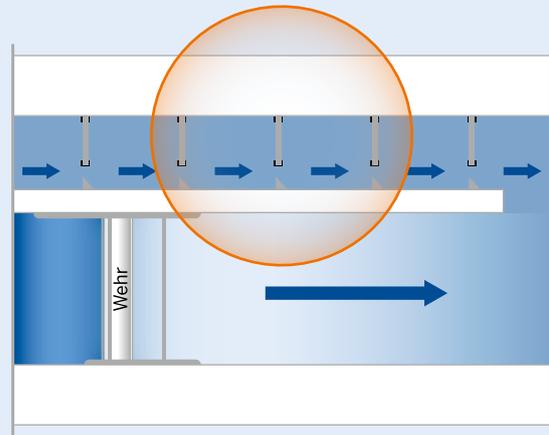
Eine Raue Rampe dient als Fischaufstieg für Standorte an denen ein geringes Gefälle vorhanden ist. Die Fließgeschwindigkeiten werden durch die Länge der Rampe und durch ihre Rauigkeit beeinflusst. Ein Vorteil von Fisch-Rampen ist ihr geringer Wartungsaufwand und die geringe Anfälligkeit zur Ansammlung von Geschiebe und Geschwemmset. Idealerweise werden sie über die gesamte Gewässerbreite errichtet. Außerdem kann die Fließgeschwindigkeit durch das Einbringen von Störsteinen als Abflusshindernisse verringert und die Wassertiefe erhöht werden.



**Raugerinne-Beckenpass –
als naturnaher Wanderweg** (Draufsicht)



**Vertical-Slot-Pass –
als technische Fischaufstiegsanlage** (Draufsicht)



Technische Fischaufstiegsanlagen

Beckenpass

Der Beckenpass besteht aus einzelnen Becken, die aus Beton, Holz oder Metall gefertigt werden. Die Öffnungen zwischen den einzelnen Becken sind versetzt angeordnet, so dass Ruhebereiche entstehen in denen die Strömungsgeschwindigkeit und die Turbulenzen gering sind. Der Beckenpass ist anfällig für Geschwemmsel und daher wartungsaufwändig.

Raugerinne-Beckenpass

Bei einem Raugerinne-Beckenpass werden einzelne Becken durch das Einbringen von Wasserbausteinen geschaffen, die durch Beton oder geschüttete Steine befestigt werden. Zwischen den Steinen werden Lücken gelassen, durch die das Wasser hindurchströmt. Dadurch verringert sich die Fließgeschwindigkeit und die Wassertiefe wird erhöht.

Vertical-Slot-Pass

Eine Variante des Beckenpasses ist der Vertical-Slot- oder Schlitzpass. Die Trennwände weisen hierbei ein bis zwei vertikale Schlitze auf, welche eine mäandrierende Strömung verursachen. Hierdurch wird den Fischen eine gute Orientierung ermöglicht. Durch eine raue Gestaltung der Beckensole wird die Herabsenkung der Fließgeschwindigkeit und die Durchwanderbarkeit für bodenorientierte Lebewesen erreicht. Es gibt Schlitzpässe in gestreckter Linienführung oder in versetzter Bauweise. Auch hierbei besteht eine Anfälligkeit für Geschwemmsel. Fischpässe bedürfen einer regelmäßigen Überprüfung, z. B. um Geschwemmsel und Verklausungen nach einem Hochwasser zu beheben und die Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlage zu gewährleisten.

Fischaufstiegsanlagen sind detailliert im Merkblatt DWA-M 509 erläutert.

Förderlandschaft Wasserkraft

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurde zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien konzipiert und trat erstmals im Jahr 2000 in Kraft. Seit 2000 wurde es regelmäßig und mehrfach novelliert und angepasst (EEG 2004, EEG 2009, EEG 2012, PV-Novelle, EEG 2014, EEG 2017, EEG 2021).

In § 40 Wasserkraft wird ein besonderes Augenmerk auf die Sicherung vorhandener Wasserkraftanlagen, die Reaktivierung ungenutzter Altstandorte sowie auf das Repowering laufender Wasserkraftanlagen gelegt. Feste Fördersätze werden in Abhängigkeit von der Anlagengröße (bis 500 kW und über 500 kW) vom Netzbetreiber gezahlt.

Es besteht ein Anspruch des Anlagenbetreibers auf Anschluss, Abnahme und Vergütung.

Unabhängig von der Inanspruchnahme einer Förderung nach EEG sind die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) einzuhalten.

Kontakt

Bundesnetzagentur
Tulpenfeld 4
53113 Bonn

Tel. 0228/140
eeg@bnetza.de
www.bundesnetzagentur.de

Kreditanstalt für Wiederaufbau „KfW270“ Programm Erneuerbare Energien

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist eine nationale Förderbank, die über alle Betätigungsfelder hinweg Umwelt- und Klimaschutzprojekte fördert.

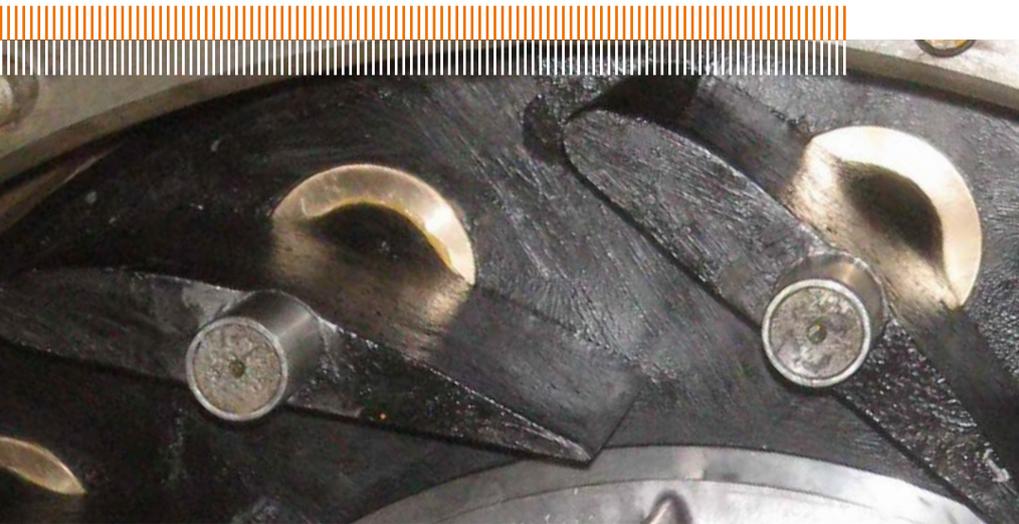
Das KfW-Programm Erneuerbare Energien „KfW270“ unterstützt auch Projekte zur Stromerzeugung aus Wasserkraftanlagen. Sie gewährt Kredite bis zu 50 Mio. Euro mit langfristigen Zinsen für Unternehmen, Privatpersonen, gemeinnützige Antragssteller, Genossenschaften, Vereine etc. Dabei geht es um die Errichtung, Erweiterung und den Erwerb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien einschließlich der zugehörigen Kosten für Planung, Projektierung und Installation. Bei schon bestehenden oder gebrauchten Anlagen sind besondere Regelungen zu beachten.

Kontakt

Kreditanstalt für Wiederaufbau
Niederlassung Bonn
Ludwig-Erhard-Platz 1-3
53179 Bonn

Tel. 0800/539 90 01
info@kfw.de
www.kfw.de





progres.nrw

Die förderpolitischen Aktivitäten zur Energiepolitik im Land Nordrhein-Westfalen werden im „Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen“ (www.progres.nrw) gebündelt.

Förderbaustein Markteinführung

Mit der Förderrichtlinie progres.nrw – Markteinführung werden Unternehmen, Kommunen und Privatpersonen gefördert, die marktfähige Produkte und Anlagen zur effizienten Umwandlung und sparsamen Verwendung von Energie sowie zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen einsetzen. Ein Fördergegenstand dieser Richtlinie sind netzgekoppelte Wasserkraftanlagen als Beitrag zur klimaschonenden Energieerzeugung.

Die Richtlinie progres.nrw – Markteinführung wird regelmäßig aktualisiert und so an die technischen Entwicklungen, Marktgegebenheiten und sich ändernden energierechtlichen Rahmenbedingungen angepasst.

Kontakt

Bezirksregierung Arnsberg
Abteilung 6 – Bergbau und Energie in Nordrhein-Westfalen
Dezernat 64
Goebenstraße 25
44135 Dortmund

Tel. 0211/837 19 27
info@progres.nrw
www.progres.nrw

Förderbaustein Innovation

Die Richtlinie „progres.nrw – Programmbereich Innovation“ ist Teil der Programmfamilie „progres.nrw“, mit der entlang der gesamten Wertschöpfungskette Projekte und Maßnahmen innerhalb der drei Säulen rationelle Energieverwendung, regenerative Energien und Energiesparen gefördert werden sollen.

Über den Förderbaustein „progres.innovation“ werden Vorhaben der industriellen Forschung und der experimentellen Entwicklung bis hin zu Prototypen und Pilotprojekten sowie deren Umsetzung im Rahmen von Demonstrationsvorhaben gefördert. Zudem können Machbarkeits- und Durchführungsstudien gefördert werden. Grundlegendes Ziel dabei ist, anwendungsorientierte wissenschaftliche und technologische Grundlagen für die Bewältigung der Zukunftsaufgaben im Themenfeld Energie in NRW-Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu schaffen und so die energie- und klimapolitischen Ziele des Landes zu unterstützen.

Insofern trägt der Förderbaustein Innovation zum Schließen der Lücke zwischen der Grundlagenforschung und der Markterschließung bei.

Antragsberechtigt sind Unternehmen, Kommunen sowie Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Bevorzugt gefördert werden Kooperationen von Unternehmen untereinander sowie gemeinschaftliche Vorhaben von Wissenschaft und Wirtschaft.

Bei Zuwendungen auf der Grundlage dieser Richtlinie können auch EU-Mittel (EFRE-Programm) eingesetzt werden.

Kontakt

Forschungszentrum Jülich
Forschung und Gesellschaft NRW (FGN)
Karl-Heinz-Beckurts-Straße 13
52428 Jülich

Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen der Wasserwirtschaft für das Hochwasserrisikomanagement und zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

„Förderrichtlinie Hochwasserrisikomanagement und Wasserrahmenrichtlinie – FöRL HWRM/WRRL“

Der Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz zur oben genannten Richtlinie des Landes NRW vom 11. April 2017 hebt die „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Maßnahmen des Wasserbaus einschließlich Talsperren“ auf.

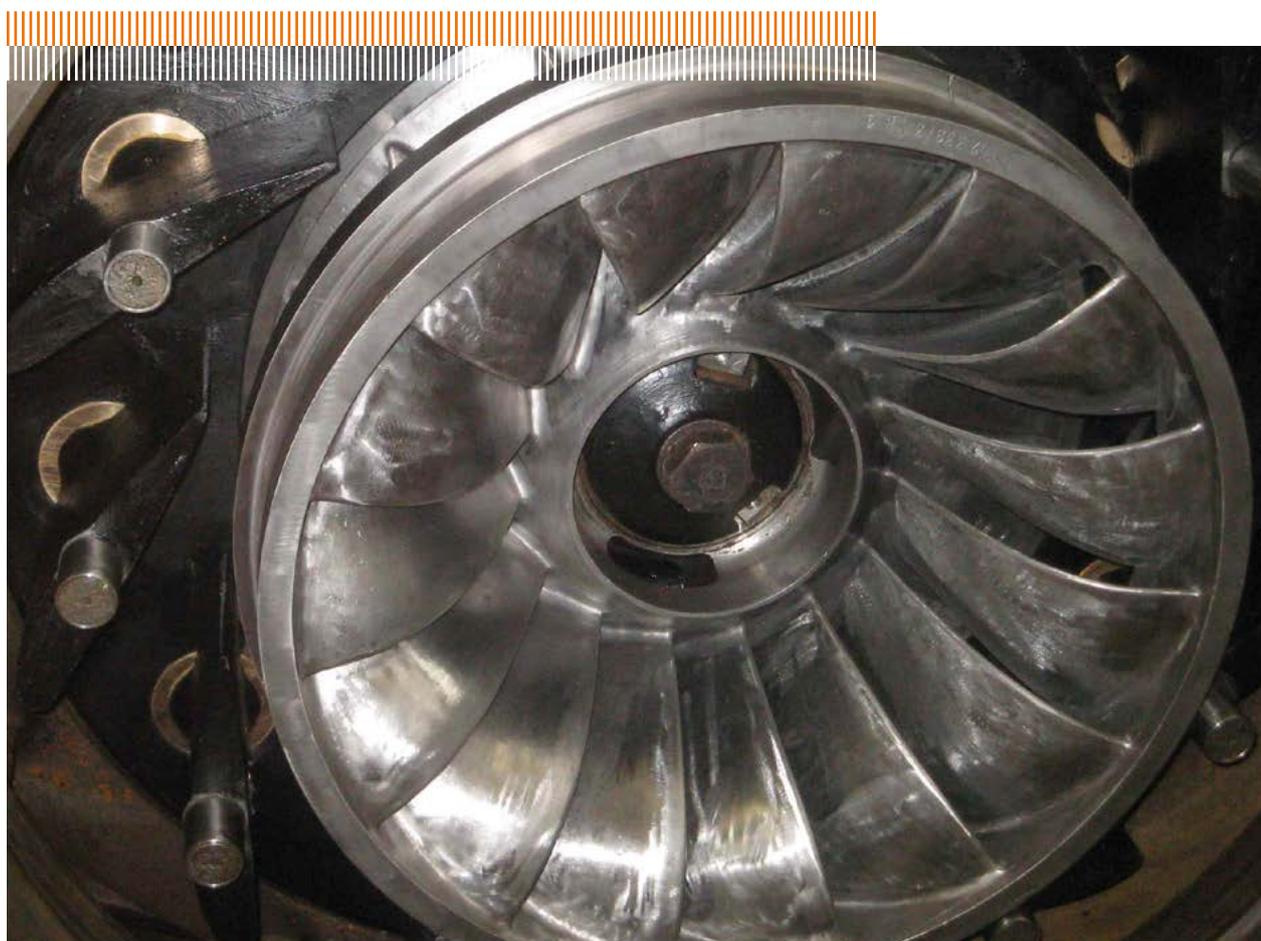
Gefördert werden neben wasserwirtschaftlichen Maßnahmen für das Hochwasserrisikomanagement Maßnahmen zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, mit Bezug zu den Themen Infrastruktur; erneuerbare Energien und Umweltschutz.

Mitfinanziert werden Monitoring, Untersuchungen, Erhebungen und Planungen von grundsätzlicher oder überregionaler Bedeutung für die ökologische Gewässerentwicklung und die Gewässerdurchgängigkeit sowie Wasserbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerdurchgängigkeit (gemäß §§ 27 bis 31 WHG), Flächenbereitstellung, Öffentlichkeitsarbeit und Bildungsarbeit.

Kontakt

Bezirksregierung Arnsberg; Bezirksregierung Detmold;
Bezirksregierung Düsseldorf; Bezirksregierung Köln;
Bezirksregierung Münster

Mehr Informationen im Internet unter dem Suchbegriff: Ministerialblatt „MinBl. NRW 2017“, S. 340 ff.



Benachbarte Interessen der Wasserkraftnutzung



Informationsportfolio der EnergieAgentur.NRW

Büro für Wasserkraft

Die EnergieAgentur.NRW arbeitet im Auftrag der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen als operative Plattform mit breiter Kompetenz im Energiebereich: Von der Energieforschung, technischen Entwicklung, Demonstration und Markteinführung über die Initialberatung bis hin zur beruflichen Weiterbildung. In Zeiten hoher Energiepreise gilt es mehr denn je, die Entwicklung von innovativen Energietechnologien in NRW zu forcieren und von neutraler Seite Wege aufzuzeigen, wie Unternehmen, Kommunen und Privatleute ökonomischer mit Energie umgehen oder erneuerbare Energien sinnvoll einsetzen können.

Weitere Informationen unter: www.energieagentur.nrw

Um das Energiesystem der Zukunft optimal aufzustellen, ist der Einsatz Erneuerbarer Energien im Verbund zunehmend wichtiger. Entsprechend der Energieversorgungsstrategie des Landes soll die Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien und deren nachhaltigen Ausbau akzeptanzgesichert, technologieoffen sowie markt- und systemintegrativ gestaltet werden.

Die Potenziale zum weiteren Ausbau von Erneuerbaren Energien im Elektrizitäts- und Wärmesektor sollen identifiziert und genutzt werden. Bei der Windenergie und besonders bei der Photovoltaik strebt die Landesregierung bis 2030 ein starkes Wachstum der installierten Leistung an. Da bei der Wasserkraft das Potenzial insbesondere im Stromsektor weitgehend ausgeschöpft ist, gilt es hier, deren wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung und Netzdienlichkeit des Energiesystems sicherzustellen. Gleichwohl sollen auch die noch ungenutzten Standorte für die Wasserkraftnutzung erschlossen und die vorhandenen Wasserkraftanlagen optimiert bzw. ausgebaut werden.

Die Erneuerbaren Energien sind ein Themenschwerpunkt der EnergieAgentur.NRW, dem auch das Büro für Wasserkraft zugeordnet ist. Durch ein breites Kommunikations-, ein allgemeines Beratungsangebot sowie ein ergänzendes Vortrags- und Veranstaltungsangebot sorgt das Büro für Wasserkraft dafür, dass sich die Informationsdichte zu Themen rund um die Wasserkraft in der Fachwelt und der Öffentlichkeit erhöht.

Das Portfolio des Büros für Wasserkraft soll Interessierte der Wasserkraftbranche ebenso wie Interessierte benachbarter Nutzungen ansprechen. Allgemeine Information, Erstberatungen zu technischen (Neubau, Reaktivierung, Optimierung), gewässerökologischen (Durchgängigkeit, Fischschutz) und wirtschaftlichen Aspekten (Fördermöglichkeiten, Einspeisevergütungen, andere Erlösmöglichkeiten) werden bereitgestellt. Dabei gewinnen auch Themen der Sektorenkopplung wie Wärme und Mobilität an Bedeutung.

Das Angebot der EnergieAgentur.NRW u.a. mit Fachveranstaltungen und Workshops zur Wasserkraft trägt dazu bei, den Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu intensivieren. So sollen die Entwicklung und Herstellung von Wasserkraftkomponenten angestoßen und nachhaltige Innovationen in Technik und Gewässerökologie vorangebracht werden.

Es umfasst ebenfalls Themen wie den Einsatz von Wasserkrafttechnik an Infrastrukturanlagen im Trink-, Brauch- und Abwasserbereich zur Energienutzung und zur Energierückgewinnung.

Eine fundierte Wissensvermittlung wird als eine wichtige Aufgabe zur Akzeptanzsteigerung der Erneuerbarer Energien und besonders der Wasserkraftnutzung angesehen.

Kontakt

EnergieAgentur.NRW
Büro für Wasserkraft
c/o VBZL Haus Düsse
Haus Düsse 2
59505 Bad Sassendorf

Stefan Prott
Tel. 02945/989189
prott@energieagentur.nrw
www.energieagentur.nrw

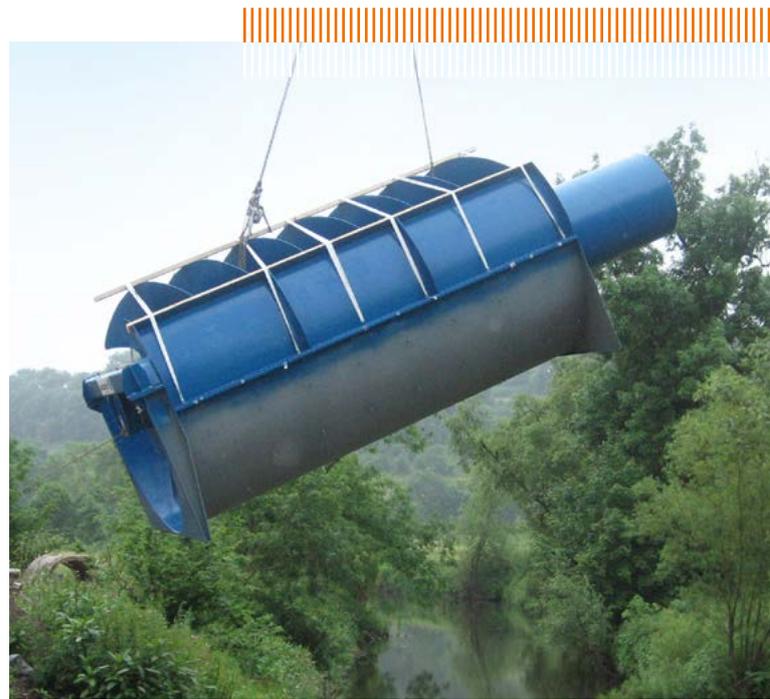


Praxisbeispiele

Wasserkraftanlage der Warburger Brauerei

Die westfälische Hansestadt Warburg kann auf eine lange Geschichte ihrer Mühlen zurückschauen. An einem der Warburger Mühlenstandorte, der Warburger Kuhlemühle an der Diemel, ist die Familienbrauerei Kohlschein ansässig, die seit 1721 die Braurechte der Stadt Warburg besitzt. Ursprünglich wurden in der Kuhlemühle unterschlächtige Wasserräder betrieben. Seit 1934 produzieren zwei Francis-Schachtelturbinen mit insgesamt maximal 125 kW installierter Leistung Strom für den Brauereibetrieb. Neuzugang an der Kuhlemühle, dem Herzstück der Warburger Brauerei, ist die in NRW derzeit größte Wasserkraftschnecke mit einer Leistung von 100 kW – Stand 2012.

Die Schnecke erzeugt ca. 600.000 kWh/a klimafreundlichen Strom bei einer Fallhöhe von 2,70 m und einer Ausbauwassermenge von 5,0 m³/s. Anlass für dieses Energieprojekt war die Anpassung des historischen Wasserkraftstandorts Kuhlemühle an die Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Sie fordert im Rahmen der gewässerökologischen Optimierung der heimischen Fließgewässer die Errichtung von Fischaufstiegsanlagen sowie die Abgabe von Restwasser im Mutterbett. Im Zuge des Ausbaus und der Effizienzsteigerung der Wasserkraftanlage erfolgte die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit gemäß der Wasserrahmenrichtlinie.

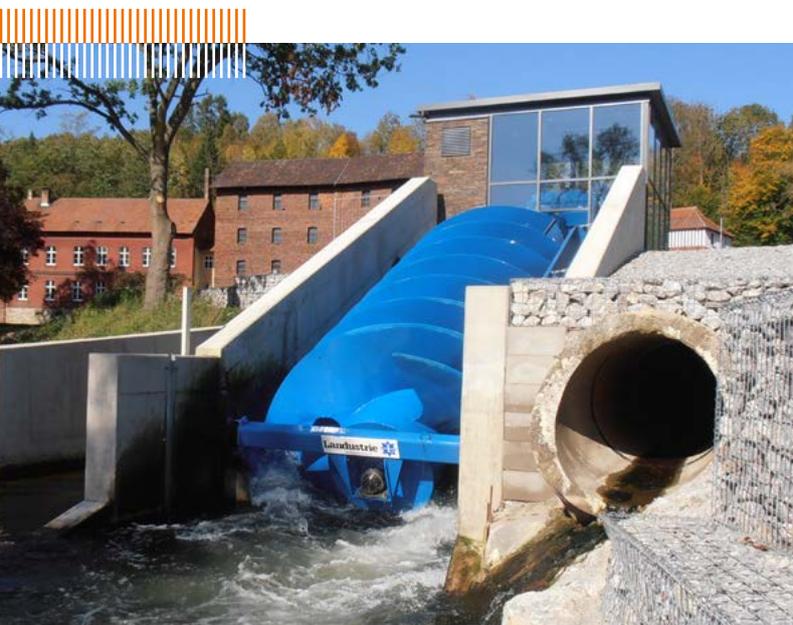


Der Beckenpass, bestehend aus 18 Becken mit einer minimalen Beckenlänge von 2,80 m und einer minimalen Beckenbreite von 1,80 m, wird mit einer Wassermenge von 400 Liter je Sekunde (l/s) betrieben. Außerdem wurde die Rechenreinigungsanlage vor der Turbinenanlage erneuert und mit einem 15 mm-Feinrechen ausgestattet. Durch einen Triebwassertunnel wird das Wasser für die Turbinen 70 m weit unter den Brauereigebäuden hindurch geleitet. Dort wurde ein weiterer Fischaufstieg als Schlitzpass für schwimmstarke Fische im Freischuss neben den Turbinen ausgeführt.

Gewässer:	Diemel
Gefälle:	2,70 m
Ausbauwassermenge:	5,0 m ³ /s (Schnecke), 2,2 m ³ /s (Turbine 1), 4,5 m ³ /s (Turbine 2)
Installierte Leistung:	100 kW (Schnecke), 40 kW (Turbine 1), 85 kW (Turbine 2)
Jahresarbeit:	ca. 600.000 kWh (Schnecke), ca. 800.000 kWh (2 Turbinen)
CO₂-Vermeidung:	ca. 910 Tonnen je Jahr (t/a)
Fischaufstiegshilfe:	Beckenpass und Schlitzpass, Fischpassdotation (QFAA): 0,4 m ³ /s

Kontakt

Warburger Brauerei GmbH
www.warburger-brauerei.de



Wasserkraftwerk Westhofen der Wasserwerke Westfalen

Die Wasserwerke Westfalen GmbH (WWW) betreiben neben ihrer Hauptaufgabe, der Trinkwassergewinnung und -verteilung, fünf Wasserkraftanlagen zur zuverlässigen und wirtschaftlichen Gewinnung „grünen Stroms“.

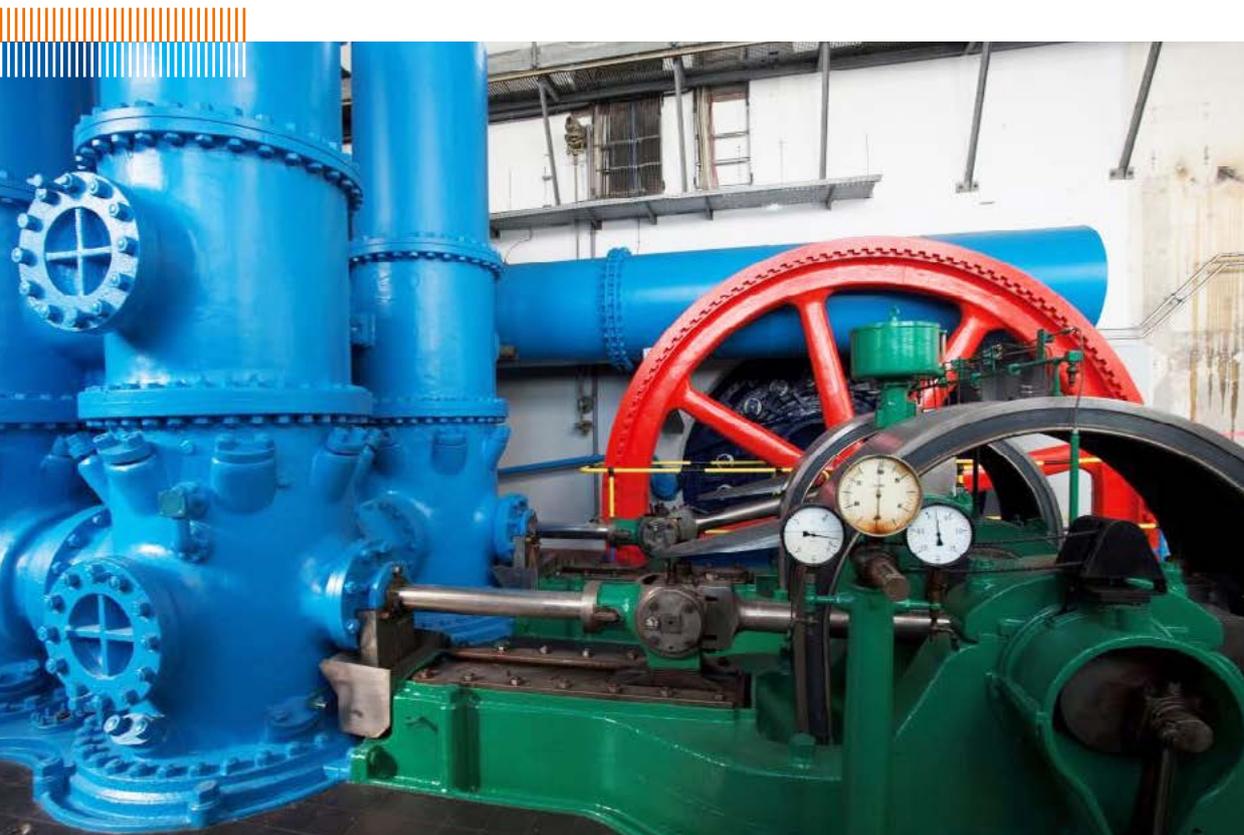
Exemplarisch ist das Wasserkraftwerk Westhofen, das in den Jahren 1921/1922 erbaut und mittlerweile unter Denkmalschutz gestellt wurde. Mit einer Leistung von 1.260 kW werden jährlich ca. 6 Mio. kWh Strom erzeugt. Die Fallhöhe der Wehranlage beträgt rund 4,5 m.

Umbau und Leistungssteigerung

Im September 2010 wurden die vier Francis-Turbinen aus dem Jahre 1947 durch zwei neue, doppelt regulierte baugleiche Kaplan-Turbinen ersetzt. Jede Kaplan-Turbine hat einen Laufraddurchmesser von 1,90 m und besitzt ein Schluckvolumen von 17 m³/s. Die vier Kolbenpumpen aus dem Jahr 1922 wurden gegen zwei Generatoren mit einer Leistung von jeweils 630 kW ausgetauscht.

Als Anschauungsobjekt alter Ingenieurkunst ist auch heute noch einer der Maschinensätze (Francis-Turbine mit Kolbenpumpe) dort zu besichtigen.





Bau einer Fischaufstiegsanlage

Zur ökologischen Verbesserung der Gesamtanlage wurde zeitgleich eine Fischaufstiegsanlage zwischen Krafthaus und Wehranlage errichtet. Hierzu wurde ein ehemaliger Turbinenauslaufbereich als Einstieg und der zugehörige Turbineneinlaufbereich als Ausstieg für wandernde Fische und Kleintiere der Gewässersohle umgebaut. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse entschieden sich die Wasserwerke Westfalen für einen Beckenschlitzpass (Vertical Slot Pass) aus Stahlbeton.

Vom Oberwasser führen über ein geringes Gefälle 40 Einzelbecken in den Abmessungen Länge (L) / Breite (B) von 3,20/2,50 m bzw. 4,50/1,80 m gleichmäßig ins Unterwasser. Die Gesamtlänge der gewendelten Linienführung beträgt insgesamt 160 m.

Zusätzlich wurde der Einbau eines Aalabstiegs mit entsprechenden Einstiegsöffnungen realisiert.

Die Aalfuchtrohre (Nenndurchmesser (DN) 150/200) sind vor den Rechen in der Einlaufsohle verankert und mit einem Riegel aus Borstenelementen zur Ausbildung von Strömungsschatten als Ruhezone ergänzt. Eine ca. 20 m lange Rohrleitung DN 1400 unterhalb der Wehranlage zwischen Untergraben und Ruhrbett stellt sicher, dass die behördlich geforderte Mindestwasserführung von 1/6 Mittlererniedrigwasserabfluß (MNQ) = 1,3 m³/s im Unterwasser der Wehranlage eingehalten wird.

Die Anlage stellt die konsequente Erweiterung des bestehenden Kraftwerksparks der Wasserwerke Westfalen dar.

Die Wasserwerke Westfalen erzeugen mit ihren Wasserkraftwerken in der Spitze ca. 25 Mio. kWh Jahresarbeit.

Gewässer:	mittlere Ruhr
Gefälle:	4,50 m
Ausbauwassermenge:	34 m ³ /s
Installierte Leistung:	1.260 kW
Jahresarbeit:	ca. 6.000.000 kWh
Fischaufstiegshilfe:	Beckenschlitzpass, Länge: 160 m
Abfluss:	400 l/s
Fischpassdotations (QFAA):	1,3 m ³ /s

Kontakt

Wasserwerke Westfalen GmbH
www.wasserwerke-westfalen.de

Herbringhauser Talsperre

Wasserkraft aus dem Trinkwassernetz

Am Standort der Herbringhauser Talsperre wird aus Wasser Strom gewonnen. Bevor das Rohwasser aus der Kerspe-Talsperre ins Wasserwerk gelangt, treibt es im Zuge der Druckminderung eine Turbine an und produziert so elektrische Energie.

Drei Turbinen besaßen die Wuppertaler Stadtwerke (WSW) für die Wasserkraftnutzung im Rohwasserbereich. Sie wurden an der Kerspe-Talsperre und am Wasserwerk Herbringhausen, in 2004 und 2006 fertig gestellt. Die größte Turbine mit einer Leistung von 203 kW Nennleistung installierten die WSW am Rohwasserzulauf im Pumpwerk des Wasserwerks Herbringhausen. Das Wasser, das dort aus dem Reservoir der Kerspe-Talsperre eintrifft, hat einen Weg von 20 Kilometern hinter sich und fließt mit einem Druck von rund 7 bar. Die Turbine reduziert diesen Druck zunächst auf 3 bar und nutzt ihn zur Stromerzeugung. In der Turbine im Wasserwerk Herbringhausen werden zwischen 320.000 und 790.000 kWh pro Jahr erzeugt. Rund 200 Haushalte können damit ihren Strombedarf decken.



Die Turbinen an der Kerspe-Talsperre (zweimal 68 kW Leistung) setzen am Grundablass an. Hier wird der Druck des Überschusswassers, das den Ablass am Fuß der Stau-mauer durchströmt, in elektrische Energie umgewandelt. Das erkannte auch das europäische Klimabündnis an und zeichnete die Wuppertaler Stadtwerke für dieses klimafreundliche Projekt mit dem „Climate Star“ aus.

2016 hat der Wupperverband die Talsperre von der WSW Energie & Wasser AG übernommen.



Gewässer: Wupper
 Installierte Leistung: 203 kW
 Jahresarbeit: ca. 790.000 kWh

Kontakt

Wupperverband
 Untere Lichtenplatzer Str. 100
 42289 Wuppertal

Kickenbacher Hammer

Wasserrad an der Lenne

Neben zwei klassischen Turbinen erzeugt am Kickenbacher Hammer auch ein Wasserrad klimafreundlichen Strom. Bauingenieur André Bäcker ist der Herr dieser Wasserkraft. Er hat die alte Tradition, das Wasser der Lenne als Energieträger zu nutzen, mit moderner Technik wiederbelebt.

Bereits 1765 ist die Konzessionsvergabe für den Betrieb eines Stahlhammers (Kickenbacher Hammer) aktenkundig.

André Bäcker begann 1994 mit der baulichen Optimierung der Wehranlage und des Krafthauses und installierte zwei Turbinen mit einer Gesamtleistung von 77 kW. Sie arbeiten das Lenne-Wasser über ein Gefälle von 3m ab und erzeugen jährlich bis zu 250.000 kWh elektrische Energie.

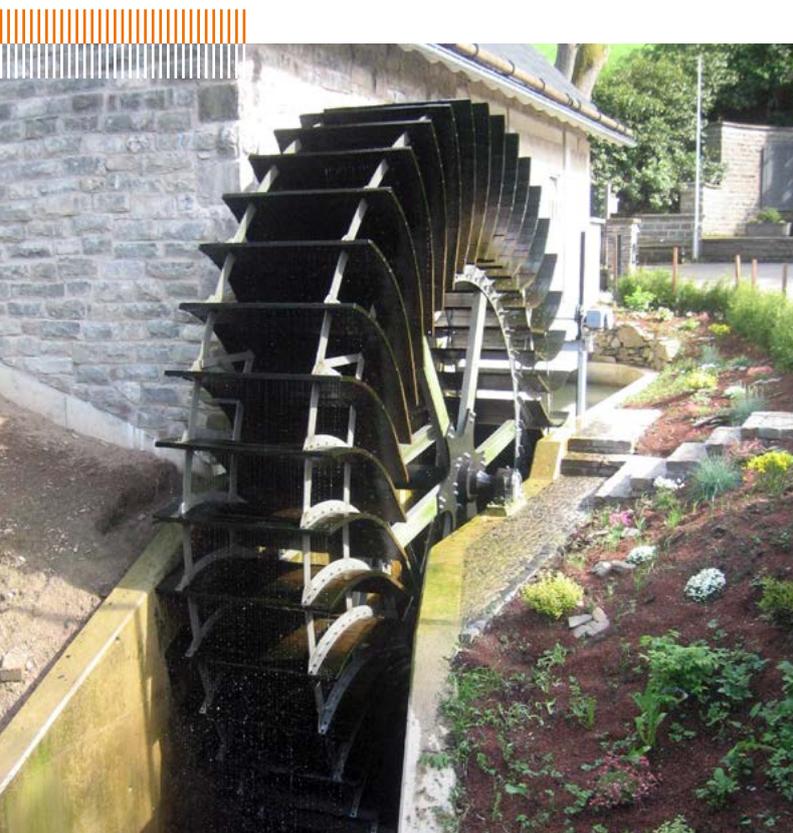
Zu Beginn des Jahres 2011 wurde die Wehranlage aus Hochwasserschutzgründen optimiert und mit einem Schlauchwehr versehen.

Das alte Spickstein-Wehr zeugt von der handwerklichen Kunst früherer Generationen, die Wasserkräfte der Lenne zu bändigen.



Ein Raugerinne-Beckenpass, mit 150 l/s beaufschlagt (1/3 MNQ), ermöglicht die Durchwanderbarkeit an diesem Lenne-Standort für Fische und andere Gewässerorganismen. Eine Rohrleitung führt bis zu 1 m³/s Wasser zum neu errichteten, mittelschlächtigen Zuppinger-Wasserrad. Bei einem Durchmesser von 7 m und einer Radbreite von 1,4 m leistet es 18 kW und soll etwa 70.000 kWh Strom pro Jahr erzeugen.

Gefälle:	3 m
Ausbauwassermenge:	1 m ³ /s + 4 m ³ /s
Installierte Leistung:	18 kW + 77 kW
Jahresarbeit:	ca. 300.000 kWh
Fischaufstiegshilfe:	Raugerinne-Beckenpass (150 l/s)



Weitere Informationen

- ▶ **EnergieAgentur.NRW Themengebiet Wasserkraft**
www.energieagentur.nrw/wasserkraft
- ▶ **Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW**
www.lanuv.nrw.de
www.energieatlas.nrw.de
- ▶ **Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V. (LEE NRW)**
www.lee-nrw.de
- ▶ **Arbeitsgemeinschaft Wasserkraftwerke NRW e.V. (AGW)**
www.wasserkraftwerke-nrw.de
- ▶ **Interessengemeinschaft Wassernutzung NRW (IGW)**
www.igw-nrw.de
- ▶ **Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke e.V. (BDW)**
www.wasserkraft-deutschland.de
- ▶ **Deutsche Gesellschaft für Mühlenkunde und Mühlenerhaltung e.V. (DGM)**
www.deutsche-muehlen.de
- ▶ **Westfälisch-Lippische Mühlenvereinigung e.V.**
www.deutsche-muehlen.de/landesverbaende
- ▶ **Mühlenregion Rheinland (LVR)**
www.muehlenregion-rheinland.lvr.de
- ▶ **Rheinisches Mühlen-Dokumentationszentrum e.V. (RMDZ)**
www.rmdz.de

Glossar

Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst / menschlich verursacht
Durchgängigkeit (gewässerökol.)	auf- und abwärts gerichtete Wanderungsmöglichkeit innerhalb von Fließgewässern
Dotation	bei Fließgewässern die Zugabe von Wasser
EU-Wasserrahmenrichtlinie	einheitlicher europäischer Rahmen für die Wasserpolitik und -wirtschaft, auch als EG-Wasserrahmenrichtlinie bezeichnet, kurz: WRRL genannt
FAA	Fischaufstiegsanlage zur Herstellung der gewässerökologischen Durchgängigkeit
Generator	Maschinenelement, das mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt
Getriebe	Maschinenelement, mit dem die Bewegungsgrößen Drehzahl und Drehmoment sowie die Drehrichtung einer Antriebseinheit an den Bedarf des Gesamtsystems übertragen bzw. umgeformt werden
Querbauwerke	quer zur Fließrichtung erstellte Stauanlagen (Wehre, Talsperren, Staustufen) sowie Sohlstufen; Wanderbarrieren für Fließgewässer-Lebewesen
Turbine	rotierende Strömungsmaschine, die die Energie des Wassers in eine Drehbewegung, also in mechanische Energie, umwandelt
Umgehungsgerinne	Fischaufstiegshilfe zur Umgehung eines Querbauwerks und ggf. dessen Staubereichs
Verkläuerungen	teilweiser oder vollständiger Verschluss einer Öffnung durch angeschwemmtes Treibgut.
Wasserkraft	Energie, die mit Hilfe von Wasserturbinen, Wasserkraftschnecken oder Wasserrädern aus fließendem Wasser gewonnen wird
Wirkungsgrad	Verhältnis von Energieeinsatz und erhaltener Leistung
WKA / WKW	Wasserkraftanlage / Wasserkraftwerk

Kilowatt (kW)	Leistungsangabe: Einheit zur Messung von Leistung, 1 kW = 1.000 W
Kilowattstunde (kWh)	Arbeitsangabe: Einheit zur Messung von Energiemengen, 1 kWh = 1.000 Wh
Megawatt (MW)	Leistungsangabe: 1 MW = 1.000 kW
Megawattstunde (MWh)	Arbeitsangabe: Einheit zur Messung von Energiemengen, 1 MWh = 1.000 kWh
Gigawatt (GW)	Leistungsangabe: 1 GW = 1.000 MW
Gigawattstunden (GWh)	Arbeitsangabe: Einheit zur Messung von Energiemengen, 1 GWh = 1.000 MWh

Impressum

EnergieAgentur.NRW GmbH
Roßstraße 92
40476 Düsseldorf

Telefon: 0211/8 3719 30
hotline@energieagentur.nrw
www.energieagentur.nrw

© EnergieAgentur.NRW GmbH/EA626

Stand

11/2020

Ansprechpartner

EnergieAgentur.NRW
Erneuerbare Energien, Themengebiet Wasserkraft

Stefan Prott
prott@energieagentur.nrw

Sebastian Kaptain
kaptain@energieagentur.nrw

Bildnachweis

Innenteil: S. 23: Landwirtschaftskammer NRW;
S. 24: Bernd Flach; S. 25-26: WASSERWERKE
WESTFALEN GmbH; S. 27: TEUPE GERÜSTBAU,
WSW Wuppertaler Stadtwerke

Die EnergieAgentur.NRW GmbH verwendet in ihren Veröffentlichungen allein aus Gründen der Lesbarkeit die männliche Form von Substantiven; diese impliziert jedoch stets auch die weibliche Form. Eine Nutzung von Inhalten – auch in Teilen – bedarf der schriftlichen Zustimmung.