

# Kleinstkraftwerke - Wasserräder mit Energiewandlern im Baukastenprinzip - Projektbeschreibung -

Universität Siegen

**Fachbereich 10: Bauingenieurwesen - Forschungsinstitut Wasser und Umwelt,  
Wasserbau & Hydromechanik, Prof. Dr.-Ing. J. Jensen**

**Fachbereich 12: Elektrotechnik und Informatik - Leistungselektronik und  
Elektrische Antriebe, Prof. Dr.-Ing. J. M. Pacas**

## 1 Ausgangssituation

Über Jahrtausende war das Wasserrad wegen seiner robusten und einfachen Technik, dem geringen Wartungsaufwand und der großen Zuverlässigkeit weltweit ein wichtiges Hilfsmittel zur Nutzung der Wasserkraft bei der Erzeugung von mechanischer Energie für Handwerk und Gewerbe. Die Wasserkraftnutzung bezeichnet dabei die Umwandlung kinetischer Energie (Bewegungsenergie) und/oder potentieller Energie (Lageenergie) von Wasser in mechanische oder elektrische Energie.

Die Nutzung der Wasserkraft als saubere, emissionsfreie Energie hat auch in Deutschland eine lange Tradition. Mit der Entwicklung von verschiedenen Turbinentypen und dem Bau von Wasserkraftanlagen zur Erschließung der mittleren bis großen Wasserkraftpotenziale wurde die Wasserkraftnutzung ein wichtiger Bestandteil der Energieversorgung.

Durch die flächendeckende Elektrifizierung in den Ballungsräumen Mitteleuropas zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Wasserräder nahezu vollständig verdrängt; elektrische Energie zum Antrieb von Maschinen konnte nun über größere Entfernungen transportiert werden und die Leistung war weder jahreszeitabhängig noch an örtliche Gegebenheiten gebunden. In der Folge gerieten allein in Deutschland mehrere tausend Standorte von Kleinstwasserkraftanlagen im Leistungsbereich von 2 bis 15 kW in Vergessenheit. Diese Standorte könnten allerdings relativ einfach wieder reaktiviert werden, wenn eine entsprechende wirtschaftliche Technik zur Verfügung steht.

Die regenerativen Energieträger werden aufgrund der rasanten Verknappung von fossilen Brennstoffen zukünftig einen immer größeren Beitrag zur weltweiten Energieversorgung liefern. Das Gesetz über erneuerbare Energien (EEG) soll den Anteil von Wind-, Wasser- und Sonnenenergie an der Stromerzeugung in Deutschland bis 2010 auf mindestens 12,5 Prozent steigern. Weiterhin leistet die Nutzung der regenerativen Energien durch die eingesparten CO<sub>2</sub> Emissionen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

In vielen Entwicklungsländern gibt es keine flächendeckende Versorgung mit elektrischer Energie. Die Nutzung der regenerativen Energie „Wasserkraft“ stellt in Regionen mit hohem Wasserkraftpotenzial (z.B. in Äthiopien) eine Möglichkeit zur Verbesserung der Energieversorgung dar. Die Lebenssituation der Menschen wird ebenso verbessert, wie die Nachhaltigkeit und der Schutz der Umwelt; Ressourcen werden geschont und Emissionen vermieden. Die Übernutzung der traditionellen Energieträger führt z.B. in Äthiopien durch Abholzungen zu erheblichen Bodenerosionen.

Die Entwicklungen der Technologien im Bereich der Wind- und Sonnenenergie stellen seit Jahren wichtige Forschungsschwerpunkte in den Ingenieurwissenschaften dar. Zahlreiche Forschungsprojekte mit dem Ziel der optimalen Nutzung dieser regenerativen Energien wurden mit Erfolg verwirklicht und führten zu einer beachtlichen Technologie im Bereich der Solar- und Windenergie. Insbesondere im Bereich der Windenergie hat die installierte Leistung in vielen Ländern einen beachtlichen Zuwachs erlebt. Allerdings sind insbesondere im Bereich der Wasserkraftnutzung mit Kleinstkraftwerken weitere interdisziplinäre Forschungen erforderlich.

## **2 Ziel**

Weltweit werden derzeit etwa 5 % des Bedarfs an Primärenergie und 20 % des Bedarfs an elektrischer Energie aus Wasserkraft gedeckt. Das nutzbare Potenzial an Wasserkraft ist jedoch etwa fünfmal so groß, so dass Wasserkraftwerke einen wichtigen Beitrag zur weltweiten Energieversorgung leisten können.

Viele ehemalige Standorte von Kleinstwasserkraftanlagen werden derzeit nicht genutzt, weil die Investitionskosten kleiner Anlagen (d.h. Anlagen mit 2 bis 15 kW) bisher keine wirtschaftliche Nutzung der Wasserkraft ermöglichen.

Um dieses ungenutzte Potenzial auszuschöpfen zu können, wird eine preiswerte und robuste, d.h. „wirtschaftliche“ Technik benötigt. Der Betrieb solcher Kleinstwasserkraftanlagen stellt dann für viele Standorte an Flüssen mit kleinen Wasserkraftpotentialen sowohl in Deutschland als auch weltweit, insbesondere für strukturschwache Gebiete in Entwicklungsländern, eine ideale Lösungsmöglichkeit zur Verbesserung der Energieversorgung mit regenerativen Energieträgern dar.

## **3 Lösungsansatz**

Das Projekt "Kleinstkraftwerke - Wasserräder mit Energiewandlern im Baukastenprinzip" widmet sich einem besonderen Gebiet der Erzeugung elektrischer Energie aus regenerativen Energieträgern. Es behandelt den Bereich sehr kleiner Leistungen, die im großindustriellen Umfeld keine Rolle spielen. Die wirtschaftliche Nutzung der elektrischen Energieerzeugung für Inselnetze, d.h. ohne Netzeinspeisung in einem Verbundnetz im Leistungsbereich unterhalb 10 kW ist im Wesentlichen im ländlichen Siedlungsraum für private Nutzer und kleine Handwerksbetriebe zu sehen. Für diesen Nutzungsbereich stehen derzeit keine geeigneten wirtschaftlichen Systemlösungen zur Verfügung.

In Entwicklungsländern können solche Systeme insbesondere in ländlichen, nicht erschlossenen oder weit entlegenen Gebieten die Versorgung einzelner Familien oder Gemeinschaften sicherstellen. Mit dem Wasserrad können bereits kleine Wassermengen und kleine Fallhöhen wirtschaftlich mit geringem Wartungsaufwand genutzt werden. Neben der Gewinnung elektrischer Energie bietet sich beim Wasserrad die Nutzung der mechanischen Energie an, da ein großes Drehmoment abgenommen und beispielsweise zum Betrieb von Pressen, Mühlen und Sägen genutzt werden kann.

In einem interdisziplinären Projekt zwischen der Forschergruppe "Leistungselektronik und Elektrische Antriebe (LEA)" und dem Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen wurde eine Kleinwasserkraftanlage entwickelt, deren technische Spezifikation sowie Nutzung und Wartung auf diese besonderen Einsatz-Verhältnisse abgestimmt ist. Durch die

Kooperation konnte seitens des LEA ein wesentlicher Beitrag zur Gewinnung elektrischer Energie im untersten Leistungsbereich von Wasserkraftanlagen (im Inselbetrieb) erarbeitet werden. Die Optimierung und Anpassung der möglichen technischen Lösungen in dem untersuchten Leistungsbereich erfolgte unter Verwendung moderner Mittel der Leistungselektronik und elektromagnetischer Energiewandlung. Außerdem wurden bei der Analyse der verschiedenen elektronischen Konzepte die in Ländern mit einem geringen Industrialisierungsniveau verfügbaren Möglichkeiten der Fertigung und Wartung speziell berücksichtigt.

### 3.1 Wasserrad

Der Lösungsansatz besteht in der Jahrtausende alten Technik „Wasserrad“, die mit einem innovativen Energiewandler neu adaptiert wird. Das Wasserrad ist äußerst robust und weitgehend unempfindlich gegenüber mitgeführten Sedimenten und Treibgut; ein Rechen ist nicht erforderlich. Auf eine aktive Wasserstandsregulierung kann bei den meisten Wasserrädern ebenfalls verzichtet werden. Die ökologische Verträglichkeit des Wasserrad ist ausgesprochen hoch; aufgrund der niedrigen Drehzahl ist eine Verletzungsgefahr für Fische ausgeschlossen, die biologische Durchgängigkeit der Gewässer bleibt in der Regel gewahrt.

Der Wirkungsgrad ist mit bis zu 90 % bei der Wasserkraftnutzung im Vergleich zu anderen Energieträgern konkurrenzlos hoch.

Der Beitrag des fwu an dem Projekt besteht in der Entwicklung einer neuartigen und sehr leicht herzustellenden Wasserradkonstruktion, die speziell für den Einsatzbereich mit Leistungen von 2 bis 15 kW und Raddurchmessern bis etwa  $D = 5,0$  m konzipiert wurde.

### 3.2 Energiewandler

Von größter Bedeutung für die Energiewandlung sind die leistungselektronischen Komponenten. Dazu war eine intensive Behandlung von sowohl theoretischen als auch praktischen Fragen der Energiewandlung in einem interdisziplinären Umfeld erforderlich. Die primären Energiewandler wurden messtechnisch charakterisiert; verschiedene elektromagnetische Wandler und Gesamtsysteme hinsichtlich Funktion, Kosten, Robustheit und Verfügbarkeit untersucht und beurteilt. Es wurden traditionelle und moderne Konzepte untersucht, z.B. ferroresonanter Transformator und Matrix-Umrichter. Beide Energiewandler wurden alternativ zu den herkömmlichen Lösungen (Hochsetzsteller und PWM-Wechselrichter) untersucht und optimiert. In vielen Experimenten mit umfangreichen Messungen des stationären und dynamischen Verhaltens der realisierten Energiewandlungssysteme wurde deren Verhalten untersucht, so dass ein kostengünstiges Gesamtsystem Kleinstkraftwerke mit Energiewandler mit den für die Realisierung wesentlichen technischen Eigenschaften entwickelt werden konnte.

## 4 Ergebnis „Kleinstkraftwerk“

Das Projekt "Kleinstkraftwerke - Wasserräder mit Energiewandlern im Baukastenprinzip" stellt einen sehr beachtlichen Beitrag zur Nutzung regenerativer Energien dar. Es zeigt wie die konsequente Anwendung von theoretischen Kenntnissen aus den beteiligten Fachdisziplinen und die praktische Realisierung von Labormustern zu wertvollen Lösungen für einzelne Systemkomponenten führen kann.

Bisher ist ein Prototyp mit einem Durchmesser  $D = 2,40$  m und einer Leistung von ca.  $P = 1,0$  kW realisiert. Die Ergebnisse zeigen aber, dass die Dreieckzellen-Wasserradtechnik mit Energiewandler für Raddurchmesser von bis zu  $D = 5,0$  m und Leistungen bis etwa  $P = 9,5$  KW möglich ist. Das Wasserrad besteht aus mehreren vorgefertigten Einzelteilen, die vor Ort montiert werden können. Die einzelnen Bestandteile sind:

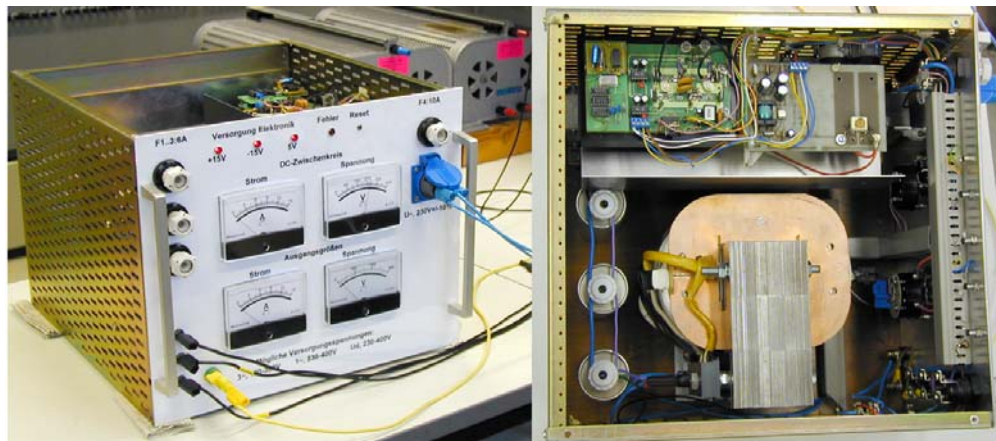
- Zellen aus Blech,
- Speichen aus Stabstahl,
- 2 PKW-Felgen als Innenringe,

- Stahlwelle mit Scheiben zur Aufnahme der Felgen,
- Winkelstahl,
- Muttern, Hutmuttern, Unterlegscheiben, Schrauben,
- Ring aus Winkelstahl als Lauffläche für den Treibriemen.

Die Bilder zeigen den Prototypen eines voll funktionstüchtigen Kleinstkraftwerkes Wasserrad mit Energiewandler (hierzu siehe auch den beiliegenden Kurzfilm).



1,0 kW-Prototyp des Dreieckzellen-Segment-Wasserrades im Wasserbaulabor der fwu



**Prototyp eines Energiewandlers (max. P = 3,0 kW, Prinzip: „ferroresonanter Transformator“)**

Die einfache Konstruktion des Wasserrades bedingt eine ebenso einfache Bemessung, so dass in wenigen Schritten eine hinreichend genaue Abschätzung zur Planung erfolgen kann. Der Hauptvorteil dieser neuen Wasserradkonstruktion ist die geringe Zahl unterschiedlicher Bauteile, die mit einfachsten Mittel auch in kleinen Werkstätten hergestellt werden können. Die gesamte Tragkonstruktion besteht nur aus Schaufeln und Zugspeichen. Sie kann mit sehr geringen Kosten hergestellt werden. Die Montage erfolgt ausschließlich mit lösbaren Verbindungsmitteln (Schrauben).

Die gewonnene mechanische Energie wird durch einen außenliegenden Riementrieb (Übersetzung ca. 1:10) zum Stirnradgetriebe-Generator übertragen. Die Verwendung eines Riementriebes, der die bisher notwendige erste Getriebestufe ersetzt, ist im Bezug auf Wasserräder auch eine technische Neuheit.

Die Jahrtausende alte Technik „Wasserrad“ wurde mit innovativen Ideen der Leistungselektronik neu adaptiert und in ein Kleinstkraftwerk „Wasserrad mit Energiewandler“ integriert. Das Kleinstkraftwerk kann damit einen wichtigen Beitrag zur Lösung der weltweiten Energieproblematik darstellen.