



Foto: Lashofer

Wasserkraftschnecke an einer Sohlstufe im fränkischen Dittigheim

DIE WASSERKRAFTSCHNECKE – GROSSES ERTRAGSPOTENTIAL AN KLEINEN WASSERKRAFTPOTENTIALEN

Die Wasserkraftschnecke wird seit 2001 zur Stromerzeugung angewandt. Der weltweite Boom ging von Deutschland aus und die Anbieter werden jährlich mehr. Mit geschätzten 300 Anlagen in Betrieb gilt diese neue Niederdrucktechnologie noch als Nischenprodukt. Prof. Pelikan von der Universität für Bodenkultur Wien erkannte 2009 als einer der ersten Forscher das Potential und initiierte mit DI Lashofer das erste umfassende Forschungsprogramm. Es bestand aus einer Betreiberbefragung, aufschlussreichen Feldmessungen und umfangreichen Laborversuchen. Dieser Artikel fasst den Entwicklungsstand zusammen und zeigt sowohl die ausgezeichneten Wirkungsgrade als auch die unterschiedlichen Auswirkungen von veränderten Gestaltungsparametern. Es wird ein deutliches Verbesserungspotential zum Stand der Technik aufgezeigt. von Dipl.-Ing. Alois Lashofer

Seit 1880 wird die Wasserkraft zur Stromerzeugung verwendet und die meisten großen Potentiale sind ausgebaut. Die Wasserkraftschnecke (WKS) ist eine interessante Möglichkeit, auch kleine Fallhöhen zu nutzen oder Restwasserdotationen an der Wehranlage in Strom zu verwandeln. Durch ihre niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten ist sie das ideale Kleinwasserkraftwerk. Das jahrtausendealte Prinzip der Schneckenpumpe wurde in seiner energietechnischen Umkehr 1991 von Karl-August Radlik zum Patent angemeldet. Im Jahr 2001 sind die

ersten beiden kommerziellen Anlagen in Betrieb gegangen. Die Rödermühle mit 7,5 kW an der fränkischen Saale (D) und eine Anlage mit 18,5 kW an der Nethe (D). Seitdem hat diese Technologie jährliche Zuwachsraten im Bereich um 50% erfahren. Die WKS setzt sich bereits weltweit durch, aber noch steht der Großteil der Anlagen in Europa (DE, GB, AT, IT, FR). Die Ausbaudurchflüsse liegen zwischen 0,1 und 6 m³/s, wobei die Hersteller Projekte mit bis zu 12 m³/s planen. Die Fallhöhe liegt üblicherweise bei 1 bis 6 m. Daraus ergeben sich Leistungen von 2 bis über 200 kW.

WAS SAGEN DIE BETREIBER?

Es wurden 31 Betreiber in sechs europäischen Ländern (AT, IT, DE, GB, IE und CH) befragt. Die WKS wird demnach in gut der Hälfte der Anlagen als Hauptturbine, in einem Drittel zur Nutzung der Restwasserabgabe und in 15 % als Zweiturbine für Überschusswasser eingesetzt. Die Hälfte der betrachteten Anlagen wurde innerhalb von 4 Monaten nach Beginn der Erdbauarbeiten bereits in Betrieb genommen. Diese kurze Bauzeit wird durch die Ausführung der Schnecken mit vorgefertigtem Stahltrög unterstützt.



Fotos: Lashofer

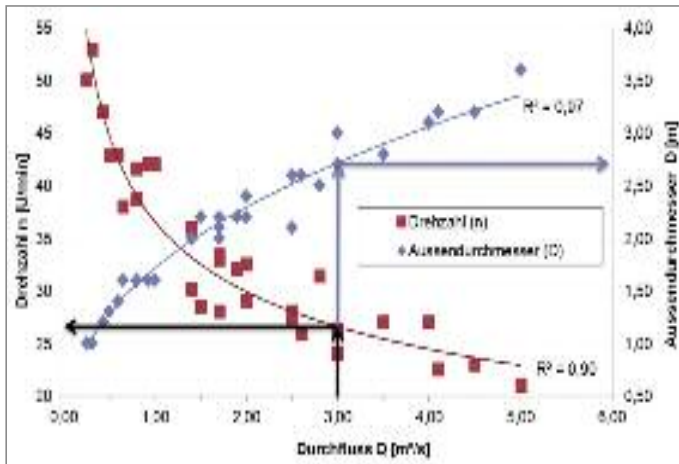
Installation der 78 kW Wasserkraftschnecke von Rehart in der Hauptkläranlage Wien



Alois Lashofer war bei den Montagearbeiten mit dabei



Nach Montage der Schnecke werden Getriebe und Generator aufgesetzt



Richtwerte für die Dimensionierung einer dreigängigen Wasserkraftschnecke

Drei Viertel der Anlagen haben einen Vertikalrechen ohne automatische Rechenreinigung und lichte Stabweiten zwischen 10 und 15 cm. Durchschnittlich nimmt die Wartung (Rechenkontrolle) eine Stunde pro Woche in Anspruch.

Nahezu alle befragten mitteleuropäischen Schneckenbetreiber haben Erfahrungen mit der Vereisung ihrer Anlage. Die Beschreibungen reichen von „leichtem Aneisen“ bis zum Stillstand wegen „Kratz- und Schleifgeräuschen“. Zum Abschalten der Anlage kommt es zumeist nur bei anhaltenden Temperaturen unter -10 °C, wobei 55 % der Anlagenbetreiber das Problem durch eine ständige oder temporäre Einhausung mit Holzbohlen lösen.

Als Ursache der Lärmentwicklung wird am häufigsten das Geräusch der Schneckenflügel beim Eintauchen in das Unterwasser beschrieben („Blattschlagen“), das verstärkt bei niedrigen Unterwasserständen auftreten kann. Wie bei der Vereisungsproblematik hat sich die Einhausung auch in Bezug auf die ganzjährige Lärmentwicklung bewährt. Die Hälfte der betroffenen Anlagenbetreiber hat so ihr Lärmproblem



gelöst, wobei 20 % davon die zusätzliche Anbringung einer aufschwimmenden Gummiabdeckung im Auslauf als hilfreich beschreiben.

WIE KANN EINE SCHNECKE AN MEINEM STANDORT AUSSEHEN?

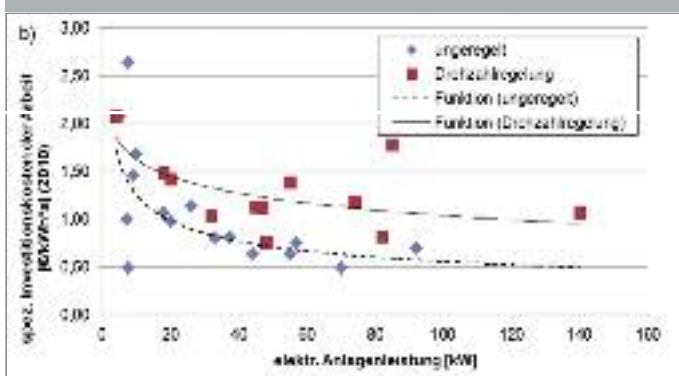
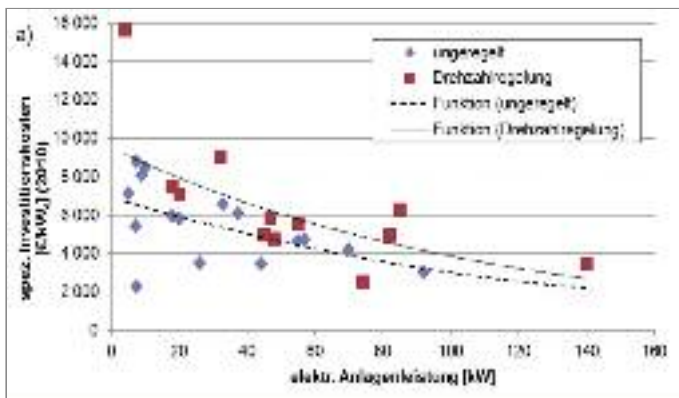
Die Hersteller legen die Wasserkraftschnecken wie die altbewährten Wasserförderschnecken aus – den Aussendurchmesser nach Nagel und Radlik (1988) und die Drehzahlen nach Muysken (1932). Die errechneten Verläufe gleichen nahezu perfekt den abgebildeten Ausgleichskurven der Befragungswerte (Lashofer, et al. 2011). Leider ist so aber keine Abstimmung auf den Standort und damit auf den optimalen Jahresertrag gegeben.

Aus den Angaben der Betreiber wurden auch durchschnittliche Investitionskosten errechnet. Die tatsächlichen Kosten sind stark von den individuellen Gegebenheiten abhängig. Der Querbauwerksbestand & -zustand, Untergrundverhältnisse, Behördenauflagen und viele weitere Faktoren, wie Fördermöglichkeiten oder regionale Preisunterschiede, machen eine einheitliche Betrachtung unmöglich.

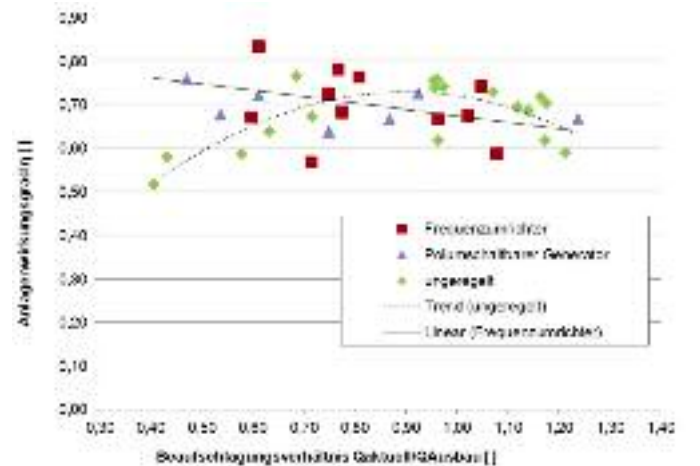
WELCHEN WIRKUNGSGRAD HABEN DIE ANLAGEN?

Im Sommer 2010 wurden Wirkungsgradmessungen an 14 Anlagen in Österreich, Südtirol und Deutschland durchgeführt. Der Mittelwert der 36 gemessenen Anlagenwirkungsgrade liegt bei 69 %. Sechs Anlagen erreichten Spitzenwirkungsgrade über 75 %. Diese Kraftwerke zeigten mehrere überdurchschnittliche Wirkungsgradergebnisse.

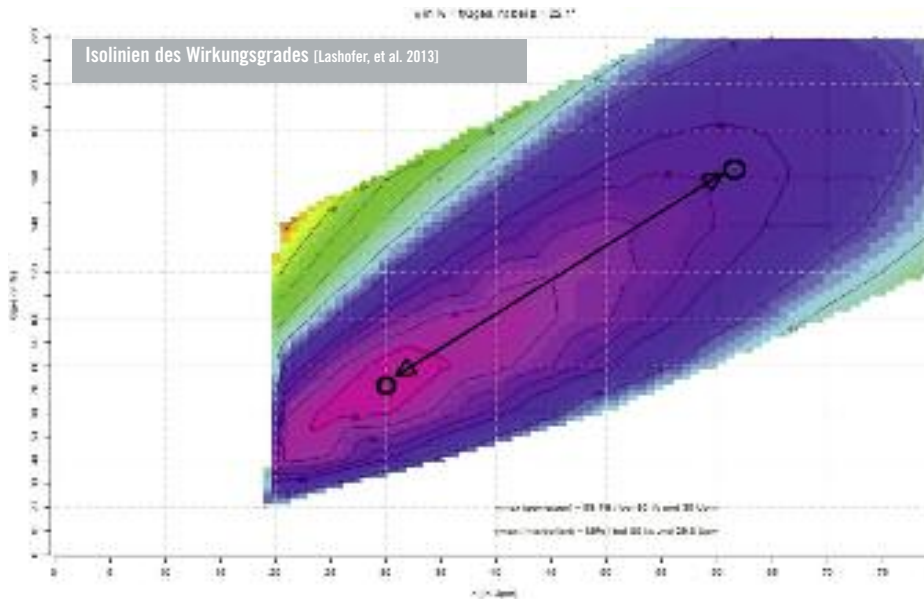
Anlagen mit Frequenzumrichter können stufenlos an geänderte Durchflussverhältnisse angepasst werden. Grundlegende Voraussetzung für einen optimalen Betrieb ist eine entsprechend gestaltete



Spezifische Investitionskosten in Abhängigkeit von der Anlagenleistung [Lashofer, et al. 2013b]



Anlagenwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Beaufschlagungsverhältnis und der Art der Regelung [Lashofer, et al. 2011]



Regelektronik. Die Anlagen haben einen zusätzlichen Wirkungsgradverlust von $\geq 3\%$ durch die Frequenzumrichtung. Dieser Nachteil wird jedoch durch die deutlich höheren Wirkungsgrade bei besonders geringen und hohen Beaufschlagungsverhältnissen mehr als aufgewogen und beschert Mehrerträge. Restwasserkraftwerke, die mit einer gleichbleibenden Dotation arbeiten sind hingegen mit einer Fixdrehzahl wirtschaftlicher unterwegs.

WIRKUNGSGRADMESSUNGEN IM LABOR (WKS-WIRKUNGSGRAD)

Um ein vollständiges Bild des Wirkungsgradverhaltens der „Turbine“ zu bekommen wurden 7 Schnecken getestet. Drei-, vier- und fünfgängige Schnecken (Blattzahl) wurden mit unterschiedlichen Durchmesserhältnissen und Blattsteigungen am Prüfstand an der BOKU getestet. Bei jeder der sieben Schneckentypen wurde in acht Neigungen eine Vielzahl an Durchfluss/Drehzahl-Kombinationen gemessen. Nach einem halben Jahr Messzeit gaben 56 Kennfelder Aufschluss über die unterschiedlichen Eignungen. In dem angeführten Beispieldiagramm sind die Wirkungsgrade als Isolinien über den

gesamten Betriebsbereich dargestellt. Das Wirkungsgradmaximum liegt im Beispiel bei etwa 70 l/s und 30 U/min. Nach Auslegungspraxis der Produzenten wären allerdings ein Ausbaudurchfluss von 165 l/s und eine Drehzahl von 62 U/min für diese Schnecke vorgesehen. Dabei würde sich statt des Spitzenwirkungsgrades von über 89 % ein typischer Wirkungsgrad bei Nenndurchfluss von 81 % einstellen, falls die Anlage auch wirklich im richtigen Drehzahlbereich betrieben wird. Eine maßgeschneiderte qualitativ hochwertige Anlage rentiert sich schneller, denn sie bringt mehr Strom aus der gleichen Menge Wasser.

GIBT ES NOCH WEITERES VERBESSERUNGSPOTENTIAL?

Es wurden auch unterschiedliche Bauformen zur besseren Ausgestaltung des Übergangs Einlaufgerinne zu Trog untersucht. Dazu wurden fünf Varianten getestet, welche sich aus unterschiedlichen Einbauten zusammensetzen. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse zeigten sich einzelne Wirkungsgradsteigerungen bis zu 4 %. Entlang der Linie höchsten Wirkungsgrades ergaben sich Verbesserungen um 2 % über

den gesamten Betriebsbereich. Damit können auch Altanlagen im Ertrag gesteigert werden. Bei neuen Anlagen sollte bereits in der Planung auf gute Zuströmbedingungen geachtet werden.

WIRKUNGSWEISE – EINORDNUNG – FISCHVERTRÄGLICHKEIT

An den Schneckenblättern (Gängen) wirken der hydrostatische Druck des oberhalb anliegenden Wasserschubes und der Gegendruck des vorangehenden Schubes. Die resultierende Druckdifferenz erzeugt das Drehmoment und folglich die Drehbewegung. Abflüsse in die untere Kammer (Spaltverluste) gleichen sich hydrostatisch gesehen durch Zuflüsse der oberhalb liegenden Kammer (Spaltgewinne) aus. (Lashofer, et al. 2013a)

Die WKS ist eine quasi-hydrostatische Gleichdruck-Fluidenergiemaschine und steht in ihrer Wirkungsweise zwischen den Verdränger- und den Strömungsmaschinen. Dies bestätigt auch die Einordnung ins Diagramm nach Cordier (1953).

Die Berichte zur Fischverträglichkeit lassen, vor allem im Vergleich zu herkömmlichen Turbinen, prinzipiell auf eine hohe Fischverträglichkeit schließen. Die WKS hat aufgrund der Strömungsverhältnisse das höchste Potential einen sicheren Abstieg zu gewährleisten und vom Fischbestand angenommen zu werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wasserkraftschnecke ist eine hocheffiziente, wartungsarme und ökologisch interessante Niederdrucktechnologie. Die Mehrzahl der befragten Betreiber ist sehr zufrieden mit der WKS. Probleme mit Vereisung und Lärmentwicklung wurden oft erst im Betrieb ernst genommen, aber bei fast allen Anlagen durch ähnliche Maßnahmen (wie Einhausung oder temporäre Abdeckung) kostengünstig gelöst. Die Wirkungsgradmessungen zeigten für jede Einzelanlage gleichmäßige Verläufe. Sechs überdurchschnittliche Anlagen erreichten Spitzenwirkungsgrade über 75 %. Bei Durchflüssen unter dem Auslegungsdurchfluss zeigten drehzahlgeregelte Anlagen mit Frequenzumrichter Vorteile in Bezug auf den Wirkungsgrad. Beim Auslegungsdurchfluss und bis 15 % darüber haben Anlagen mit Fixdrehzahl die besseren Wirkungsgrade, weil sie hydraulisch fast gleich effizient sind und ohne die Verluste eines Frequenzumrichters arbeiten.

Die unterschiedlichen Anpassungsmöglichkeiten der Drehzahl haben individuelle Vor- und Nachteile. Je nach Standort kann bei konstanter Restwasserdotation oder in Transportkanälen eine fixe Drehzahl, bei saisonab-



Technologie-Steckbrief

- ◆ quasi-hydrostatische Gleichdruck- Fluidenergiemaschine
- ◆ Erfinder: Karl-August Radlik (1991)
- ◆ Erste Anlagen: Deutschland (2001)
- ◆ Ausbaudurchfluss: 0,1 – 6 m³/s bis 12
- ◆ Fallhöhe: 1 – 6 m bis 10
- ◆ Leistungen: 2 – 200 kW bis 400
- ◆ Wirkungsgrad_{Turbine} 55 – 90 % bis 94
- ◆ Wirkungsgrad_{Anlage} 50 – 80 %
- ◆ Durchmesser: 0,5 – 4,5 m bis 6
- ◆ Drehzahl: 60 – 20 U/s bis 15
- ◆ Spezifische Kosten: 1800 – 8000 €/kW_{elek.} 0,45 – 2 €/(kWh*a)
- ◆ Anzahl Anlagen: > 300 weltweit in Betrieb (2013)
- ◆ Geplante Anlagen: > 250 in Vorbereitung (2013)
- ◆ Hersteller: (And)ritz Atro (AT/D), Rehart, (D), Spaans Babcock, Landustrie, (NL), Gess-CZ, Roncuzzi (IT), Dalian Lingfeng (China), Innovative Services (AT) u.a.

hängiger Restwasserdotation ein polumschaltbarer Asynchrongenerator (Nuernbergk et al., 2013) oder bei Einsatz als Hauptturbine eine Kombination mit Frequenzumrichter die beste Wahl sein.

Die Messungen an sieben unterschiedlichen Schneckenengeometrien zeigten erstaunlich hohe Wirkungsgrade und auch Verbesserungspotentiale gegenüber dem gegenwärtigen Stand der Technik auf. Für unregelmäßige und polumschaltbare Anlagen ist es besonders wichtig, die geeignete Geometrie für gleichmäßig hohe Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Durchflüssen und konstanter Drehzahl zu wählen.

Einzelwirkungsgrade sind ein Qualitätskriterium für eine Wasserkraftmaschine, jedoch nicht für eine Wasserkraftanlage. Um die optimale Dimensionierung zu erreichen ist unter Berücksichtigung der Investitionskosten, der ökologischen Randbedingungen und des Arbeitsvermögens der finanzielle Gewinn zu maximieren. Die Wirkungsgradangaben liefern eine notwendige Grundlage für diese Rechnung, sind jedoch für sich stehend nicht aussagekräftig genug.

Literatur:

- Lashofer A, Kaltenberger F, Pelikan B (2011) Wie gut bewährt sich die Wasserkraftschnecke in der Praxis? In: Wasserwirtschaft, 101(7-8), S 76-81
- Lashofer A, Hawle W, Kamp I, Kaltenberger F, Pelikan B (2012): State of technology and design guidelines for the archimedes screw turbine. In: The international Journal on Hydropower & Dams, Hydro 2012 Proceedings, Bilbao/Spain, Okt 29-31
- Lashofer A, Hawle W, Pelikan B (2013a) Betriebsbereiche und Wirkungsgrade der Wasserkraftschnecke. In: Wasserwirtschaft, 103(7-8), S 29-34
- Lashofer A, Hawle W, Kaltenberger F, Pelikan B (2013b) Die Wasserkraftschnecke – Praxis, Prüfstand und Potenzial. In: Österr Wasser- und Abfallw, 65, S 339-347
- Nuernbergk D, Lashofer A, Hawle W, Pelikan B (2013) Betriebsarten von Wasserkraftschnecken. In: Wasserwirtschaft, 103(7-8), S 35-40
- Schmalz W (2010) Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen – Abschlussbericht. Breitenbach
- Schmalz W (2011) Fischabstieg durch eine Wasserkraftschnecke an einem Ausleitungskraftwerk, In: Wasserwirtschaft, 101(7-8), S 82-87



Foto: Lashofer

Wasserkraftschnecke von Ritz-Atro im deutschen Röll

Auch die Zuströmbedingungen wirken sich stark auf die Wirtschaftlichkeit aus. Je nach vorhandener Geometrie und Betriebsweise können Altanlagen bis zu 2 % höhere Wirkungsgrade/Erträge erzielen.

Jede bestehende Schnecke kann, mit etwas Aufwand, in ihren individuellen Bedingungen optimal betrieben werden. Die maximale Jahresarbeit an einem gegebenen Standort erbringt eine WKS hingegen nur, wenn der Durchmesser und damit Durchfluss und Drehzahl aufeinander abgestimmt sind und in der Vorauswahl die Blattzahl, Neigung, Steigung und das Radienverhältnis für ihren besonderen Anwendungsfall sinnvoll gewählt wurden. Für eine rasche Amortisation müssen die Ausbau- (Q) und die Baugröße (D) in einer betriebswirtschaftlichen Rechnung zwischen Baukosten und Stromerträgen optimiert werden.

AUTOR

DI Alois Lashofer
Ingenieurbüro für Wasserkraft | A-3144 Wald
www.lashofer.at
lashofer.alois@gmx.at

AUTOR

Wasserkraftanlagen



Firma: Aqua Helica GmbH, Hauptstraße 9 a, 91469 Hagenbüchach
Ansprechpartner: Mattias Reinhardt, Georg Zeiler
Telefonkontakt: Tel +49 (0)9101 90208 0, Fax +49 (0) 9101 90208 29
Mail-, Webkontakt: mail@aquahelica.com, www.aquahelica.com



ANDRITZ Atro Wasserkraftschnecken
Über ein Jahrzehnt Energie aus Wasserkraft

ANDRITZ Atro GmbH
Max-Brod-Straße 2, 90471 Nürnberg
Tel.: +49 (911) 99 812 0
andritz-atro@andritz.com

www.andritz.com