

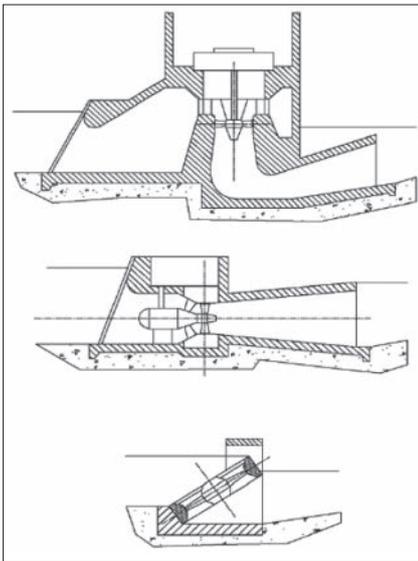
Lutz Juhrig

# Die Very-Low-Head-Turbine – Technik und Anwendung

Die Bezeichnung „VLH“ steht für „Very Low Head“ und so bezieht sich die „VLH-Turbine“ auf Anwendungen bei sehr kleinen Fallhöhen. Bisher stand bei Turbinen für Gefälle im Bereich von 1,4 bis 3,2 m im Focus, durch die Verkleinerung der Laufraddurchmesser, die Verminderung der Laufschaufelzahl und die damit verbundene Erhöhung des spezifischen Durchflusses, die Leistungsdichte zu erhöhen. Diese Entwicklung macht zwar die Turbine klein, jedoch Zu- und Ableitungsbauwerke mit immensen Ausmaßen notwendig. Damit ist eine wirtschaftliche Umsetzung nur in den wenigsten Fällen möglich. Die Grundidee des VLH-Konzeptes steht in unmittelbarem Widerspruch zu dieser Tendenz und hat zum Ziel, durch große Laufraddurchmesser und ein geringer spezifischer Durchfluss die Größe der Bauwerke und damit die Kosten wesentlich zu reduzieren. Im Beitrag wird auf die technischen Besonderheiten der VLH-Turbine näher eingegangen und über die Betriebserfahrung der letzten vier Jahre berichtet.

## 1 Das VLH-Turbinen-Konzept

Die Bezeichnung „VLH“ steht für „Very Low Head“ und so bezieht sich die „VLH-Turbine“ auf Anwendungen bei sehr kleinen Fallhöhen.



**Bild 1:** Vergleich der Bauwerksgröße von konventioneller Maschinenteknik und VLH-Technik: vertikale Kaplan-Turbine (oben), Kaplan-Rohrturbine (Mitte), VLH-Turbine (unten) [1]

Die klassischen Turbinentypen für Standorte mit niedrigem Gefälle, wie vertikale Kaplanturbinen, Kaplan-Rohr- oder Pit-Turbinen arbeiten mit großen spezifischen Durchflüssen und hohen Drehzahlen. Daher benötigen sie komplexe, große und teure Bauwerke, um das Wasser vom Einlauf zum Laufrad hin zu beschleunigen und dann die kinetische Energie am Laufradaustritt effizient zurückzugewinnen.

Das VLH-Turbinen-Konzept setzt dagegen auf große Laufraddurchmesser mit geringen spezifischen Durchflüssen und kleinen Drehzahlen. Die damit erreichten geringen Transportgeschwindigkeiten am Eintritt und Austritt der Turbine machen ein aufwändiges Bauwerk unnötig. Damit kann man sogar auf ein ausgeprägtes Saugrohr verzichten, wie es bei Kaplan- und Rohrturbinen zum Erzielen eines guten Wirkungsgrades besonders wichtig ist.

Der Vergleich mit der konventionellen Maschinenteknik (**Bild 1**) zeigt das vereinfachte Design und die Auswirkung auf die Bauwerksgröße. Die drei Beispiele sind im gleichen Maßstab dargestellt, haben die gleiche Fallhöhe und verarbeiten denselben Durchfluss. Der Aufwand und die Komplexität für die Bautechnik für die einzelnen Typen sind deutlich zu erkennen.

## 2 Konstruktiver Aufbau der VLH-Turbine

### 2.1 Grundkonzept

Bei der VLH-Turbine handelt es sich um eine Turbinen-Generatorengruppe, die eine in sich geschlossene Einheit darstellt (**Bild 2**). Für den definierten Fallhöhenbereich von 1,4 bis 3,2 m und eine Klemmenleistung von max. 500 kW werden Maschinengruppen in fünf standardisierten Größen (3 150, 3 550, 4 000, 4 500 und 5 000 mm Laufraddurchmesser) angeboten. Der Maschinensatz wird je nach Gefälle mit einer Neigung von ca. 45° in das Turbinengerinne eingebaut.

Die wesentlichen Merkmale der VLH-Turbine sind:

- großer Laufraddurchmesser mit geringem spez. Durchfluss,
- dadurch geringe Drehzahl,
- Drehzahl variabel,
- Kaplan-Laufrad mit 8 drehbaren Laufradschaufeln,
- Leitapparat mit 18 festen Leitschaufeln,
- permanent erregter Generator,
- direkte Kupplung Generator-Laufrad,
- kein Einlaufbauwerk und kein Saugrohr,
- in den Leitapparat integrierter Einlaufrechen mit Rechenreiniger,

- stabile Tragkonstruktion als Gitterstruktur und
  - fischfreundliches Design [1].
- Durch die kompakte Bauart der VLH können die wesentlichen Komponenten im Werk vormontiert und geprüft werden. Auf der Baustelle werden die für den Transport zerlegten Komponenten (Bild 3) lediglich wieder zusammengebaut und die gesamte Gruppe mit dem Autokran eingehoben.

Da sich die Maschine im Betrieb komplett unter Wasser befindet, ist sie mit einer Hubvorrichtung ausgestattet, die es erlaubt, sie aus der Betriebsstellung heraus in eine horizontale Servicestellung zu schwenken. Durch diese Konstruktion, bei der das Schwenklager oberhalb des Oberwassers liegt, gibt es außer den Ankerplatten für die oberen und unteren Auflager keine Erstbetonteile. Aufwändige und teure Holzschalungen (Saugrohr, Halbspirale) werden nicht benötigt. Der Betonbau kann daher unabhängig von der Turbinenfertigung stattfinden.

## 2.2 Der Leitapparat (Turbinengehäuse)

Der Leitapparat besteht aus 18 feststehenden Leitschaufeln. Auf der Ebene der Leitschaufel-Eintrittskante, zwischen den Leitschaufeln, sind je 3 Stück Flacheisen eingeschweißt. Diese dienen als Grobrechengitter.

Innerer und äußerer Leitradring sind über die Leitschaufeln sowie das Rechengitter verbunden und in eine quadratische Rahmenkonstruktion eingeschweißt. Am äußeren Leitradring schließt der Laufradmantel an, der halbkugelig profiliert ist. Diese Formgebung gilt als fischfreundlich, da sich beim Verstellen der Laufradschaufeln keine veränderlichen Spalte ergeben.

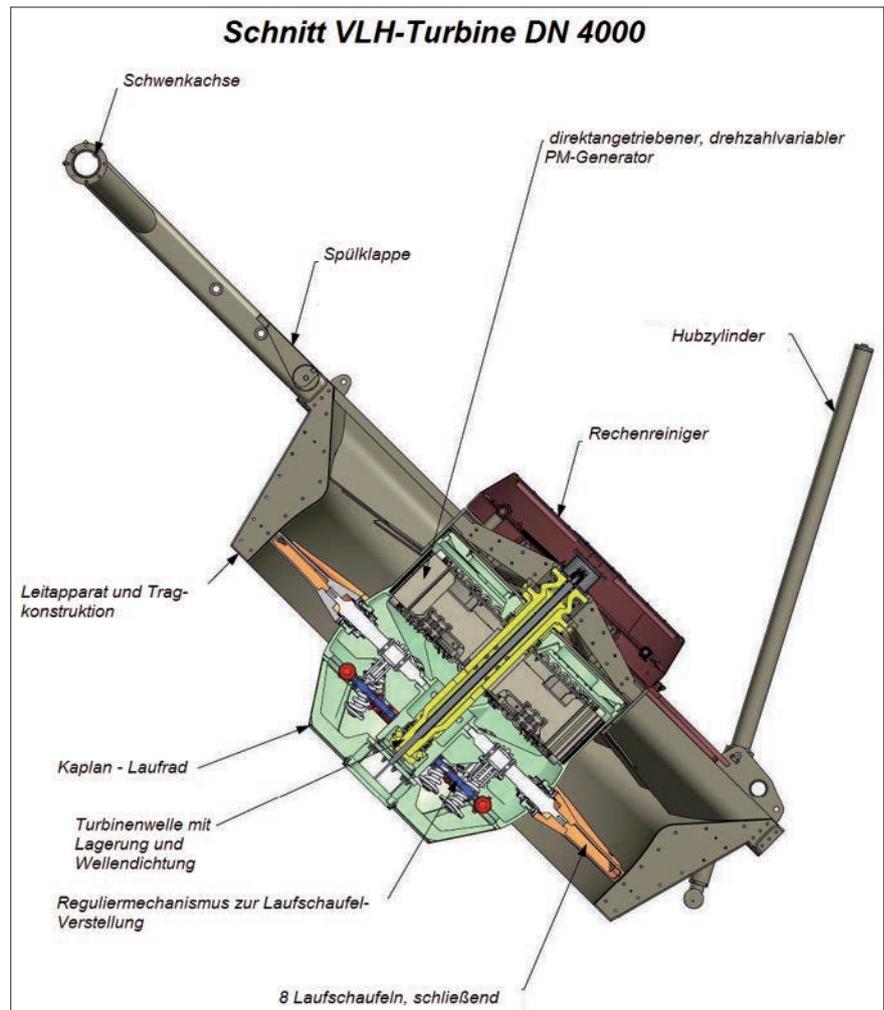


Bild 2: Schnitt Turbinen-Generatorengruppe [1]

Der innere Leitradring dient zur Aufnahme der Turbinenachse, auf der das Laufrad befestigt wird. Ein Saugrohr in der bekannten Form gibt es bei der VLH-Turbine nicht, da die Austrittsgeschwindigkeit mit unter 2 m/s sehr gering ist. Le-

diglich eine Verbindung zwischen Gehäuse und Unterwasser als Halbschale aus Stahl ist notwendig, um das Wasser aus dem Laufrad ins Unterwasser zu leiten.

Die gesamte Konstruktion ist ein selbsttragendes Turbinengehäuse. Über zwei



Bild 3: Das für den Transport geteilte Turbinengehäuse einer VLH [1]

seitliche Träger und ein stabiles Oberrohr wird die Rahmenkonstruktion schwenkbar auf den über dem Wasserspiegel angeordneten Schwenklagern aufgelegt.

### 2.3 Rechenreiniger und Spülklappe

Oberwasserseitig ist ein mehrarmiger, rotierender Rechenreiniger zentral am inneren Leitradring montiert. Die Reinigungsarme überstreichen die von Leitschaufeln und Grobrechengitter gebildete Ebene und befördern das Schwemmgut an die Wasseroberfläche. Auf der oberen Quertraverse des Leitapparates ist eine Spülklappe (Bild 2) aufgesetzt, mittels der das Schwemmgut ins Unterwasser abgespült wird. Während des Reinigungsvorganges wird der Durchfluss der Turbine automatisch reduziert und damit das Entfernen des anliegenden Schwemmgutes durch den Reiniger erleichtert. Rechenreiniger und Spülklappe werden ölhydraulisch betrieben.



Bild 4: Das zusammengebaute Laufrad der VLH-Turbine [1]

### 2.4 Das Laufrad mit dem PM-Generator

Das Laufrad besteht aus einer Laufradnabe mit 8 beweglichen Kaplanschaufeln (Bild 4). Das Design für die Laufradschaufeln wurde unter Berücksichtigung der Besonderheiten dieses neuen Turbinen-

typs am Institut National Polytechnique (INPG) von Professor J. L. Kueny in Grenoble entwickelt.

Die Laufradschaufeln haben in jeder Stellung Schließetendenz und beitzen eine

Schließkante. Das heißt, dass beim Schließen des Laufrades der Durchfluss nahezu auf Null reduziert werden kann und die Maschine ohne Bremsenrichtung zum Stillstand kommt. Federelemente in den

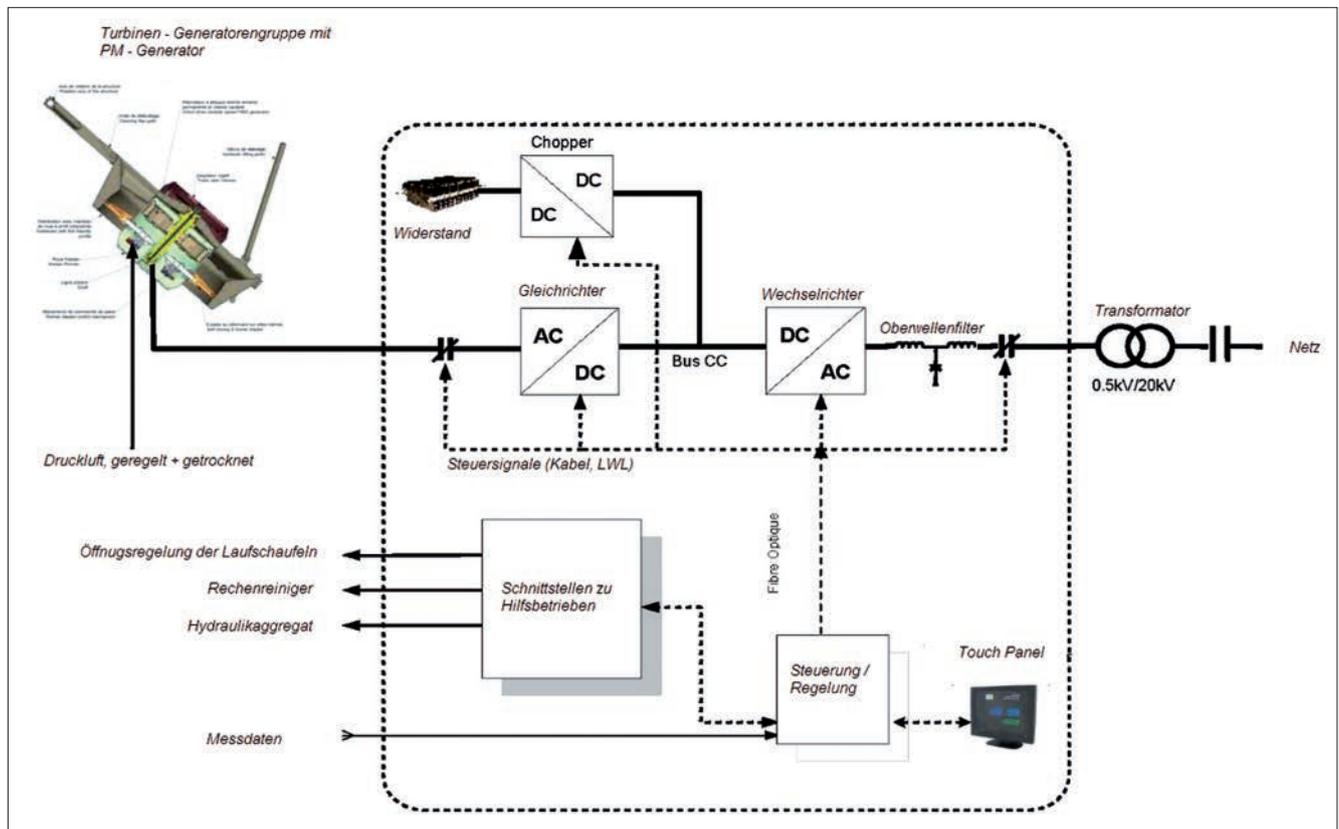


Bild 5: Anbindung des Generators über den Frequenzumrichter an das öffentliche Netz [1]

**Tabelle 1: Akzeptable Kriterien für fischfreundliche Turbinen nach Odeh [1] im Vergleich zu den Werten der VLH-Turbine**

	Akzeptabel	VLH-Turbine
Umfangsgeschwindigkeit	12 m/s	4,5 bis 8 m/s
Min. Druck in der Turbine	69 kPa	94 kPa
Max. Druckgradient	<550 kPa/s	80 kPa/s
Max. Geschwindigkeitsgradient	<180 m/s/m	10 m/s/m
Laufradspalt	2 mm	4,5 mm (bei D1 = 5 000 mm)

Laufschaufel-Lenkern verhindern eine Beschädigung der Verstellmechanik beim Einklemmen eines Fremdkörpers zwischen zwei Laufschaufeln.

Auf der Innenseite der Nabe sind die Permanentmagneten des Generators in einem Läufer ring montiert. Der Stator ist auf der Turbinenachse befestigt. Die Maschine ist Umluft gekühlt. Die im Inneren des Generators erwärmte Luft zirkuliert in der Nabe und kühlt am Wasser umflossenen Nabenmantel ab. Die Laufnabe ist mit getrockneter Druckluft beaufschlagt. Der Druck wird auf ca. 0,2 bis 0,3 bar oberhalb des höchsten OW-Druckes eingeregelt.

Hierdurch wird sichergestellt, dass auch bei Undichtigkeiten kein Wasser in die Nabe eintreten kann.

Die Generatordrehzahl kann verändert werden. Damit ist es möglich, die Turbine bei Fallhöhenchwankungen im Bereich ihres Optimums zu betreiben.

Die Turbine läuft bis ca. 40 % des nominalen Gefälles ohne Wirkungsgradverlust. Damit ist sie hinsichtlich der am

Standort zu erzeugenden Jahresarbeit mit einer doppelt regulierten Kaplanmaschine vergleichbar. Das **Bild 5** zeigt das zusammengebaute Laufrad der VLH-Turbine.

### 2.5 Der Frequenzrichter

Der Generator wird über einen Frequenzrichter (Bild 5) mit dem öffentlichen Netz gekoppelt. Der Umrichter besteht aus einem Leistungsgleichrichter, einer Kondensatorbank und einem Wechselrichter, der ein 50-Hz-Signal liefert. Die Frequenzrichter, die mit der VLH eingesetzt werden, entstammen einer Standardbaureihe von ABB. Hierbei handelt es sich um eine ausgereifte und zuverlässige Technik.

### 2.6 Regelung und Maschinenautomatik

Zur VLH-Turbine gehört eine Regel- und Steuereinheit, basierend auf einer Standard-SPS auf der Basis Simatic S7. Diese übernimmt alle Regelungs- und Steuerungsaufgaben. Über ein Touchpanel kann die Maschine bedient und parametrisiert werden.

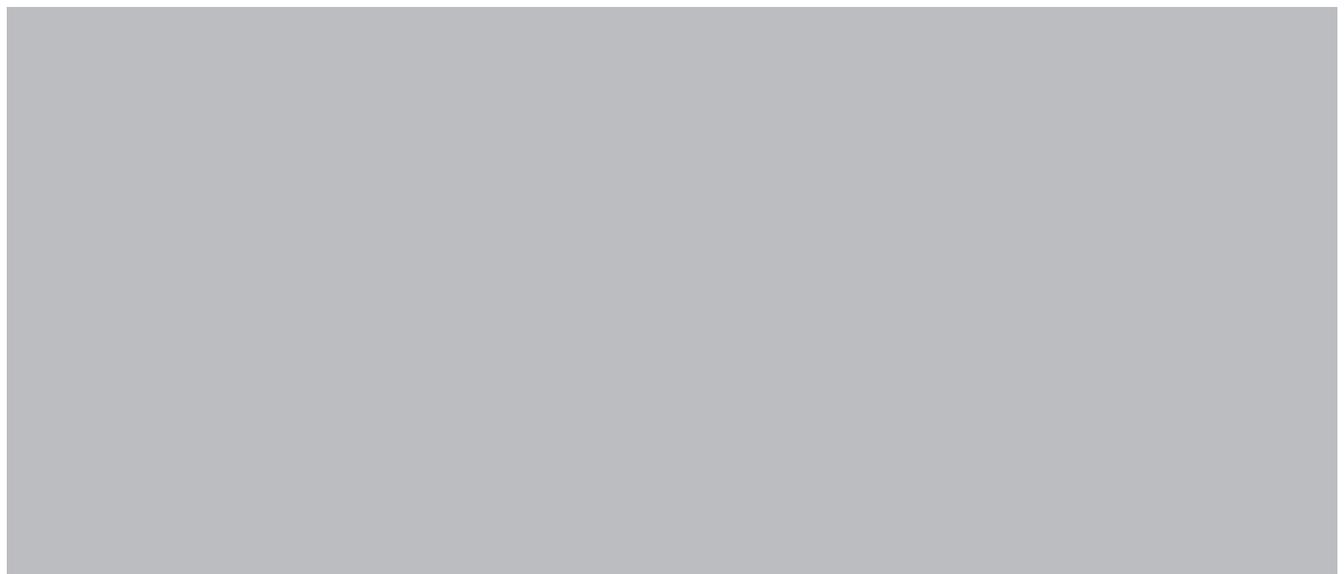
**Bild 6: VLH-Turbine in Service-Position [1]**

Ein Modem verbindet die Maschine über Internet mit der Außenwelt. Es kann vom Bediener jederzeit auf das System zugegriffen werden. Betriebs- und Störmeldungen werden angezeigt und gespeichert, zudem findet im Störfall eine automatische Benachrichtigung des Bedienungspersonals über Telefon statt.

### 2.7 Hilfsbetriebe

Die Hilfsenergie für die Schaufelblattverstellung, den Rechenreiniger und die Spülklappe wird über ein Hydraulikaggregat bereitgestellt. Ein Kompressor mit Kältetrockner versorgt die Laufnabe mit Pressluft. Beide Systeme gehören zur Standardausrüstung der Maschinengruppe.

ANZEIGE



Lutz Juhrig

### VLH-Turbine – Technology and Application

The name VLH stands for "Very Low Head", and so the VLH turbine refers to applications with very low heads. Previously, for turbines designed for heads in the range of 1.4 to 3.0 m the focus was the decrease of runner diameter, reduction of the number of runner blades and thus the increase of the specific discharge to increase the power density. While this development makes the turbine small, however, the necessary dimensions of the buildings grow up to immense proportions. Thus a commercial implementation is possible only in a few cases. The basic idea of the VLH-concept is in direct contradiction to this trend and aims, through large runner diameter and a low specific discharge the substantially reduction of size of the buildings and therefore the costs. The article amplifies on the technical characteristics of the VLH turbine and reports more detailed about the operational experience of the last four years.

**Hinweis für die Autoren:  
Die Übersetzung ins Russische wird  
verlagsseitig vorgenommen!**

### 2.8 Fischfreundliches Design

Bei der Optimierungsarbeit von Professor Kueny am INPG wurden bereits Ergebnisse einer Studie des Idaho National Engineering and Environmental Laboratory über Kriterien für fischfreundliche Turbinen berücksichtigt [2], die in **Tabelle 1** im Vergleich zu den Werten der VLH-Turbine aufgeführt sind.

Bis auf den Laufradspalt wurden alle Forderungen gut erreicht. Zur Bestätigung dieser Ergebnisse in der Praxis wurden seit Inbetriebsetzung der ersten VLH-Turbinen in Millau/Frankreich drei Fischtests durchgeführt und die Maschine auf Basis der dabei erlangten Erkenntnisse stetig verbessert.

Angemerkt sei, dass in Frankreich, Italien, Belgien und Polen die VLH-Turbine zwischenzeitlich als fischfreundlich anerkannt ist und uneingeschränkt mit dem

integrierten Grobrechen-/Rechenreiniger-Konzept ohne zusätzlichen Feinrechen betrieben werden kann.

### 3 Anwendung

Aus den Erkenntnissen einer Gruppe von Kleinwasserkraft-Spezialisten entstand die Idee für das Konzept der VLH-Turbine. Nach der Patentanmeldung 2003 in Frankreich wurde 2004 die MJ2-Technologies S.A.R.L mit dem Ziel gegründet, diese Turbine zu entwickeln, zu vermarkten und schließlich zu produzieren.

Im Jahr 2006 wurde an der LAVAL-Universität in Quebec, Kanada, ein Modellversuch mit einer VLH durchgeführt [3], wobei der gute hydraulische Wirkungsgrad der Turbine von ca. 90 % im Optimum (für Laufraddurchmesser 4 500 mm)

bestätigt werden konnte. Bereits im März 2007 konnte die erste VLH-Turbine in Millau/Frankreich in Betrieb genommen werden (**Bild 6**).

Seitdem wurden 14 Maschinen in Betrieb genommen und 8 weitere befinden sich im Bau.

### 4 Zusammenfassung

Bei der Entwicklung der VLH-Turbine wurde streng wissenschaftlich vorgegangen. Nachdem das Basisdesign numerisch mittels CFD optimiert war, wurde an der Laval University, Quebec, Canada ein Modeltest in einem eigens dafür gebauten Prüfstand durchgeführt. Seitdem wurden 14 Maschinen in Betrieb genommen und 8 weitere befinden sich im Bau.

#### Autor

**Dipl.-Ing. Lutz Juhrig**

Stellba Hydro GmbH & Co KG

Eiffelstr. 4

D-89542 Herbrechtingen

L.Juhrig@stellba.de

#### Literatur

- [1] Very Low Head Turbine, www.vlh-turbine.com, 2011.
- [2] Odeh, M.: A Summary of Environmentally Friendly Turbine Design Concepts. United States Geological Survey – BRD S.O. Conte Anadromous Fish Research Center, Turners Falls, Massachusetts, 1999.
- [3] Fraser, R.; Deschênes, C.; O'Neil, C.; Leclerc, M.: Development of a new turbine for very low head. In: Waterpower XV, Conference Publications, 2007, Paper No. 157.



**Anzeigen-Service  
(0611) 7878 338**