



Abschlußbericht

„Entwicklung einer mobilen Wasserturbine für die Flussenergienutzung“

Zuwendungsempfänger: HS Merseburg (FH)

Fachbereich: Ingenieur- und Naturwissenschaften (INW)

Prof. Dr.-Ing. habil. Dominik Surek

Förderung: BMBF ProfUnt

Förderkennzeichen: 17078X10

Laufzeit: 01.09.2010 bis 31.08.2013 bis 31.01.2015

Projektpartner Industrie: Netzwerk Technologiekompetenz Flussstrom
Magdeburg

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dominik Surek

Dipl.-Ing. Silke Stempin

B.Eng. Michael Richter

Seitenzahl: 1 bis 25 mit 27 Abbildungen

Merseburg, Mai 2015

ISBN: 978-3-942703-39-0

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I Kurze Darstellung zu	3
1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	3
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	5
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II Eingehende Darstellung	6
1 der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	6
2 der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	18
3 der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	18
4 des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwendbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	18
5 des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,	19
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6	20
III Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurzgefasster Erfolgskontrollbericht beizufügen, der nicht veröffentlicht wird. Dieser muss darstellen	21
1 den Beitrag des Ergebnisses zu den Förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms – (ggf. unter Angabe des Schwerpunktes) – soweit dies möglich ist	21
2 das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen	22
3 die Fortschreibung des Verwertungsplanes. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden)	23
4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	24
5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer – z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)	24
6 die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	24
IV Mit dem Schlussbericht ist außerdem eine „Kurzfassung“ (Berichtsblatt) des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts nach den dem Zuwendungsbescheid beigefügten „Hinweisen zur Ausfüllung des Berichtsblattes“ vorzulegen	25

I Kurze Darstellung zu

1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Forschungsprojektes bestand in der Planung, Berechnung und Entwicklung von mindestens zwei hydrokinetischen Wasserturbinen, mit denen die kinetische Energie der Strömung c der Größe $c^2/2$ genutzt und in einem Generator in elektrische Energie umgesetzt werden kann. Es wurden drei hydrokinetische Turbinen entwickelt, gebaut und erprobt. Die Elektroenergieerzeugung soll bei Strömungsgeschwindigkeiten im Fluss von $c = 1$ m/s bis 3,5 m/s und wenn möglich auch darüber erfolgen. Die spezifische hydrokinematische Energie bei diesen Strömungsgeschwindigkeiten beträgt $c^2/2 = 0,5$ J/kg bis 6,23 J/kg. Höhere Leistungen bei hydrokinetischen Turbinen werden also nicht aus der spezifischen Energie $Y = c^2/2$ sondern vorwiegend aus dem durchgesetzten Massestrom $\dot{m} = \rho \dot{V}$ zu gewinnen sein. Die hydraulische Leistung ergibt sich aus $P = \dot{m} Y = \rho \dot{V} c^2/2$ sodass die hydrokinetischen Turbinen mit großen Volumenströmen beaufschlagt werden müssen.

Zur Aufgabenstellung gehören:

- Berechnung und Entwicklung der neuen Wasserturbinen
- Konstruktion von Turbinenaggregaten
- Bau von drei Versuchsmusteraggregaten
- Erprobung der Funktionsmusteraggregate und Funktionsnachweis
- Auswertung und Darstellung der Erprobungsergebnisse

Diese Aufgaben wurden in der Projektlaufzeit vom 01.09.2010 bis 31.01.2015 vollständig erfüllt.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

- Voraussetzung für die Berechnung und Entwicklungen waren die Fachkenntnisse und die Vorhandenen Vorarbeiten über Wasserturbinen für geringe Leistungen ohne Staustufe im Fluss.
- Eine weitere wesentliche Voraussetzung waren die industriellen Kooperationspartner des Projektleiters (Zuwendungsempfänger) für den Bau und die Erprobung der Funktionsmuster. Das waren zu Beginn die Firmen KSB, WILO, SIBAU Genthin und Fraunhofer-Institut IFF Magdeburg. Im Laufe der Bearbeitung kamen weitere Kooperationspartner hinzu, sodass schließlich ein Netzwerk Flussstrom mit 26 Firmen und 4 Instituten gebildet wurde (Tabelle 1).
- Eine dritte Voraussetzung für die Bearbeitung war die Erweiterung des Wasserturbinenkennfeldes, in dem die hydrokinetischen Turbinen unterhalb der 1912 bis 1914 erfundenen und patentierten Axialturbinen von Herrn Kaplan für geringe Gefällehöhen von $H = 1,5$ m bis 25 m und große Volumenströme entwickelt wurden, die heute als Kaplan turbinen bekannt sind.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

In der Planungsphase des Vorhabens wurde ein Arbeitsplan, ein Zeitplan und ein Kostenplan erstellt, der die Richtschnur für die gesamte Bearbeitungszeit darstellte. Der Arbeitsplan ist in wesentliche Aufgabenteile aufgegliedert und er wurde im Verlauf der Bearbeitung zwei Mal untersetzt mit entsprechenden Präzisierungen der gestellten Termine. Der Arbeitsplan musste auch durch Verzögerungen in der experimentellen Erprobung zwei Mal mit der Zustimmung von PtJ korrigiert werden. Diese Verzögerungen im Erprobungsbeginn waren nicht durch den Zuwendungsempfänger verursacht, sondern lagen im Netzwerk Flusswasserturbinen und bei dem für die Erprobung vorgesehenen Unternehmen begründet.

Tabelle 1 Firmen und Institute im Netzwerkes Flussstrom

SIBAU Genthin GmbH & Co. KG

Kontakt: Heinrich Baumgärtel
Industriepark Am Werder
D-39307 Genthin
Telefon: 03933 - 87 09 25, Fax: - 39
Mail: heinrich.baumgaertel@sibau-genthin.de
Internet: www.sibau-genthin.de



KRAUSE Ingenieurbüro für Bauplanung

Kontakt: Heiko Krause
Hochzeitsweg 2
D-08547 Plauen-Jößnitz
Telefon: 03741 - 71 91 58, Fax: - 52 88 07
Mail: post@krause-plauen.de
Internet: www.krause-plauen.de



HESSELAND Wasserradmanufaktur

Kontakt: Raik Hesse
Gewerbegebiet
D-06647 Bad Bibra
Telefon: 039465 - 20 36 8, Fax: - 21 44 2
Mail: info@hesseland.de
Internet: www.hesseland.de



EHG - Energie Handel GmbH

Kontakt: Heinrich Schmidt
Adelheidstr. 4/5
D-30171 Hannover
Telefon: 0511 300 80 - 20, Fax: - 25
Mail: ehg.energie.h@t-online.de
Internet: www.e-h-g.net



Ramme-Elektro-Maschinen-Bau GmbH

Kontakt: Dr. André Ramme
Ziegeleiweg 3
D-38835 Osterwieck
Telefon: 039421 69 50 - 0, Fax: - 50
Mail: info@ramme.de
Internet: www.ramme.de



**Forschungsgesellschaft für Technische Mechanik
FEMCOS - Ingenieurbüro mbH**

Kontakt: Dipl.-Ing. Hans Baumgarten
Herrenkrugstraße 9
D-39114 Magdeburg
Telefon: 0391 811 04 18, Fax: -23
Mail: hans.baumgarten@femcos.de
Internet: www.femcos.de



Smart Hydro Power GmbH

Kontakt: Dr. Karl Reinhard Kolmsee
Alte Traubinger Str. 17
D-82340 Garatshausen
Telefon: 08158 907 897 11, Fax: -17
E-Mail: karl.kolmsee@smart-hydro.de
Internet: www.smart-hydro.de



**MariKom - Maritimes Kompetenzzentrum für
industriennahe Forschung in der Meerestechnik
GmbH**

Kontakt: Christian Semlow
Friedrich-Barnewitz-Str. 3
D-18119 Rostock
Tel.: 0381 498-9231, Fax: -1733
E-Mail: christian.semlow@uni-rostock.de
Internet: www.mariKom.uni-rostock.de/



An-Institut Fluid- und Pumpentechnik

Kontakt: Prof. Dr.-Ing. habil. Dominik Surek
Geusaer Straße
D-06217 Merseburg
Telefon: 03461 46 29 29, Fax: - 65
E-Mail: dominik.surek@hs-merseburg.de
Internet: www.hs-merseburg.de



Technische Firmenberatung Lothar Eisenbart

Kontakt: Lothar Eisenbart
Wiesengrund 6
D-39524 Schönhausen
Telefon: 039323 75 221, Fax: -154
E-Mail: technische-firmenberatung@l-eisenbart.de
Internet: www.l-eisenbart.de



GMO Gleitlager und Metallverarbeitung GmbH

Kontakt: Heiko Döppelheuer
Ziegeleiweg 3
D-38835 Osterwieck
Telefon: 039421 6197 0, Fax: - 130
Mail: info@gmo-gleitlager.de
Internet: www.gmo-gleitlager.de



D-I-E Elektro AG (EAG)

Kontakt: Ronny Schultz
Göschwitzer Straße 56
D-07745 Jena
Telefon: 03641 29 34 567, Fax: -767
Mail: ronny.schultz@die-eag.com
Internet: www.die-eag.com



ENERTAINER Energy GmbH

Kontakt: Heiko Krause
Sandtorstraße 23
D-39106 Magdeburg
Telefon: 0391 544 869 2-15, Fax: -14
Mail: info@enertainer-energy.de
Internet: www.enertainer-energy.de



Frank Gnisa Architekt

Kontakt: Dipl.-Ing. Frank Gnisa
Auf der Maine 6
D-30880 Laatzen
Telefon: 05102 8489279 / 0178-1388824
Mail: gnisa@gmx.de



New - erneuerbare Energien GmbH

Kontakt: Heinrich Schmidt
Goethestraße 3
D-39108 Magdeburg
Telefon: 0391 819 01 12
Fax: 0511 300 80 25



**IAI GmbH Institut für Automatisierung und
Informatik GmbH**

Kontakt: Prof. Dr. Klaus-Dietrich Kramer
Dombergsweg 2
D-38855 Wernigerode
Telefon: 03943-6259-746, Fax: -747
Mail: kontakt@iai-wr.de
Internet: www.iai-wr.de



Metalltechnik Götz Lamm & Co. OHG

Kontakt: Dipl.-Ing. Götz Lamm
An der Elmbrücke
D-01558 Großenhain
Telefon: 03522 364 12, Fax: - 20
E-Mail: G.Lamm@metalltechnik-grossenhain.de
Internet: www.metalltechnik-grossenhain.de



**OvG Universität Magdeburg - Institut für elek-
trische Energiesysteme (IESY)**

Kontakt: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Gebäude 03, Universitätsplatz 2
D-39106 Magdeburg
Telefon: 0391 67 18 67 9, Fax: - 12 48 1
E-Mail: thomas.schallschmidt@ovgu.de
Internet: www.iesy.ovgu.de



**Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung IFF**

Kontakt: Prof. E. h. Dr.-Ing. Gerhard Müller
Sandtorstraße 22
D-39106 Magdeburg
Telefon: 0391 40 90 - 401, Fax: - 445
E-Mail: gerhard.mueller@iff.fraunhofer.de
Internet: www.iff.fhg.de



**Helmut Winterfeld
Patentinhaber "Förderbandtechnik zur Stromerzeu-
gung" u.a.**

Kontakt: Helmut Winterfeld
Tannhöfer Allee 24
D-19061 Schwerin
Telefon: 0385 56 84 54, Fax: -12 05
E-Mail: hmw.schwerin@arcor.de

Ingenieurbüro Hartmuth Drews

Kontakt: Hartmuth Drews
Schnefelder Landstr. 58
D-25421 Pinneberg
Telefon: 04101 85 17 - 88, Fax: - 89
Mail: hartmuthdrews@alice-dsl.de
Internet: www.wasserrad-drews.de



BÄNECKE - Industrieservice und Wasserkraft

Kontakt: Henning Bänecke
Tannenstraße 6
D-38875 Königshütte
Telefon: 039454 - 43 14 8, Fax: - 89 94 9
Mail: info@baenecke-harz.de
Internet: www.baenecke-harz.de



Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH

Kontakt: Prof. Dr. habil. Olaf Mietz
Schlunkendorfer Str. 2e
D-14554 Seddiner See
Telefon: 033205 710 10, Fax: -621 61
Mail: Olaf.Mietz@iag-gmbh.info
Internet: iag-gmbh.info



Aquapower GmbH

Kontakt: Heinrich W. Ochs
Kirchberger Str. 2
D-55481 Rödern / Hunsrück
Telefon: 06763/30388-0, Fax: -50
Mail: Schielautomation@aol.com
Internet: www.aquapower-mainz.de



Rommel Talleres Metalúrgicos S.A.

Kontakt: Gerardo Rommel
Peralta Ramos 4886
B1611 GCB Buenos Aires
Telefon: 0421 3491008
Mail: gerardo.rommel@t-online.de
Internet: www.rommel.com.ar



MARTIN Group AG

Kontakt: Peter Koch
Lagerstraße 30
CH-9470 Buchs
Telefon: 04181 7501188
Mail: pk@martingroup.ch
Internet: www.martingroup.ch



ecoligent

Kontakt: Dipl.-Ing. Klaus Petrasch
Tröbigauer Str. 1a
D-01877 Schmölln-Putzkau / OT Schmölln
Telefon: 03594 71 79 96
E-Mail: klaus.petrasch@ecoligent.com
Internet: www.ecoligent.com



**OvG Universität Magdeburg - Lehrstuhl für
Strömungsmechanik und Strömungstechnik**

Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Gebäude 14, Universitätsplatz 2
D-39106 Magdeburg
Telefon: 0391-67 18570, Fax: -12840
E-Mail: thevenin@ovgu.de
Internet: www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/



Metropolstrom-NW GmbH

Kontakt: Arno Lauhöfer
Am Krautgarten 12
D-67435 Neustadt/W.
Telefon: 06321/9638-112, Fax: - 113
E-Mail: info@metropolstrom.de
Internet: www.metropolstrom.de



**OvG Universität Magdeburg - Institut für Mobile
Systeme (IMS)**

Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Roland Kasper
Gebäude 10, Universitätsplatz 2
D-39106 Magdeburg
Telefon: 0391 67 18 60 7, Fax: - 12 65 6
E-Mail: roland.kasper@ovgu.de
Internet: www.ovgu.de/ims



4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zu Beginn der Bearbeitung des Projektes gab es noch keine hydrokinetischen Turbinen. Bei Bearbeitungsaufnahme des Projektes in Merseburg wurde auch etwa zu gleicher Zeit an drei anderen Forschungseinrichtungen an der Universität Stuttgart, in Österreich in Krems an der Donau und bei KSB Frankenthal mit der Entwicklung hydrokinetischer Wasserturbinen begonnen, wie später im Jahr III/2011 ermittelt werden konnte. Das führte dazu, dass im Jahr 2012 weltweit fünf unterschiedliche konstruktive Lösungsvorschläge für hydrokinetische Turbinen vorlagen.

Das waren die Lösung des Instituts IHS in Stuttgart, die Lösung von Aqua Libre in Österreich, die Lösung von KSB Frankenthal, die Merseburger Lösung und die Lösung der Firma Hydro Green Energy in USA.

Ein weiterer Grund an den bei der Entwicklung angeknüpft wurde, war die untere Begrenzung des Wasserturbinenkennfeldes durch die Kaplan-turbinen, die in den Jahren 1912 bis 1914 von Herrn Kaplan in Brünn für Gefällehöhen von $H = 1,5 \text{ m}$ bis 25 m und große Volumenströme mit Laufraddurchmessern von $d_2 = 1,5 \text{ m}$ bis $d_2 = 12,0 \text{ m}$ und Leistungen bis 58 MW entwickelt wurden. Seitdem gab es außer der Ossbergerturbine (1933) als teilbeaufschlagte Turbine und der Brümmer-Überdruckturbine (1993) keine Neuentwicklungen. So war es folgerichtig in dem unteren Gefällehöhenbereich $H \approx 0 \text{ m}$ die hydrokinetische Wasserturbine zu entwickeln, die nur die kinetische Energie von Flüssen mit Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 1 \text{ m/s}$ bis $c = 3,5 \text{ m/s}$ und spezifischen Energien von $c^2/2 = 0,5 \text{ J/kg}$ bis $6,23 \text{ J/kg}$ nutzt und die Leistung im Bereich bis 300 kW durch entsprechend große Massedurchsätze von $\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho c A = \rho c \pi d_2^2 / 4$ erreicht. Alle vier Bauarten stellen Gehäuseturbinen mit einem nachgeschaltetem Diffusor dar.

Die genutzte Fachliteratur dafür bestand in folgenden Werken:

- Raab, Joachim (1989) Hydraulische Maschinen und Anlagen, 2. Auflage, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf.
- Böge, G. (2009) Taschenbuch Maschinenbau, Kap. Wasserturbinen, Vieweg Verlag Wiesbaden

Die ersten Aufsätze über hydrokinetische Turbinen wurden in den Jahren 2009 und 2011 von D. Surek und S. Stempin verfasst:

- Surek, D. (2009) Einsatzbereiche von mobilen Flusswasserkraftwerken, Wasserkraft & Energie 4/2009, S. 2-19, Verlag Moritz Schäfer GmbH & Co. KG, Detmold
- Surek, D.; Stempin, S. (2011) Dimensionslose Kennzahlen und Cordierdiagramm für mobile Flusswasserturbinen; Wasserkraft und Energie 3/2011, S.14-26, Verlag Moritz Schäfer GmbH & Co. KG, Detmold

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit begann mit dem Institut IHS der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut IFF Magdeburg. Im Jahr 2010 wurde ein Netzwerk Flussstrom in Magdeburg mit zunächst 14 Firmen und 3 Instituten gegründet. Dieses Netzwerk wuchs nach 2 Jahren der Kooperation auf 30 Teilnehmer mit 26 Firmen unterschiedlicher Branchen und 4 Instituten. Die Hochschule Merseburg und das An-Institut gehörten zu den Gründungsmitgliedern. In der Tabelle 1 auf Seite 4 sind alle Mitglieder des Netzwerkes Flussstrom angegeben.

II Eingehende Darstellung

1 der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Zuwendungen in Höhe von 259.946,00 € wurden nach der Ermittlung des wissenschaftlichen und technischen Entwicklungsstandes entsprechend dem Arbeits- und Kostenplan für folgende Arbeiten verwendet:

- Berechnung und Auslegung des axialen Turbinengitters für die Laufschaufeln und das einfache Leitschaufelgitter für die Aufnahme der Turbinenlager
- Konstruktion des axialen Lauf- und Leitrades und der hydrokinetischen Turbine
- Technologische Aufbereitung der hydrokinetischen Turbine, einschließlich der Schaufelgitter für die mechanische Fertigung
- Fertigung von zwei Schaufelgittern und der hydrokinetischen Turbinen bei der Firma WILLO SE und einer Turbine bei der Firma KSB unter Verwendung der vorhandenen Planetengetriebe und der Unterwassergeneratoren
- Experimentelle Erprobung der hydrokinetischen Turbinen auf einem Fluss: Elbe und auf dem Elbe-Havel-Kanal mit dem Vector der Firma Sibau in Genthin (Abb. 1 und 2) und die experimentelle Erprobung in dem Wasserringkanal an der TU Berlin (Abb. 3).
- Auswertung der Versuchsergebnisse der drei hydrokinetischen Turbinen für elektrische Leistungen der Turbinen von $P_{el} = 2,1$ bis 3,95 kW.



Abb. 1: Versuchsplattform Vector der Firma Sibau in Genthin



Abb. 2: Axialturbine TR 75-2.19-4/16 mit 3 Schaufeln an der Haltevorrichtung der Versuchsplattform Vector



Abb. 3: Ringwasserkanal (UT2) in Berlin, Müller-Breslau-Straße (Schleuseninsel)

Damit sind die Leistungen von drei Versuchsmustern hydrokinetischer Turbinen und des Funktionsnachweises und später noch mit zwei weiteren gebauten und erprobten hydrokinetischen Turbinen mit 250 % übererfüllt. Die experimentelle Untersuchung zeigt, dass die hydrokinetischen Turbinen funktionsfähig und für die Elektroenergiegewinnung aus Flussläufen geeignet sind. Die Funktionsfähigkeit der hydrokinetischen Turbinen wurde auch durch die Universität Stuttgart (IHS) und von der österreichischen Firma AquaLibre mit ähnlichen Resultaten bestätigt. Die Resultate der hydrokinetischen Turbine der Firma KSB befriedigten zunächst noch nicht.

Bei den experimentellen Untersuchungen konnten auch die Turbinen- und die Pumpenbereiche im ersten und zweiten Quadranten des Koordinatensystems nachgewiesen werden.

In den Abb. 4 und 5 sind die freifahrenden Axialturbinen ohne Gehäusemantel mit zwei und drei Schaufel TR 90-2.19-4/8 mit $d_2 = 900$ mm und $z = 2$ und die Axialturbine TR 75-2.19-4/16 mit $d_2 = 780$ mm und $z = 3$ Schaufeln dargestellt, die von der Firma WILO SE gefertigt wurden. Die Erprobungsergebnisse und die gemessenen Kennlinien werden nachfolgend dargestellt.

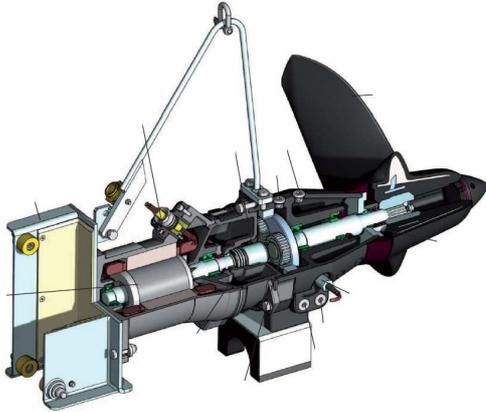


Abb. 4: Axialturbine TR 90-2.19-4/8 mit $d_2 = 900$ mm und $z = 2$

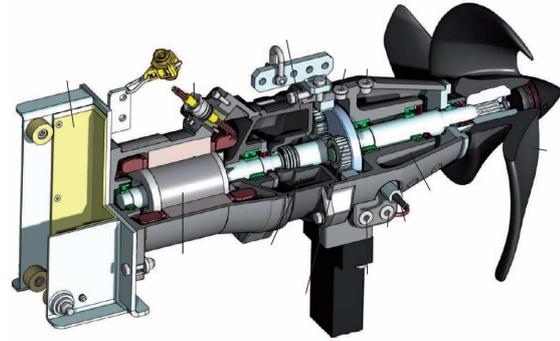


Abb. 5: Axialturbine TR 75-2.19-4/16 mit $d_2 = 780$ mm und $z = 3$

In der Abb. 6 ist eine ummantelte Turbine als Unterwasseraggregat mit der gemessenen Pumpenkennlinie dargestellt. Damit wurde die in der Aufgabenstellung formulierte Zielstellung übertroffen und die Voraussetzung für die Fertigung und den Einsatz hydrokinetischer Turbinen geschaffen.

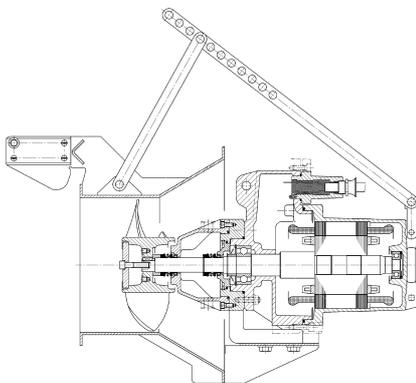
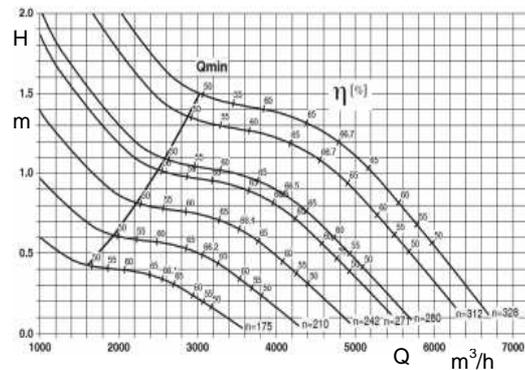


Abb. 6: Ummantelte Turbine Amaline 180-802/54 mit $d_2 = 780$ mm, $z = 3$ und mit der gemessenen Pumpenkennlinie



Die ersten Untersuchungen fanden auf dem Versuchsträger Vector (Abb. 1) der Firma Sibau in Genthin statt. Der Versuchsträger Vector ist ein Katamaran an dem verschiedene Strömungswandler wie Wasserräder und Turbinen mit und ohne Gehäuse befestigt werden können um diese dann während der Fahrt auf dem Wasser teilweise oder ganz ins Wasser abzusenken. Angetrieben wird der Versuchsträger Vector mithilfe von zwei Außenbordmotoren und in der Steuerkabine des Vectors befindet sich ein Frequenzumrichter und ein Messrechner um die Strömungsgeschwindigkeit, die Leistungen und andere Parameter der angebauten Turbine messen und speichern zu können.

Erprobungsergebnisse der Turbine TR 90-2.19-4/8 auf dem Vector

Die erste Turbine die untersucht wurde war die Turbine TR 90-2.19-4/8 von der Firma WILO EMU mit einem Durchmesser von $d_2 = 900$ mm, $z = 2$ Schaufeln und mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8$. Sie wurde auf dem Vector untersucht und die Leistungen und Leistungsbeiwerte sind in den Abb. 7 und 8 dargestellt. Die Leistungen liegen, bei Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 2,5$ bis $3,9$ m/s mit Zwischenwerten von $c = 2,7$; $3,1$ und $3,7$ m/s, bei Werten von $P = 0,64$ bis $1,00$ kW bei Generator Drehzahlen von $n = 100$ bis 1500 min^{-1} . Der Leistungsbeiwert erreicht Werte von $c_p = 0,049$ bis $0,135$ bei Schnelllaufzahlen von $\lambda = 1,0$ bis $2,0$.

Erprobungsergebnisse der Turbine TR 75-2.19-4/16 auf dem Vector

Die Abb. 9 und 10 zeigen die Leistungen und Leistungsbeiwerte der Turbine TR 75-2.19-4/16 mit einem Durchmesser von $d_2 = 780$ mm, $z = 3$ Schaufeln und mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8$. Auch diese Turbine wurde auf dem Vector untersucht und die Ergebnisse ähneln denen der ersten Untersuchung mit der Turbine TR 90-2.19-4/8. Wobei die Turbine TR 75-2.19-4/16 allerdings geringere Leistungen im Bereich von $P = 0,01$ bis $0,43$ kW bei Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 1,7$ bis $2,8$ m/s mit den Zwischenwerten von $c = 2,0$ und $2,3$ m/s erreicht. Bei der Strömungsgeschwindigkeit von $c = 1,7$ m/s kommt die Turbine TR 75-2.19-4/16 nur knapp aus dem Motorbetrieb heraus bei einer Generator Drehzahl von $n = 300$ bis 400 min^{-1} . Der Leistungsbeiwert erreicht Werte zwischen $0,009$ und $0,085$ bei Schnelllaufzahlen im Bereich von $\lambda = 0,9$ bis $1,2$.

Erprobungsergebnisse der Turbine Amaline 180-802/54 UMG auf dem Vector

In der Abb. 11 und 12 sind die Leistungen und Leistungsbeiwerte der Turbine Amaline 180-802/54 UMG für die Untersuchungen auf dem Vector dargestellt, die mit $c_p = 0,27$ bis $c_p = 0,34$ bei Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 2,20$ m/s bis $c = 2,60$ m/s weit höhere Werte erreichen als die freilaufender Turbinen. Damit ist auch der strömungstechnische Vorteil gegenüber den freifahrenden Axialturbinen mit der Schaufelumströmung am Schaufelende offen gelegt. Die ermittelten Leistungen liegen bei Generator Drehzahlen von $n = 200$ bis 1200 bzw. bis 1400 min^{-1} bei Werten von $P = 0,1$ bis $1,73$ kW. Die Messergebnisse der Turbine liegen alle im Generatorbereich.

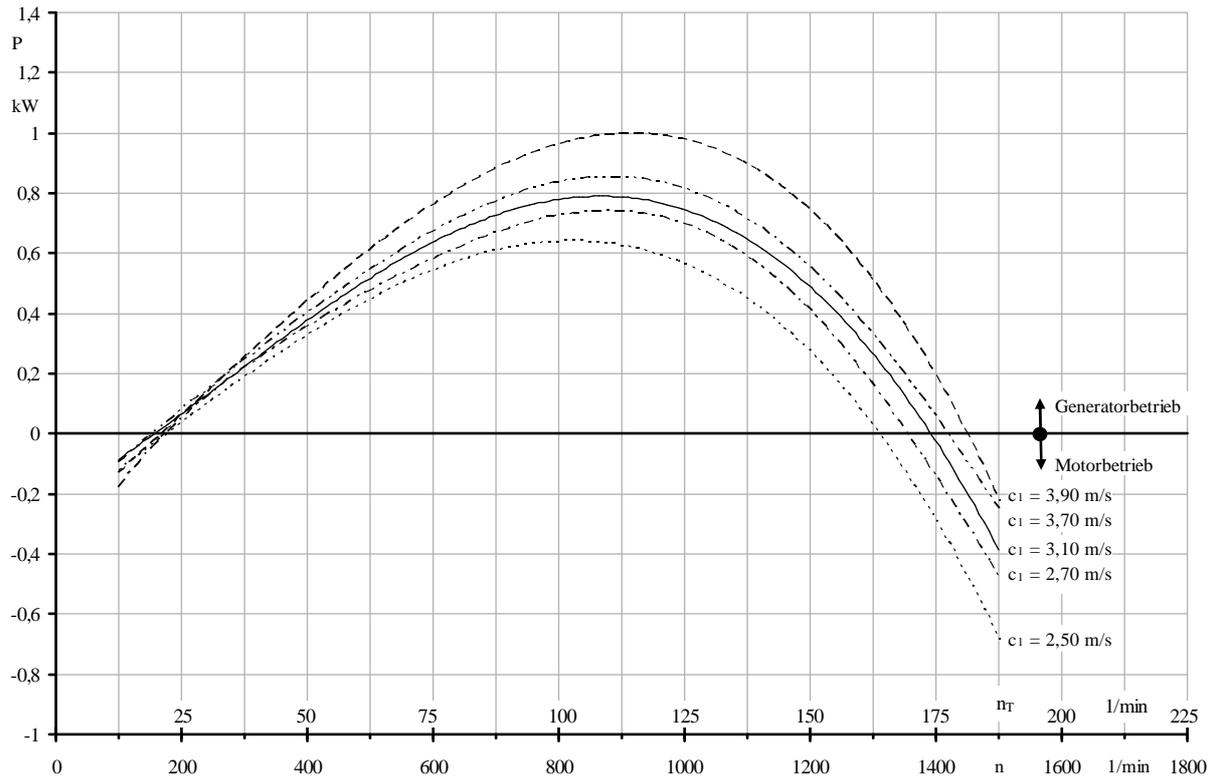


Abb. 7: Elektrische Leistung P über Generator Drehzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine WILO EMU TR 90-2.19-4/8 mit $d_2 = 900$ mm, $z = 2$, mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8$ für die Messung auf dem Vector vom 25.06.2014

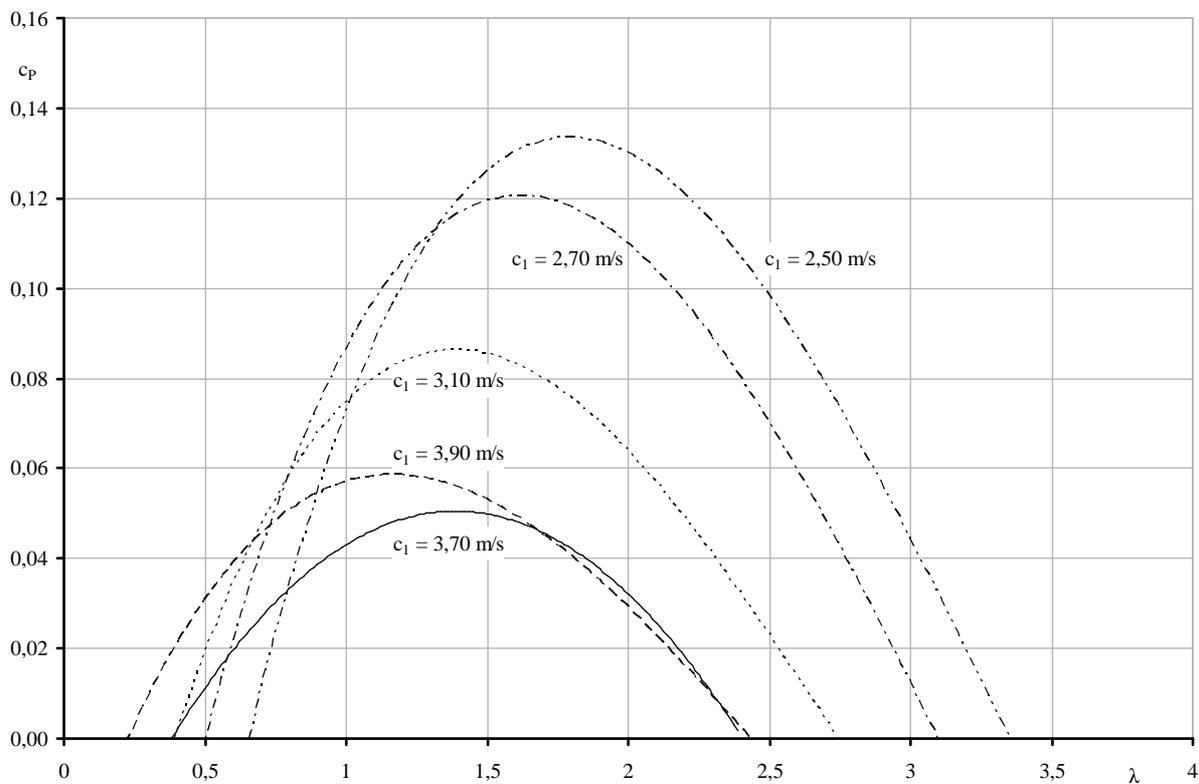


Abb. 8: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine WILO EMU TR 90-2.19-4/8 für die Messung auf dem Vector vom 25.06.2014 $d_2 = 900$ mm, $z = 2$

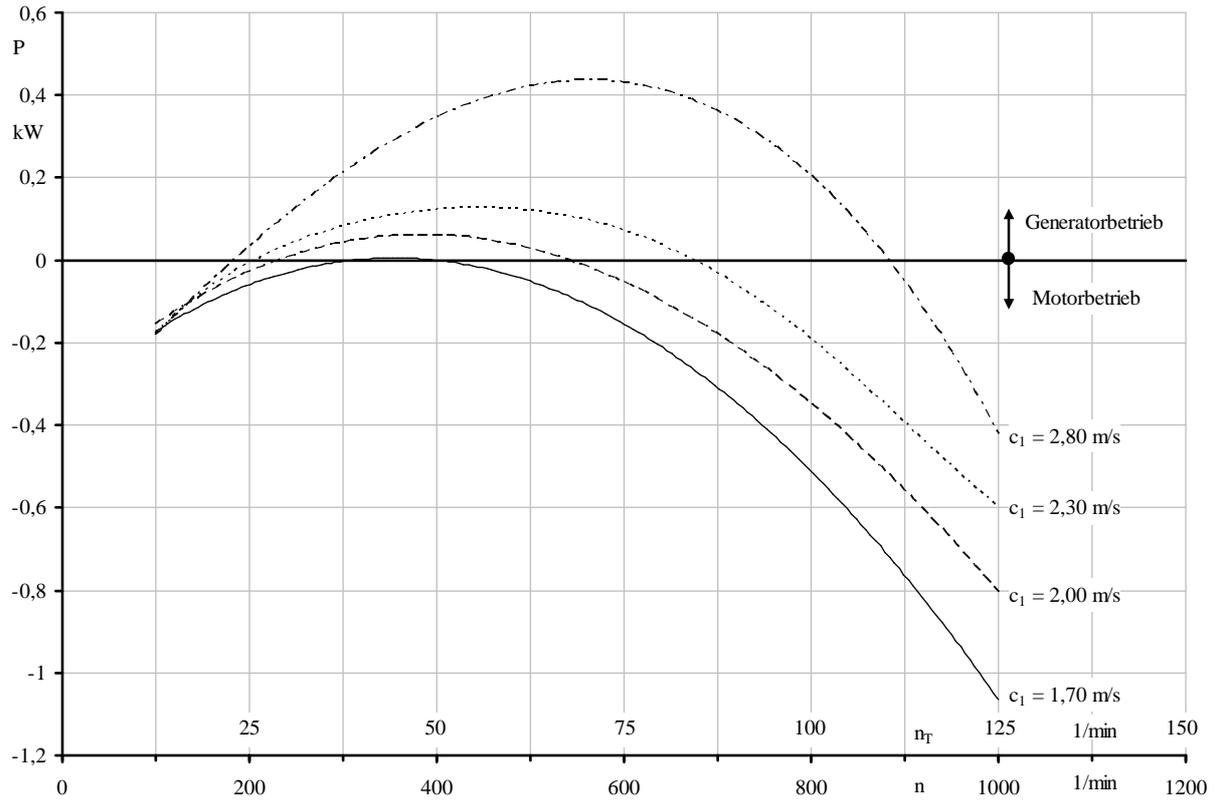


Abb. 9: Elektrische Leistung P über Generator Drehzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine TR 75-2.19-4/16 mit $d_2 = 780$ mm, $z = 3$, mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8$ für die Messung auf dem Vector vom 15.07.2014

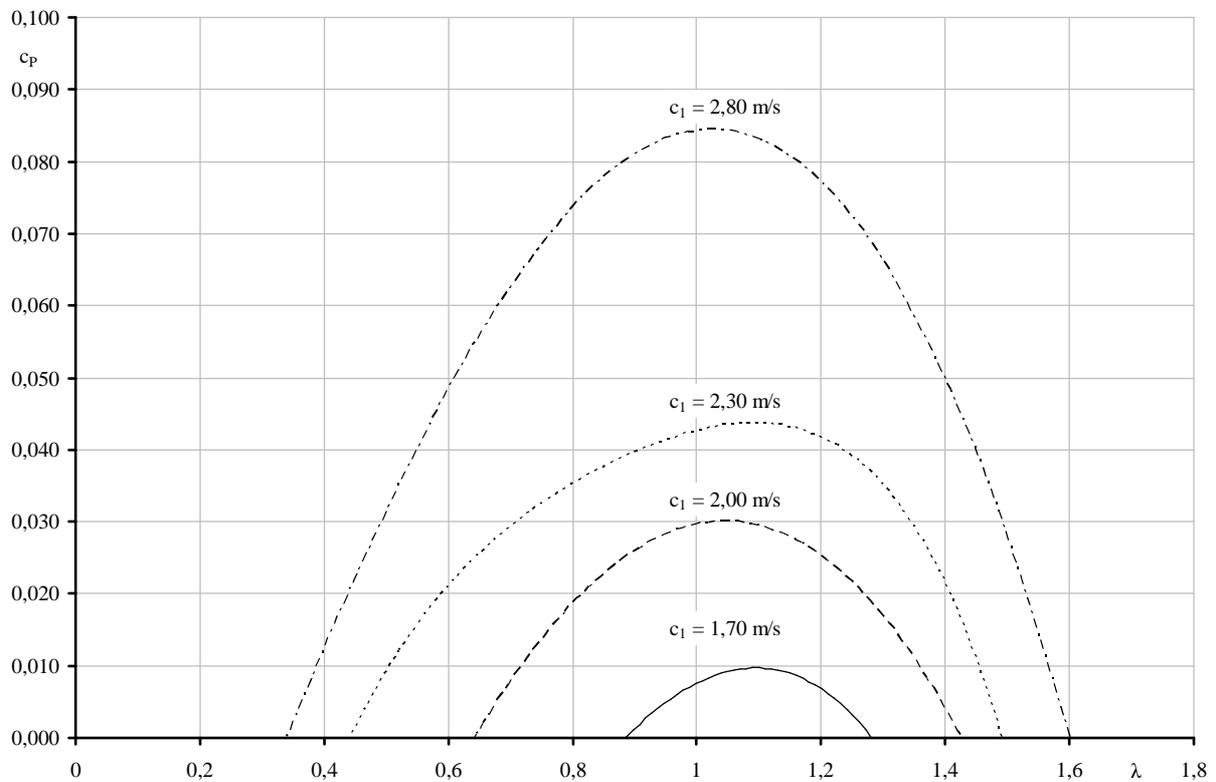


Abb. 10: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine TR 75-2.19-4/16 für die Messung auf dem Vector vom 15.07.2014 mit $d_2 = 780$ mm, $z = 3$

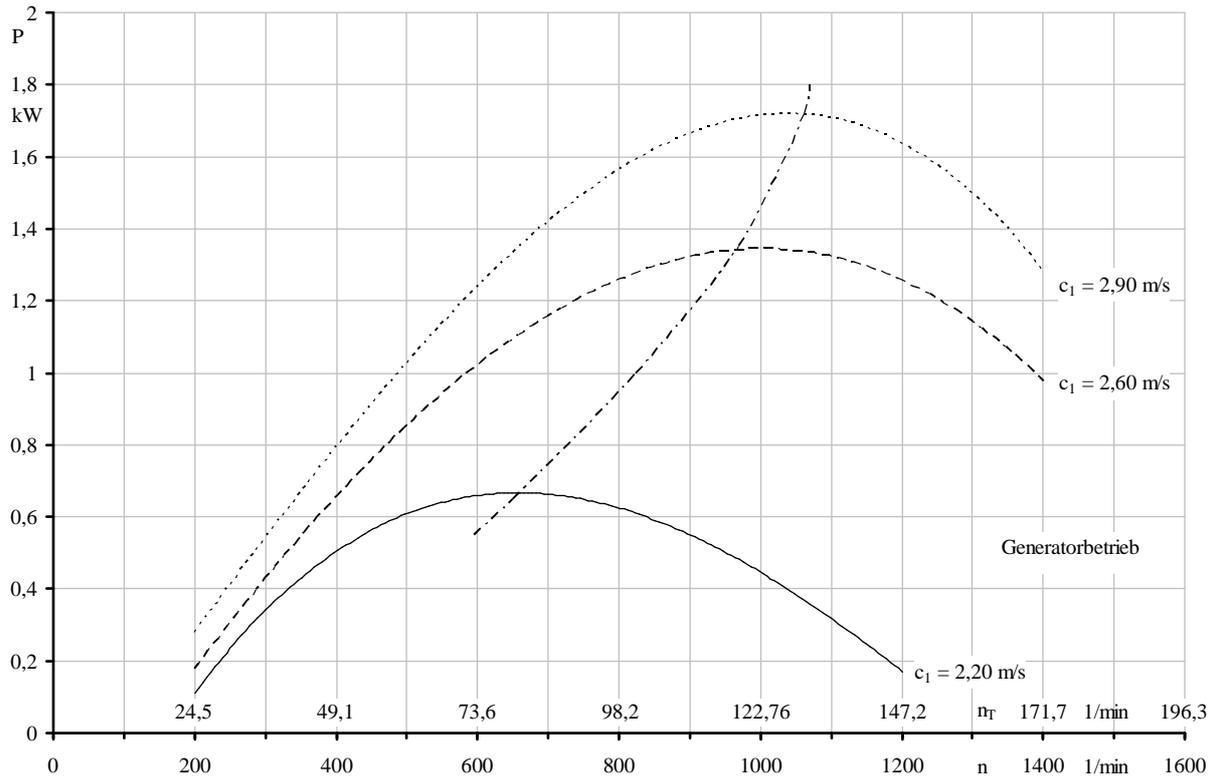


Abb. 11: Elektrische Leistung P über Generator Drehzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine Amaline 180-802/54 UMG mit $d_2 = 780$ mm, $z = 3$, mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8,15$ für die Messung auf dem Vector vom 15.07.2014

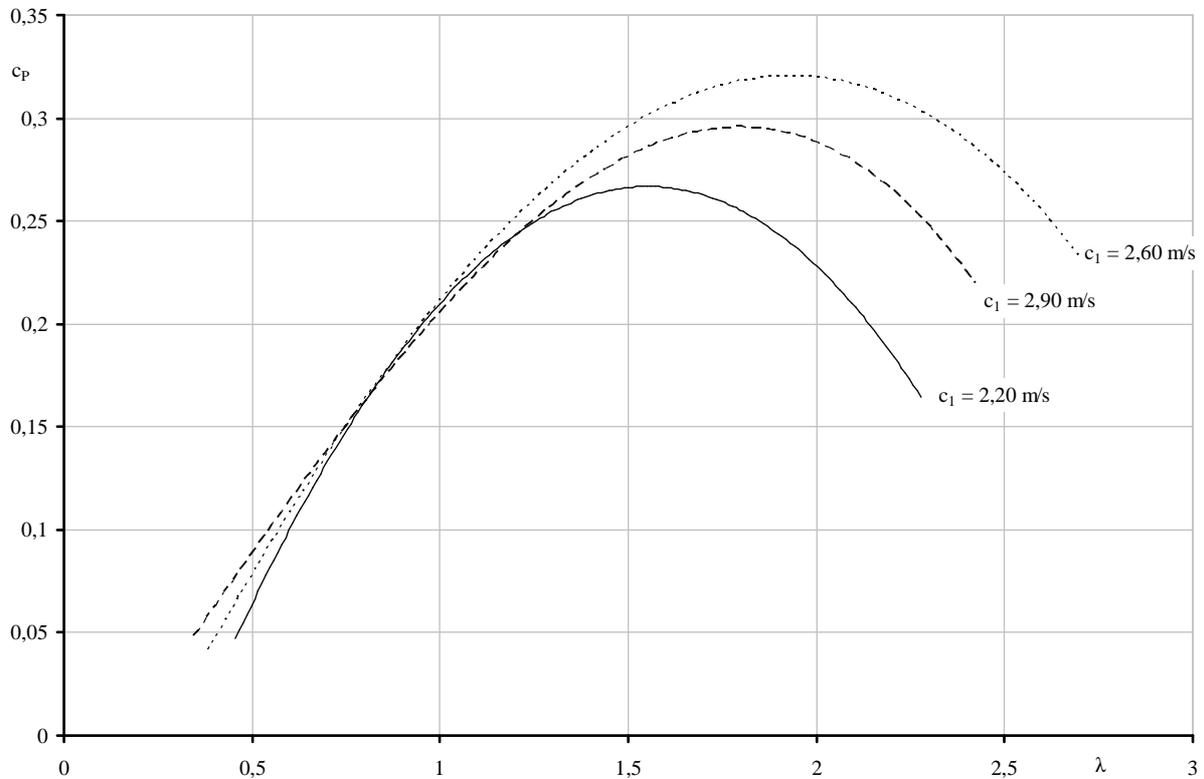


Abb. 12: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine Amaline 180-802/54 UMG für die Messung auf dem Vector vom 15.07.2014 $d_2 = 780$ mm, $z = 3$

Der 1908 erbaute Wasserkanal auf der Schleuseninsel in der Müller-Breslau-Straße in Berlin (Abb. 3), der gegenwärtig zur TU Berlin gehört, besitzt eine Messkanalbreite von $b = 5,80$ m und eine Messkanaltiefe von $t = 3,20$ m. Das Wasser wird von zwei Axialpumpen umgepumpt, die von zwei Dieselmotoren angetrieben werden mit je 2600 kW Leistung. Damit werden im Messkanal Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 2,84$ m/s erreicht. Das Institut für Strömungsmechanik und Akustik, Professur für Systemfluidtechnik, Prof. Paul U. Thamsen ermöglichte die Kennlinienmessung von zwei hydrokinetischen Turbinen, der ummantelten Turbine Amaline 180-802/54 UMG mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm und drei Schaufeln und der Turbine TR 75-2.19-4/16 mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm und $z = 2$ Schaufeln.

Erprobungsergebnisse der Turbine TR 75-2.19-4/16 im Ringkanal

In den Abb. 13 und 14 sind die gemessenen Kennlinien der Turbine TR 75-2.19-4/16 mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm und $z = 2$ Schaufeln für die Anströmungsgeschwindigkeit von $c = 1,01$ m/s; 1,5; 2,03; 2,49 und 2,84 m/s dargestellt. Die Kennlinien für die c_p -Werte nehmen den gleichen Verlauf wie in der Abb. 16 für die Amaline 180-802/54 UMG, liegen jedoch deutlich niedriger. Auch die Leistungsbeiwerte c_p der freifahrenden Turbine mit gleichen Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm, liegen mit Werten von $c_p = 0,125$ bis 0,24 um 4 % tiefer. Die Schnelllaufzahlen $\lambda = u/c$ erreichen Werte bis $\lambda = 2,4$ (Abb. 14).

Erprobungsergebnisse der Turbine Amaline 180-802/54 UMG im Ringkanal

Die ummantelte Turbine Amaline 180-802/54 UMG mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm und drei Schaufeln und mit einem Unterwassergetriebe mit dem Übersetzungsverhältnis von $i = 8,15$ und einem Unterwassergenerator wurde bei Strömungsgeschwindigkeiten von $c = 1,07$ m/s bis $c = 2,66$ m/s mit drei Zwischenwerten von $c = 1,49$; 2,07 und 2,47 m/s untersucht. Bei der geringen Anströmgeschwindigkeit von $c = 1,07$ m/s arbeitet die Turbine nur im Pumpenbetrieb (Abb. 15). Erst bei der Anströmgeschwindigkeit von $c = 1,49$ m/s wird der Turbinenbetrieb (Generatorbetrieb) mit einer Leistung von 120 W erreicht. Bei der Anströmgeschwindigkeit von $c = 2,66$ m/s erreichte die Turbine eine maximale Leistung von $P_{el} = 1,32$ kW mit einem Turbinenbetrieb von $n = 12$ min⁻¹ bis $n = 182$ min⁻¹ bei einer Generatordrehzahl von $n_G = 100$ min⁻¹ bis $n = 1460$ min⁻¹.

Mit einer ummantelten Turbine mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 780$ mm ist eine nennenswerte Leistung zu erreichen, die von frei laufenden Turbinen ohne Gehäuse bei diesem Laufraddurchmesser nicht erreicht werden. Wenn also das Problem der Verstopfung durch Schwimmgut bei ummantelten Turbinen gelöst werden kann, stellen ummantelte Turbinen mit Gehäuse eine effiziente Lösung dar, für die aber die Betriebssicherheit gewährleistet werden muss. Für nicht ummantelte Turbinen mit gekrümmten Axialschaufeln, von denen fasriges Schwimmgut bei Rotation durch die Fliehkraft abgeschleudert wird, ist die Verstopfungsfreiheit von vornherein gewährleistet.

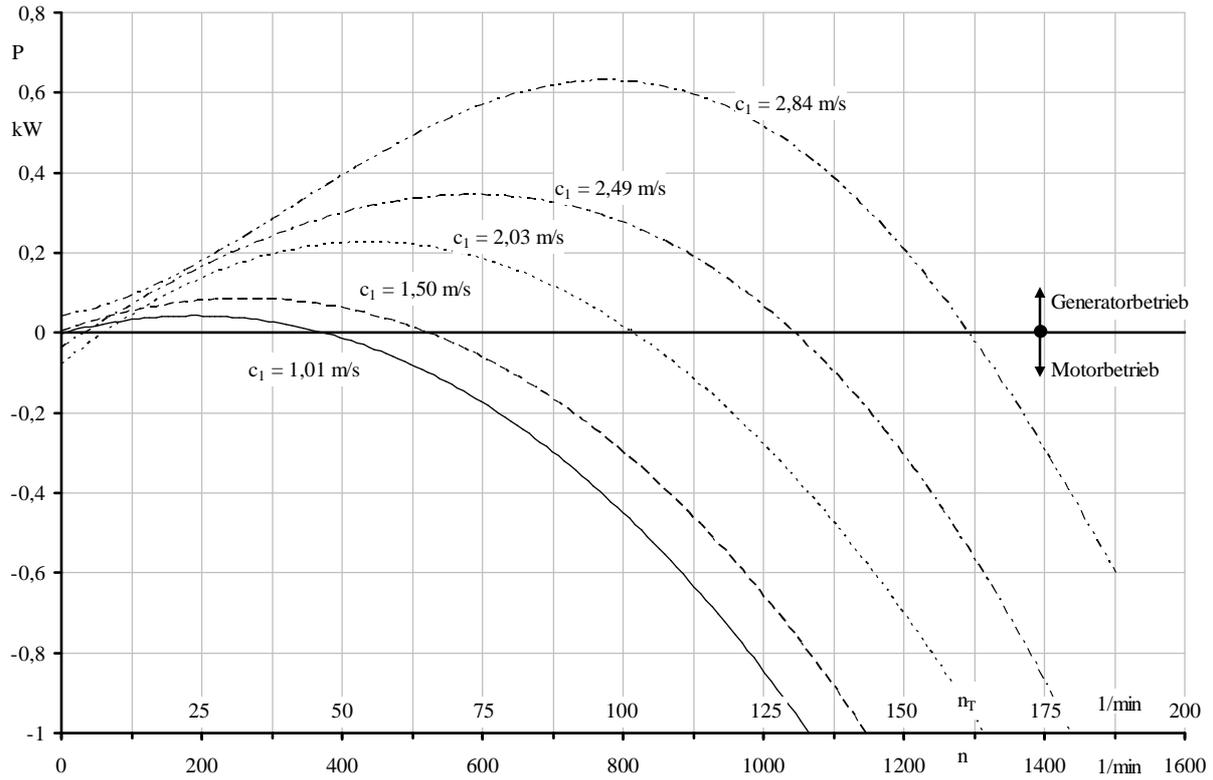


Abb. 13: Leistung P über Generatorzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine WILO EMU TR 75-2.19-4/16 mit dem Übersetzungsverhältnis $i=8$ für die Messung im Ringkanal vom 12.11.2014, $d_2 = 780$ mm, $z = 2$

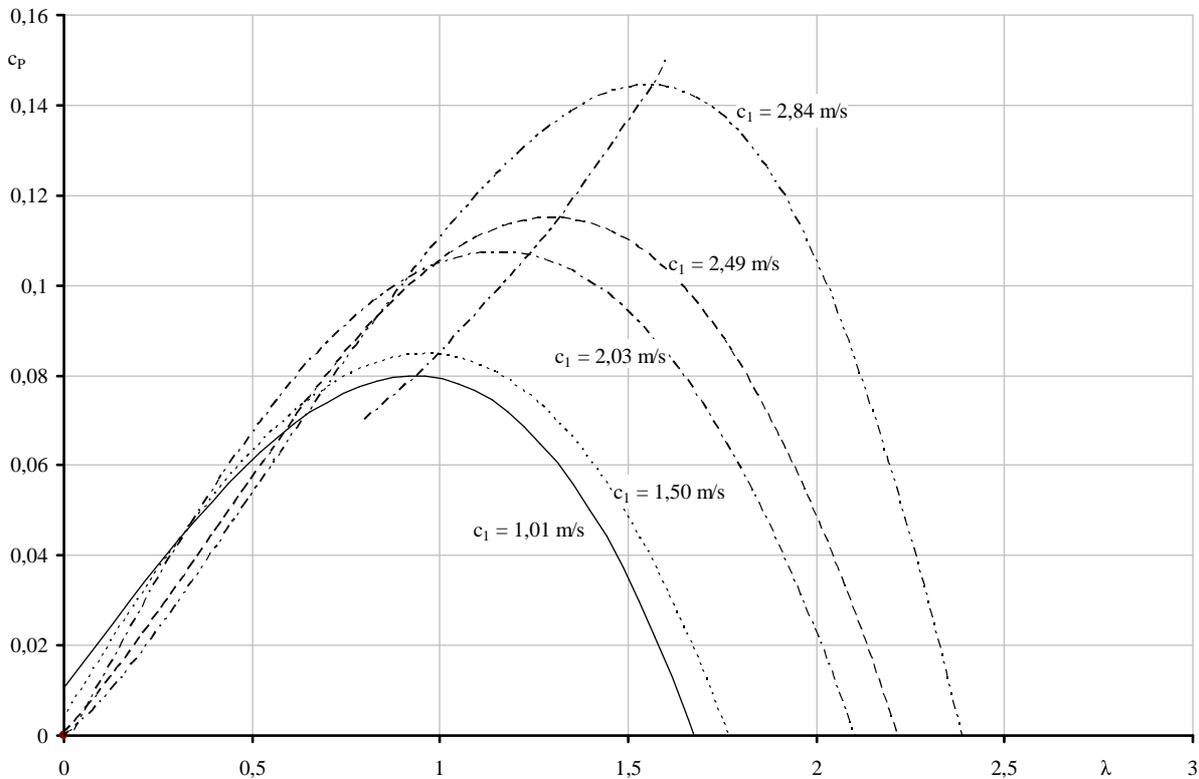


Abb. 14: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine WILO EMU TR 75-2.19-4/16 für die Messung im Ringkanal vom 12.11.2014, $d_2 = 780$ mm, $z = 2$. Auswertung der Rohdaten mit der Gleichung

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi$$

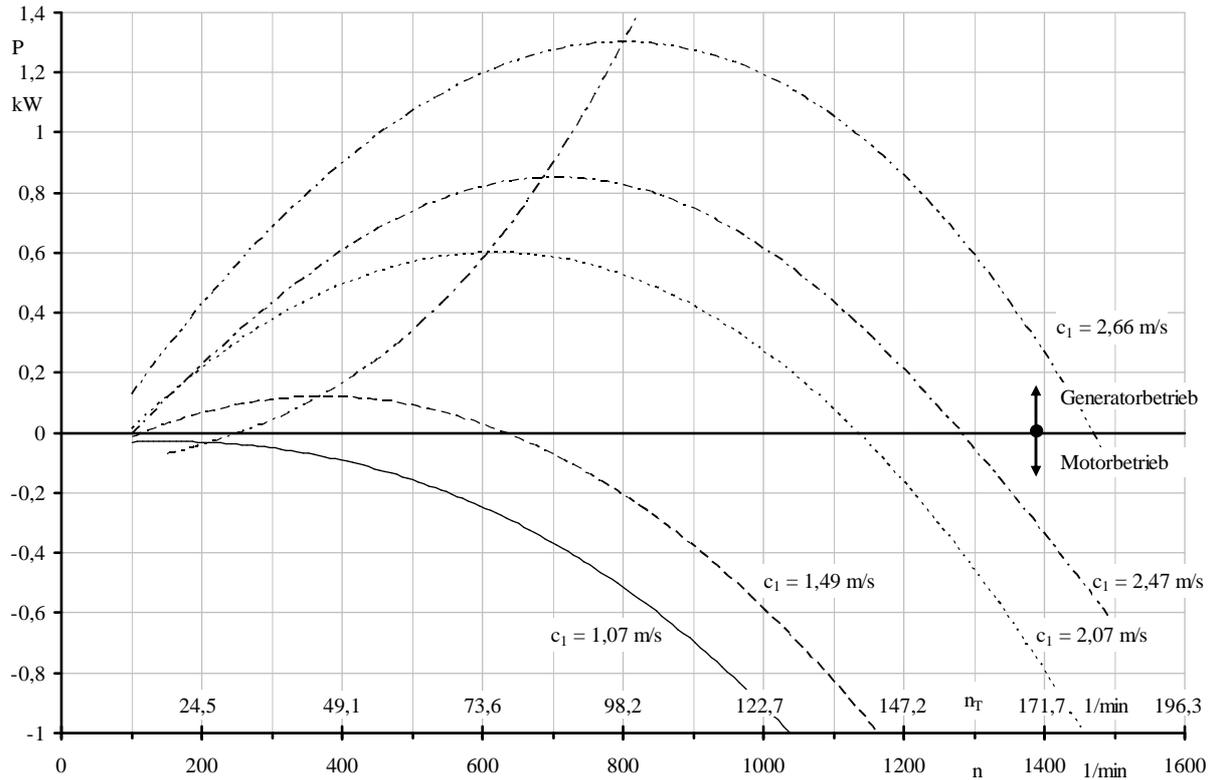


Abb. 15: elektrische Leistung P über Generator Drehzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine Amaline 180-802/54 UMG mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 8,15$ für die Messung im Ringkanal vom 12.11.2014, $d_2 = 780$ mm, $z = 3$

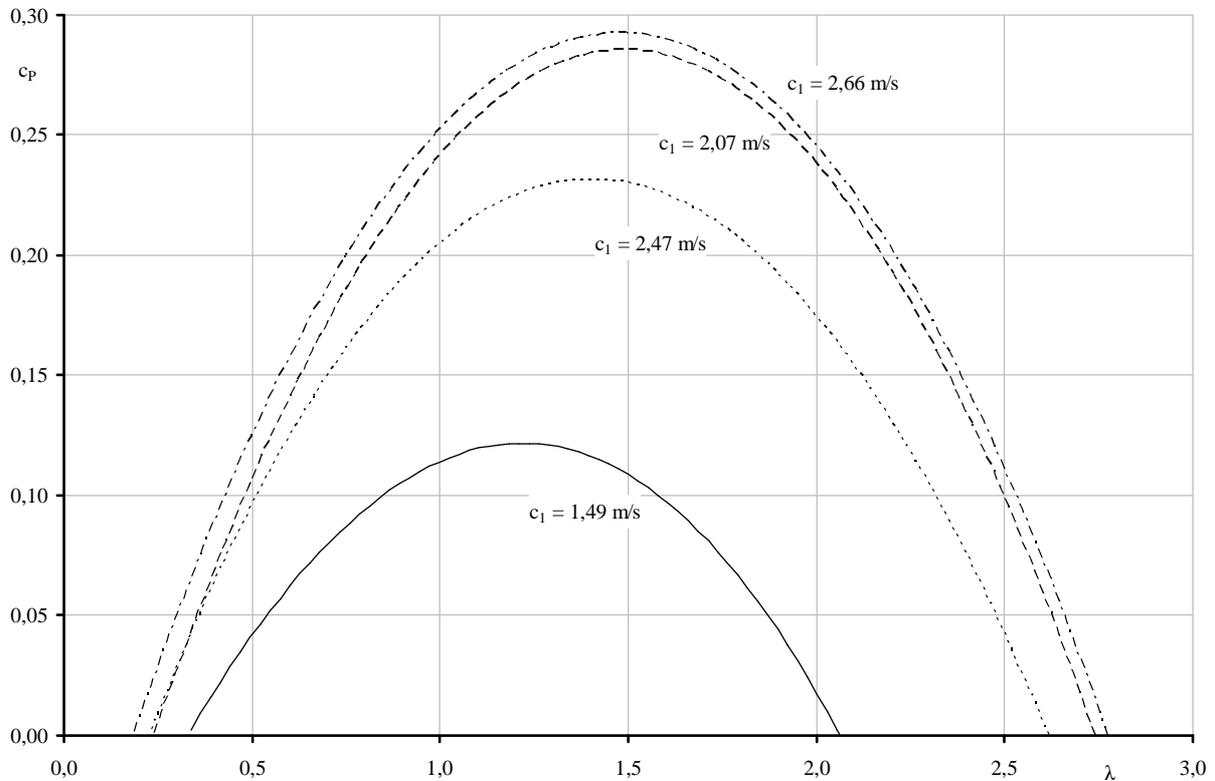


Abb. 16: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine Amaline 180-802/54 UMG für die Messung im Ringkanal vom 12.11.2014. $d_2 = 780$ mm, $z = 3$ mit Gehäuse

Während der kostenneutralen Themenverlängerung des Projektes bis zum 31.01.2015, wurden zwei weitere hydrokinetische Turbinen entwickelt, gebaut und anschließend untersucht. Die Untersuchungen wurden mithilfe des Versuchsträgers Vector auf dem Elbe-Havel-Kanal in Genthin durchgeführt.

Erprobungsergebnisse der Turbine RZP 60-3.26-4/16 S25 auf dem Vector

In den Abb. 17 und 18 sind die Leistungskennfelder der Turbine RZP 60-3.26-4/16 S25 und die c_p -Werte für die Turbinendrehzahlen von $n = 7 \text{ min}^{-1}$ bis 183 min^{-1} und für die Anströmgeschwindigkeit von $c_1 = 1,8 \text{ m/s}$ bis $3,7 \text{ m/s}$ dargestellt. Bei diesen Anströmgeschwindigkeiten und Drehzahlen liegen die Kennlinien stets im Turbinenbetrieb und weisen ein ausgeprägtes Maximum auf, das bei steigender Anströmgeschwindigkeit zu höheren Drehzahlen verschoben wird. Bei den genannten Strömungsgeschwindigkeiten erreicht die Turbine elektrische Leistungen von $P_{el} = 0,06 \text{ kW}$ bis $0,54 \text{ kW}$. Die Turbine weist einen Laufraddurchmesser von $d_2 = 600 \text{ mm}$ auf.

Untersucht man schließlich den Leistungsbeiwert für diese Turbine in Abhängigkeit der Schnelllaufzahl λ so ergeben sich folgende Maximalwerte für die Leistungszahlen von $c_p = 0,056$ bis $0,089$, die auffällig geringer sind als jene der anderen untersuchten Turbinen. Die Maximalwerte liegen bei Schnelllaufzahlen von $\lambda = 1,0$ bis $\lambda = 1,3$.

Erprobungsergebnisse der Turbine $d_2 = 1600 \text{ mm}$ und LSPM-Motor auf dem Vector

In Abb. 19 und 20 sind die Leistungen und die Leistungsbeiwerte für eine neuentwickelte Axialturbine mit dem Laufraddurchmesser von $d_2 = 1600 \text{ mm}$ und $z = 2$ Schaufeln und dem Nabendurchmesser von $d_N = 200 \text{ mm}$, $d_N/d_2 = 200 \text{ mm}/1600 \text{ mm} = 0,1$ für die Anströmgeschwindigkeit von $c = 1,9 \text{ m/s}$ bis $3,7 \text{ m/s}$ im Turbinendrehzahlbereich von $n = 5 \text{ min}^{-1}$ bis 76 min^{-1} . Das Übersetzungsverhältnis des Planetengetriebes beträgt $i = 20,57$, so dass sich Motordrehzahlen von $n_M = 100 \text{ min}^{-1}$ bis 1580 min^{-1} ergeben. Die Turbine ist mit einem modernen Line-Start-Permanentmagnetmotor (LSPM) ausgestattet, der große Vorteile im Anfahrbetrieb und im synchronen Lauf bei Nennlastbetrieb besitzt. Im Nennbereich bewirkt der LSPM-Motor sehr geringe Verluste, so dass ein hoher Motorwirkungsgrad erreicht wird. Diese Turbine erreicht elektrische Leistungen von $P_{el} = 0,65 \text{ kW}$ bis $4,2 \text{ kW}$ bei Anströmgeschwindigkeiten von $c_1 = 1,9 \text{ m/s}$ bis $3,7 \text{ m/s}$. Sie stellt damit eine sehr effiziente Turbine dar. Der Leistungsbeiwert erreicht Werte von $c_p = 0,084$ bis $0,108$ bei Schnelllaufzahlen von $\lambda = u_2/c = 1,74$ bis $2,75$, die gegenüber der Turbine RZP 60-3.26 bedeutend höher liegen (Abb. 17 und 18). Die erreichten Schnelllaufzahlen liegen beträchtlich unter den theoretisch ermittelten Werten von Betz. Sie entsprechen aber den realistischen Werten hydrokinetischer Turbinen.

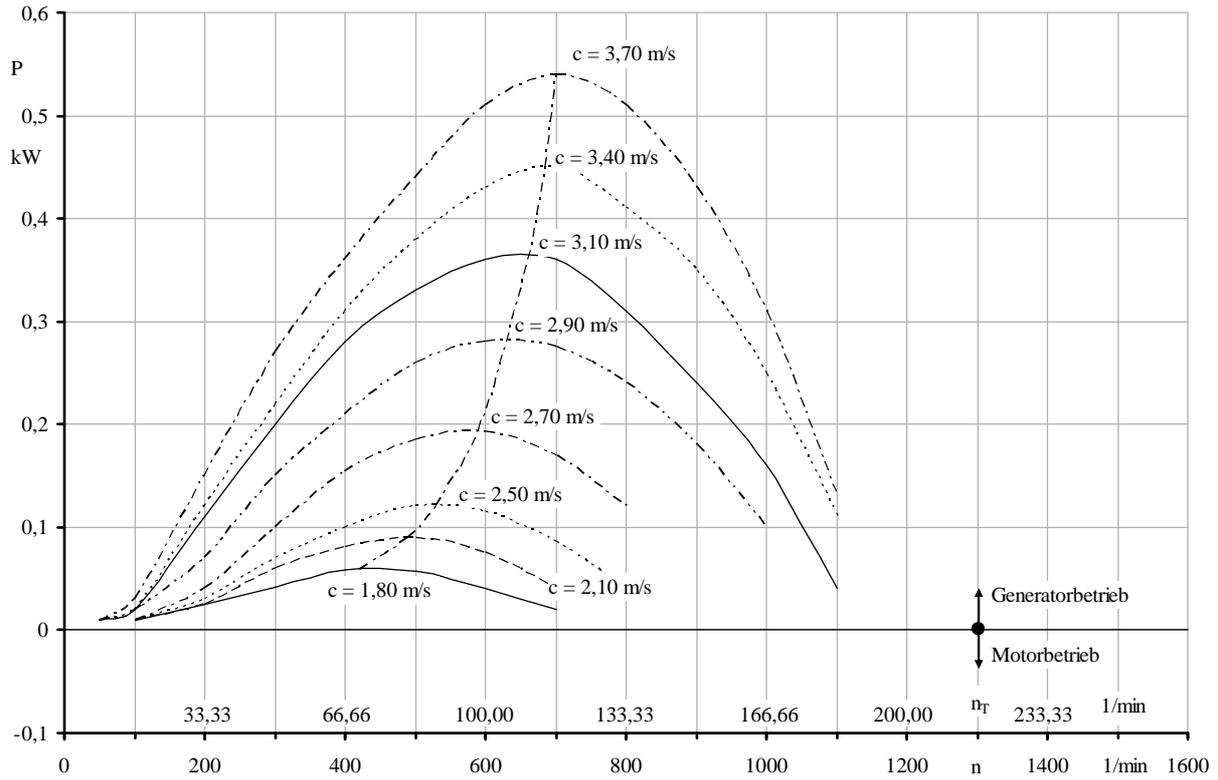


Abb. 17: Leistung P über Generator-drehzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine RZP 60-3.26-4/16 S25 mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 6$ für die Messung auf dem Vector vom 06.11.2014, $d_2 = 600$ mm, $z = 3$

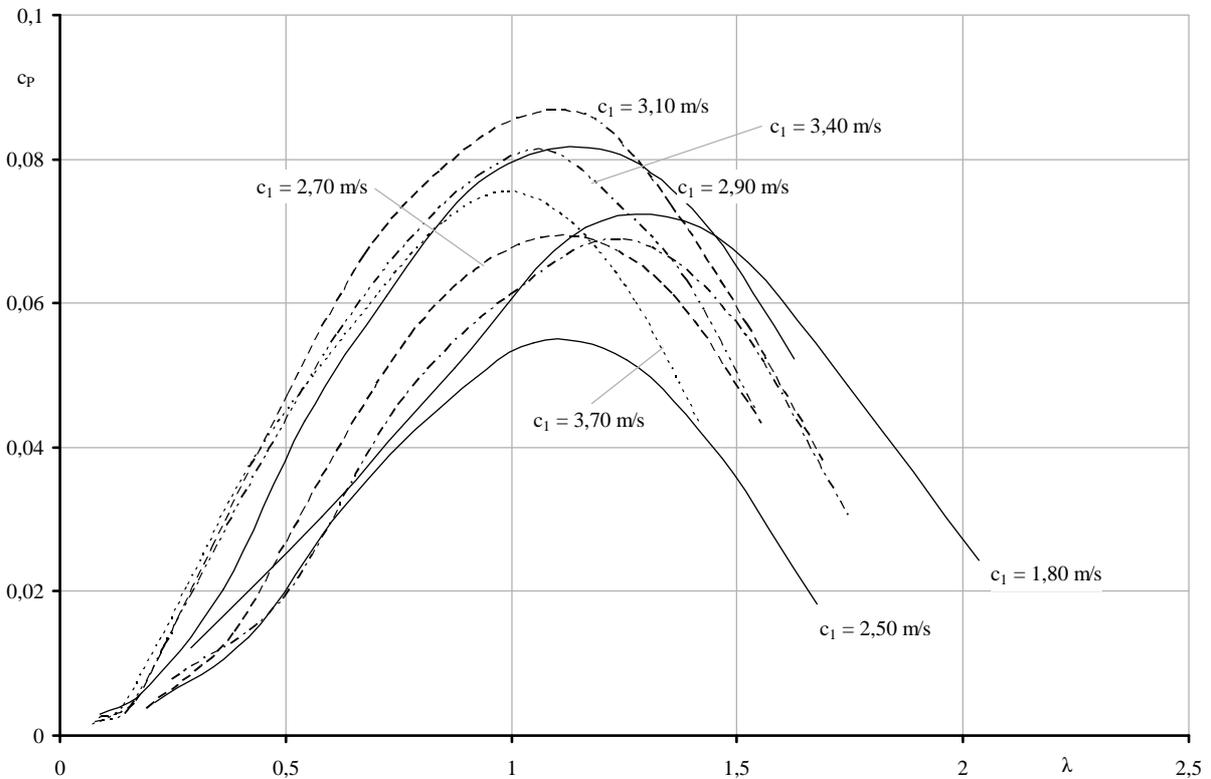


Abb. 18: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine RZP 60-3.26-4/16 S25 für die Messung auf dem Vector vom 06.11.2014, $d_2 = 600$ mm, $z = 3$

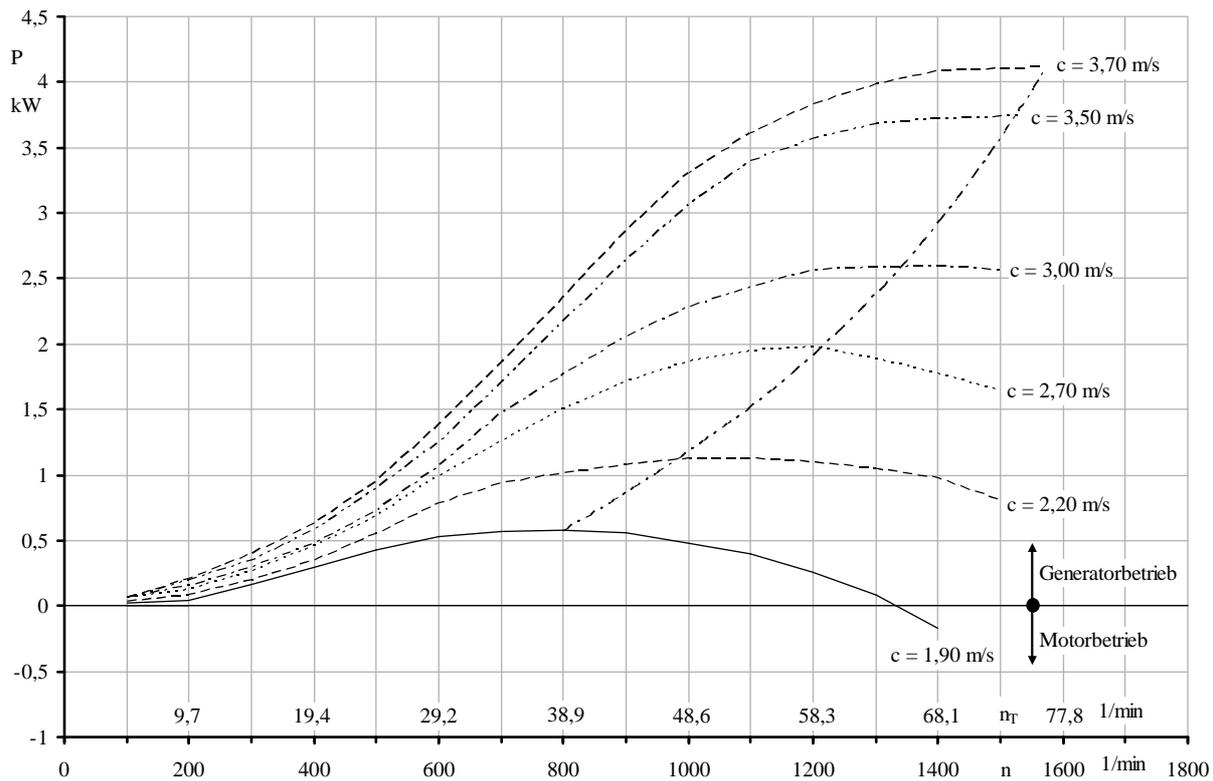


Abb. 19: Leistung P über Generatorzahl n und Turbinendrehzahl n_T der Turbine mit LSPM Motor mit $d_2 = 1,6$ m, $z = 2$, $d_N = 0,2$ m, mit dem Übersetzungsverhältnis $i = 20,57$ für die Messung auf dem Vector vom 06.11.2014

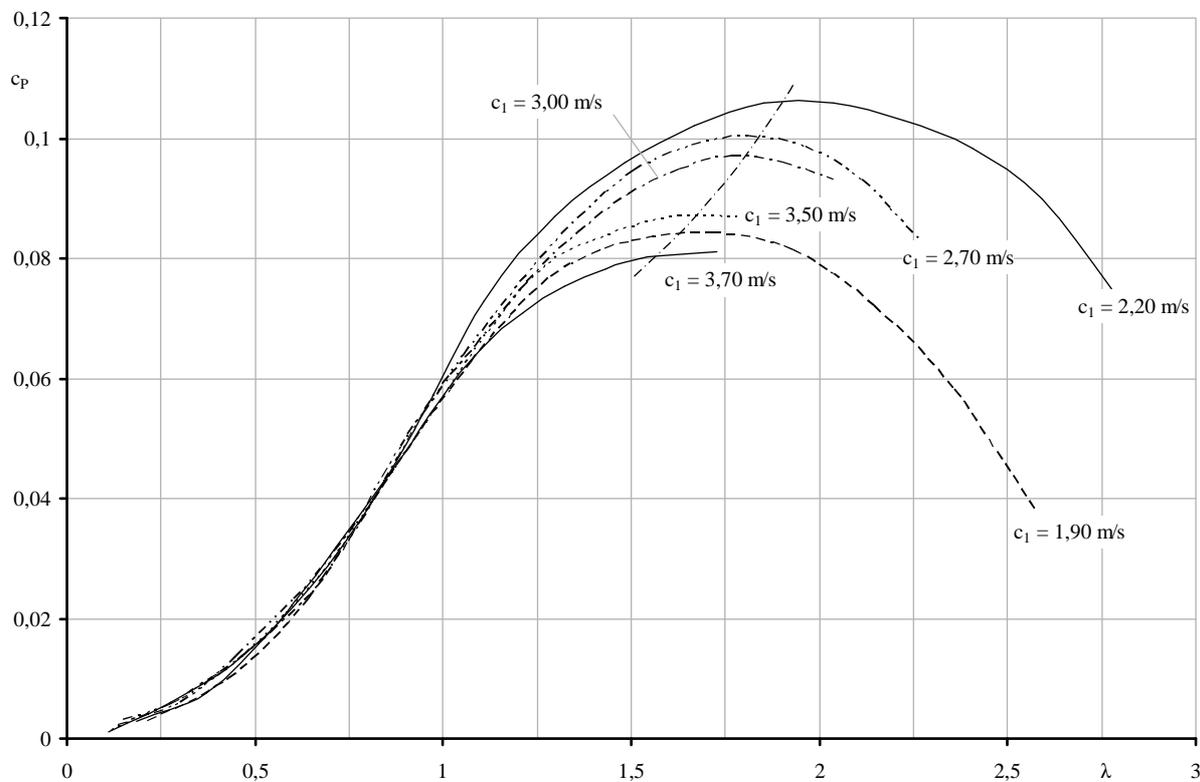


Abb. 20: Leistungsbeiwert c_p über Schnelllaufzahl λ der Turbine mit LSPM Motor mit $d_2 = 1,6$ m, $z = 2$, $d_N = 0,2$ m für die Messung auf dem Vector vom 06.11.2014

2 der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Zahlenmäßige Nachweis enthält folgende wirtschaftliche Positionen:

- Personalkosten in Höhe von 259.946,00 € für die Berechnung, Auslegung, Entwicklung und Konstruktion der drei Funktionsmuster hydrokinetischer Turbinen
- Personalkosten für die Messung und Messauswertung der Kennlinien auf dem Vector und im Wasserringkanal an der TU Berlin

3 der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Angemessenheit der geleisteten Arbeit besteht aus drei Teilen:

- In dem wissenschaftlichen Grund zur Ergänzung und Vervollständigung des Wasserturbinenkennfeldes unterhalb der Kaplan turbinen für Gefällehöhen von $H = 2$ m bis 25 m für die hydrokinetischen Turbinen ohne Gefälle, die nur die kinetische Energie der Flussströmung nutzen.
- Diese hydrokinetischen Turbinen für geringe Leistungen von $P_{el} = 1,5$ kW bis 250 kW werden für die dezentrale Energieversorgung in Bereichen von Flüssen für den Eigenverbrauch und teilweise auch für die Netzeinspeisung genutzt.
- Der Nutzung und der Elektroenergiegewinnung aus der kinetischen Energie der Flussläufe im flachen Land mit geringem Gefälle mit spezifischen Nutzarbeiten von $Y = c^2/2 = 0,6$ J/kg bis 3,75 J/kg. Die Leistung wird schließlich aus einem großen Masse durchsatz gewonnen $P_h = \dot{m} Y = \rho A c^3 / 2 = \pi d^2 \rho c^3 / 8$.

Die geleistete Arbeit bei der Entwicklung der hydrokinetischen Turbinen stellt vorrangig die aufgewendeten Personalkosten dar. Sie stellt auch jene für die Konstruktion, Fertigung, die Funktionserprobung der Turbinen und die Kennlinienmessung dar.

Die Notwendigkeit zur Bearbeitung dieses Projektes folgt auch aus der zwingend notwendigen Vervollständigung des Turbinenkennfeldes für die Wasserturbinen, die seit 1914 darauf wartete.

4 des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwendbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Funktionsfähigkeit der hydrokinetischen Turbinen konnte in dem Forschungsprojekt mit der experimentellen Erprobung nachgewiesen werden. Mit diesen Turbinen werden elektrische Leistungen aus Flussläufen ohne Staustufe für einen oder mehrere Familienhaushalte oder Kleinunternehmen erzeugt. Dadurch wird eine Nutzung der kinetischen Flusswasserenergie für die Wirtschaft geschaffen und gleichzeitig die technische Nutzung regenerativer Energien vorangebracht.

Die hydrokinetische Turbine besteht aus dem Turbinenlaufrad mit zwei und drei Laufschaufeln und Laufraddurchmessern von $d_2 = 680$ mm, 780 mm, 900 mm und $d_2 = 1600$ mm mit einem Planetengetriebe mit dem Übersetzungsverhältnis von $i = 7,8$ bis 8,9 und in einem Fall sogar von $i = 20,57$, mit der Lagerung und mit dem Unterwasser-Asynchrongenerator ist als Unterwasseraggregat funktionsreif erprobt. Diese hydrokinetische Turbine kann somit zur Serienreife und zur Angebotsreife entwickelt und einschließlich dem Genehmigungsrecht für einen Fluss angeboten und verkauft werden. Die interessierten Hersteller für die Turbinen sind vorhanden.

Daraus können auch die Turbinenaggregate entwickelt werden bestehend aus:

- Hydrokinetische Turbine mit Planetengetriebe und Asynchrongenerator

- Schwimmkörper für die Installation und die Höheneinstellung der Turbine im Fluss
- Verankerung der hydrokinetischen Turbine im Fluss und am Ufer
- Entwicklung der elektrischen Anlage mit Schaltschrank, Frequenzumrichter, Messeinrichtungen und mit Anschluss an den Kleinverbraucher oder Netzeinspeisung

Das sind die vier Komponenten für die Lieferung und Installation der elektrischen Energieanlage auf Wasserturbinenbasis.

Der verwertbare Nutzen kann aus der Leistungsgröße der Anlage von $P_{el} = 10 \text{ kW}$ und dem spezifischen Elektroenergieverbraucherpreis von $0,29 \text{ €/kWh}$ bei einer Verbrauchsdauer von 14 h/Tag mit den Kosten $K = 40,74 \text{ €/Tag} = 1262,94 \text{ €/Monat} = 15155,28 \text{ €/a}$. Bei einer Amortisationszeit von 18 Jahren ergibt sich ein Nutzen pro Anlage in Höhe von 272.795 € .

Die weitere Entwicklung der Anlagen zur Serienreife und zum Anlagenverkauf soll also fortgesetzt werden und zu einem wirtschaftlichen Nutzen führen. In den Abb. 21 und 22 sind die schwimmenden Turbinenanlagen in einem Fluss für eine Turbine ohne und mit Mantelgehäuse dargestellt.

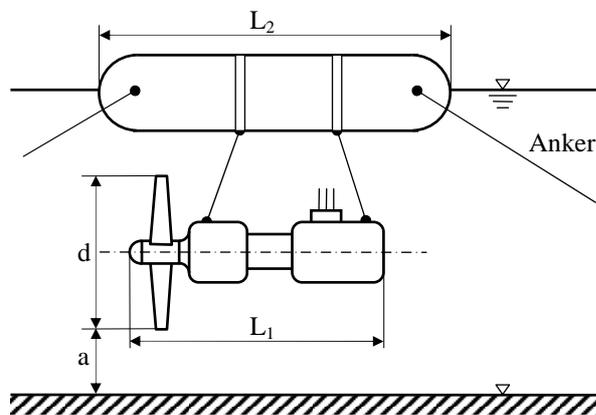


Abb. 21 Anlage einer hydrokinetischen Turbine

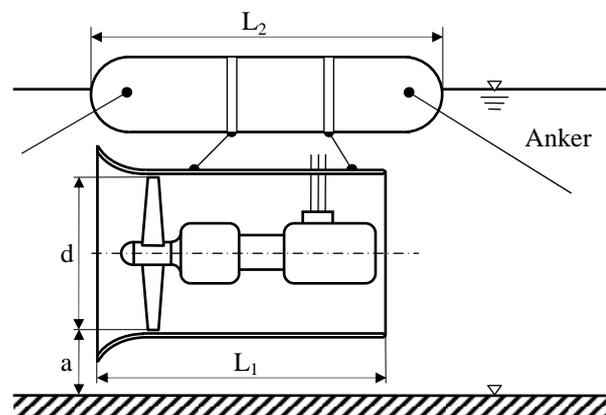


Abb. 22 Anlage einer hydrokinetischen Turbine mit Gehäuse

5 des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Während der Durchführung des Vorhabens sind dem Projektbearbeiter folgende weitere Resultate von der Bearbeitung ähnlicher Aufgaben bekannt geworden:

- Eine Flussturbine und eine Meeresgezeitenturbine an der Universität Stuttgart IHS
- Eine ummantelte Flusswasserturbine mit zwei Schaufeln für die Donau mit dem Namen Stromboje 2 der Firma AquaLibre in Krems (Abb. 23)
- Eine hydrokinetische Turbine der Firma KSB Frankenthal (Abb. 24)
- Eine hydrokinetische Turbine von $d = 2 \text{ m}$ Durchmesser in USA. (Abb. 25)

Alle drei hydrokinetischen Turbinen sind für tiefe Flüsse in Kanada, in den USA und in der Donau und damit auch für größere Leistungen gebaut und eingesetzt worden. Die hydrokinetische Turbine von KSB liegt im Leistungsbereich mit $P_K = 4,5 \text{ kW} < 5 \text{ kW}$, ebenso wie die in Merseburg entwickelten Turbinen mit Leistungen von $P_K = 1,0 \text{ kW}$ bei $d_2 = 680 \text{ mm}$ und $P_K = 4,2 \text{ kW}$ für $d_2 = 1600 \text{ mm}$. Die Kennlinienverläufe der Fremden Turbinen sind nicht bekannt geworden. Sie werden aber den ähnlichen Verlauf nehmen wie die eigenen entwickelten Turbinen. Wie die Abb. 25 zeigt, wird der Montage- und Installationsaufwand für die hydrokinetische Turbine um so höher je größer die Leistungen und damit auch die geometrischen

Abmessungen sind, aber stets noch weit geringer als Wasserturbinen mit Staustufen, Turbinenbauwerken und Rechenanlagen (Abb. 26). Über die Eintauchtiefe und die Verankerung der Turbinen im Fluss der genannten Wettbewerber wird nichts ausgesagt. Das werden die zukünftigen eigenen Entwicklungen des ZE und der Herstellerfirmen ergeben.



Abb. 23 ummantelte Flusswasserturbine mit zwei Schaufeln mit dem Namen Stromboje 2



Abb. 24 hydrokinetische Turbine der Firma KSB Frankenthal



Abb. 25 hydrokinetische Turbine mit $d = 2$ m Durchmesser in den USA



Abb. 26 Turbinenbauwerk mit Staustufe

6 Erfolge oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Im Bearbeitungszeitraum der Förderaufgabe 17078X10 wurden 16 Publikationen veröffentlicht. Darunter 11 Zeitschriftensätze und 5 Vorträge, die nachfolgend aufgeführt sind:

- Surek, D.: (2009) Einsatzbereiche von mobilen Flusswasserkraftwerken; Vortrag auf der Fachtagung Flussstrom 16. Juni 2009 in Magdeburg
- Surek, D.; Stempin, S.: (2009) Mobile Flusswasserkraftwerke; Forschungsbericht der Hochschule Merseburg 2009, S.160-165
- Surek, D.: (2009) Einsatzbereiche von mobilen Flusswasserkraftwerken; Wasserkraft Energie Heft 4/09, S.2-19, Verlag Moritz Schäfer GmbH & Co. KG, Detmold
- Surek, D.: (2010) Wasserenergienutzung in Klärwerken; Zeitschrift PumpeDE, 4/April 2010, S.10-11, Verlag DdV media international
- Surek, D.; Stempin, S.: (2010) Dimensionless Numbers of Mobile Stream Water Turbines; 16. Internationales Seminar Wasserkraftanlagen, 24-26. November 2010 in Wien
- Surek, D.; Stempin, S.: (2011) Dimensionslose Kennzahlen und Cordierdiagramm für mobile Flusswasserturbinen; Wasserkraft und Energie Heft 3/11, S.14-26, Verlag Moritz Schäfer GmbH & Co. KG, Detmold
- Surek, D.; Stempin, S.: (2011) Axialturbinen für die Flussenergienutzung ohne Staustufe; Forschungsberichte 2011 der Hochschule Merseburg; ISBN: 978-3-942703-07-9
- Surek, D.: (2011) Ausgeführte Flusswasserturbinen. Vortrag im Netzwerk Technologiekompetenz Flussstrom am 05.10.2011 in Magdeburg

- Surek, D.; (2011) Nutzung der Flusswasserenergie mit mobilen Axialturbinen ohne Stau-
stufe; 43. Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2011 18./19.10.2011 in Dresden
- Surek, D.; (2011) Ausgeführte Flusswasserturbinen. Vortrag im Netzwerk Technologie-
kompetenz Flussstrom am 05.10.2011 in Magdeburg
- Surek, D.; (2012) Entwicklungsstand von Hydrokinetischen Kleinwasserturbinen, Innova-
tions-forum Fluss-Strom am 25./26.09.2012 in Magdeburg
- Surek, D.; (2012) Entwicklung und Einsatz Hydrokinetischer Turbinen, Vortrag zum Tag
der Forschung am 08.11.2012 an der Hochschule Merseburg
- Surek, D.; (2012) Versuchsanlage für Niedrigpotentialpumpspeicherkraftwerke und Hyd-
rokinetische Turbinen. 17. Internationales Seminar Wasserkraftanlagen am 21.-23.11.2012
in Wien, Tagungsband
- Surek, D.: (2013) Test Facility for Low Potential Pumped Storage Power Plants and
Hydrokinetic Turbines, Journal of Energy and Power Engineering (JEPE), Volume 7,
Number 11, November 2013
- Heineken, W.; Surek, D.; (2014) Vergleich zweier CFD-Simulationen von Hydrokineti-
schen Turbinen, 11. Tagung Technische Diagnostik, 23.-24.10.2014, Merseburg
- Surek, D.; Heineken, W.; (2014) Simulationsrechnung für eine Hydrokinetische Kleintur-
bine, 18th International Seminar on Hydropower Plants, 26.-28.11.2014, Wien

III Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurzgefasster Erfolgskontrollbe- richt beizufügen, der nicht veröffentlicht wird. Dieser muss darstellen

1 den Beitrag des Ergebnisses zu den Förderpolitischen Zielen, z.B. des För- derprogramms – (ggf. unter Angabe des Schwerpunktes) – soweit dies mög- lich ist

Die Förderpolitischen Ziele des For-
schungsprojektes „Entwicklung einer
mobilen Wasserturbine für die Fluss-
energienutzung“ FKZ 17078X10 be-
stehen aus:

1. in der Nutzung regenerativer
Energien, hier der Flussener-
gie $c^2/2$
2. in der zukünftigen Schaffung
neuer zusätzlicher Arbeitsplät-
ze in einer zu entwickelnden
Wasserturbinenindustrie für
hydrokinetische Turbinen in
flachen Flusslandschaften

Dadurch, dass bei der Bearbeitung des
Forschungsprojektes drei Erpro-
bungsmuster der hydrokinetischen
Turbinen entwickelt und mit Hilfe der
Kooperationspartner aus der einschlä-
gigen Industrie gefertigt wurden und
sowohl im Flusslauf (Kanal) wie auch
im Wasserringkanal an der TU Berlin

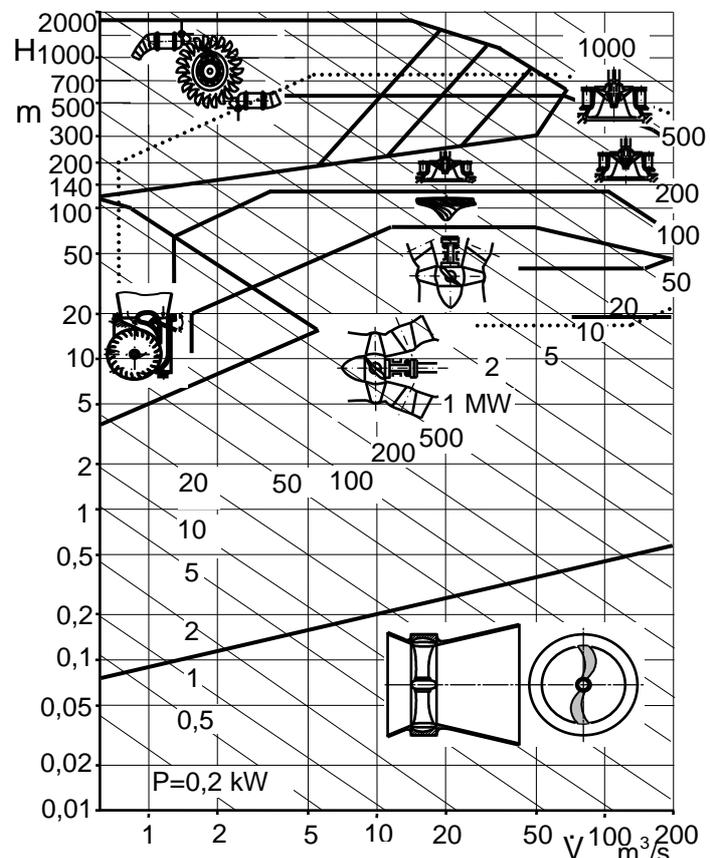


Abb. 27 Gesamtkennfeld von Wasserturbinen mit der hydro-
kinetischen Turbine

erprobt wurden, sind die Voraussetzungen für eine Entwicklung zur Serienreife von hydrokinetischen Turbinen in einem entsprechenden Kennfeld (Abb. 27) und fünf Erprobungsmustern einschließlich der Erprobung und der Kennlinienmessung gegeben.

Die ersten hydrokinetischen Turbinen wurden als Axialturbinen mit 2 und 3 Schaufeln entwickelt, um eine Verstopfung der Turbinen durch Schwimmgut und besonders durch Faserstoffe zu vermeiden. Aus diesem Grund wurden die Axialschaufeln auch rückwärts gekrümmt ausgeführt, um zu gewährleisten, dass Gras, Schilf und andere faserige Stoffe bei Rotation des Laufrades von den Schaufeln abgeschleudert werden. In Axialturbinen mit freilaufenden Schaufeln treten durch die Schaufelumströmung im Schaufelendbereich Verluste und damit auch geringere Turbinenleistungen auf. Um den Einfluss des Gehäuses auf die Schaufelumströmung und die Turbinenleistung zu ermitteln wurde auch eine hydrokinetische Turbine mit Mantelgehäuse entwickelt und erprobt, bei der die spezifische Turbinenleistung gegenüber der Gehäuselosen Turbine vergrößert werden konnte.

2 das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse werden zunächst aufgezählt und danach beschrieben

1. Entwicklung und Erprobung von hydrokinetischen Turbinen
2. Ergänzung des Turbinenkennfeldes im unteren Leistungsbereich für Gefällehöhen von $H = 0,001$ m bis 1,5 m unterhalb der Kaplan turbinen, also Flussturbinen ohne Staustufen entsprechend Abb. 27
3. Auslegung von drei Funktionsmustern und Funktionsnachweise der hydrokinetischen Turbinen mit vertretbarer Leistungsgröße
4. Entwicklung, Funktionsnachweis für frei fahrende Axialturbinen und ummantelten Turbinen.
5. Entwicklung und Erprobung zwei weiterer hydrokinetischer Turbinen RZP 60-3.26-4/16 S25 mit $d_2 = 600$ mm und einer Turbine mit $d_2 = 1600$ mm und $z = 2$ Schaufeln mit der Maximalleistung von $P_{el} = 4,2$ kW
6. Kennlinienmessung der hydrokinetischen Turbinen auf dem Erprobungsgerät Vector auf einem Fluss und Kanal
7. Um Sekundäreinflüsse bei der Funktionserprobung und der Kennlinienmessung auf dem Fluss auszuschließen erfolgte die Kennlinienmessung auch in einem Wasserringkanal bei gleichen Anströmgeschwindigkeiten mit Frequenzumrichter und vergleichbaren Resultaten

zu 1: Die Entwicklung der hydrokinetischen Axialturbinen erfolgte sowohl mit freifahrenden Laufrad und für das ummantelte Laufrad um den bekannten Einfluss der Schaufelumströmung bei dem freifahrenden Laufrad zu ermitteln und die Leistungssteigerung für die ummantelte Turbine nachzuweisen.

zu 2: Unterhalb der Kaplan turbinen bei $H < 1,5$ m Gefällehöhe lag bisher ein unbesetztes Gebiet, das mehrer Fragen zur Folge hatte. Dieses Gebiet konnte in Übereinstimmung mit der Universität Stuttgart IHS und der Technischen Universität Wien durch die technische nutzbaren hydrokinetischen Turbinen besetzt werden (Abb. 27).

zu 3 und 4: Die Auslegung der freifahrenden Laufräder und der ummantelten Turbinen erfolgte mit unterschiedlichen Methoden, ohne und mit radialer Schaufelbegrenzung durch ein Gehäuse, die zu unterschiedlichen Resultaten führen. Zur radialen Abströmung von der Schaufel und damit zur Minderung des Auftriebsbeiwertes und zur Minderung der Leistungsübertragung.

zu 5 und 6: Um die praktischen Realbedingungen für die Funktionserprobung und die Kennlinienmessungen im Fluss oder im Kanal zu wahren, erfolgten die Kennlinienmessungen zunächst auf dem Erprobungsgerät Vector mit dem Unterwassergenerator und einem Frequenzumrichter.

zu 7: Zur Absicherung der Messbedingungen und zur Bestätigung der Messresultate auf dem Fluss wurden die Turbinen nachfolgend im Wasserringkanal an der TU Berlin unter gleichen Bedingungen und für gleiche Anströmgeschwindigkeiten erprobt und gemessen. Dabei konnten die Messresultate auf dem Vector bestätigt werden, so dass ein hohes Maß an Messsicherheit gewährleistet wurde. Die Nebenergebnisse des Forschungsprojektes waren und sind die Gründe eines Netzwerkes Flussstrom entsprechend Tabelle 1, das wesentlich zur Stärkung des Forschungsprojektes führte und die einschlägige Industrie für die Nutzung der regenerativen Wasserenergie mobilisierte. Der Einfluss des ZE auf das Netzwerk Flussstrom war während der gesamten Bearbeitungsdauer erheblich und führte schließlich zu einem Wachstumskern für die Wasserenergienutzung in der Region Sachsen Anhalt. Dadurch wurden auch 24 Firmen für diese Aufgabe gewonnen.

3 die Fortschreibung des Verwertungsplanes. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden)

- **Erfindungen/Schutzrechanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger (ZE) oder von am Vorhaben beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren Standortbezogene Verwertung.**

Vom ZE wurden weder Erfindungen noch Schutzrechanmeldungen getätigt, da sich die Projektarbeit vorrangig auf die Entwicklung, den Bau, die Erprobung und Messung hydrokinetischer Turbinen nach wohlbekannten Gesetzen bezog.

Von einigen Vertretern des Netzwerkes Flussstrom wie z.B. GMO, Ingenieurbüro Hartmuth Drews und Frank Gnisa wurden Schutzanmeldungen getätigt.

- **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende - z. B. funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen. Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/ -industrien am Standort Deutschland, Umsetzung- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)**

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach dem Projektende sind durch folgende Maßnahmen positiv.

Das Netzwerk Flussstrom bereitet seit Ende 2013 mit den 24 Firmen einen Wachstumskern Flussstrom plus vor, an dem der ZE mit der Aufgabe der hydrokinetischen Turbinen aktiv beteiligt sein wird. Dieser WK wird nach allen Vorbereitungen am 01. Juli 2015 mit 6 Schwerpunkten zur Flusswasserenergienutzung starten, mit dem Ziel der Unternehmenserweiterung, der Unternehmensgründung und der Vermarktung von Flussenergieanlagen sowie der Erhöhung des Arbeitskräftepotentials in den Unternehmen.

Es soll eine dezentrale Elektroenergieversorgung von Kleinunternehmen, von Haushalten und von kommunalen Einrichtungen erfolgen.

- **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeit-horizont) - u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen**

Während der Bearbeitungszeit dieses Projektes erfolgten bereits 16 Veröffentlichungen und Fachvorträge zum Thema hydrokinetische Turbinen und Flussenergienutzung. Dadurch wurde die HS Merseburg in der Fachwelt und im Bereich der Flussenergienutzung bekannt und anerkannt. Außerdem konnte das Wasserturbinenkennfeld mit den hydrokinetischen Turbinen erweitert werden (Abb. 27). Dadurch ergaben sich wertvolle Kontakte zu

Industrien, Universitäten und Unternehmen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und in Norwegen. Die Technik und Auslegung von hydrokinetischen Turbinen fand auch bereits in die neue technische Literatur Eingang wie z. B. Surek. D. Pumpen für Abwasser- und Kläranlagen. Springer Vieweg-Verlag Berlin 2014, ISBN 978-3-658-02959-3

- **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Ausschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse**

Das während der Bearbeitungszeit des Forschungsprojektes Flussstrom mit 24 Mitgliedern gegründete Netzwerk Flussstrom, führte zu einem Wachstumskern (WK) Flussstrom plus, der bereits 2014 vor der Kommission des Wirtschaftsrates erfolgreich verteidigt worden ist. Mit der Bearbeitung der Themen in sechs Arbeitsgruppen soll am 01. Juli 2015 begonnen werden nachdem die Zuwendungsbescheide ausgegeben werden. Damit wird eine folgerichtige Fortsetzung der Entwicklung von Flussstromturbinen und Wasserkraftanlagen ohne Staustufe aufgenommen. In den drei Jahren des WK von 2015 bis 2018 wird die produktionsreife Entwicklung von Flusswasserkraftanlagen bis zur Produktionseinführung fortgeführt und die drei ersten serienreifen Muster erprobt. Aus dieser Entwicklung wird ein bemerkenswerter wirtschaftlicher Nutzen sowohl auf der Fertigungsseite und auf der Seite der regenerativen Energieerzeugung in Deutschland und vorrangig im Land Sachsen-Anhalt entstehen.

4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes gab es keine Arbeiten, die zu keiner Lösung führten. Alle durchgeführten Arbeiten führten zu verwertbaren Lösungen und zu wissenschaftlichen Erkenntnissen und zu Publikationen.

5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer – z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

Es wurden 6 Anwenderkonferenzen in Merseburg, Magdeburg und Wien und drei Konferenzen im internationalen Rahmen durchgeführt, siehe Literaturzusammenstellung im Punkt I. 5 und II. 6.

6 die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die geplanten Ausgaben wurden eingehalten und ein Teil konnte eingespart werden. Die Zeitplanung bis zur Entwicklung der drei Versuchsmuster war planmäßig. Erst bei der experimentellen Erprobung traten durch Fremdeinflüsse Zeitverzögerungen ein, die durch Netzwerkpartner verursacht wurden. Daraufhin wurde beim PtJ eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.01.2015 beantragt, die auch bewilligt worden ist. Im Ergebnis dessen konnten neben den drei hydrokinetischen Turbinen, die entwickelt, gebaut und auf dem Vector positiv erprobt worden sind und zusätzlich auch zwei hydrokinetische Turbinen im Wasser-ringkanal in Berlin und auf dem Vector erfolgreich erprobt werden.

IV Mit dem Schlussbericht ist außerdem eine „Kurzfassung“ (Berichtsblatt) des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts nach den dem Zuwendungsbescheid beigefügten „Hinweisen zur Ausfüllung des Berichtsblattes“ vorzulegen

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens 17078X10

„Entwicklung einer mobilen Wasserturbine für die Flussenergienutzung“ sind:

- Es wurden drei hydrokinetische Turbinen entwickelt, gebaut und mit positivem Ergebnis auf dem Vector im Kanal erprobt und zwei Turbinen wurden zum Vergleich im Wasser-ringkanal in Berlin erprobt
- Darüber hinaus wurden in der kostenneutralen Themenverlängerung des Projektes bis zum 31.01.2015, also um 17 Monate zwei weitere hydrokinetische Turbinen entwickelt, gebaut und mit positivem Resultat für maximale Leistungen von $P_{el} = 4,2$ kW erprobt.
- Damit sind die Vorraussetzungen für die weitere Entwicklung hydrokinetischer Turbinen in einer Leistungsgestuften Baureihe zur Serienreife geschaffen.
- Die Resultate dieser Forschung wurden allen 24 Unternehmen des Netzwerkes zugänglich gemacht, so dass sie sich auf die Fertigung hydrokinetischer Turbinen vorbereiten können.
- Aus dem Forschungsprojekt resultieren 5 Vorträge und 11 schriftliche Veröffentlichungen, die der nationalen und internationalen Öffentlichkeit zugänglich sind.
- Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes stellen die Vorraussetzungen dafür dar, zu diesem Thema einen Wachstumskern für das Netzwerk Flussstrom plus zu beantragen.
- Technische und wirtschaftliche Resultate des Forschungsprojektes sind
 - Elektroenergiegewinnung aus dem strömenden Wasser von Flüssen
 - Zukünftige Erhöhung der Beschäftigtenzahl in der Industrie durch den Bau von hydrokinetischen Turbinen zur Elektroenergieerzeugung