

Projekt 2014-02

**Entwicklung und Bau einer Wasserkraftmaschine  
mit hohem Nutzungsgrad für bestehende Bauwerke  
im Abwasserbereich**

*Abschlussbericht*



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Projektüberblick</b>	<b>4</b>
1.1	<i>Ausgangslage</i>	4
1.2	<i>Wissenschaftliche und technische Ziele</i>	5
1.3	<i>Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens</i>	6
<b>2</b>	<b>Projektbeschreibung</b>	<b>8</b>
2.1	<b>Projekttablauf</b>	<b>8</b>
2.1.1	<i>Projektidee</i>	8
2.1.2	<i>Terminplan</i>	9
2.1.3	<i>Budgetplanung und Förderung</i>	9
2.2	<b>Projektplanung</b>	<b>9</b>
2.2.1	<i>Energiekonzept und Studien</i>	9
2.2.2	<i>Ausführungsplanung</i>	11
2.3	<b>Technische Umsetzung</b>	<b>13</b>
2.3.1	<i>Technische Daten</i>	13
2.3.2	<i>Anlagenbau</i>	14
2.3.3	<i>Schemata und Pläne</i>	15
2.4	<b>Anlagenbetrieb</b>	<b>17</b>
2.4.1	<i>Auswertung der Betriebsergebnisse</i>	17
2.4.2	<i>Aufgetretene Störungen</i>	17
2.4.3	<i>Lösungsansätze im Betrieb</i>	17
2.5	<b>Ökologischer Nutzen</b>	<b>17</b>
2.5.1	<i>Einsparung an Primärenergie</i>	17
2.5.2	<i>Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission</i>	18
2.6	<b>Betrachtung der Wirtschaftlichkeit</b>	<b>18</b>
2.6.1	<i>Investitionskosten</i>	18
2.6.2	<i>Betriebskosten</i>	18
2.6.3	<i>Verbesserung der Wirtschaftlichkeit</i>	19
<b>3</b>	<b>Wirkung der Umsetzung</b>	<b>19</b>
3.1	<i>Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb</i>	19
3.2	<i>Weiterführende, resultierende Maßnahmen</i>	20
3.3	<i>Übertragbarkeit der Projektergebnisse</i>	20
<b>4</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>20</b>
4.1	<i>Führungen und Vorträge</i>	20
4.2	<i>Flyer, Presse, Veröffentlichungen</i>	22
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung/Fazit</b>	<b>24</b>

<b>6</b>	<b><i>Ausblick</i></b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b><i>Anlage: Projekterkenntnisse</i></b>	<b>27</b>

# 1 Projektüberblick

## 1.1 Ausgangslage

In Deutschland gibt es fast 10.000 Abwasserreinigungsanlagen. Das dazu gehörende Kanalnetz der öffentlichen Abwasserentsorgung ist über 540.000 Kilometer lang. Auf nahezu jeder Abwasserreinigungsanlage, beziehungsweise in nahezu jedem Kanalnetz gibt es Stellen, welche sich grundsätzlich zur Nutzung von Wasserkraft zur Stromerzeugung aus Abwasser eignen.

Abwasserreinigungsanlagen, welche das Hauptanwendungsgebiet unserer Entwicklungen sein werden, sind große Stromverbraucher. Die Anlagen werden oftmals mit fossil erzeugtem Strom betrieben. Durch Wasserkraftmaschinen kann Stromenergie aus Abwasser dort gewonnen werden, wo viel Strom direkt gebraucht wird, um das Abwasser zu reinigen. Ohne Zwischenspeicherung und ohne ein externes Stromverteilnetz.

Was die Innovation im Allgemeinen betrifft schrieb die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall zum Thema „Energiepotenziale in der Wasserwirtschaft - Schwerpunkt Abwasser“ vom April 2010 zum Thema Wasserrad und Wasserkraftschnecken: „Der besser geeignete Einsatzort ist der Ablauf von Kläranlagen. Hier fehlen aber noch entsprechende Demonstrationsprojekte.“

Trotz stetig steigendem Interesse von Anlagenbetreibern und Ingenieuren an der Wasserkraft im Abwasserbereich scheitert eine Realisierung von Projekten oftmals an zwei Problemen:

Einerseits ist die Technik selbst im Bereich der Kleinstwasserkraft nicht auf die Besonderheiten des Abwasserbereiches wie z.B. die stark schwankenden und im Vergleich auf geringe Durchflussmengen ausgelegt .

Andererseits sind oftmals teure bauliche Maßnahmen erforderlich um z.B. eine Wasserkraftschnecke oder ein herkömmliches Wasserrad in bestehende Abwasserreinigungsanlagen oder Kanäle zu integrieren.

Mit dem von der badenova geförderten Projekt kann man interessierten Anlagenbetreibern und Ingenieuren eine interessante Alternative anbieten.

## 1.2 Wissenschaftliche und technische Ziele

Ziel des Projektes war Entwicklung und Bau einer Wasserkraftmaschine, welche aus einem oder mehreren übereinanderliegenden überschlächtigen Wasserrädern besteht und durch die spezielle Bauart in bestehende Bauwerke im Abwasserbereich ohne bauliche Veränderungen eingebaut werden kann. Sie kann sowohl mit gereinigten, sowie auch mit Schmutzwasser betrieben werden. Zudem sollte die Maschine die Eigenschaft aufweisen mit den oftmals stark schwankenden Wassermengen einer Kläranlage einen guten Nutzungsgrad zu erreichen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Entwicklung war die Optimierung des Ein- und Auslaufes. Hierbei galt es besonders darauf zu achten dass die Zuflussgeschwindigkeit und die Umfangsgeschwindigkeit des Wasserrades im Verhältnis von ca.2:1 eingehalten werden kann.

Zudem wurde ein spezielles Leitblech konstruiert und erprobt, welches die Aufgabe hat, dass Wasser solange wie möglich in jeder einzelnen Wasserradzelle bis zum Entleerungspunkt zu halten. Besonders bei im Verhältnis sehr kleinen Wasserraddurchmessern, wie diese bei unserem Projekt eingesetzt wurden, ist das Erreichen eines guten Nutzungsgrades ein nicht zu vernachlässigender Aspekt.

Als wissenschaftliches Ziel stand vor allem das Erreichen eines hohen Nutzungsgrades über die stark schwankenden Wassermengen im Vordergrund. Das Erreichen dieses Ziels wurde mit Hilfe eines eigenen Messstandes und unterschiedlichen Versuchsvorrichtungen von Wasserrädern mit unterschiedlichen Geometrien der Schaufelform getestet und in vielen Messreihen dokumentiert. Zur Messung der mechanischen Leistung wurde eine Bremsvorrichtung nach dem Prinzip des „Pronyscher Zaum“ eingesetzt.

Zur Überprüfung unserer Messergebnisse wurden auch zweimal Versuche auf einem hochwertigen Prüfmessstand einer Partnerfirma gemacht.

Zudem wurde die grundsätzliche Fragestellung untersucht ob sich zur Stromerzeugung besser ein Permanent -Magnet -Generator mit Wechselrichter oder ein Asynchrongenerator eignet.

Ein weiteres Ziel welches in fast allen Bereichen des Projektes Beachtung gefunden hat, war die Vorgabe die Wasserkraftmaschine so zu konstruieren und zu bauen, dass die Herstellungskosten soweit wie möglich gesenkt werden konnten. Denn nur durch die konsequente Umsetzung dieses Zieles hat das durch den Innovationsfonds der badenova geförderte Projekt eine Zukunftschance.



Firmeneigene Versuchsanlage mit Pronyscher Zaum

### 1.3 Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens

Eine grundsätzliche Herausforderung des Projektes war, dass die benötigten Raddurchmesser der überschlächtigen Wasserräder einiges kleiner waren als herkömmliche überschlächtige Wasserräder welche in der Fachliteratur beschrieben werden.

Die Fachliteratur wiederum setzt sich hauptsächlich aus Reprints von Fachbüchern aus den Jahren von 1870 -1910 zusammen. Die Recherchen waren zum Teil sehr schwierig bzw. nicht unbedingt zielführend zur Lösung unserer Probleme. Dies hatte zur Folge dass nur zum Teil theoretische Kennwerte übernommen werden konnten. Das Fehlen von theoretischen Kennwerten konnte nur durch praktische Versuche gelöst werden.

Dasselbe Problem war bei der Findung der idealen Schaufelgeometrie gegeben, da die beschriebenen Referenzwasserräder viel größere Radien und Umfangsstrecken aufwiesen. Die beschriebenen Stoßräder welche einem Raddurchmesser von 1 Meter am nächsten waren, kamen als Konstruktionsgrundlage nicht Betracht. Der

mechanische Wirkungsgrad von Stoßrädern ist einfach zu schlecht um mit dem erzeugten Strom die Investition in einem vorgegebenen Amortisationszeitraum zu finanzieren.

Nachdem mit dem Bau und den Versuchen der doppelstöckigen Versuchsanlage die konstruktiven Herausforderungen soweit gelöst werden konnten, dass die Messreihen einen konstant befriedigenden Wirkungsgrad aufzeigten, ging es darum einen geeigneten Einbauort auf einer Kläranlage zu finden.

Leider zeigte sich auf der Suche nach einem geeigneten Einbauort immer wieder dasselbe Problem: Grundsätzlich sind Anlagenbetreiber an einer zukunftsorientierten und energieeffizienten Technik interessiert und finden diese oftmals auch gut. Geht es jedoch darum diese auch auf der eigenen Kläranlage zu installieren, ist die reine Betrachtung einer möglichst kurzen Amortisationszeit für die Investition ausschlaggebend.

An dieser Stelle möchten wir deutlich unterstreichen wie sehr der Innovationsfonds der badenova in einer solchen Situation unterstützt und dadurch erst die Verwirklichung von Innovationen ermöglicht. Zudem möchten wir uns an dieser Stelle bei Frau Held und Herrn Tuth für die Unterstützung und Hilfe zu jedem Zeitpunkt während der Umsetzung des Projektes bedanken.

Die Chancen dieses Vorhabens liegen vor allem darin, dass mit den Versuchsreihen und mit dem Bau der Referenzanlage eine alte robuste Art der Energieerzeugung zur Stromerzeugung genutzt werden kann ohne große und letztendlich teure bauliche Maßnahmen vorzunehmen, was bisher durch die Baugrößen von herkömmlichen Wasserrädern kaum möglich war. Gerade dieser Aspekt ist in Zeiten der Energiewende und des Klimawandels sehr wichtig, da nicht nur Großprojekte wie z.B. Windparks in der Nordsee zum Erfolg der Beendigung der Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen notwendig sind. Auch die vielen kleinen Maßnahmen wie z.B. die Energieerzeugung aus Abwasser mit Hilfe der vom Innovationsfonds unterstützten Wasserkraftmaschine trägt dazu bei. Besonders auch dann wenn der Strom wie im Fall einer Abwasserreinigungsanlage direkt vor Ort vollständig verbraucht werden kann.

Zudem ist die Technik nicht nur auf dem Bereich der Abwassereinigung beschränkt, sondern kann allgemein im Bereich der Kleinstwasserkraft eingesetzt werden.

Auf der anderen Seite sind die Risiken eines solchen Vorhabens nicht zu vernachlässigen. Besonders bei neuen technischen Entwicklungen besteht immer wieder die Gefahr, dass die gesetzten Ziele aus vielerlei Gründen nicht erreicht werden können. So setzen einem z.B. die physikalischen Gesetze Grenzen, welche man selbst mit den besten Konstruktionslösungen nicht umgehen kann. Zum anderen ist es manchmal bei solchen Projekten sehr gefährlich, zu viel Zeit und Geld

daran zu setzen den letzten Prozentpunkt des Wirkungsgrades zu erreichen. Ein weiteres Risiko besonders bei Vorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien besteht darin, dass plötzliche Gesetzesänderungen wirtschaftliche Vorteile sehr schnell negativ beeinflussen können. So ist z.B. die EEG-Umlage sowie eine zusätzliche Steuer bei Eigenstromverbrauch nicht gerade förderlich bei der Markteinführung.

## **2 Projektbeschreibung**

### **2.1 Projektablauf**

#### **2.1.1 Projektidee**

Die Grundidee des Projektes bestand darin, eine Wasserkraftmaschine zu bauen, welche in Bauwerke auf Abwassereinigungsanlagen passt. Die Wasserkraftmaschine wird dem Bauwerk angepasst und nicht das Bauwerk dem Wasserrad wie bisher aufgrund der Baugröße der Wasserräder. Sobald das Bauwerk der Wasserkraftmaschine angepasst werden muss, erhöht das sehr die Investitionskosten, was oftmals zum Scheitern der Realisierung eines solchen Projektes führt.

Um jedoch Wasserkraftmaschinen in z.B. engen Auslaufbauwerken von Kläranalgen einbauen und dabei die maximale Fallhöhe ausnutzen zu können, müssen die Wasserräder oftmals übereinander angeordnet werden.

Genau diese Idee wurde im Projekt umgesetzt und als Abschlussergebnis entstand eine Wasserkraftmaschine mit drei übereinander angeordneten Wasserrädern mit einem Durchmesser von jeweils 0,98 Meter. Mit dieser Baugröße kann eine Wasserkraftmaschine in nahezu jeden bestehenden Standardschacht eingebaut werden.

### **2.1.2 Terminplan**

Oktober 2013	Antrag auf Gewährung einer Förderung
April 2014	Beginn der Förderung des Projekts
Mai 2014- August 2014	Konstruktion und Bau eines Versuchsrades mit d 1480 mm
05.August 2014	Pressetermin der badenova auf der KA Klettgau-West
September 2014	Konstruktion und Bau eines Versuchsrades mit d 980 mm
Sept.2014-April 2015	Konstruktion und Bau eines doppelstöckigen Versuchsrades
Sommer/Herbst 2015	Versuchsreihen mit dem doppelstöckigen Versuchsrade
Januar 2016	Konstruktion der dreistöckigen Maschine Kläranlage Moos
Jan.2016 – März 2016	Bau der dreistöckigen Wasserkraftmaschine
März 2016	Inbetriebnahme dreistöckige Wasserkraftmaschine in Moos
15.April 2016	Besichtigung von Herrn Tuth auf der Kläranlage Moos
Mai 2016	Abschlussbericht zum Projekt

### **2.1.3 Budgetplanung und Förderung**

Die Budgetplanung für das Projekt betrug 55.500.- €. Das Projekt wurde mit einem Betrag von 27.750.- € aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova gefördert.

Der Betrag teilt sich in etwa in 85% Personalkosten und in 15% Sachkosten auf.

Es sollte jedoch angemerkt werden, dass viele Stunden für die Konstruktion und Auswertung der Messreihen nicht kostenrelevant erfasst wurden.

## **2.2 Projektplanung**

### **2.2.1 Energiekonzept und Studien**

Bevor mit einer Suche nach einem konkreten Einbauort für eine Referenzanlage für eine mehrstöckige übereinander angeordneten Wasserkraftmaschine gesucht wurde,

standen erstmals zahlreiche Versuchs- und Messreihen im Vordergrund. Hierbei wurde zuerst ein überschlächtiges Wasserrad mit einem Durchmesser von 1.480 mm gebaut. Als dieses nach Verbesserungen vor allem der Schaufelgeometrie sowie des Ein- und Auslaufes und eines speziellen Leitbleches ein befriedigendes Ergebnis lieferte, ging man an den Bau eines zweiten Versuchsrades mit einem Durchmesser von 980 mm.

Ein Durchmesser von 980 mm hat den Vorteil, dass dieses Rad selbst durch Standardkanaldeckel passt. Allerdings musste die Geometrie nochmals verkleinert werden und dadurch wurde das Füllvolumen der einzelnen Kammern auch immer kleiner. Nach weiterer „Tüftlerarbeit“ konnte in Messversuchen ein mechanischer Wirkungsgrad von ca. 85 % erreicht werden. Dies ist für ein Wasserrad mit einem Durchmesser von nur 1 Meter ein sehr beachtlicher Wert.



„ Probieren geht über studieren“

Nach dem Erreichen dieses wichtigen „Etappenziels“ ging es jetzt darum ein zweites Versuchsrad mit dem Durchmesser von 980 mm zu bauen und dieses mit dem ersten Versuchsrad mit dem gleichen Durchmesser in einer Versuchsvorrichtung zu vereinen. Ein wichtiger Punkt auf welchen bei der Konstruktion geachtet werden musste war folgender: Die Zu – und Ablaufbleche zwischen den Rädern mussten so konstruiert werden, dass die bewährten Winkel bzw. Fließ- und Umfangsgeschwindigkeiten in den vorgegeben Maßen des Versuchsgestelles eingehalten werden konnten.

Nach dem die mechanischen Herausforderungen soweit gelöst waren, befasste man sich mit der Fragestellung, welche Art der Stromerzeugung am sinnvollsten erscheint.

Hierzu wurde ein Versuch mit einem Permanentmagnet- Generator mit Wechselrichter und ein Versuch mit einem Asynchrongenerator gefahren. Als Ergebnis ist die Entscheidung für die Stromerzeugung mit Hilfe von Asynchrongeneratoren gefallen. Der Grund hierfür ist einerseits die preisgünstigere Beschaffung der Asynchrongeneratoren, sowie die Robustheit gegenüber der Wechselrichtertechnik. Zudem ist für den Betrieb der Wasserkraftmaschine eine konstante Drehzahl wichtig, was wiederum mehr für die Lösung mit Asynchrongeneratoren spricht.

### **2.2.2 Ausführungsplanung**

Nach den erfolgreichen Versuchsreihen mit der doppelstöckigen Wasserkraftmaschine fing die Suche nach einer geeigneten Referenzanlage an. Nach längerer Suche und mit Hilfe des Ingenieurbüro Raff aus Gottmadingen konnte ein geeigneter Standort auf der Kläranlage des Abwasserverbandes Radolfzeller Aach in Moos am Bodensee gefunden werden.

Auf der Kläranlage Moos befindet vor dem Auslauf des gereinigten Abwassers in den Bodensee eine oberirdische Feinfilteranlage für Schwebstoffe. Am Auslauf der Filteranlage befand sich ein Fallrohr in dem das Wasser aus einer Höhe von über vier Metern ungenutzt in den Ablaufkanal fiel. Zudem ist der oberirdische Einbau einer Referenzanlage besonders für Besichtigungen immer von Vorteil gegenüber einem engen unterirdischen Schacht. So kann anhand der kompakten Bauform sich auch ein Laie vorstellen dass die Wasserkraftmaschine anstatt oberirdisch auch in einen engen unterirdischen Schacht eingebaut werden kann.

Nach Rücksprache mit den Verantwortlichen des Abwasserverbandes konnte mit dem Bau der Referenzanlage begonnen werden.



Auslaufrohr der Feinfilteranlage vor dem Einbau der Wasserkraftmaschine



Feinfilteranlage nach dem Einbau der Wasserkraftmaschine im Ablauf

## 2.3 Technische Umsetzung

### 2.3.1 Technische Daten

Fallhöhe:	3,80 m
Anzahl der Wasserräder:	3 Stück
Raddurchmesser der Einzelräder:	980mm
Radbreite:	610 mm
Anzahl der Schaufeln pro Rad:	15 Stück
Generatoren:	3 Stück SEW Asynchrongeneratoren
Material:	rostfreier Stahl 1.4301

### 2.3.2 Anlagenbau

Nachdem mit dem Abwasserverband Radolfzeller Aach ein Partner gefunden wurde, musste die Wasserkraftmaschine für die vorgegebenen Einbauverhältnisse konstruiert werden. Bei der Konstruktion der Wasserradgeometrie und der Einlauf- bzw. Auslaufbleche konnten auf Ergebnisse der Versuche zurückgegriffen werden.

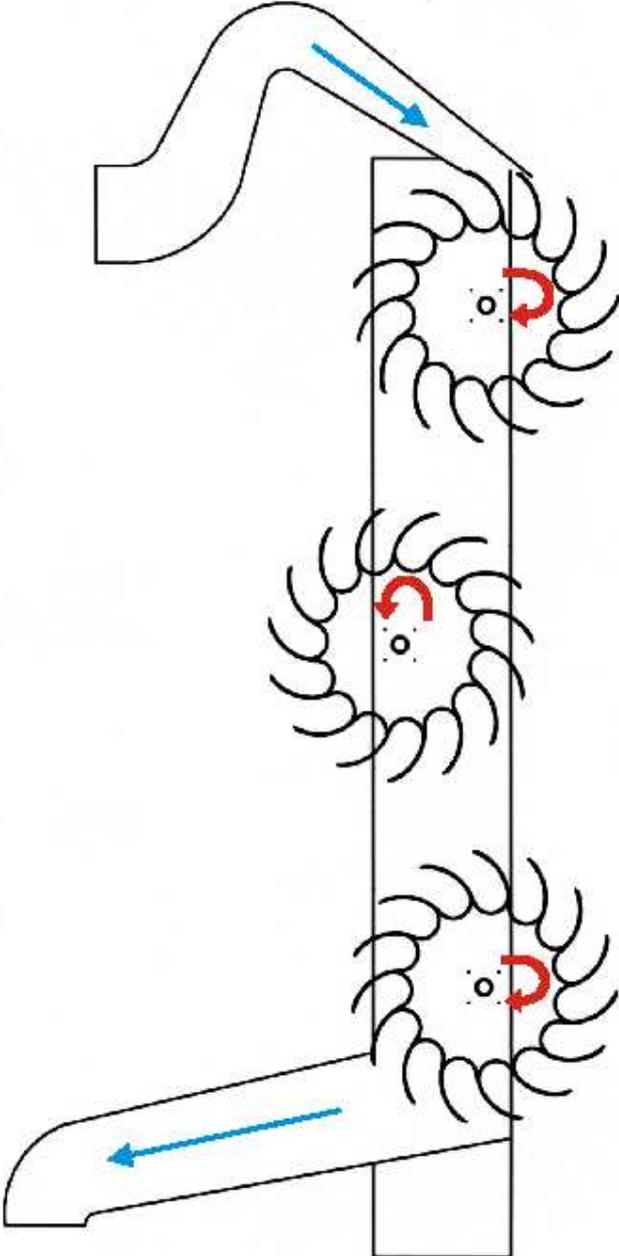
Die Produktionszeit der dreistöckigen Wasserkraftmaschine erfolgte in 5 Arbeitswochen. Eine besondere Herausforderung war hierbei eine hohe Dichtheit der einzelnen Zellkammern sowie ein so gering wie möglicher Spalt zwischen den einzelnen Rädern und dem Leitblech.

Für den Einbau inkl. der Inbetriebnahme der Wasserräder wurden zwei Arbeitstage gebraucht.



Montage der Wasserkraftanlage Anfang März 2016 auf der Kläranlage Moos

2.3.3 Schemata und Pläne





## **2.4 Anlagenbetrieb**

### **2.4.1 Auswertung der Betriebsergebnisse**

Die Auswertung der Betriebsergebnisse bestätigten eine wichtige Zielsetzung dieses Förderprojektes: Das Erreichen eines hohen Nutzungsgrades bei stark schwankenden Wassermengen, welche besonders auf Kläranlagen aufgrund der Wassermengen von Tag-und Nachtablauf bzw. Trocken- und Regenwetterablauf zu finden sind.

Die Auswertungen der Betriebsergebnisse ergaben, dass die Wasserkraftanlage schon ab einer Wassermenge von ca. 10 Litern/s Strom ins Netz einspeisen kann. Die maximale Wassermenge der Wasserkraftanlage liegt bei ca. 85 Litern /s.

Sehr erfreulich ist auch der Verlauf des Gesamtwirkungsgrades der Wasserkraftmaschine bis zur Einspeisung der elektrischen Energie in das Netz der Kläranlage. Dieser liegt über den gesamten Bereich zwischen 58-60%. Dies gerade in Bezug auf den kleinen Durchmesser der einzelnen Wasserräder von unter 1 Meter und der im Verhältnis geringen Wassermenge ist sehr beachtlich.

### **2.4.2 Aufgetretene Störungen**

Seit der Inbetriebnahme der Wasserkraftanlage sind bisher keine Störungen aufgetreten.

### **2.4.3 Lösungsansätze im Betrieb**

Ansätze zur Lösung von Problemen im Betrieb waren bis zur Erstellung des Abschlussberichtes zu diesem Projekt nicht notwendig.

## **2.5 Ökologischer Nutzen**

### **2.5.1 Einsparung an Primärenergie**

Die Einsparung von Primärenergie ist bei der Wasserkraftnutzung auf Kläranlagen von der stark schwankenden Jahreswassermenge abhängig. So können mit der Referenzanlage des Projektes in einem niederschlagsreichen Jahr bis zu 15.000 kWh/a gewonnen werden. Dies entspricht dem Stromverbrauch von über vier Durchschnittshaushalten, erzeugt aus 100% Wasserkraft, welche bisher ungenutzt durch das Ablaufrohr der Feinfilteranlage geflossen war. Zudem mussten keinerlei Eingriffe in die Natur gemacht werden und die Lebewesen gefährdet hätten.

## **2.5.2 Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission**

Laut Umweltbundesamt betrug der Ausstoß von CO<sub>2</sub> im deutschen Energiemix pro kWh ca. 576 Gramm. So kann in einem niederschlagsreichen Jahr die CO<sub>2</sub>-Emission um bis zu 8.640 kg pro Jahr reduziert werden.

## **2.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit**

### **2.6.1 Investitionskosten**

Die Kosten für eine solche Anlage liegen je nach Einbaumöglichkeit, Fallhöhe und Wassermenge zwischen 20.000 und 40.000 Euro.

Ein Problem, welches bei der Entscheidung zur Investition in Wasserkraft auf Kläranlagen oftmals auftritt, ist folgendes: Man setzt die Investitionskosten für Wasserkraft gleich den Investitionskosten von Photovoltaikanlagen. In diesem Fall wird oft zu Ungunsten der Wasserkraft entschieden. Man sollte hierbei jedoch folgende Aspekte berücksichtigen. Eine Wasserkraftmaschine muss aufgrund der physikalischen Kräfte welche an einer solchen Maschine auftreten robust gebaut werden, damit diese eine lange und wartungsarme Maschinenlebensdauer erreicht. Zudem macht der Einsatz von rostfreiem Stahl selbst bei gereinigtem Abwasser aus Gründen der Korrosion Sinn. Jedoch hält diese Wasserkraftmaschine dann Jahrzehnte ohne großen Leistungsverlust. Der beste Beweis hierfür sind die Stahlwasserräder alter Mühlen und Sägewerke, welche oftmals noch nach 100 Jahren gut funktionieren. Des Weiteren erzeugt die Wasserkraftmaschine in über 8.500 Betriebsstunden im Jahr Strom. Dieser Strom kann rund um die Uhr auf der Kläranlage direkt eigenverbraucht werden, ohne diesen speichern bzw. ins öffentliche Netz einspeisen zu müssen.

Besonderes die Argumente der Langlebigkeit, der hohen Betriebsstundenzahl und des Eigenverbrauches sollten bei den Investitionskosten berücksichtigt werden. Deshalb sollte die Wasserkraftmaschine nicht als Gegenprodukt zur Photovoltaik gesehen werden, sondern gemeinsam als sinnvolle Ergänzung zum Erreichen des Zieles einer Stromerzeugung ohne fossile Energieträger.

### **2.6.2 Betriebskosten**

Die Betriebskosten sind als gering anzusehen. Die Überwachung der Funktion der Wasserkraftmaschine wird vom Betriebspersonal bei der Kontrolle der Feinfilteranlage mit gemacht. Des Weiteren wurde darauf geachtet dass die Lager, welche aus rostfreiem Stahl sind gut zu schmieren sind.

Die Verschleißteile der Generatoren sind auf hohe Betriebsstunden ausgelegt. Zudem ist der Generator durch ein Dach geschützt und bedingt durch die hohen Betriebsstunden meist trocken, was den Verschleiß zusätzlich minimiert.

### **2.6.3 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit**

Da es sich bei der dreistöckigen Wasserkraftmaschine um einen Prototypen handelt würden sich die Produktionszeiten in einer Serienproduktion verkürzen, was sich direkt auf die Herstellungskosten auswirken würde.

Zudem sollte darauf geachtet werden, dass das Standardwasserrad mit einem Durchmesser von 980mm bzw. 1.480mm beibehalten wird. Eine Sonderkonstruktion über die beiden Standarddurchmesser würde für einen Kunden oftmals mehr Kosten verursachen und die Amortisationszeit verlängern. Leider zählt bei einer Kaufentscheidung oftmals nur die Dauer der Amortisationszeit.

Eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit würde wieder die Abschaffung der EEG-Umlage für eigenerzeugten und eigengenutzten Strom aus Wasserkraft bedeuten. Da das Wasser auf Kläranlagen aus Gründen des Hochwasserschutzes in den meisten Fällen von einem tieferen Einlaufniveau auf ein höheres Auslaufniveau gepumpt wird, wurde die EEG-Umlage schon einmal in voller Höhe gezahlt. Wird nun aus dem hochgepumpten Wasser die Energie beim Auslauf zum Vorfluter durch unsere Wasserkraftmaschine in elektrische Energie umgewandelt, wird die Zahlung der EEG-Umlage noch einmal fällig. Dieses kommt einer „Doppelbesteuerung“ gleich. Zudem muss berücksichtigt werden, dass für die Stromerzeugung durch unsere Wasserkraftmaschine weder eine Einspeisevergütung, noch durch den hohen Eigenverbrauch ein öffentliches Netz beansprucht wird.

## **3 Wirkung der Umsetzung**

### **3.1 Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb**

Die Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb durch den Einbau der Wasserkraftanlage in den Auslauf der Feinfilteranlage sind, dass eine messbare Strommenge in einem festgelegten Zeitraum nicht über das öffentliche Netz bezogen, sondern durch den Eigenverbrauch direkt auf der Kläranlage verbraucht wurde. Dies ist wiederum ein weiterer Baustein für das Erreichen eines zurzeit sehr viel diskutierten Themas im Abwasserbereich: Die energieautarke Kläranlage.

### **3.2 Weiterführende, resultierende Maßnahmen**

Da die gesetzten Ziele weitestgehend erreicht wurden, und die Wasserkraftmaschine keine Auswirkungen auf andere Anlagenteile bzw. Verfahren hat, sind keine weiterführenden Maßnahmen geplant.

### **3.3 Übertragbarkeit der Projektergebnisse**

Die Projektergebnisse können ohne Einschränkung auf andere Projekte übertragen werden. Dabei können die Projektergebnisse nicht nur im Abwasserbereich, sondern grundsätzlich auf den gesamten Bereich der Stromerzeugung durch Kleinstwasserkraft übertragen werden.

## **4 Öffentlichkeitsarbeit**

### **4.1 Führungen und Vorträge**

Führungen sind grundsätzlich nach Absprache mit der Firma Kraus möglich.

So wurde schon in der Versuchsphase am 04. August 2014 ein durch die badenova hervorragend organisierter Pressetermin auf der Kläranlage Klettgau-West in Waldshut-Tiengen durchgeführt. Auf der Kläranlage Klettgau-West sind bereits zwei Wasserkraftmaschinen der Fa. Kraus installiert. Das Interesse daran war sehr erfreulich. Neben einigen badenova Kunden, nahm die örtliche Presse und der Rundfunk mit dem SWR teil. Aufgrund des ausgestrahlten Rundfunkbeitrags wurde das SWR-Fernsehen auf das Thema aufmerksam und strahlte am 14. August 2014 einen guten Beitrag in der Landesschau über das Projekt aus.

Des Weiteren wurde die Thematik in den Jahren 2014 und 2016 auf der weltweit größten Ver- und Entsorgungsmesse IFAT in München auf dem Stand unserer Partnerfirma bgu-Umweltschutzanlagen vorgestellt. Sowohl im Jahr 2014 und 2016 wurde ein reges Interesse an diesem Thema festgestellt.



Pressetermin 05.August 2014 Kläranlage Klettgau-West



IFAT 2016

## 4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen

Der Hochrhein als Ideenschmiede

# Volle Wasserkraft voraus

Die Firma Kraus, Maschinenbau, aus Ühlingen revolutioniert mit einem innovativen Projekt die Nutzung von erneuerbaren Energien in Kläranlagen.

Von Sandra Holzwarth

**K**arl Kraus und sein Sohn Oliver entwickelten eine Wasserkraftmaschine, die in Kläranlagen zum Einsatz kommen wird. Mit dieser Erfindung beweisen die beiden echten Pioniergeist, denn das Potential der Energiegewinnung durch Abwasser ist bis heute weitestgehend ungenutzt. Der Grund liegt darin, dass sich herkömmliche Wasserkraftanlagen kaum für die besonderen Gegebenheiten einer Kläranlage eignen. Eine Tatsache, die die Leuchtturmfunktion dieser zukunftsweisenden Idee noch bedeutsamer macht. Der Meinung ist auch der Aufsichtsrat der Badenova, der 11 neue Innovationsfonds-Projekte mit einem Fördervolumen von 1,8 Millionen Euro bewilligte. Auch das Projekt der Firma Kraus wird mit 27.750 Euro gefördert. Seit mehr als 40 Jahren ist die Firma Kraus sehr erfolgreich auf dem Gebiet der mechanischen Abwasserreinigung tätig. Zahlreiche Entwicklungen der kleinen Firma werden heute in Kläranlagen verwendet, 14 davon wurden patentiert. Der nächste Kandidat für ein Patent sieht mit der Wasserkraftmaschine bereits in den Startlöchern. „Das Wasserkraftpotential von rund 10.000 Kläranlagen in Deutschland blieb bisher vor allem wegen der technischen Herausforderung ungenutzt“, erklärt Juniorchef Oliver Kraus. „Herkömmliche Wasserkraftanlagen eignen sich nicht für die besonderen Gegebenheiten einer Kläranlage mit schwankenden Abwassermengen und großen Fallhöhen in engen Röhren. Es galt eine Lösung zu finden, welche an diese speziellen Erfordernisse angepasst und ohne bauliche Veränderungen eingebaut werden kann.“ Karl und Oliver Kraus entwickelten, aufbauend auf zwei erfolgreichen Prototypen, eine geniale Idee. Mehrere hintereinandergeschaltete Wasserräder aus Edelstahl nutzen nicht nur die Wasserkraft in den Röhren optimal, sie sind auch besonders robust gegen Verunreinigungen. Die Wasserräder sind mit Stauschildern ausgestattet, die unabhängig vom Wasserfluss immer die gleiche Staumenge halten. Derzeit werden die Wasserräder auch bei der Firma Kraus getestet, doch noch in diesem Jahr könnte eine Pilotanlage in der Kläranlage Klettgau-West in Tiengen in Betrieb gehen. Dieses Projekt analysiert die Wirtschaftlichkeit der Anlage. „Wir rechnen mit einer Durchschnittsleistung, pro Anlage, von 2 Kilowatt pro Stunde, das hört sich nicht nach sehr viel an. Doch hochgerechnet auf 24 Stunden und 365 Tage ergibt es eine jährliche Stromerzeugung von etwa 16.000 Kilowatt pro Stunde“, erklärt Oliver Kraus, „diese Menge entspricht dem Energieverbrauch von vier deutschen Durchschnittshaushalten.“



Oliver Kraus, Klaus Buntru (Betriebsleiter Abwasserverbandes Klettgau-West), Karl Kraus und Richard Tuth (Badenova) neben einem Wasserrad, das die Vorstufe für die neue Innovation bildet. Bild: Sandra Holzwarth

Bericht im Südkurier August 2014

## Innovation erleben (45): Wasserkraft im Klärwerk

Ein Wasserrad steht nicht nur an Bächen, sondern erfährt als stromerzeugende Anlage eine Neubelebung in Kläranlagen.  
Von Ernst Wagner, fesa e.V.



v.l.n.r. Karl Kraus, Oliver Kraus, Richard Tath  
(Projektbetreuung Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz)

► Ein Wasserrad in einer Kläranlage? Normalerweise wird ein Wasserrad mit einer romanischen Mühle verbunden, die Kläranlage ist eher ein Ort der Notwendigkeit, um zu sauberen Wasser zu kommen. Wie bringt man die beiden zusammen?

### Tafelbergfamilie am Werk

Vater und Sohn Kraus vom Unternehmen „Kraus Maschinenbau und Umwelttechnik“ haben einen etwas anderen Zugang. Neben ihrem Haus fließt ein Bach, der direkt nach einem Wasserrad schreift, und die Firma fertigt seit vielen Jahren Anlagentechnik für Kläranlagen. So kam die Idee fast von alleine. Ein Wasserrad bauen können sie, in einer Kläranlage gibt es viel Wasser und im Ablauf eine ausreichende Fallhöhe, um ein Wasserrad in Drehung zu versetzen. Damit kann man Strom erzeugen, der im Stromfresser Kläranlage hoch willkommen sein dürfte. Ein Projekt war schnell geboren, unterstützt wird es mit 27.500 Euro vom Innovationsfonds der badenova.

Wasserräder gibt es seit Jahrtausenden, doch sind dies meist schwere, ausladende Exemplare. In einer Kläranlage gibt es aber geeignete Stellen, die passable Fallhöhen aufweisen, nur in recht engen Kanälen und oft nur

im Kläranlagenablauf. Die beiden erfahrenen Maschinenbauer mussten sich eine Wasserkraftmaschine ausdenken, die den Ortlichkeiten leicht angepasst werden konnte, ohne dabei große Bauänderungen vornehmen zu müssen. Die Berechnung des Wasserrades ermöglichten vorliegende Literaturangaben und Erfahrungen. Mit einem Durchmesser von knapp einem Meter kommt es gegenüber einem gewöhnlichen Mühlerrad eher zierlich daher. Für die Auslegung des Getriebes und Generators, sowie die Optimierung der Radschaufeln zwecks stoßfreiem Einlauf, größtmöglichem Füllvermögen und schneller Entleerung waren jedoch mechanische Versuche notwendig. Mit einem eigens in der Firma Kraus aufgebauten Messstand konnten diese Tests durchgeführt werden, sowie das Einlaufblech optimiert und angepasst und spezielle Leitbleche am Außenradius des Wasserrades hergestellt werden. Zahlreiche Varianten haben Karl und Oliver Kraus damit durchgemessen.

### Prototypen in Waldshut-Tiengen und Mous

Um potentiellen Kunden Referenzanlagen zeigen zu können, wurden zwei Kläranlagen mit Prototypen versehen. In der Kläranlage Klettgau-West in Waldshut-Tiengen läuft seit Sommer 2013 ein mittelschlächtiges Wasserrad in einem Kanal und erzeugt Strom. Eine zweite, ganz spezielle Anlage wurde durch den Innovationsfonds der badenova gefordert und entstand im Frühjahr 2016 im Klärwerk Mous am Bodensee. Vor dem Abfließen in den Vorfluter wird dort das Abwasser über eine Filteranlage geschickt, wobei sich eine Fallhöhe von 3,80 Metern ergibt. Diese ermöglicht es, drei Wasserräder hintereinander zu schalten. Kein Problem, versichern die beiden Konstrukteure, man könne je nach Fallhöhe beliebig viele Räder anbringen. Das konzipierte, modulare System lässt sich dadurch individuell an die jeweilige Gegebenheit anpassen und steht so einer Vielzahl weiterer Anlagen zur Verfügung.

Jedes dieser relativ kleinen Wasserräder bringt eine Leistung von bis zu zwei Kilowatt. Abhängig von der verfügbaren Wassermenge stellen bis zu 10.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr erzeugt werden. Diese Strommenge, die in das Verbrauchernetz der Kläranlage eingespeist

wird, ist klein im Vergleich zum Gesamtverbrauch, hat aber den Vorteil, ganzjährig rund um die Uhr anzufallen und vollständig von dieser genutzt werden zu können. Zudem läuft die Anlage vollautomatisch, ist langlebig, nimmt kaum Platz ein und ist praktisch frei von Reparaturen. Die Kosten bewegen sich zwischen 20.000 und 40.000 Euro, wobei ca. 70 Prozent auf die Stahlkonstruktion und 30 Prozent auf Getriebe und Generator entfallen. Die Amortisation liegt je nach Konstruktionsaufwand zwischen sieben und 15 Jahren. Ein Betreuungsaufwand ist außer bei einem Stromausfall, nach dem wieder eingeschaltet werden muss, nicht vorhanden.

Das von der badenova geforderte Projekt ist erfolgreich abgeschlossen, die zwei Referenzanlagen laufen zur Zufriedenheit der Kundschaft. Da die Firma Kraus klein ist, sich auf die Entwicklung und den Bau der Wasserkraftmaschine konzentrierte und ihren Schwerpunkt in der Maschinenkonstruktion hat, konnten Marketing und Werbung nicht im angemessenen Umfang erfolgen. Deshalb ist es der mündlichen Weiterempfehlung überlassen, das Potential auszuschöpfen, das die vielen Kläranlagen in Deutschland darstellen. Viele kleine langlebige Anlagen, die dem Grundlastbereich zugerechnet werden müssen, könnten die heutzutage meist kargen und unschönen Kläranlagenabläufe verschönern. ■

### INFOBOX

**badenova**  
energiefonds für klg

Serie  
**Innovation  
erleben (45)**

Seit 2001 fördert die badenova AG & Co. KG mit ihrem Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz zukunftsweisende Projekte. Jedes dieser Vorhaben trägt zu einer nachhaltigen Energiesorgung bei. Wir stellen Ihnen in unserer Reihe „Innovation erleben“ einige der interessantesten Innovationsfonds-Projekte finden Sie unter [www.badenova.de/innovationsfonds](http://www.badenova.de/innovationsfonds)

## 5 Zusammenfassung/Fazit

Als Fazit des Förderprojektes lässt sich folgendes zusammenfassen:

Zwei grundlegende Ziele, welche bei der Antragsstellung zur Förderung aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz genannt wurden, konnten erreicht werden.

Es wurde eine Wasserkraftmaschine entwickelt, welche durch einen Raddurchmesser von unter 1 Meter pro Einzelrad in nahezu jedes Standardabflussbauwerk ohne große bauliche Veränderungen passt. Zudem kann durch die übereinander angeordneten Einzelräder fast jede Fallhöhe gut ausgenutzt werden.

Darüber hinaus wurde eine Wasserkraftmaschine entwickelt, welche mit einem hohen Nutzungsgrad mit den stark schwankenden Abflussmengen einer Kläranlage gut zurecht kommt und über die gesamten Bereich der verfügbaren Wassermenge einen besonderen für so kleine Wasserraddurchmesser sehr guten Gesamtwirkungsgrad aufweist.

Trotz mancher Schwierigkeiten während der Umsetzung des Förderprojektes kann man sagen, dass man mit der gebauten Wasserkraftmaschine selbst als Entwickler sehr zufrieden sein kann.

Zum Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co.KG lässt sich folgendes zusammenfassen:

Der Innovationsfonds ist ein einzigartiges Förderprogramm speziell für kleinste Unternehmen wie es die Fa. Karl Kraus Maschinenbau-Umwelttechnik ist. Das Unternehmen betreibt seit über 40 Jahren kontinuierlich die Entwicklung und Verbesserung von Anlagen und Maschinen auf dem Bereich der Abwassertechnik und der Energieeffizienz. Das man auch von Innovation sprechen kann, zeigt die Tatsache dass die Ideen in mehreren erteilten Patenten bestätigt wurden, in der hohen Stückzahl der gebauten Maschinen und Anlagen, sowie dass die Ideen aus dem Südschwarzwald auf 5 Kontinenten zu finden sind.

Jedoch seit über 40 Jahren war es das erste Mal, dass durch die Förderung des Innovationsfonds eine Idee von einem Partner finanziell unterstützt wurde ohne dass wir die Entwicklung bis zur funktionsfähigen Maschine selbst finanzieren mussten.

Die Firma erhielt bisher keinerlei staatliche Förderungen. Entweder waren wir zu klein oder man wollte nur das Know-how für die Konkurrenz zugänglich machen.

Ohne die finanzielle Unterstützung des Innovationsfonds wäre das Projekt wohl nicht realisiert worden.

Auch ist die Unterstützung der badenova nach Bewilligung eines Förderprojektes sehr gut. Mit Frau Held und Herrn Tuth, welche die Projekte betreuen, hatte man zwei fundierte Fachleute, die mit Rat und Tat während der Projektumsetzung zur Seite standen. Auch das Netzwerk, welches die badenova besitzt, ist bestens organisiert. Als Beispiel hierfür sind Pressetermine, Veröffentlichungen und der Erfahrungsaustausch genannt.



## 6 Ausblick

Mit der Wasserkraftmaschine, welche mit dem Förderprojekt realisiert wurde ist eine Lösung entstanden, wie man die Wasserkraft in bestehenden Bauwerken ohne Umbau in Kläranlagen nutzen kann. In dem Bereich der stark schwankenden Abflussmengen zwischen 10 – 100 l/s, bei größeren Schächten bis 200 l/s, sowie Fallhöhen über einen Meter ist das oberflächige Wasserrad wohl die beste Lösung zur Stromerzeugung aus Abwasser. Besondere Merkmale hierfür sind die einfache Regelung, die Robustheit und der gute Wirkungsgrad.

Schon in der Versuchsphase zeigte sich, dass mit ca. 200 l/s die maximale Wassermenge erreicht ist. Dies ist bedingt durch den kleinen Raddurchmesser und dass die üblichen Breiten in solchen Bauwerken kleiner als 2 Meter sind.

Jedoch bedeutet eine Wassermenge über 200 l/s eine größere Strommenge pro Jahr, was sowohl ökologisch wie monetär sehr interessant ist. Die herkömmliche Wasserkrafttechnik wie z.B. Kaplan-turbinen eignen sich für diese im Vergleich immer noch kleinen Wassermengen nur sehr eingeschränkt.

Jedoch zeigen die Anfragen von potentiellen Kunden gerade in dem Bereich der Wassermengen von 200 l/s bis 1.500 l/s, dass in diesem Bereich ein großes Interesse besteht. Bedingt durch die höheren Wassermengen verkürzt sich die Amortisationszeit deutlich.

Die Entwicklung einer solchen Wasserkraftmaschine wäre auch für die allgemeine Wasserkraft sehr interessant.

Grundsätzliche Ideen und Lösungsansätze sind unsererseits hierzu schon vorhanden.

## 7 Anlage: Projekterkenntnisse

### Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse aus dem Projekt.

(Je Punkt maximal 300 Zeichen.)

1.	Das oberflächige Wasserrad ist bei stark schwankenden Wassermengen zwischen 1l/s und 200l/s und Fallhöhen über 1 Meter wohl die beste Lösung zur Stromerzeugung aus Abwasser.
2.	Trotz Konstruktionshilfen in Form von Formeln, Skizzen und Fachliteratur sind die praktischen Versuche insbesondere zur Verkleinerung der Geometrie der Raddurchmesser unverzichtbar.
3.	Der Innovationsfonds ist besonders für kleine Unternehmen ein einzigartiges Instrument , damit eine zukunftsweisende Idee in ein reales Projekt umgesetzt werden kann.