

## Pro1

Recherche

Windisch, 05.10.2018



<b>Hochschule</b>	Hochschule für Technik - FHNW
<b>Studiengang</b>	Elektro- und Informationstechnik
<b>Autor</b>	Gruppe 4
<b>Betreuer</b>	Pascal Buchschacher
<b>Auftraggeber</b>	Felix Jenni
<b>Version</b>	1.0

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	1
1.2	Ziel des Dokuments . . . . .	1
1.3	Produktbedingungen . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Recherche</b>	<b>2</b>
2.1	Anwendungsbereiche . . . . .	2
2.1.1	Recherchegrund . . . . .	2
2.1.2	Ergebnisse . . . . .	2
2.1.3	Fazit . . . . .	2
2.2	Energie . . . . .	3
2.2.1	Recherchegrund . . . . .	3
2.2.2	Ergebnisse . . . . .	3
2.2.3	Fazit . . . . .	5
2.3	Infrastrukturen . . . . .	6
2.3.1	Recherchegrund . . . . .	6
2.3.2	Ergebnisse . . . . .	6
2.3.3	Fazit . . . . .	6
2.4	Integrationen Bestehende Systeme . . . . .	7
2.4.1	Recherchegrund . . . . .	7
2.4.2	Ergebnisse . . . . .	7
2.4.3	Fazit . . . . .	8
2.5	Sicherheit . . . . .	9
2.5.1	Recherchegrund . . . . .	9
2.5.2	Ergebnisse . . . . .	9
2.5.3	Fazit . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Echtheitserklärung</b>	<b>12</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Ausgangslage**

Weltweit wachsen Städte immer mehr in die Höhe. Um in hohen Gebäuden Trinkwasser in die oberen Stockwerke zu pumpen, wird viel Energie benötigt. Das entstehende Abwasser hat eine dementsprechend hohe potentielle Energie, die ungenutzt bleibt, wenn das Wasser zurück in die Kanalisation fließt. Zudem muss das Wasser bei grosser Fallhöhe noch abgebremst werden, bevor es zurück in die Kanalisation geleitet werden kann. Dabei geht die Energie in Form von Wärme verloren.

Um Energie zurück zu gewinnen, soll das Abwasser durch eine Turbine geführt werden, die einen Generator antreibt. Damit kann der Strom zurück zu den Wasserpumpen geführt werden, die frisches Trinkwasser in die oberen Stockwerke pumpen. Alternativ kann der Strom auch in das Stromnetz zurückgespeist werden.

Im Rahmen des Pro1E wollen wir ein solches Abwasser - Kleinkraftwerk unter den Aspekten der Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes untersuchen.

## **1.2 Ziel des Dokuments**

Das Ziel dieses Dokumentes ist es, die Resultate der Recherche zu unserem Produkt aufzuzeigen. Dabei wollen wir herausfinden, ob das Abwasser - Kleinkraftwerk genügend Energie zurückgewinnen kann, wie die Sicherheit des Geräts gewährleistet werden kann und ob bereits ähnliche Produkte auf dem Markt zu finden sind. Des Weiteren wollen wir herausfinden, ob das Gerät einfach in die Infrastruktur eines Gebäudes eingebaut und in bereits bestehende Systeme integriert werden kann.

## **1.3 Produktbedingungen**

Unser Abwasser – Kleinkraftwerk soll möglichst viel Energie zurückgewinnen, dies ist nur möglich durch einen hohen Wirkungsgrad und einen niedrigen Stromverbrauch des Geräts. Weiter soll es in mehreren Ausführungen mit unterschiedlichen Rohrdurchmesser erhältlich sein. Somit wird garantiert, dass es einfach in schon bestehenden Leitungen eingebaut werden kann. Das Gerät soll zudem möglichst verstopfungssicher sein. Kommt es trotzdem zu einer Verstopfung, muss das Gerät einfach gereinigt werden können. Um die Energiegewinnung zu kontrollieren und Fehlermeldungen (z.B Verstopfungen) mitzuteilen, soll das es kommunikationsfähig sein und auch an bestehende Hausautomation-Systeme angeschlossen werden können.

## 2 Recherche

### 2.1 Anwendungsbereiche

#### 2.1.1 Recherchegrund

Wir wollen wissen, ob und welche Abwasserkraftwerkssysteme bereits bestehen. Gibt es auch Systeme für die Energiegewinnung via Abwasserturbinen in Hochhäusern? Wie sieht deren Markt aus? Gibt es abgesehen vom Hochhaus noch andere Bereiche, die mit unserem System abgedeckt werden könnten?

#### 2.1.2 Ergebnisse

##### **Abwasserkraftwerkssysteme**

Grosse Wasserkraftwerke (ca. 100MW) brauchen viel Platz (grosse Dämme und lange Kanäle) und haben einen unvorhersehbaren Effekt auf Flora und Fauna. Deshalb erscheint die Entwicklung und Realisierung von Kleinkraftwerken (ca. 100kW) umso wichtiger. Die Entwicklung von Abwasserkraftwerkssystemen spielt dabei eine grosse Rolle. Folgende erforschte und oder bestehende Systeme konnten gefunden werden:

##### **Kanalisation zwischen Stadt und Kläranlage**

Wenn in den Abwasserrohren zwischen einer Stadt und deren Kläranlage ein hydraulisches Potential vorliegt, könnte dieses durch Turbinen genutzt werden. In Japan wurde in der Gegend des Toyogawa Flussbeckens untersucht, wo hydraulische Potentiale in den Abwasserrohren bestehen. Zudem wurden drei kleine Turbinen mit unterschiedlicher Beschaukelung auf Verstopfung durch Fremdmaterial untersucht. Die Studie (LINK) schliesst mit einem positiven Ergebnis. Ein bestehendes System konnte nicht gefunden werden.

##### **Abfluss von Kläranlagen**

Electricity is the second largest operating cost at WWTPs [Kläranlagen], representing 25 to 40% of the total operating budget. Aus diesem Grund sind viele Kläranlagen (z.Bsp. Aquarion Water Co (USA) und North Head WWTP (AUS)) darum bemüht, ihre Energiekosten zu reduzieren. In Australien wurde dies in einem Pilotprojekt bereits realisiert, indem das hydraulische Potential genutzt wurde, das zwischen der Kläranlage und dort, wo das gereinigte Wasser hinfliesst, besteht. Das dort verwendete Turbinensystem (Flow-to-Wire) (LINK) wurde von der amerikanischen Firma Rentricity hergestellt. Der Vorteil von dieser Variante ist, dass das Problem der Verstopfung durch das bereits gereinigte Wasser ausbleibt.

##### **In Hochhäusern**

#### 2.1.3 Fazit

## 2.2 Energie

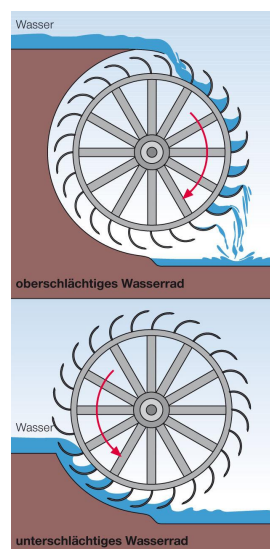
### 2.2.1 Recherchegrund

Mit der Recherche über die Energie können wir abschätzen wie viel Energie gewonnen werden kann und welche Turbine dafür geeignet ist.

### 2.2.2 Ergebnisse

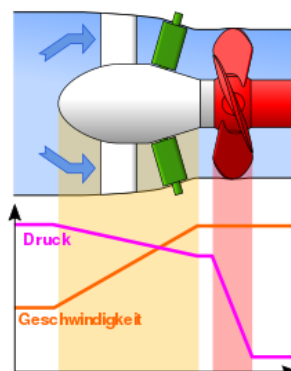
Um Energie aus fließendem Wasser zu gewinnen gibt es drei unterschiedliche Möglichkeiten: Das Wasserrad, die Gleichdruckturbine und die Überdruckturbine.

#### Wasserrad



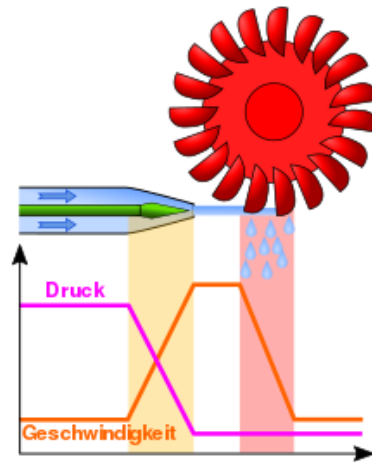
Das Wasserrad wird in fließende Gewässer eingesetzt. Entweder fließt das Wasser von oben in die Schaufeln und das Rad beginnt sich durch das Gewicht des Wassers zu drehen, oder das Rad wird über dem Wasser platziert und das Rad bewegt sich durch den Fluss des Wassers.

#### Überdruckturbine



Bei der Überdruckturbine sind die Schaufeln so ausgerichtet, dass sie beim Fluss des Wassers auf die Seite gedrückt werden und eine Drehbewegung resultiert. Dabei hat es vor den Schaufeln einen höheren Druck als hinter den Schaufeln.

## Gleichdruckturbine



Das Wasser wird von einer gewissen Höhe in eine Fallleitung nach unten befördert. Die potenzielle Energie des Wassers wird dabei in kinetische Energie umgewandelt und das Wasser trifft mit einer Geschwindigkeit unten aus. Um diese Energie zu nutzen wird der Wasserstrahl auf die Schaufeln der Pelton-Turbine gerichtet, die anschliessend zu drehen beginnt.

## Entscheid

Wir haben uns entschieden, dass eine Gleichdruckturbine (Pelton-Turbine) für unsere Anwendung am besten geeignet ist. Der grosse Vorteil der Pelton-Turbine ist, dass das Wasser keine enge Stelle durchqueren muss, sowie dies bei einer Überdruckturbine der Fall wäre und ist somit besser gegenüber Verstopfungen geschützt.

## Berechnungen

Die Endgeschwindigkeit des Wassers kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Die Einheit der Geschwindigkeit  $v$  ist m/s. Das Schwerefeld  $g$  auf der Erde besitzt den Wert 9.81 N/kg. Und die Höhe  $h$  hat die Einheit m.

Die Energie die gewonnen werden kann wird mit folgender Formel berechnet:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Die Energie  $E$  hat die Einheit J. Die Einheit der Geschwindigkeit  $v$  ist m/s und die Masse  $m$  hat die Einheit kg

Um die Leistung zu erhalten, muss die Masse pro Zeit(1s) einberechnet werden. Die Masse wird mit der Dichte und dem Volumenstrom ersetzt.

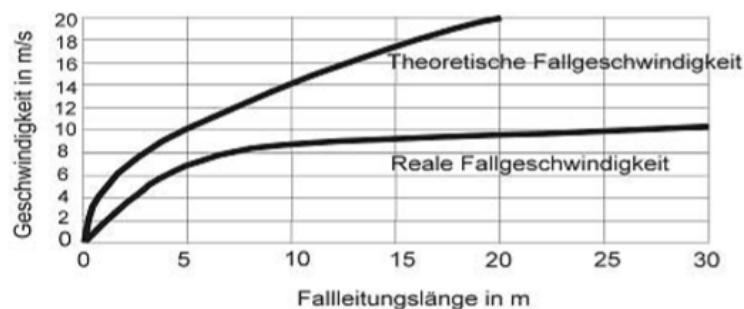
$$P = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot Q \cdot v^2$$

Die Leistung  $P$  hat die Einheit W. Der Volumentstrom  $Q$  hat die Einheit  $\text{m}^3/\text{s}$ . Die Einheit der Dichte  $\varphi$  ist  $\text{kg}/\text{m}^3$  und die Einheit der Geschwindigkeit  $v$  ist  $\text{m}/\text{s}$ .

Mit diesen physikalischen Grundlagen kann nun die Leistung in Abhängigkeit der Höhe und des Volumenstromes berechnet werden.

h in m	v in m/s	Volumenstrom in $\text{m}^3/\text{s}$	0.1	0.2	0.3
50	31.321	P in kW	49.05	98.1	147.15
100	44.294		98.1	196.2	294.3
150	54.249		147.15	294.3	441.45
200	62.642		196.2	392.4	588.6
250	70.036		245.25	490.5	735.75
300	76.720		294.3	588.6	882.9
350	82.867		343.35	686.7	1030.05
400	88.589		392.4	784.8	1177.2
450	93.963		441.45	882.9	1324.35
500	99.045		490.5	981	1471.5
550	103.880		539.55	1079.1	1618.65
600	108.499		588.6	1177.2	1765.8
650	112.929		637.65	1275.3	1912.95
700	117.192		686.7	1373.4	2060.1
750	121.305		735.75	1471.5	2207.25
800	125.284		784.8	1569.6	2354.4

Dies ist nur die theoretische Leistung. Mit der Reibung am Rohr und dem Widerstand der Luftsäule wird das Wasser stark abgebremst. Gemäss dem Informationszentrum Entwässerungstechnik Guss e.V. (IZEG), die Versuche mit der Fallgeschwindigkeit durchgeführt haben, wird das Wasser bereits nach 15m nicht mehr merklich schneller.



Mit der Endgeschwindigkeit von 10  $\text{m}/\text{s}$  wird bei einem Volumenstrom von 0.1  $\text{m}^3/\text{s}$  noch 5 kW erzeugt.

### 2.2.3 Fazit

Die gewonnene Leistung nimmt ab ca. 15m nicht mehr merklich zu. Der Grundgedanke, dass die Geschwindigkeit des Wassers in grossen Fallhöhen zunimmt, funktioniert nur, wenn die Fallleitung komplett mit Wasser befüllt wäre und somit der Luftwiderstand wegfällt.

Damit man mit diesem System trotzdem Energie zurückgewinnen kann, müsste alle 15m eine Turbine die Energie des Wassers umwandeln.

## **2.3 Infrastrukturen**

TODO: Lars

### **2.3.1 Recherchegrund**

### **2.3.2 Ergebnisse**

### **2.3.3 Fazit**



## 2.4 Integrationen Bestehende Systeme

### 2.4.1 Recherchegrund

### 2.4.2 Ergebnisse

Der in einer Photovoltaikanlage erzeugte Strom wird zunächst für den Eigenverbrauch genutzt. Das heißt, aktive Stromverbraucher, wie beispielsweise Kühltruhen oder andere Haushaltsgeräte, werden mit dem Strom betrieben. Steht jedoch mehr Strom als gebraucht zur Verfügung, fließt der überschüssige Solarstrom in die Batterie des Speichers - und dieser wird geladen. Erst wenn der Solarspeicher voll ist, wird der nicht benötigte Solarstrom ins Stromnetz eingespeist. Wird in den Abend- oder Nachtstunden dann Strom benötigt, steht der gespeicherte Solarstrom zur Verfügung. Ist der Strombedarf tagsüber höher als die von der Photovoltaikanlage produzierte Menge Solarstrom, steht ebenfalls der gespeicherte Strom zur Verfügung - egal ob der Speicher vollständig oder nur teilgeladen ist. Erst wenn der gespeicherte Solarstrom ebenfalls nicht ausreicht, wird weiterer Strom vom Energieversorger bezogen. Ein Großteil der am Markt erhältlichen Stromspeicher lässt sich nicht ohne weiteres in Bestandsanlagen integrieren. Meist sind technische Veränderungen, wie der Austausch des Wechselrichters oder Zusatzarbeiten notwendig. Ein hohes Gewicht und teilweise enorme Abmessungen vieler Energiespeicher für Strom schränken die Abstellmöglichkeiten ein und bringen einen großen Installationsaufwand mit sich: In der Regel sind mehrere Installateure mindestens einen Tag beschäftigt.

Wechselrichter In einigen europäischen Ländern wird auf der Netzseite eine so genannte Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen (ENS) benötigt, die den Wechselrichter bei einer ungewollten Inselbildung abschaltet. Bei Anlagen mit installierten Leistungen über 30 kW kann auf die ENS verzichtet werden. Dort genügt eine Frequenz- und Spannungsüberwachung mit allpoliger Abschaltung zur sicheren Trennung vom Netz, falls dieses abgeschaltet wird bzw. ausfällt. Es wird oft mit einem hohen Wirkungsgrad der Wechselrichter geworben. Im Teillastbereich ist er etwas geringer und wird deshalb gemittelt und dann als „Europäischer Wirkungsgrad“ bezeichnet. Der Wirkungsgrad des Wechselrichters entscheidet jedoch nicht allein über den Gesamtwirkungsgrad einer Photovoltaikanlage. Seit Januar 2009 müssen Photovoltaikanlagen in Deutschland mit installierten Leistungen ab 100 kW über die Möglichkeit verfügen, vom Netzbetreiber in der eingespeisten Wirkleistung reduziert zu werden (§ 6.1 EEG). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass eine bestimmte Menge Blindleistung zur Verfügung gestellt wird. In der Praxis werden diese Vorgaben dynamisch über Rundsteuerempfänger realisiert, die eine vierstufige Wirkleistungsreduzierung signalisieren können bzw. einen von 1 abweichenden Wirkfaktor von beispielsweise  $\cos \phi = 0,95$  (induktiv) vorgeben. Durch die Bereitstellung von induktiver Blindleistung können kapazitiv bedingte Überspannungen vermieden werden.[3] Ab Juli 2011 müssen auch kleinere Anlagen im Niederspannungsnetz vergleichbare Regelfunktionen anbieten.[4] Landestypische weitergehende Vorschriften führen zu Lieferengpässen und höheren Erzeugungskosten. Gegenkonzepte wie Net Metering verfolgen einen unkomplizierteren Ansatz und verlagern die Problematik auf den Netzbetreiber. Bei größeren Anlagen, bei welchen unter anderem die Mittelspannungsrichtlinie einzuhalten ist, sind weitere Maßnahmen zu dynamischen Netzstabilisierung wie die Fähigkeit zu Low-Voltage Ride Through vorgeschrieben. Die Maßnahmen dienen dazu um eine ungewollte und gleichzeitige Abschaltung vieler Anlagen bei kurzzeitiger lokaler Unterspannung, wie sie im Rahmen von Kurzschlüssen oder anderen Fehlern im Drehstromsystemen vorkommen, zu vermeiden. Einphasige Anlagen dürfen in Deutschland nur bis zu einer maximalen Leistung von 5 kW (4,6 kW Dauerleistung) in das Stromnetz einspeisen.[5] Diese Beschränkung dient der Netzstabilität und vermeidet Schiefasten. Neben der grundlegenden Funktion der Energiewandlung verfügt ein Solarwechselrichter über eine umfangreiche Datenerfassung und zum Teil Möglichkeiten zur Fernwartung.

### 2.4.3 Fazit

Stromspeicher sind teuer – nicht nur wegen der Batteriezellen, sondern auch wegen zugehöriger Hardware. Es ist fraglich, ob es diese Investition angesichts der überschaubaren Energiemenge wert ist. Die Einspeisung des Stromes in das Stromnetz scheint hingegen schon eher möglich zu sein, da dies in der Schweiz ohne Bewilligung erlaubt ist, solange die eingespiesene Leistung gering ist. Dazu muss der Strom zunächst gleichgerichtet und anschliessend von einem Wechselrichter auf 230V @ 50 Hz transformiert werden. Solche Geräte sind erhältlich, bewegen sich preislich aber zwischen mehreren hundert bis mehreren tausend Franken. Die Integration in bestehende Solaranlagen ist vermutlich die einfachste Option, da in diesem Fall Energiespeicher und/oder Wechselrichter meist schon vorhanden sind.

## 2.5 Sicherheit

### 2.5.1 Recherchegrund

Wir möchten über die Sicherheit der Abwasserrohre und die entstehenden Abgase recherchieren, um gewisse Risiken einschätzen zu können.

### 2.5.2 Ergebnisse

Die Verstopfungsgefahr in den Abwasserrohren ist sehr klein. Eine Verstopfung passiert selten, weil das Schmutzwasser nur geringen Abständen in das Rohr hineinfliesst. Die Möglichkeit besteht, diese Verstopfungen ganz zu eliminieren, in dem man eine Hebeanlage in den Toilettenräumen einbaut. Mit diesen Hebeanlagen entsteht aber zusätzlicher Lärm. In diesen Bereichen werden flexible Rohre benützt, um Rohrbrüche zu vermeiden.

#### **Leitungen**

Bei Fallleitungen die Grösser als 10 bis 20m sind, schreibt die Norm, dass man zwei 45°-Bögen mit einem geraden Stück von 250mm Länge zum Druckabbau eingebaut werden. Heutzutage kann man die Rohre so wählen, dass gar kein Rohrbruch entsteht.

#### **Abgase**

Die Abgase (Schwefelgas) die entstehen, werden Mittels zusätzlicher Lüftungsleitung abgeleitet und über das Dach in die Umwelt gelassen. In den Hebeanlagen kann es durch Gärprozesse zur Gasbildung kommen. Den dadurch entstehenden Unterdruck im Raum muss man durch Lüftung selber regeln.

#### **Berechnung**

Wartungstechnisch werden Abwasserrohre alle fünfzehn Jahre auf Dichtigkeit kontrolliert. Die Rohre werden so gewählt, dass sie ein Leben lang halten.

### 2.5.3 Fazit

Die Sicherheit ist in vielen Bereichen gewährleistet. Wenn die Fallleitung einen 45° Bogen hat, wirkt sich das auf die Fliessgeschwindigkeit des Schmutzwassers und somit negativ auf die Energiegewinnung aus. Zusätzlich wird mit der Installation einer Hebeanlage Energie aus dem Netz bezogen und Lärm verursacht.

### **3 Zusammenfassung**

## 4 Quellenverzeichnis

## **5 Echtheitserklärung**