

# Kleinwasserkraftwerk

Recherche

Windisch, 05.10.2018



<b>Hochschule</b>	Hochschule für Technik - FHNW
<b>Studiengang</b>	Elektro- und Informationstechnik
<b>Autoren</b>	Bachmann Lars Fischer Roni Imhof Frank Puschmann Pascal
<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 . . . . .	3
2.2	Energie . . . . .	4
2.2.1	Recherchegrund . . . . .	4
2.2.2	Ergebnisse . . . . .	4
2.2.3	Fazit . . . . .	7
2.3	Infrastrukturen . . . . .	8
2.3.1	Recherchegrund . . . . .	8
2.3.2	Ergebnisse . . . . .	8
2.3.3	Fazit . . . . .	10
2.4	Integrationen Bestehende Systeme . . . . .	11
2.4.1	Recherchegrund . . . . .	11
2.4.2	Ergebnisse . . . . .	11
2.4.3	Fazit . . . . .	12
2.5	Sicherheit . . . . .	13
2.5.1	Recherchegrund . . . . .	13
2.5.2	Ergebnisse . . . . .	13
2.5.3	Fazit . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>14</b>
	<b>References</b>	<b>15</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 Systeme für die Energiegewinnung via Abwasserturbinen in Hochhäusern? Wie sieht deren Markt aus?

#### 2.1.2 Ergebnisse

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

##### In 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. Bereits 1992 wurde in Le Châble eine Pelton-Turbine eingesetzt, um das Abwasser vom höher gelegenen Ferienort Verbier zu nutzen [1]. In Japan wurde in der Gegend des Toyogawa-Flussbeckens untersucht, ob hydraulische Potentiale in den Abwasserrohren bestehen [2]. Zudem wurden drei kleine Turbinen mit unterschiedlicher Beschauelfung auf Verstopfung durch Fremdmaterial untersucht. Die Studie schliesst mit einem positiven Ergebnis.

##### In Abfluss von Kläranlagen

*“Electricity is the second largest operating cost at WWTPs [Kläranlagen], representing 25 to 40% of the total operating budget.”* [3, S. 2] Viele Kläranlagen (z.Bsp. Aquarion Water Co (USA) und North Head WWTP (AUS)) sind 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. [4] Das dort verwendete Turbinensystem (Flow-to-Wire) [5] wurde von der amerikanischen Firma Rentricity hergestellt. Der Vorteil von dieser Variante ist, dass das Problem der Verstopfung durch das bereits gereinigte Wasser ausbleibt. LucidPipe [6, S. 4], ist ein anderes, von Lucid Energy entwickeltes System, das in Oregon und Kalifornien innerhalb von Trinkwasserleitungen verwendet wird. Es wird erwähnt, dass ein grosser Wasserstrom (53 Mio. Liter pro Tag) nötig ist, damit sich eine Installation lohnt. [6, S. 4]

##### In Hochhäusern

Es wurde nur ein Pilotprojekt gefunden, wo eine Abwasserturbine für die Anwendung innerhalb von Gebäuden entwickelt wurde [7]. Der Entwickler Tom Broadbent, unten in der Abbildung 2.1 zu sehen, sagt *“[...] the electricity generated by the HighDro Power can either be used in the building to save around GBP925-per-year (approx US\$1,410) or sold back to the national grid on a buy-back tariff.”* [7]



Abbildung 2.1: Tom Broadbent und HighDro. [7]

### Andere Anwendung in Hochhäusern

Die Trinkwasserversorgung der obersten Stockwerke eines Hochhauses erfordert viel Druck (6-8 Bar). Weil dieser Druck für die unteren Stockwerke zu gross ist, müssen Druckreduzierventile eingesetzt werden. Dabei bleibt viel Energie ungenutzt. In Hong Kong testet die Firma Arup bereits in zwei Hochhäusern eine andere Lösung: Statt Druckreduzierventile werden Turbinen verwendet [8]. Als Gründe für ein mögliches Scheitern dieser Lösung wird das Preis-Leistungs-Verhältnis genannt: *“Small-scale systems cannot easily generate enough power to justify their cost to large developers. The price per kilowatt-hour of generating power can be five times as high as simply buying it from the grid.”*[8]

### 2.1.3 Fazit

Der Markt beschränkt sich auf die Anwendungsbereiche, wo ein grosser Wasserfluss besteht, also in Zu- und Abflussrohren von Kläranlagen. Erfolgreiche Hersteller für Abwasser-Turbinen in Gebäuden gibt es keine, da das Preis-Leistungs-Verhältnis der bisher entwickelten Turbinen wegen geringem Wasserfluss und hohen Installationskosten ungenügend ist. Von fünf gefundenen Projekten resp. Produkten fiel nur eines in unseren Bereich (Abwasserleitung in Gebäude): Das HighDro (unten rot markiert). Es wäre also möglich, in dieser Nische ein neues Produkt einzuführen, wenn es den Anforderungen genügen kann.

Firmenname	Objekt	Anwendungsbereich	Anwendungsort
Lucid	LucidPipe	Trinkwasserleitung	Oregon, California
Arup	V-axis spherical turbine	Trinkwasserzuleitung Haus	Hong Kong
VA Tech	700kW Pelton	Abwasserkanal	Le Châble
Hydro			
Rentricity	Flow-to-Wire	Abfluss Kläranlage	Sydney
n. a.	HighDro	Abwasserleitung in Gebäude	n. a.

## 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

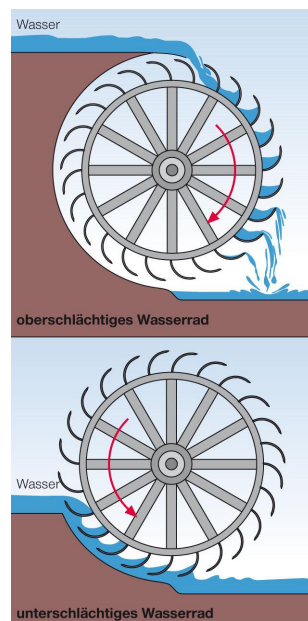


Abbildung 2.2: Wasserrad [9]

Das Wasserrad wird in fließende Gewässer eingesetzt. Wie in der Abbildung 2.2 Wasserrad [9] zu sehen fließt das Wasser entweder 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

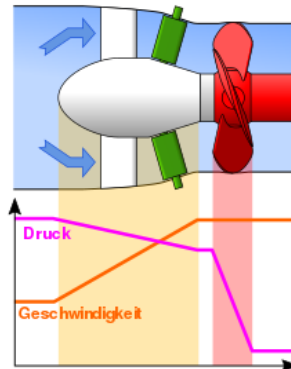


Abbildung 2.3: Ueberdruckturbine [10]

Bei der Überdruckturbine, zu sehen in der Abbildung 2.3 Ueberdruckturbine [10], 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

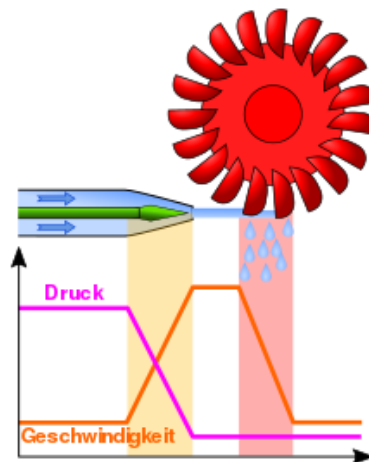


Abbildung 2.4: Gleichdruckturbine [11]

In der Abbildung 2.4 Gleichdruckturbine [11] ist eine Gleichdruckturbine zu sehen. Für die Turbine wird das Wasser von einer gewissen Höhe in einer Falleitung nach unten befördert. Die potenzielle Energie des Wassers wird dabei in kinetische Energie umgewandelt und das Wasser trifft mit einer hohen Geschwindigkeit in den Turbinenraum. Um diese Energie zu nutzen wird nun 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, wie dies bei einer Überdruckturbine der Fall wäre. Sie ist somit besser vor 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 Volumenstrom  $Q$  die Einheit m<sup>3</sup>/s, die Dichte  $\varphi$  kg/m<sup>3</sup> und die Geschwindigkeit  $v$  m/s.

Mit diesen physikalischen Grundlagen kann nun die Leistung in Abhängigkeit der Höhe und des Volumenstromes berechnet werden. Die Berechnungen sind in der Tabelle 2.1 Leistungsberechnung ersichtlich.

h in m	v in m/s	Volumenstrom in m <sup>3</sup> /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

**Tabelle 2.1:** Leistungsberechnung



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. Dies ist in der Abbildung 2.5 Fallgeschwindigkeit [12] gut ersichtlich.

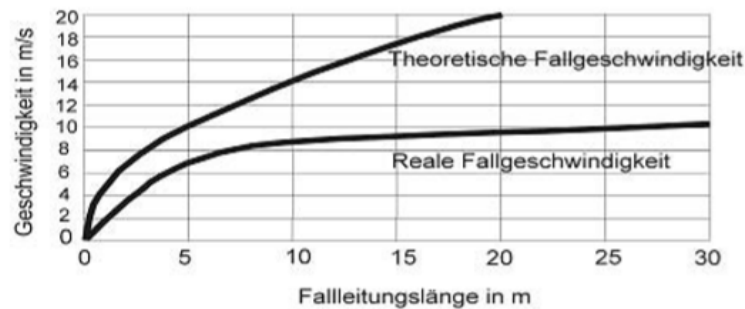


Abbildung 2.5: Fallgeschwindigkeit [12]

Mit der Endgeschwindigkeit von 10 m/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 Falleitung 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

### 2.3.1 Recherchegrund

Mit der Recherche über bestehende Infrastrukturen in Hochhäusern können wir beurteilen, wie unsere Turbine am besten darin integriert wird.

### 2.3.2 Ergebnisse

#### Fachbegriffe

Falleitung	Eine senkrecht nach unten führende Abwasserleitung führt meist in Grundleitung oder Sammelleitung
Verziehung	Seitliche Versetzung einer Falleitung
Sammelleitung	Horizontale Abwasserleitung, die innerhalb eines Gebäudes mehrere Abwasserquellen zusammenführt
Grundleitung	Horizontale Abwasserleitung, die unter dem Gebäude oder auf dem Grundstück im Boden verlegt ist; Unterste Leitung auf Privatgrundstück. [13]
Hochhaus	Schweiz: Gebäude mit einer Gesamthöhe von über 30 Metern. Deutschland: Gebäude mit einem Aufenthaltsraum, dessen Fussboden mindestens 22 Meter über dem Erdboden liegt.
Nennweite	Innendurchmesser eines Rohrs

#### Falleitungen, Beruhigungsstrecken und Verziehungen

Durch Luftwiderstand und Reibung im Rohr beträgt die maximale Fallgeschwindigkeit, die in einer Falleitung erreicht wird etwa 10 m/s und wird nach einer Fallhöhe von etwa 15 Metern erreicht. Daher muss auch in Hochhäusern das Abwasser erst am Ende einer Falleitung abgebremst werden, unmittelbar bevor es einer Sammel- oder Grundleitung zugeführt wird. Die Abbremsung erfolgt durch eine sogenannte Beruhigungsstrecke, zwei 45° Winkel mit einem Zwischenstück von 250 mm am Ende der Falleitung. (Siehe Abbildung 2.6) Unsere Turbine sollte deshalb vor oder anstelle dieser Beruhigungsstrecke eingebaut werden. [14]

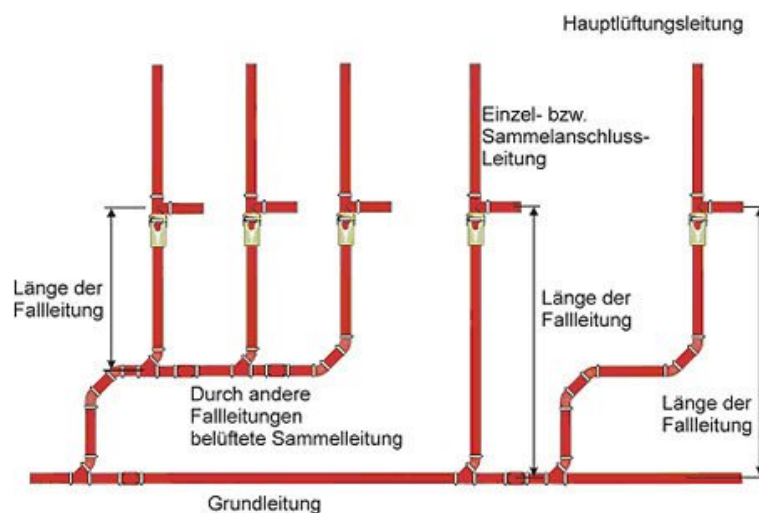


Abbildung 2.6: Schematische Verlegung von Falleitungen [14]

Da durch die baulichen Gegebenheiten nicht immer ein senkrechter Verlauf der Falleitung möglich ist, sind Verziehungen erforderlich. Eine Verziehung ist eine horizontale Versetzung der Falleitung. [15]

Bei einer Verziehung kommt es auch zur Abbremsung des fallenden Abwassers. Deshalb sollte in den Letzten 15 Metern über der Turbine keine Verziehung mehr vorhanden sein, damit das Abwasser seine maximale Fallgeschwindigkeit erreichen kann.

### Entlüftung

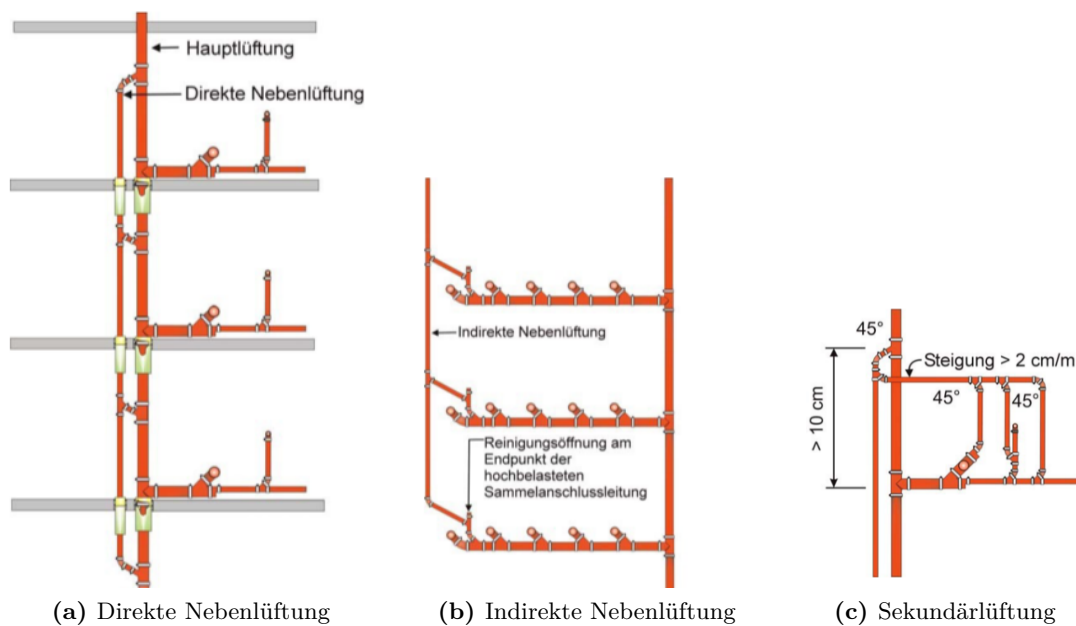
In Falleitungen werden grosse Luftvolumen bewegt, bei einer Nennweite DN 100 und einer Abwasserbelastung von beispielsweise 100 l/min werden 2340 l/min Luft mitgeführt. [15]

Diese Luftmenge behindert den Fluss des Abwassers, weshalb die Rohrleitungen belüftet werden müssen, damit ein Luftaustausch stattfinden kann. Auch muss verhindert werden, dass in den Leitungen Über- oder Unterdruck entsteht, da sonst ein Siphon leer gesaugt werden könnte. Dazu gibt es mehrere Lösungen, wobei nicht alle dazu geeignet sind, unsere Turbine einzubauen. Ein Geberit Sovent Formstück (siehe Abbildung 2.7) braucht wenig Platz, keine zusätzlichen Entlüftungsrohre und erlaubt mehr Durchfluss, da der Druckausgleich innerhalb Falleitung geschieht. Es wird in jedem Stockwerk in die Falleitung eingebaut und führt die Sammelleitungen des Stockwerkes in die Falleitung ein. Dies hat aber für uns aber den Nachteil, dass das Abwasser in jedem Stockwerk abgebremst wird und so nie seine Maximalgeschwindigkeit erreicht.



**Abbildung 2.7:** Geberit Sovent Formstück [16]

Die anderen üblichen Entlüftungsarten sollten für uns kein Problem darstellen, da das Wasser im Fall nicht gebremst wird. (Siehe Abbildung 2.8)



**Abbildung 2.8:** Verschiedene Entlüftungsarten [15]

### Abwassermengen

Der Durchschnittsverbrauch an Trinkwasser beträgt für Wohnungen mit Bad 150l/pro Person und Tag. [17] Der grösste Teil dieser Wassermenge wird als Abwasser wieder entsorgt.

Aufteilung:

- 48l WC-Spülung
- 43l Baden und Duschen
- 25l Wäschewaschen und Geschirrspülen
- 3l Trinken und Kochen

Ein Hochhaus mit beispielsweise 200 Bewohnern produziert also etwa 30 Kubikmeter Abwasser am Tag.

### 2.3.3 Fazit

Um die Fallgeschwindigkeit des Wassers optimal auszunutzen, sollte die Turbine am Ende einer Falleitung eingebaut werden. Oberhalb der Turbine muss das Wasser mindestens 15 Meter hoch frei fallen können, ohne durch Verziehungen abgebremst zu werden, damit es seine Maximalgeschwindigkeit erreichen kann.

## 2.4 Integrationen Bestehende Systeme

### 2.4.1 Recherchegrund

Da die aus Abwasser gewonnene Energie keinen gleichmässigen zeitlichen Verlauf aufweist, muss sie zwangsläufig in ein bestehendes System eingespiesen werden - entweder in einen Energiespeicher, wie er zusammen mit Solarzellen eingesetzt wird, oder in das Stromnetz. In diesem Abschnitt sollen die technische Machbarkeit und der damit verbundene Aufwand untersucht und Parallelen zu Solaranlagen gezogen werden.

### 2.4.2 Ergebnisse

#### Energiespeicher

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 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 teilweise geladen 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 schränken die Abstellmöglichkeiten ein und bringen einen großen Installationsaufwand mit sich: In der Regel sind mehrere Installateure mindestens einen Tag beschäftigt. [18]

#### 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.

Einphasige Anlagen dürfen in Deutschland nur bis zu einer maximalen Leistung von 5 kW (4,6 kW Dauerleistung) in das Stromnetz einspeisen. Diese Beschränkung dient der Netzstabilität und vermeidet Schieflasten. Neben der grundlegenden Funktion der Energiewandlung verfügt ein Solarwechselrichter über eine umfangreiche Datenerfassung und zum Teil Möglichkeiten zur Fernwartung. [19]

### 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 die Risiken bei einem Einbau einer Turbine in ein Abwassersystem einschätzen.

### 2.5.2 Ergebnisse

Die Verstopfungsgefahr beim Einbau einer Turbine in einer Abwasserrohr ist sehr klein. Eine Verstopfung zum Beispiel mit Tampons, Haaren oder Feuchttüchern passiert selten, weil das Schmutzwasser nur in geringen Abständen in das Rohr hineinfließt. Für diese Verstopfungen mit Haaren gibt es heute die Einkanal-Hydrauliken, die sich von diesen Materialien nicht verstopft. (Einkanalpumpe). [20]

Die Möglichkeit besteht, Verstopfungen ganz zu eliminieren, indem eine Hebeanlage in den Toilettenräumen eingebaut wird. Mit diesen Hebeanlagen entsteht aber zusätzlicher Lärm und in deren Bereichen müssen flexible Rohre installiert werden, um Rohrbrüche zu vermeiden. [21][22]

#### Leitungen

Bei Fallleitungen, die grösser als 10 bis 20m sind, schreibt die Norm vor, dass man zwei 45°-Bögen mit einem geraden Stück von 250mm Länge zum Druckabbau einbauen muss. Heutzutage kann man die Materialien so wählen, dass kein Rohrbruch entsteht. Bei grossem Förderstrom kann ein Bypass eingebaut werden, um die Leitungen zu entlasten. Ein anderes Problem ist die Ablagerung von Kalk in den Leitungen, die in den Leitungen entsteht, die sich erhitzen und wieder abkühlen. Dabei lagert sich eine kleine Schicht Kalkstein in der Innenseite des Rohrs ab. Dies kann bei der Pelton Turbine zur Verstopfung führen. [23]–[25]

#### Abgase

Die entstandenen Abgase (z.Bp. Schwefelgas), werden mittels zusätzlicher Lüftungsleitung abgeleitet und über das Dach in die Umwelt gelassen. In den Hebeanlagen kann es durch Gärprozesse zur Gasbildung kommen. Der entstandene Unterdruck im Raum muss durch Lüftung selber geregelt werden. Ein anderes Phänomen ist das bei langem Transport von Fäkalien und Wasser Schwefelwasserstoff-Säure entsteht. Dies wiederum kann Metall und Turbinen angreifen. Für deren Schutz benützen Ingenieure den Duplex-Stahl - korrosionsbeständiges Material (Keramikbeschichtung). [26]

#### Wartung

Abwasserrohre werden alle 30 Jahren auf Dichtigkeit kontrolliert. Die Materialien für die Abwasserrohre werden spezifisch gewählt, dass sie während der Lebensdauer nie ausgetauscht werden müssen.

### 2.5.3 Fazit

Die Sicherheit für den Einbau einer Turbine in ein Abwassersystem ist gewährleistet, sofern die Normen eingehalten werden und die Verstopfungsgefahr mit einer Hebeanlage minimiert wird.

### 3 Zusammenfassung

Für den Einsatz in einem Abwasser Kleinkraftwerk wäre eine Pelton-Turbine am besten geeignet, da sie nur ein kleines Verstopfungsrisiko birgt. Da Abwasser in einer Falleitung kaum schneller als 10 m/s wird und diese Geschwindigkeit nach einer Fallhöhe von etwa 15 Metern erreicht, könnte man in jedem fünften oder sechsten Stockwerk solch eine Turbine einbauen. Wichtig ist dabei, dass in den 15 Metern über der Turbine das Wasser nicht durch bauliche Massnahmen abgebremst wird. Die einfachste und günstigste Lösung, die gewonnene Energie ins Stromnetz einzuspeisen, wäre die Turbine in eine bestehende Solaranlage zu integrieren. Wenn das nicht möglich ist, wird ein zusätzlicher Energiespeicher oder Wechselrichter nötig, was sehr teuer ist. Der Markt für Abwasserkraftwerke ist bisher auf Grössere Anlagen mit hohem Durchfluss beschränkt, für den Einbau in Gebäuden gibt es noch keine Lösungen. Grund dafür ist ein schlechtes Preis- / Leistungsverhältnis bei kleineren Anlagen aufgrund der hohen Installationskosten und des geringen Wasserflusses.



## References

- [1] Unknown. (Apr. 1, 2006). Hydro technology extracts energy from sewage water, [Online]. Available: <https://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-2/regional-focus/hydro-technology-extracts-energy-from-sewage-water.html>.
- [2] T. Uchiyama, S. Honda, T. Okayama, and T. Degawa, „A Feasibility Study of Power Generation from Sewage Using a Hollowed Pico-Hydraulic Turbine“, *Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 510–517, 2016.
- [3] D. A. Torrey, „Hydropower from Wastewater“, *NYSERDA Report*, Dec. 1, 2011. [Online]. Available: <https://www.nyserra.ny.gov/-/media/Files/Publications/Research/Environmental/Hydropower-from-Wastewater.pdf>.
- [4] S. Patel. (Jan. 7, 2010). Australia Gets Hydropower from Wastewater, [Online]. Available: <https://www.powermag.com/australia-gets-hydropower-from-wastewater/>.
- [5] Rentricity. (Oct. 28, 2018). Creating a Smart Water Grid, [Online]. Available: <https://rentricity.com/offerings/equipment/>.
- [6] T. PurdueECT, „LUCIDPIPE POWER SYSTEM“, *Paper 224*, p. 4, Aug. 12, 2016. [Online]. Available: <https://docs.lib.purdue.edu/ectfs/224/>.
- [7] D. Quick. (Jul. 23, 2010). HighDro Power converts falling wastewater into electricity, [Online]. Available: <https://newatlas.com/highdro-power/15805/>.
- [8] A. F. McMillan. (Dec. 13, 2011). Making a Building’s Water System Into a Hydroelectric Plant, [Online]. Available: <https://www.nytimes.com/2013/12/13/realestate/commercial/turning-a-buildings-water-system-into-a-hydroelectric-plant.html>.
- [9] Konradin Medien GmbH. (Oct. 24, 2018). Wasserrad, [Online]. Available: <https://www.wissen.de>.
- [10] Wikipedia. (Oct. 24, 2018). Ueberdruckturbine. Bilder Über -Unterdruckturbine, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberdruckturbine>.
- [11] —, (Oct. 24, 2018). Gleichdruckturbine. Bilder Über -Unterdruckturbine, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichdruckturbine>.
- [12] Izeg. (Oct. 30, 2018), [Online]. Available: [http://www.izeg.de/fileadmin/izeg/technsiche\\_Informationen/2-2\\_Tech-Info\\_Schmutzwasser\\_Hochhaeuser.pdf](http://www.izeg.de/fileadmin/izeg/technsiche_Informationen/2-2_Tech-Info_Schmutzwasser_Hochhaeuser.pdf).
- [13] Wavin. (Oct. 25, 2018). Das Wavin Abwasserhandbuch, [Online]. Available: [https://www.shk-journal.de/uploads/media/08.08.12\\_Wavin\\_Abwasserhandbuch\\_2008.pdf](https://www.shk-journal.de/uploads/media/08.08.12_Wavin_Abwasserhandbuch_2008.pdf).
- [14] B. Wissen. (Oct. 15, 2018). Abwasserleitungen: Verlegung, [Online]. Available: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/entwaesserung/abwasserleitungen-verlegung-2459057>.

- [15] Carl Dieter. (Oct. 25, 2018). Schmutzwasser Fallleitungen in Hochhaeusern, [Online]. Available: <https://docplayer.org/71335169-Schmutzwasser-fallleitungen-in-hochhaeusern.html>.
- [16] Geberit. (Oct. 21, 2018). PE Abwasserrohre, [Online]. Available: <https://www.geberit.ch/produkte/rohrleitungssysteme-entwaesserung/geberit-pe-abwasserrohre/>.
- [17] ANDERSCHITZKY, SELLITSCH, STREBL. (Oct. 25, 2018). Die Struktur und Funktionalität von Hochhäusern, [Online]. Available: [http://www.wohnbau.tuwien.ac.at/downloads/Archiv/Wohnen%20auf%20hohem%20Niveau/Grundlagenforschung%20WS%202015/Struktur\\_Funktionalit%C3%A4t\\_Finish.pdf](http://www.wohnbau.tuwien.ac.at/downloads/Archiv/Wohnen%20auf%20hohem%20Niveau/Grundlagenforschung%20WS%202015/Struktur_Funktionalit%C3%A4t_Finish.pdf).
- [18] (Oct. 27, 2018). Stromspeicher SOLARWATT, [Online]. Available: <https://www.solarwatt.de/stromspeicher>.
- [19] Wikipedia. (Oct. 27, 2018). Solarwechselrichter, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarwechselrichter>.
- [20] (Oct. 2018). Homa-Pumpen mit System, [Online]. Available: <https://www.homa-pumpen.de/>.
- [21] Christian Giersch. (Oct. 2018). Das Ratgeberportal rund um das Thema Hebeanlagen, [Online]. Available: <https://hebeanlagen.info/mit-haecksler>.
- [22] C. Bayerl. (Oct. 2018). Tipp zum Bau, [Online]. Available: <https://tipp-zum-bau.de/sanitaer/hebeanlage/>.
- [23] S. Westermann. (2018). BauNetz Media, [Online]. Available: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/entwaesserung/abwasserleitungen-verlegung-2459057>.
- [24] (Oct. 2018). Mediagon – Wasseraufbereitung, [Online]. Available: [http://www.mediagon.ch/ch-de?ismobile=0&window\\_width=1433](http://www.mediagon.ch/ch-de?ismobile=0&window_width=1433).
- [25] (Oct. 2018). Kreiselpumpenlexikon, [Online]. Available: <https://www.ksb.com/kreiselpumpenlexikon/bypass/186706/>.
- [26] (Oct. 2018). Water & Wastewater International. English, [Online]. Available: <https://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-2/regional-focus/hydro-technology-extracts-energy-from-sewage-water.html>.