

# Kleinwasserkraftwerk

Pflichtenheft

Windisch, 22.11.2018



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

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	1
1.2	Ziele . . . . .	1
1.3	Nicht-Ziele . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Lösungskonzept</b>	<b>3</b>
2.1	Problemstellung . . . . .	3
2.2	Grobkonzept 1 . . . . .	4
2.3	Grobkonzept 2 . . . . .	5
2.4	Grobkonzept 3 . . . . .	8
2.5	Grobkonzept 4 . . . . .	10
2.6	Nutzwertanalyse . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>14</b>
3.1	Modell . . . . .	14
3.2	Energieberechnung . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Detaillkonzept</b>	<b>21</b>
4.1	Elektronik . . . . .	21
4.2	Mechanik . . . . .	24
4.3	Kosten . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Projektvereinbarung</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>29</b>
7.1	Energieberechnung Grobkonzept 1 . . . . .	29
7.2	Energieberechnung Grobkonzept 2 . . . . .	30
7.3	Energieberechnung Grobkonzept 3 . . . . .	30
7.4	Energieberechnung Grobkonzept 4 . . . . .	31
7.5	Vereinfachtes Modell . . . . .	31

# 1 Übersicht

## 1.1 Ausgangslage

Der Auftrag des Projekts 1 ist der Ersatz von Fossilen Ressourcen durch Elektrizität an einem ausgewählten Produkt. Das Team 4 hat sich das Ziel gesetzt, Lösungen zu finden, um die potentielle Energie des fallenden Abwassers in Hochhäusern und Wolkenkratzern in elektrische Energie umzuwandeln. Wird diese Energie zurück ins Gebäude gespeist, leistet unsere Lösung zwar keinen Ersatz von fossilen Ressourcen, aber einen Beitrag zur Reduktion des fossilen oder elektrischen Energieverbrauchs innerhalb von Gebäuden. Durch die Recherchearbeit konnte das Team 4 potentielle Lösungen finden, die nun in diesem technischen Teil des Pflichtenhefts weiter ausgearbeitet werden.

## 1.2 Ziele

Folgende Ziele hat sich das Team 4 gesetzt:

Zielkriterium	Zielvariable	Randbedingung
<b>1. Elektrotechnik</b>		
1.1. Wirkungsgrad	Gesamtwirkungsgrad [%]	>70%
1.2. Leistung	Gesamtleistung [kWh]	möglichst hoch
1.3. Schlichtheit	Anzahl verschiedenartiger Bestandteile	möglichst niedrig
<b>2. Abwassertechnik</b>		
2.1. Verstopfungssicherheit	Verstopfungswahrscheinlichkeit	möglichst klein
2.2. Platzsparung	Dimension der zusätzlichen Infrastruktur	möglichst klein
2.3. Wartung	Wartungsintervall	möglichst lange

### 1.3 Nicht-Ziele

Da das Projekt 1 als Übung für die Abwicklung eines Projekts dient, werden sämtliche praktische Arbeiten wie Realisierung, Validierung und Projektabschluss nicht umgesetzt.

Auch der juristische Teil wird im Projekt 1 nicht beachtet. Folgende Nicht-Ziele wurden definiert:

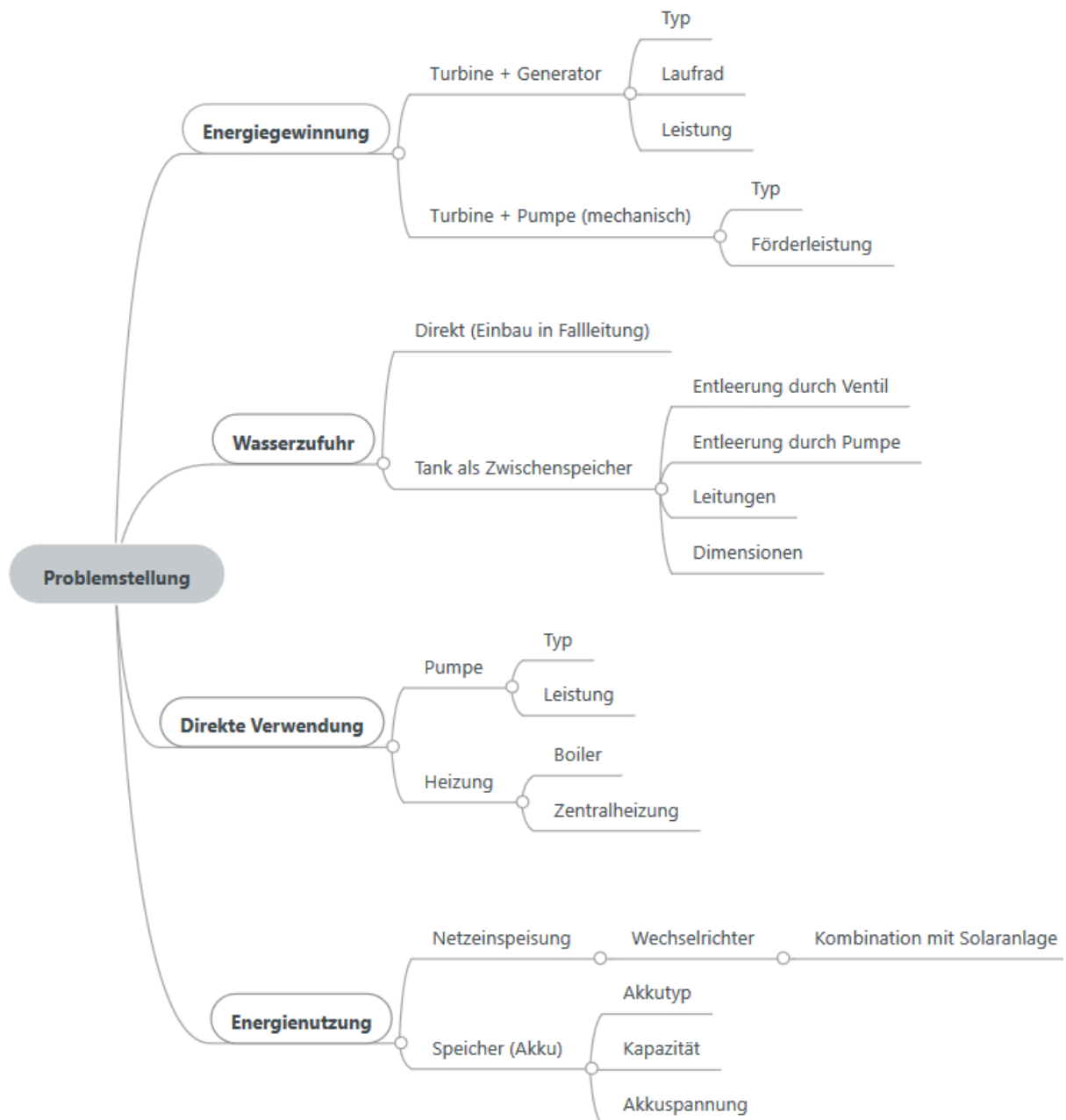
Nicht-Zielkriterium	Nicht-Zielvariable
1. Planung	Respektierung der Normen
2. Realisierung & Kosten	Einbau und Anschluss der Bestandteile
	Prototyp
	Lärmbelastung

---

## 2 Lösungskonzept

### 2.1 Problemstellung

Um eine erste Übersicht der möglichen Probleme des Lösungskonzepts zu erhalten, wurden folgende Punkte im Brainstormingverfahren zusammengetragen:



## 2.2 Grobkonzept 1

Bestandteil	Typ	Funktion	Anz.
<b>Stromerzeugung</b>			
Wasserrad		Umwandlung in Rotationsenergie	43
Generator	AC	Umwandlung in elektrische Energie	43
Gleichrichter	AC/DC Wandler	Wechselstrom zu Gleichstrom	43
DC/DC Konverter		Verhindern das Strom zurückfliessen kann	43
Wechselrichter		Umwandlung DC in AC (230V)	1
<b>Kontrollsystem</b>			
PC		Anlagesteuerung	1
SPS	Beckhof	Analoge und Digitale Aus- und Eingänge	1
<b>Abwassertechnik</b>			
Bypass	Absperrklappe	Umleitung für Wartungsarbeiten und Störungen an den Wasserräder	43

Im Grobkonzept 1 sollen 43 Wasserräder direkt in die Falleitung eingebaut werden. Mit jeweils einem Generator pro Wasserrad wird Strom erzeugt. Damit der Strom der einzelnen Wasserräder zusammengeführt werden kann. Muss der Wechselstrom zuerst in Gleichstrom umgewandelt werden. Dieser wird auf einen DC-DC Konverter gelegt. Anschliessen wird der Gleichstrom mit einem Wechselrichter auf Netz-Spannung umgewandelt. Ein Kontrollsystem steuert die Anlage und überwacht die Energiegewinnung und schreitet bei Störungen ein. In unserem Hochhausmodell (Park Avenue 432) wird immer nach zwei Etagen ein Wasserrad eingebaut, um die maximale Leistung herausholen zu können.

**Vorteile:**

+ platzsparend

**Nachteile:**

- Luftwiderstand
- Wasserflussmenge nicht geregelt
- defektanfällig
- AC-DC-AC Umwandlung

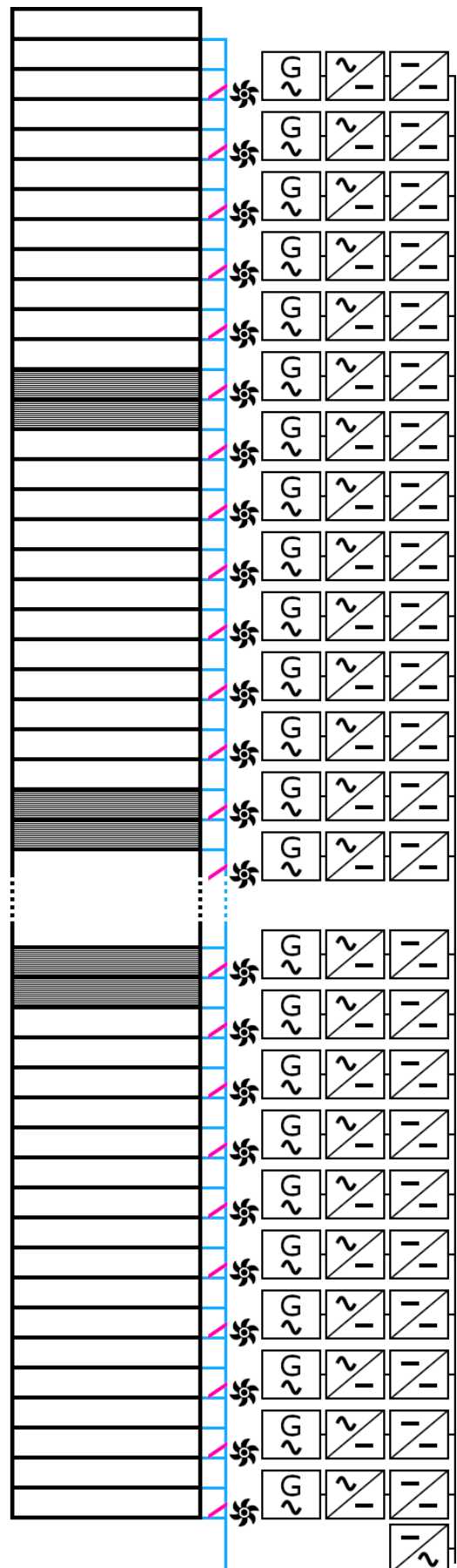


Abbildung 2.1: Grobkonzept 1

### 2.3 Grobkonzept 2

Bestandteil	Typ	Funktion	Anz.
<b>Stromerzeugung</b>			
Turbine	Pelton	Umwandlung in Rotationsenergie	1
Generator	AC	Umwandlung in elektrische Energie	1
Wechselrichter		Einspeisung ins Stromnetz	1
<b>Kontrollsystem</b>			
PC		Anlagesteuerung	1
SPS	Beckhof	Analoge und Digitale Aus- und Eingänge	1
<b>Abwassertechnik</b>			
Tanks		Zwischenspeicher für Abwasser	5
Ablassventil		Entlässt das Abwasser aus dem Tank	5
Entlüftung		Ermöglicht Luftaustausch, entlässt Gase	5
Notüberlauf		Verhindert, dass Tank zu voll wird	5
Füllstandsensor	Vibronik Grenzscharter	Misst den Füllstand des Tanks	5
Druckleitungen		Können Druck standhalten	5
Bypass für Turbine		Ermöglicht Wartung der Turbine	1
Bypass für Tanks		Ermöglicht Wartung und Reinigung der Tanks	5
Einwegventile		Verhindern Rückfluss	4



Im Grobkonzept 2 soll die Energieausbeutung gesteigert werden, indem das Abwasser zuerst in Tanks gespeichert wird, die all 14 Stockwerke eingebaut sind. In unserem Hochhausmodell an der Park Avenue 432 in New York gibt es all 14 Stockwerke zwei Zwischenstockwerke, wo der Einbau möglich wäre. Wenn der Füllstandsensoren im Tank erkennt, dass er voll ist, wird das Ventil geöffnet und das Abwasser fließt durch die Druckleitung in den Keller, wo es eine Pelton-Turbine mit Generator antreibt. Die gewonnene elektrische Energie wird über einen Wechselrichter dem Stromnetz zugeführt.

Das Abwasser füllt das Rohr komplett, so dass es keinen Luftwiderstand gibt, der es abbremst. So kann der Wirkungsgrad des Systems verbessert werden. Nur für eine kurze Zeit, bis das Rohr komplett mit Wasser gefüllt ist, tritt Luftwiderstand auf.

Da es im Modellhochhaus in den letzten 17 Stockwerken kein Zwischenstockwerk mehr gibt, bleibt das Abwasser dieser Stockwerke ungenutzt.

Die baulichen Massnahmen, die nötig sind, um dieses System zu installieren sind beträchtlich. Es müssen Tanks eingebaut und Druckleitungen zur Turbine verlegt werden, welche im Keller installiert werden muss. Die bestehenden Abwasserleitungen müssen neu so verlegt werden, dass sie in die Tanks führen. Somit ist es eher für Neubauten geeignet als zur Nachrüstung.

Um zu verhindern, dass es in den Tanks zu Ablagerungen kommt, ist der Boden der Tanks trichterförmig. Ablagerungen werden dadurch beim Öffnen des Ventils weggespült. Sollte es trotzdem nötig sein, die Tanks zu reinigen, gibt es einen Bypass, mit dem das Abwasser am Tank vorbeigeführt werden kann. Er kann dann entleert und gereinigt oder repariert werden. Auch die Turbine hat einen Bypass, der Wartungsarbeiten ermöglicht.

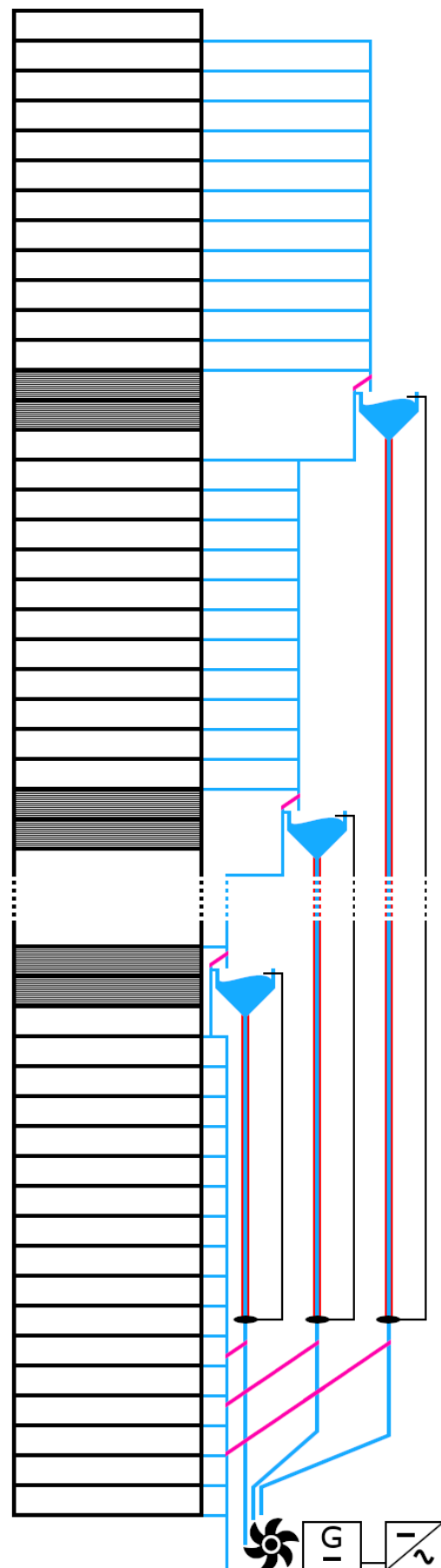


Abbildung 2.2: Grobkonzept 2

Jeder Tank ist mit einem Überlauf ausgestattet, der verhindert, dass ein Tank zu voll wird wenn z.B. der Ablauf verstopft ist. Das überschüssige Abwasser wird dann in einem Rohr in die Falleitung wenige Stockwerke tiefer geleitet. Von dort gelangt es in den nächsten Abwassertank. Der Füllstandsensor im Tank erkennt, wenn der Pegel zu hoch wird und sendet eine Warnung. Falls aus irgendeinem Grund mehr als eines der Ventile gleichzeitig geöffnet würde, könnte es zu einem Rückstau kommen, bei dem Abwasser durch die Druckleitungen vom höher gelegenen Tank in einen tieferen fließt. Um dies zu verhindern, werden in den Druckleitungen Einwegventile eingebaut. Der höchstgelegene Tank benötigt kein solches Ventil.

Ein Kontrollsystem steuert die Anlage und überwacht die Energiegewinnung und schreitet bei Störungen ein. Die Gewonnene Energie kann ins Netz zurück gespeist werden.

**Vorteile:**

- + Luftwiderstand nur während dem Füllen
- + Nur eine Turbine
- + Keine AC-DC-AC Umwandlung
- + geregelte Wasserflussmenge

**Nachteile:**

- braucht sehr viel Platz
- bauliche Massnahmen
- Luftwiderstand während Füllung
- lange Druckleitungen
- Abwasser der untersten 17 Stockwerke ungenutzt

## 2.4 Grobkonzept 3

Bestandteil	Typ	Funktion	Anz.
<b>Stromerzeugung</b>			
Turbine	Pelton	Umwandlung in Rotationsenergie	5
Generator	AC	Umwandlung in elektrische Energie	5
Gleichrichter	AC/DC Wandler	Wechselstrom zu Gleichstrom	5
DC/DC Konverter		Verhindern das Strom zurückfliessen kann	5
Wechselrichter		Umwandlung DC in AC (230V)	1
<b>Kontrollsystem</b>			
PC		Anlagesteuerung	1
SPS	Beckhof	Analoge und Digitale Aus- und Eingänge	1
<b>Abwassertechnik</b>			
Tanks		Zwischenspeicher für Abwasser	5
Ablassventil		Entlässt das Abwasser aus dem Tank	5
Entlüftung		ermöglicht Luftaustausch, entlässt Gase	5
Notüberlauf		Verhindert, dass Tank zu voll wird	5
Füllstandsensoren	Vibronik Grenzschnalter	5	
Druckleitungen		Können Druck standhalten	5
Bypass für Turbinen		ermöglicht Wartung der Turbine	5
Bypass für Tanks		ermöglicht Wartung und Reinigung der Tanks	5

Dieses Grobkonzept ist fast identisch zu Grobkonzept 2. Es gibt wieder mehrere Tanks in einem Abstand von 14 Stockwerken, in denen das Abwasser zwischengespeichert wird. Allerdings gibt es nicht nur eine, sondern gleich viele Turbinen wie Tanks. Das Abwasser fließt von einem Tank 14 Stockwerke nach unten, durch eine Turbine und dann in den nächsten Tank. Bei Grobkonzept 2 kann es unter Umständen relativ lange dauern, bis die Rohre komplett mit Wasser gefüllt sind. Bis das der Fall ist, kommt es zu Luftwiderstand in der Leitung, der das Abwasser abbremst. Bei jedem Tank eine Turbine einzubauen hat den Vorteil, dass die Rohre kürzer sind und so nach Öffnen des Ventils schneller komplett mit Wasser gefüllt werden. So wird die Zeit verkürzt, in der Luftwiderstand auftritt. Ausserdem ist der Druck in den Leitungen geringer, man kann also günstigere Rohre und Ventile verwenden. Da im Vergleich zu Grobkonzept 2 keinen Rückstau geben kann, ist es nicht nötig, Einwegventile in die Druckleitung einzubauen. Damit der Strom der Turbinen zusammengeführt werden kann. Muss der Wechselstrom zuerst in Gleichstrom umgewandelt werden. Dieser wird auf einen DC-DC Konverter gelegt damit kein Strom zurück in den Generator fließen kann. Anschliessen wird der Gleichstrom mit einem Wechselrichter auf Netz-Spannung umgewandelt. Ein Kontrollsystem steuert die Anlage und überwacht die Energiegewinnung und schreitet bei Störungen ein.

**Vorteile:**

- + Luftwiderstand nur während dem Füllen
- + kurze Druckleitungen
- + geregelte Wasserflussmenge

**Nachteile:**

- Braucht viel Platz
- grössere bauliche Massnahmen
- Mehrere Turbinen
- AC-DC-AC Umwandlung
- Abwasser der untersten 17 Stockwerke ungenutzt

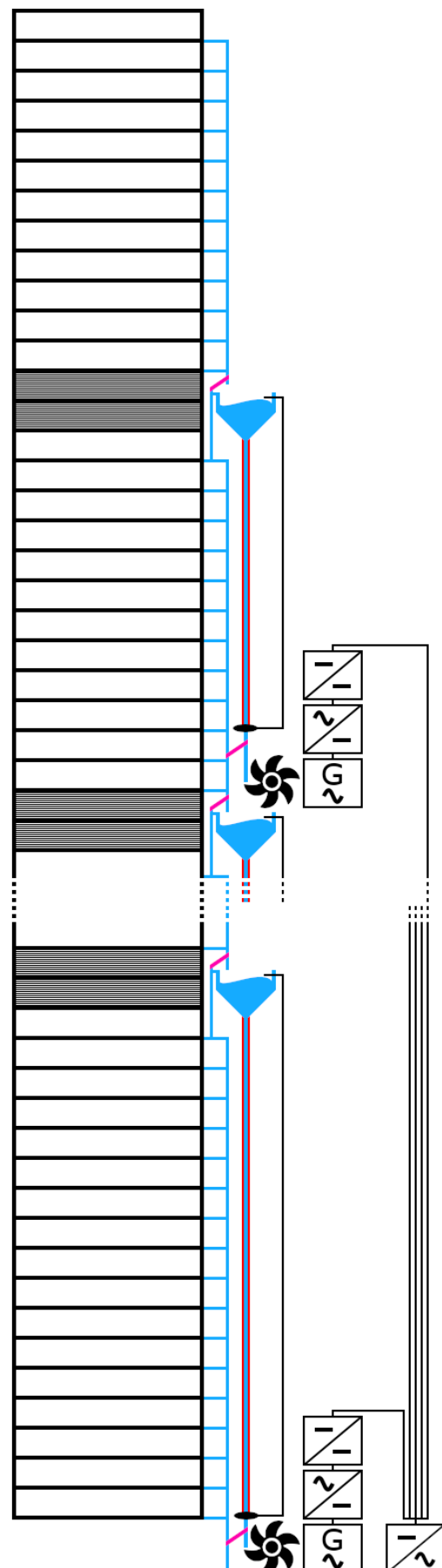


Abbildung 2.3: Grobkonzept 3

## 2.5 Grobkonzept 4

Bestandteil	Typ	Funktion	Anz.
<b>Stromerzeugung</b>			
Rohrkette		Umwandlung potenzielle Energie zu Rotation	6
Zahnrad		Umdehungszahl für Generator anpassen	6
Generator	AC	Umwandlung in elektrische Energie	6
Gleichrichter	AC/DC Wandler	Wechselstrom zu Gleichstrom	6
DC/DC Konverter		Verhindern das Strom zurückfliessen kann	6
Wechselrichter		Umwandlung DC in AC (230V)	1
<b>Kontrollsystem</b>			
PC		Anlagesteuerung	1
SPS	Beckhof	Analoge und Digitale Aus- und Eingänge	1
<b>Abwassertechnik</b>			
Ventile	Absperrklappe	Umleitung in Falleitung für Wartungsarbeiten am Wasserlift	74
Falleitung		Für Wartungsarbeiten	1

Im Grobkonzept 4 wird die potenzielle Energie des Abwassers mit der Wasserlifttechnik ausgenutzt. Das Abwasser fliesst in eine Schaufel und wird in der Schaufel im Rohr nach unten transportiert. Somit erhält der Lift eine Bewegung nach unten und entleert am tiefsten Punkt das Abwasser. Die Drehbewegung, welche die Rohrkette erzeugt ist eher langsam. Daher muss die Drehbewegung mit einem Zahnradsystem verschnellert werden, damit die Minstdrehzahl des Generators erreicht wird. Muss das System gewartet werden, wird das Abwasser in eine normale Falleitung, mithilfe von Ventilen, umgeleitet. Damit der Strom der Turbinen zusammengeführt werden kann. Muss der Wechselstrom zuerst in Gleichstrom umgewandelt werden. Dieser wird auf einen DC-DC Konverter gelegt damit kein Strom zurück in den Generator fließen kann. Anschliessen wird der Gleichstrom mit einem Wechselrichter auf Netz-Spannung umgewandelt. Ein Kontrollsystem steuert die Anlage und überwacht die Energiegewinnung und schreitet bei Störungen ein.

Die 5 oberen Lifte haben eine Länge von 66.08m, der unterste Lift 80.24m. Für Wartungsarbeiten existiert eine zusätzliche Leitung, die mittels Bypass angesteuert wird.

**Vorteile:**

- + kostengünstig
- + platzsparend

**Nachteile:**

- viele Ventile
- Lufwiderstand
- unregelmässige Wassermenge

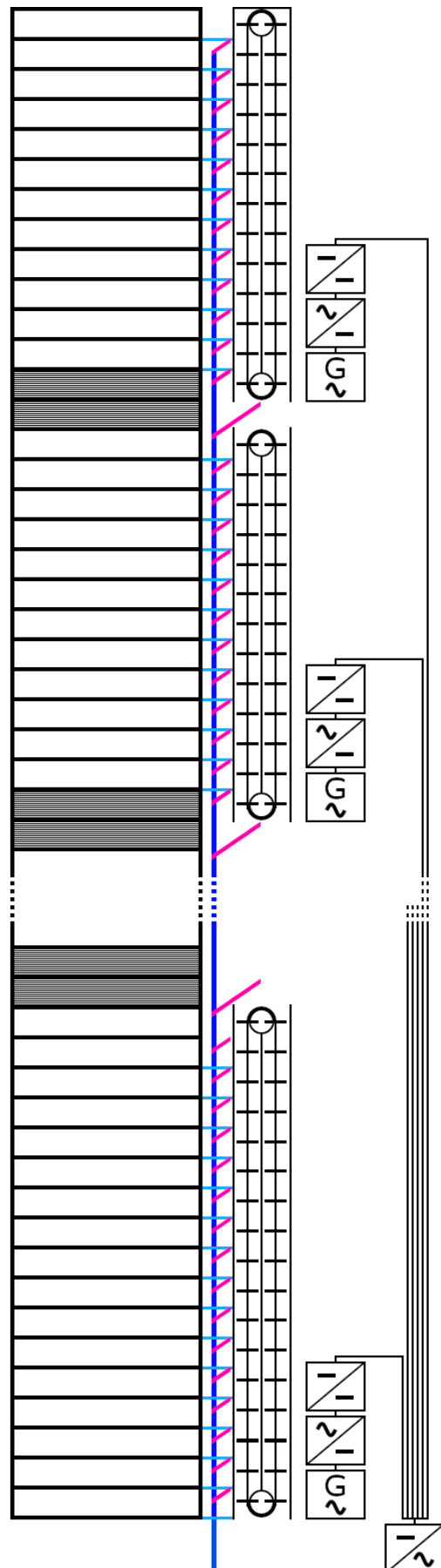


Abbildung 2.4: Grobkonzept 4

## 2.6 Nutzwertanalyse

Das Team hat blabla...

	1.1. Wirkungsgrad	1.2. Leistung	1.3. Komplexität	2.1. Verstopfungsgefahr	2.2. Platzbedarf	2.3. Wartung	Total	Prozent
1.1. Wirkungsgrad		0.5	0.5	0	0.5	0.5	2.	13%
1.2. Leistung	0.5		1	1	1	1	4.5	30%
1.3. Komplexität	0.5	0		0	0	0.5	1.0	6.5%
2.1. Verstopfungsgefahr	1	0	1		0	1	3	20%
2.2. Platzbedarf	0.5	0	1	1		1	3.5	24%
2.3. Wartung	0.5	0	0.5	0	0		1.0	6.5%
							<b>15</b>	<b>100%</b>

Zeile-Kriterium ist wichtiger als Spalten-Kriterium 1

Zeile-Kriterium ist gleich wichtig wie Spalten-Kriterium 0.5

Zeile-Kriterium ist weniger wichtig wie Spaltenkriterium 0

	Erfüllungsgrad					Messgrösse
	min. <b>1</b>	<b>2</b>	mittel <b>3</b>	<b>4</b>	max. <b>5</b>	
1.1. Wirkungsgrad	<50	51-60	61-70	71-80	>81	%
1.2. Leistung	<40	40-44	45-50	51-54	>55	kWh
1.3. Schlichtheit	>16	15-12	11-8	7-4	<3	Anz. versch. Teile
2.1. Verstopfungssicherheit	gering	mässig	mittel	erhöht	hoch	a)
2.2. Platzsparing	gering	mässig	mittel	erhöht	gross	Schätzung m <sup>3</sup>
2.3. Wartung	52-13	12-6	5-2	1	0	b)

a) Abschätzung via Recherche

b) geschätzte Frequenz [1\J]

Zielkriterium	Gewichtung	Max	Grobkonzept 1		Grobkonzept 2		Grobkonzept 3		Grobkonzept 4					
			Wert	Erfüllungsgrad	Wert	Erfüllungsgrad	Wert	Erfüllungsgrad	Wert	Erfüllungsgrad				
			Nutzwert		Nutzwert		Nutzwert		Nutzwert					
Elektrotechnik														
Wirkungsgrad	13%	0.650	32%	1	0.13	67.2%	3	0.39	64.1%	3	0.39	80%	4	0.52
Leistung	30%	1.500	21.5kWh	1	0.30	44.6kWh	2	0.60	42.6kWh	2	0.60	53.1kWh	4	1.20
Schlichtheit	6.5%	0.325	6	4	0.26	15	2	0.26	14	2	0.20	6	4	0.26
Abwassertechnik														
Verstopfungssicherheit	20%	1.000	mässig	2	0.40	mässig	2	0.40	mässig	2	0.40	mittel	3	0.60
Platzsparung	24%	1.200	erhöht	4	0.96	mässig	2	0.48	gering	1	0.24	erhöht	5	1.20
Wartung	6.5%	0.325	5	2	0.26	3	2	0.26	1	4	0.20	1	4	0.20
Summe	100.0%	5.000	2.31		2.39		2.03		3.98					
Erfüllungsgrad [%]	100.0	46	48		40		79							
Rangfolge		3	2		4		1							



## 3 Auswertung

### 3.1 Modell

Für die Berechnung der potentiellen Energie benützen wir das Modell Park Avenue 432, eines der höchsten reinen Wohnhochhäusern auf der Welt. Die stolze Höhe und der über das ganze Gebäude gleichbleibende quadratische Grundriss sind ideal für unsere Berechnungen. Für die Wassermengenberechnung stützen wir uns auf die Angaben des durchschnittlichen Wasserverbrauchs in Amerika pro Person und Tag: 314L. **waterUsAmerica**



Abbildung 3.1: Park Avenue 432 **432\_Park\_Avenue**

Name:	Park Avenue 432
Höhe:	426m
Etagen:	84 Obergeschosse, 1 Erdgeschosse, 3 Untergeschosse
Etagenhöhe:	4.72m
Höchste Etage:	392.1m
Wohnungen:	104
Speziell:	alle 12 Etagen 2 Etagen leer
Nutzbare Etagen:	74

### 3.2 Energieberechnung

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 in kWh zu erhalten wird folgende Formel verwendet:

$$P = \frac{E \cdot \eta}{3.6\text{MJ}}$$

Die Leistung  $P$  hat die Einheit W und der Wirkungsgrad  $\eta$  besitzt keine Einheit.

Mit diesen Mathematischen Grundlagen kann nun die Leistung an unserem Modellhochhaus für die Grobkonzepte berechnet werden. Für die Berechnungen wird angenommen das pro Wohnung 2.5 Personen leben und sie einen Durchschnittsverbrauch pro Tag von 314l haben. Bei 146 Wohnungen und 74 Nutzbaren Etagen leben 5 Personen pro Etage. Es wird somit 1570l pro Etage pro Tag verbraucht. Im Anhang befindet sich das vereinfachte Modell (7.5 Vereinfachtes Modell) des Hochhauses, von der die Berechnungen ausgehen. Das gesamte hochhaus wird zur vereinfachung in 6 Blöcke eingeteilt. Dies und eine Legende für Symbole die in diesem Abschnitt benutzt werden, sind in der Abbildung 3.2 Blockeinteilung des Hochhauses ersichtlich.

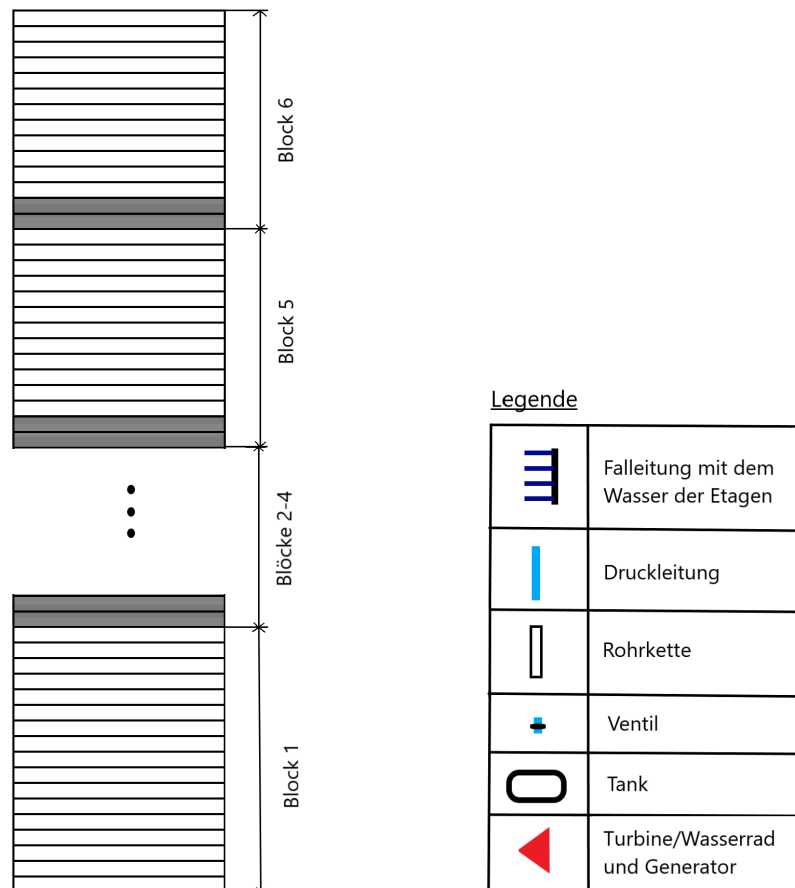


Abbildung 3.2: Blockeinteilung des Hochhauses

### Grobkonzept 1

Im Grobkonzept 1 wird die Geschwindigkeit des Wassers ausgenutzt. Wie bereits im Recherchedokument (**recherchedokument**) berechnet, wird das Wasser ab ca. 10m nicht mehr merklich schneller. Um möglichst viel Energie zu erzeugen wird in jeder zweiten Etage, bzw. alle 9.44 m ein kleines Wasserrad eingebaut. Insgesamt werden 50 Wasserräder eingebaut. Dies ist in der Abbildung 3.3 Prinzip Grobkonzept 1 ersichtlich. Die Geschwindigkeit des Wassers beträgt bei einer Höhe von zwei Etagen 8.5m/s und bei einer Etage 6.5m/s

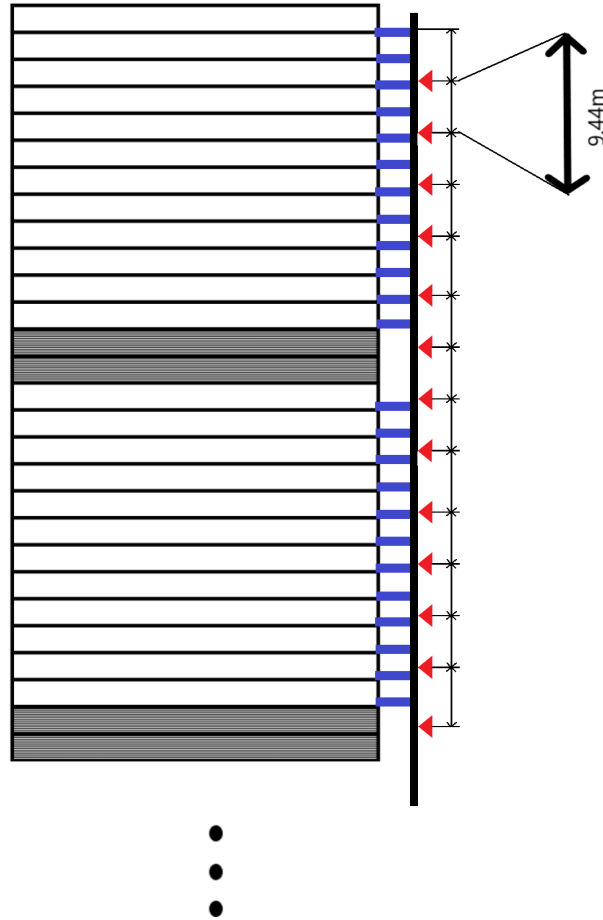
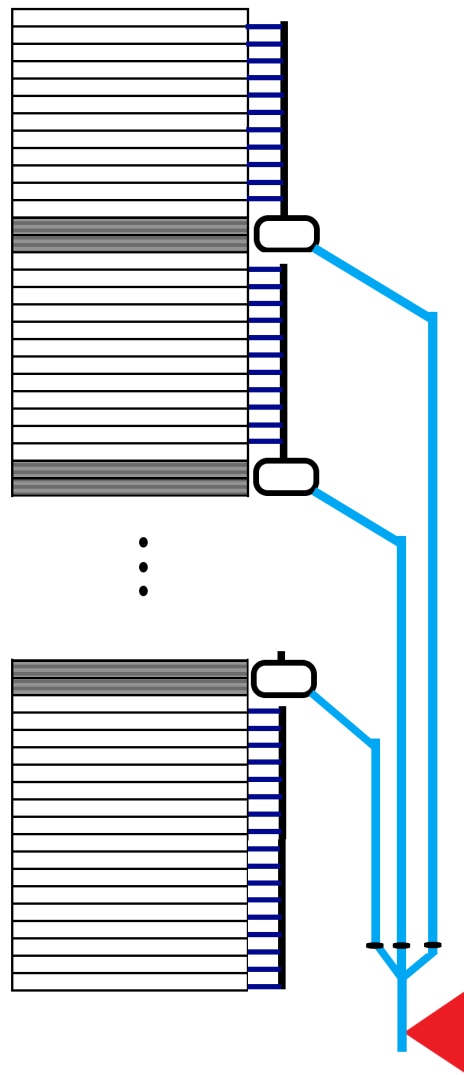


Abbildung 3.3: Prinzip Grobkonzept 1

Mit diesem Konzept wird insgesamt 21.5kWh pro Tag gewonnen, dies entspricht bei Stromkosten von 20rp einen Wert von 4.30Fr. Die Leistungsberechnungen sind im Anhang 7.1 Berechnung Grobkonzept 1 zu finden.

**Grobkonzept 2**

Im Grobkonzept 2 wird die Geschwindigkeit des Wassers ausgenutzt. Um den Luftwiderstand zu eliminieren werden nun Druckleitungen eingebaut die komplett mit Wasser gefüllt sind. So kann eine grössere Geschwindigkeit aufgebaut werden. In den unbenutzten Etagen wird das Wasser gesammelt und mit einer Druckleitung bis zur Turbine ganz unten geführt. Dies ist in der Abbildung 3.4 Prinzip Grobkonzept 2 ersichtlich.



**Abbildung 3.4:** Prinzip Grobkonzept 2

Mit diesem Konzept wird insgesamt 44.59kWh pro Tag gewonnen, dies entspricht bei Stromkosten von 20rp einen Wert von 8.92Fr. Die Leistungsberechnungen sind im Anhang 7.2 Berechnung Grobkonzept 2 zu finden.

### Grobkonzept 3

Im Grobkonzept 3 wird die Geschwindigkeit des Wassers ausgenutzt. Um den Luftwiderstand zu eliminieren werden nun Druckleitungen eingebaut die komplett mit Wasser gefüllt sind. So kann eine grössere Geschwindigkeit aufgebaut werden. In den unbenutzten Etagen wird das Wasser gesammelt und mit einer Druckleitung bis zur Turbine vor dem nächsten Tank geführt. Dies ist in der Abbildung 3.5 Prinzip Grobkonzept 3 ersichtlich.

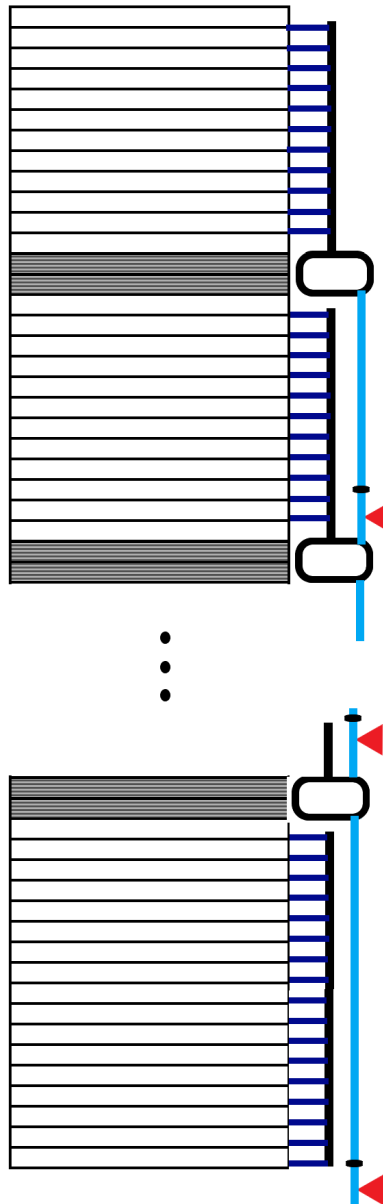


Abbildung 3.5: Prinzip Grobkonzept 3

Mit diesem Konzept wird insgesamt 42.62kWh pro Tag gewonnen, dies entspricht bei Stromkosten von 20rp einen Wert von 8.53Fr. Die Leistungsberechnungen sind im Anhang 7.3 Berechnung Grobkonzept 3 zu finden.

### Grobkonzept 4

Im Grobkonzept 4 wird die potenzielle Energie des Wassers ausgenutzt. Damit die Wasserlifte nicht zu lang werden, werden diese Blockweise verbaut. Dies ist in der Abbildung 3.6 Prinzip Grobkonzept 4 ersichtlich. Die obersten 5 bestehen aus 12 bewohnten und 2 ungenutzten Etagen. Der unterste Block besteht aus 16 bewohnten Etagen. Somit haben 5 Lifte eine Länge von 66.08m und der unterste Lift eine Länge von 80.24m

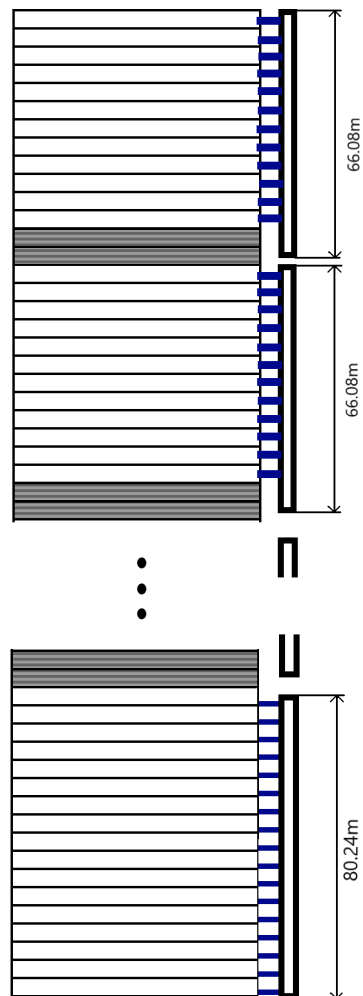


Abbildung 3.6: Prinzip Grobkonzept 4

Mit diesem Konzept wird insgesamt 53.08kWh pro Tag gewonnen, dies entspricht bei Stromkosten von 20rp einen Wert von 10.62Fr. Die Leistungsberechnungen sind im Anhang 7.4 Berechnung Grobkonzept 4 zu finden.

## 4 Detailkonzept

Das Konzept mit den Wasserliften ist am besten geeignet für unsere Anwendung. Es existieren bereits solche «Rohrkettenförderer», die jedoch Produkte hinaufbefördern. Wir nutzen dieses System um das Wasser nach unten zu befördern und dabei Energie zu gewinnen. Es werden insgesamt sechs Lifte benötigt. Fünf Lifte überwinden je 60.08m und der unterste Lift überwindet 80.24m. In der Abbildung 3.6 Prinzip Grobkonzept 4 ist dies grafisch dargestellt.

### 4.1 Elektronik

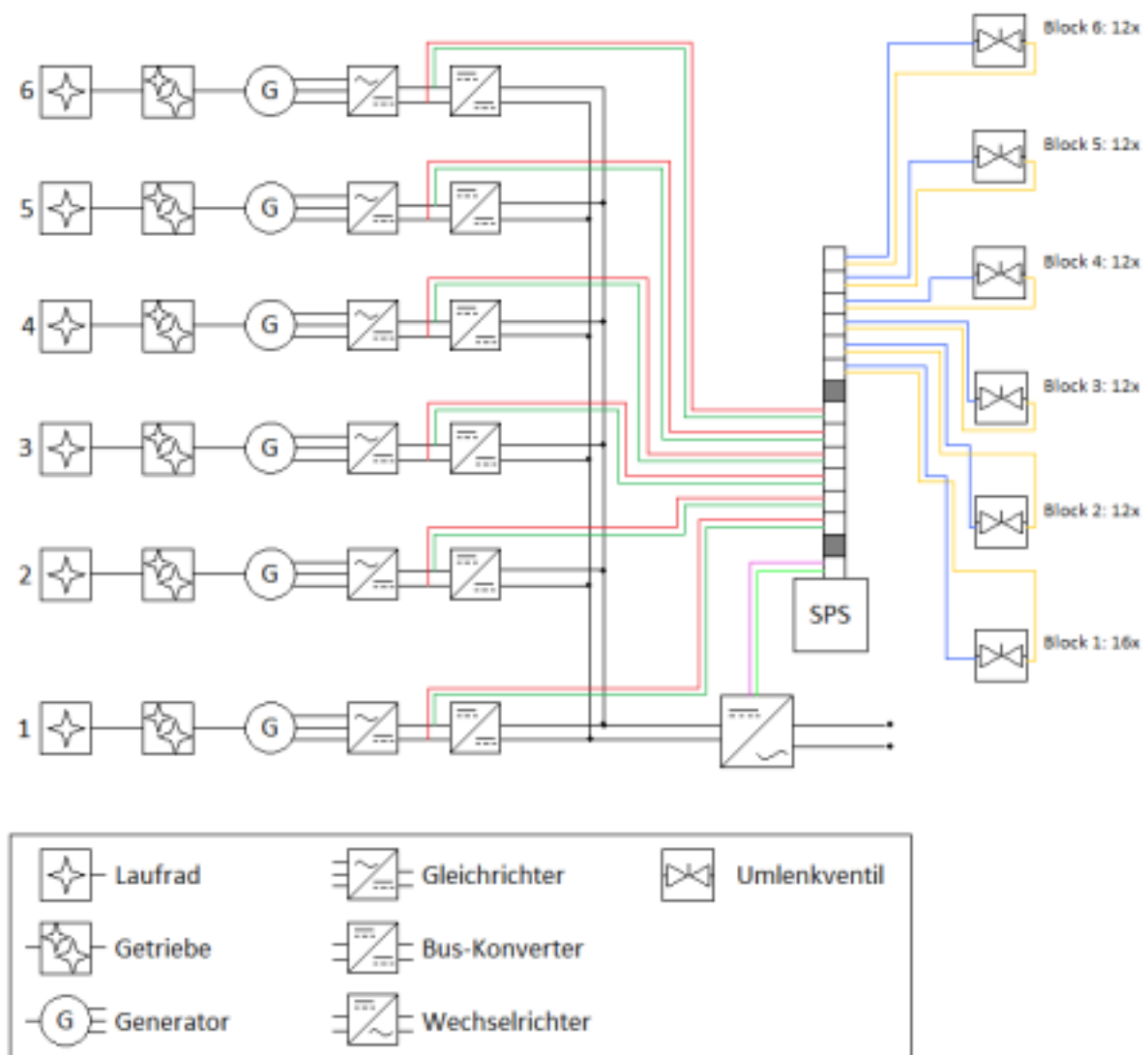


Abbildung 4.1: Prinzipschema

#### Funktionsbeschreibung

Die potentielle Energie des Abwassers wird über ein Laufrad in kinetische Energie umgewandelt. Mittels eines Getriebes wird die vom Laufrad kommende Drehzahl dem Generator angepasst, dieser wandelt die kinetische Energie in elektrische um. Der Gleichrichter transformiert den 3



Phasen Drehstrom in einen 2 poligen Gleichstrom. Um Rückkoppelungen auf dem DC-Bus zu vermeiden schalten wir zwischen den Gleichrichter und den DC-Bus einen Bus-Konverter. Die summierte Energie aller sechs Generatorenstränge wird über einen Wechselrichter ins Stromnetz eingespeist. Zur Überwachung und auch zur Ansteuerung der Umlenkventile im Wartungsfall wird eine SPS verwendet.

### Generator

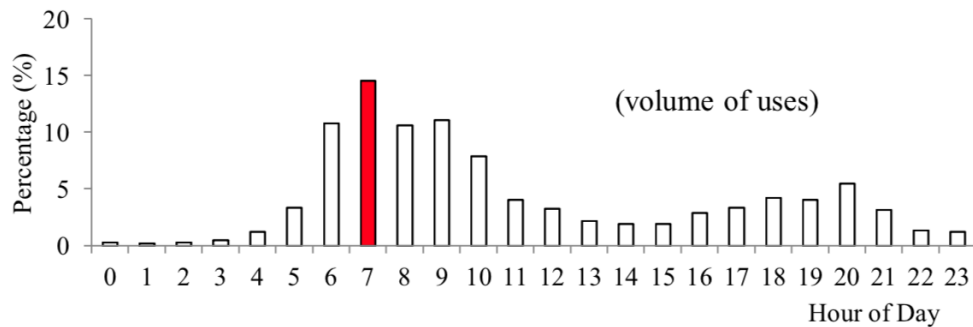


Abbildung 4.2: Typische Tagesgangkurve. **peakWaterDemand**

### Wechselrichter nach Generator

### DC-DC Wandler

### Wechselrichter für Netzeinspeisung

Damit die gewonnene Leistung in das Netz eingespeisen werden kann, muss der Wechselrichter folgende Eigenschaften aufweisen.

**Leistung:** 9KW

**Ausgang:** 3Phasen

**Kosten:** Die Kosten sollen möglichst gering gehalten werden.

In der Förderungsanlage wird ein Asynchrongenerator verbaut. Die Firma Voltacon ist bekannt für ihre Hochleistungswechselrichter.

Das Model Hybrid Wechselrichter HSI10000 entspricht den gewünschten Anforderungen für unsere Förderungsanlage. Der Wechselrichter transformiert die 48VDC auf 230VAC mit einer Frequenz von 50Hz. Das Gerät kann bis zu einer Leistung von 10KW erbringen. Mittels integrierten Displays kann die erbrachte Leistung zusätzlich abgelesen werden.

Gemäss Datenblatt lassen die Ströme regeln bis 200A. Der Wechselrichter hat einen Netzunabhängigen Energiespeicher der mittels Batterie geladen werden könnte (Batterie-Backup). Für die Kommunikation sind verschiedene Optionen vorhanden wie über den USB Port, RS-232 oder den SNMP (Simple Network Management Protocol) Überwachungssoftware für Echtzeitstatusanzeige und -steuerung.

Kosten: 3'401Fr

## Kontrollsystem

Das Kontrollsystem steuert und überwacht die Anlage und ist wie folgt aufgebaut: Auf einem PC ist eine C# Software installiert. Das Programm kommuniziert über ModbusTPC mit der SPS und kann die Anlage so steuern. Über eine GUI kann ein Benutzer einfach auf die Anlage zugreifen, steuern und Informationen ablesen. Das Programm hat zwei verschiedene Modi. Einen Manuellen-Modus und einen Betriebs-Modus. Im Manuellen-Modus kann der Betrieb der Anlage für Wartungsarbeiten angepasst werden. So können die Ventile einzeln oder blockweise geschaltet werden. Im Betriebs-Modus werden nur im Störfall die Ventile automatisch geschaltet um die Sicherheit zu gewährleisten. Wenn möglich werden nur einzelne Blöcke deaktiviert damit die Anlage weiterhin Strom produzieren kann. In beiden Modi wird die Stromgewinnung überwacht. So wird angezeigt welcher Generator gerade Strom erzeugt. Der Wechselrichter, der unter Wechselrichter für Netzeinspeisung beschrieben ist, kann über einem USB-Port eine serielle Kommunikation mit dem PC aufbauen. Das Programm kann die Informationen der aktuellen Energiegewinnung über diese Schnittstelle auslesen, speichert diese in einem Log. File und gibt diese an die Benutzeroberfläche weiter. Die gesammelten Daten können im Programm ausgewertet und grafisch dargestellt werden. Für dieses Kontrollsystem werden folgende Komponente benötigt.

Anzahl	Komponente	Bezeichnung	Stückpreis [Fr]	Gesamtpreis [Fr]
1	Kontrollklemme	BK9050	200	200
20	Digitale Ausgangsklemme	KL1114	100	2000
20	Digitale Eingangsklemme	KL2134	100	2000
7	Analoge Eingangsklemme	KL2134	100	700
1	PC	Dell	1000	1000

Die Kosten für die Komponenten betragen 5900 Fr. Für die Entwicklung der Software werden 3 PM benötigt und kostet einmalig 48Fr.

## 4.2 Mechanik

### Rohrkette

In der Industrie werden Rohrkettenförderer für den Transport von Schuttgüter verwendet. In der Abbildung 4.3 Innenaufbau Rohrkettenförderer **abconvey** ist der Innenaufbau eines solchen Rohrkettenförderers ersichtlich.

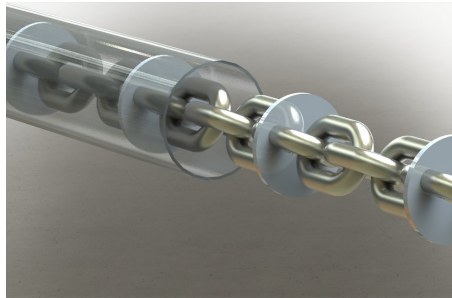


Abbildung 4.3: Innenaufbau Rohrkettenförderer **abconvey**

Wir wollen keinen Schutt nach oben befördern, daher muss dieses System auf unsere Anforderungen angepasst werden. Diese Anforderungen sind, dass die verwendeten Materialien Robust gegenüber Korrosion sind, da das Abwasser aggressiv auf diese wirkt. Weiter müssen, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, die Platten mit möglichst kleinem Spielraum zur Ausserwand konstruiert werden, damit das Wasser nicht einfach auf der Seite herunterfliessen kann und gleichzeitig nicht eine zu grosse Reibung erzeugt wird. Die Drehachse, an dem der Generator angeschlossen wird ist ein Stösselkettenrad. Dieser ist in der Abbildung 4.4 Stösselkettenrad **schrage** zu sehen



Abbildung 4.4: Stösselkettenrad **schrage**

Um diesen Wasserlift zu bauen beauftragen wir die Firma Schrage, ein führender Spezialist für Rohrketten, die in Deutschland zu Hause ist, beauftragt. Die Kosten belaufen sich für die 60.08m Höhendifferenz auf ca. 10'000Fr pro Lift und für die 80.24m Höhendifferenz auf ca. 13'000Fr. Insgesamt würde die Anlage mit den Rohrketten, Rohr und Stösselkettenrad ca.63'000Fr kosten. **schrage**

## **Zahnradsystem**

### **Bypass**

Mit einem Bypass würde die Falleitung bei Störungen angesteuert werden. Wegen der Rohrdimensionen würde zuerst ein T-Stück installiert werden, dann zwischen zwei Flanschen würde der Bypass montiert werden. Das Material für den Bypass würde aus PVC sein. Mit dem SPS kann der Bypass bei Störungsfällen angesteuert werden.

**Preise T-Stück:** 10.90-100 Fr

**Preis Bypass:** 200-1000 Fr

## **4.3 Kosten**

## **5 Wirtschaftlichkeit**

## 6 Projektvereinbarung

**Auftraggeber**

Jenni, Prof. Dr. Felix

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

**Projektleiter**

Imhof, Frank

---

Ort, Datum

---

Unterschrift



7 Anhang

7.1 Energieberechnung Grobkonzept 1

Pro Tag		
Gewichtskraft g [m/s²]:	9.81	
Wasser pro Person [l]	314	
Dichte p [kg/m³]	1000	
Personen pro benutzte Etage	5	
Wasser pro Etage [l]	1570	
Wasser pro Block 2-6 [l]	18'840	
Wasser pro Block 1 [l]	25'120	
Wassergeschwindigkeit 2 Etagen [m/s]	8.5	
Wassergeschwindigkeit 1 Etage [m/s]	6.5	
Etagenhöhe [m]	4.72	
Wirkungsgrad	0.80	
Abstand Turbine [m]	9.44	
Stromkosten 1 kWh [CHF]	0.20	

Block 6	$\sum_{n=0}^5 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 6 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 0.5 \times 18840 \times 8.5^2$	E in MJ	2.92
Block 5	$\sum_{n=0}^5 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 6 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 0.5 \times 18840 \times 8.5^2 + 7 (0.5 \times 18840 \times 8.5^2)$		7.69
Block 4	$\sum_{n=0}^5 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 6 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 0.5 \times 18840 \times 8.5^2 + 7 (0.5 \times 2 \times 18840 \times 8.5^2)$		12.45
Block 3	$\sum_{n=0}^5 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 6 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 0.5 \times 18840 \times 8.5^2 + 7 (0.5 \times 3 \times 18840 \times 8.5^2)$		17.21
Block 2	$\sum_{n=0}^5 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 6 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 0.5 \times 18840 \times 8.5^2 + 7 (0.5 \times 4 \times 18840 \times 8.5^2)$		21.98
Block 1	$\sum_{n=0}^7 0.5 \times 1570 (n \times 2) \times 8.5^2 + 8 (0.5 \times 1570 \times 8.5^2 + 0.5 \times 1570 \times 6.5^2) + 9 (0.5 \times 5 \times 18840 \times 8.5^2)$		34.52
Total			96.77
Total mit Wirkungsgrad			77.41

Leistung [kWh]	21.50
Ersparnis pro Tag [Fr]	4.30

Abbildung 7.1: Berechnung Grobkonzept 1



## 7.2 Energieberechnung Grobkonzept 2

Pro Tag		E in MJ
Gewichtskraft $g$ [ $m/s^2$ ]:	9.81	Block 6 gesamt 64.55
Wasser pro Person [l]	314	Block 5 gesamt 52.34
Dichte $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	1000	Block 4 gesamt 40.13
Personen pro benutzte Etage	5	Block 3 gesamt 27.92
Wasser pro Etage [l]	1570	Block 2 gesamt 15.70
Wasser pro Block 2-6 [l]	18'840	Block 1 gesamt 0.00
Wasser pro Block 1 [l]	25'120	Total 200.64
Etagenhöhe [m]	4.72	Total mit Wirkungsgrad 160.51
Benutzte Etagen Block 1	16	
Benutzte Etagen pro Block 2-6	12	
Wirkungsgrad	0.80	
Abstand Turbine [m]	9.44	
Stromkosten 1 kWh [CHF]	0.20	

Leistung [kWh]	44.59
Ersparnis pro Tag [Fr]	8.92

Abbildung 7.2: Berechnung Grobkonzept 2

## 7.3 Energieberechnung Grobkonzept 3

Pro Tag		E in MJ
Gewichtskraft $g$ [ $m/s^2$ ]:	9.81	Block 6 gesamt 11.34
Wasser pro Person [l]	314	Block 5 gesamt 22.68
Dichte $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	1000	Block 4 gesamt 34.02
Personen pro benutzte Etage	5	Block 3 gesamt 45.36
Wasser pro Etage [l]	1570	Block 2 gesamt 78.51
Wasser pro Block 2-6 [l]	18'840	Block 1 gesamt 0.00
Wasser pro Block 1 [l]	25'120	Total 191.92
Etagenhöhe [m]	4.72	Total mit Wirkungsgrad 153.53
Benutzte Etagen Block 1	16	
Benutzte Etagen pro Block 2-6	12	
Wirkungsgrad	0.80	
Abstand Turbine [m]	9.44	
Stromkosten 1 kWh [CHF]	0.20	

Leistung [kWh]	42.65
Ersparnis pro Tag [Fr]	8.53

Abbildung 7.3: Berechnung Grobkonzept 3

## 7.4 Energieberechnung Grobkonzept 4

Pro Tag			E in MJ		E in MJ		E in MJ
Gewichtskraft g [m/s <sup>2</sup> ):	9.81	Block 2-6	0.95	Block 1	1.16	Block 6 gesamt	70.22
Wasser pro Person [l]	314		0.87		1.09	Block 5 gesamt	58.01
Dichte p [Kg/m <sup>3</sup> ]	1000		0.80		1.02	Block 4 gesamt	45.80
Personen pro benutzte Etage	5		0.73		0.95	Block 3 gesamt	33.59
Etagenhöhe [m]	4.72		0.65		0.87	Block 2 gesamt	21.37
Wirkungsgrad	0.80		0.58		0.80	Block 1 gesamt	9.89
Blockhöhe 2-6 [m]	66.08		0.51		0.73	Total	238.88
Blockhöhe 1 [m]	80.24		0.44		0.65	Total mit	
Höhe gesamt bis Kanilisation	410.64		0.36		0.58	Wirkungsgrad	191.10
Stromkosten 1 kWh [CHF]	0.20		0.29		0.51		
		Pro Block	6.54		0.44		
					0.36		
					0.29	Leistung [kWh]	53.08
					0.22	Ersparnis pro Tag [Fr]	10.62
					0.15		
					0.07		
				Block 1	9.89		

Abbildung 7.4: Berechnung Grobkonzept 4

## 7.5 Vereinfachtes Modell

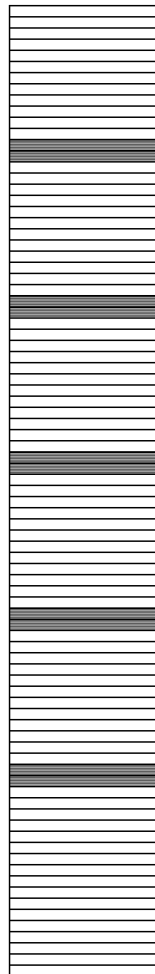


Abbildung 7.5: Vereinfachtes Modell