

# 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         |
| 2.2.1    | Wartung . . . . .                         | 4         |
| 2.3      | Grobkonzept 2 . . . . .                   | 6         |
| 2.3.1    | Wartung . . . . .                         | 7         |
| 2.3.2    | Sicherheitsmassnahmen . . . . .           | 8         |
| 2.4      | Grobkonzept 3 . . . . .                   | 9         |
| 2.5      | Grobkonzept 4 . . . . .                   | 11        |
| 2.6      | Nutzwertanalyse . . . . .                 | 13        |
| <b>3</b> | <b>Auswertung</b>                         | <b>15</b> |
| 3.1      | Modell . . . . .                          | 15        |
| 3.2      | Energieberechnung . . . . .               | 16        |
| <b>4</b> | <b>Detailkonzept</b>                      | <b>22</b> |
| 4.1      | Elektronik . . . . .                      | 22        |
| 4.2      | Mechanik . . . . .                        | 23        |
| 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:

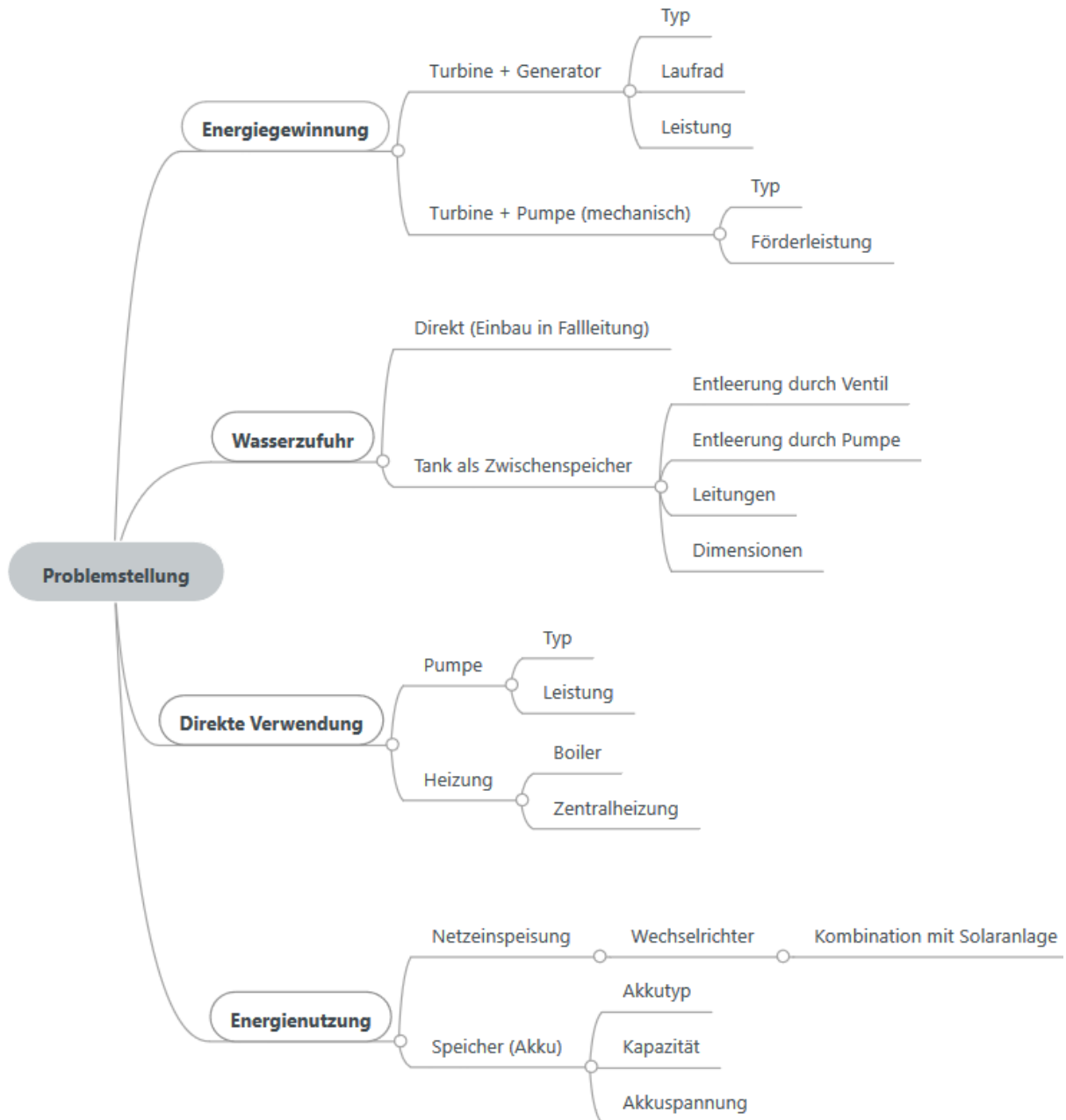
| Nicht-Zielkriterium      | Nicht-Zielvariable                    |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Planung               | Respektierung der Normen              |
| 2. Realisierung & Kosten | Einbau und Anschluss der Bestandteile |
|                       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

- + kleiner Umbau der vorhandenen Anlage
- + einfach

### Nachteile:

- defekt anfällig
- unregelmässige Wassermenge
- kleine Leistung
- AC-DC-AC Umwandlung

## 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 Hochmausmodell 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.

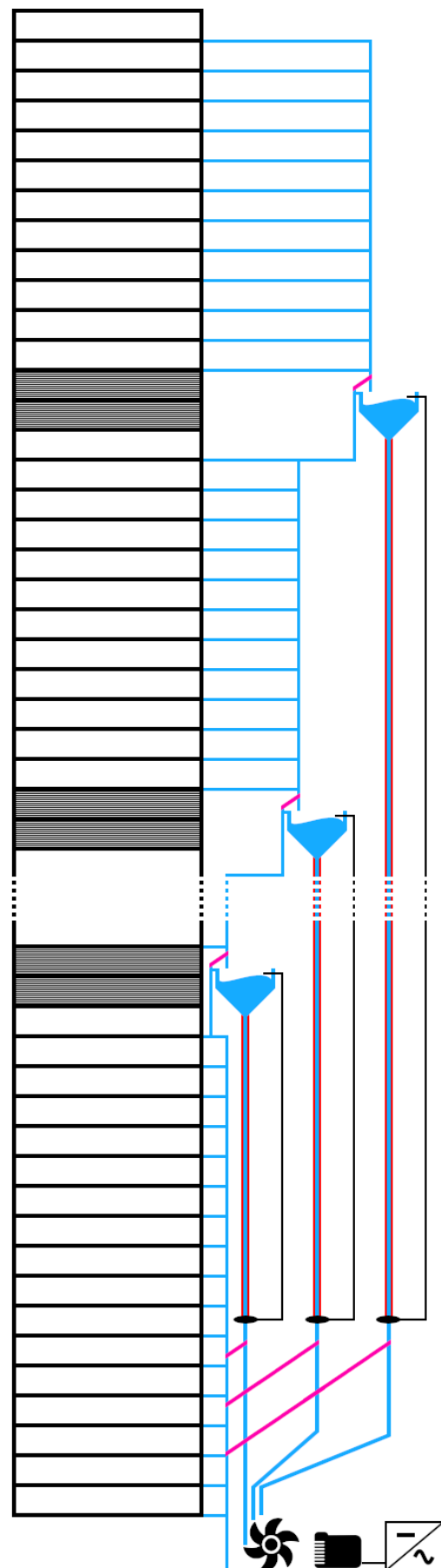


Abbildung 2.1: Grobkonzept 2



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:**

- + Kein Luftwiderstand (sobald Rohr gefüllt ist)
- + Nur eine Turbine nötig

**Nachteile:**

- Braucht viel Platz
- Grössere Bauliche Massnahmen nötig
- Verstopfungsgefahr
- Lange Leitungen brauchen länger bis komplett mit Wasser gefüllt, bis dann Luftwiderstand - das Abwasser der letzten 17 Stockwerke bleibt 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    |
| Füllstandsensor        | Vibronik Grenzscharter | 5   |      |
| Druckleitungen         |                        | Können Druck standhalten                  | 5    |
| Bypass für Turbinen    |                        | ermöglicht Wartung der Turbine            | 5    |
| Bypass für Tanks       |                        | ermöglicht Wartung und Reingung 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 tritt kürzer auf
- + Weniger Druck in den Leitungen

**Nachteile:**

- Braucht viel Platz
- Grössere bauliche Massnahmen nötig
- Verstopfungsgefahr
- Mehrere Turbinen nötig
- AC-DC-AC Umwandlung

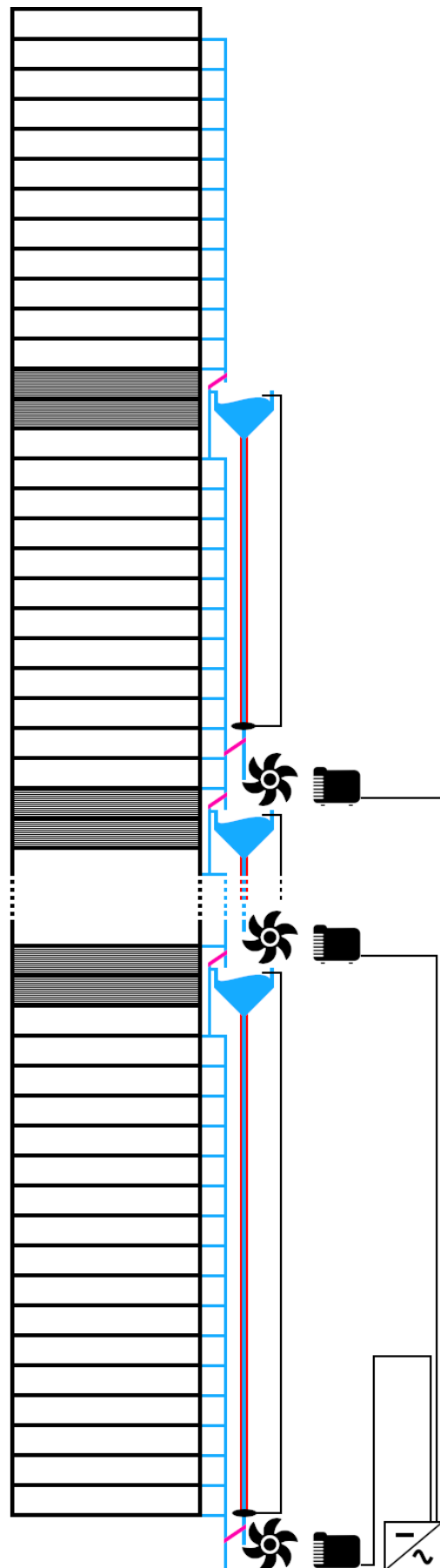


Abbildung 2.2: Grobkonzept 3

## 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

**Nachteile:**

- defekt anfälliger
- umbau
- Verstopfungsresistent

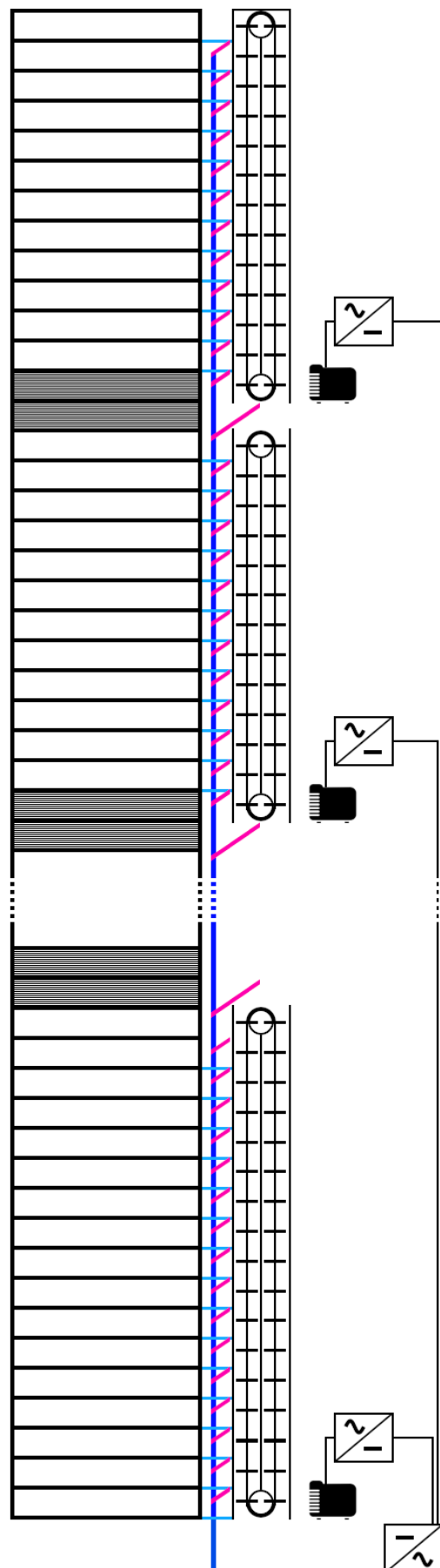


Abbildung 2.3: Grobkonzept 4

## 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.<br><b>1</b> | <b>2</b> | mittel<br><b>3</b> | <b>4</b> | max.<br><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       | Nutzwert      | Nutzwert       |               |                |      |         |   |      |
|                    |            |       |               |                |               |                |               |                |               |                |      |         |   |      |
| Elektrotechnik     |            |       |               |                |               |                |               |                |               |                |      |         |   |      |
|                    | 13%        | 0.650 | 32%           | 1              | 0.13          | 67.2%          | 3             | 0.39           | 64.1%         | 3              | 0.39 | 80%     | 4 | 0.52 |
|                    | 30%        | 1.500 | 21.5kWh       | 1              | 0.3           | 44.6kWh        | 2             | 0.6            | 42.6kWh       | 2              | 0.60 | 53.1kWh | 4 | 1.20 |
|                    | 6.5%       | 0.325 | 6             | 4              | 0.26          | 15             | 2             | 0.26           | 14            | 2              | 0.20 | 6       | 4 | 0.26 |
| Abwassertechnik    |            |       |               |                |               |                |               |                |               |                |      |         |   |      |
|                    | 20%        | 1.000 | mässig        | 2              | 0.40          | mässig         | 2             | 0.4            | mässig        | 2              | 0.40 | mittel  | 3 | 0.60 |
|                    | 24%        | 1.200 | erhöht        | 4              | 0.96          | mässig         | 2             | 0.48           | gering        | 1              | 0.24 | erhöht  | 5 | 1.20 |
|                    | 6.5%       | 0.325 | 5             | 2              | 0.26          | 3              | 2             | 0.26           | 1             | 4              | 0.20 | 1       | 4 | 0.20 |
| Summe              |            |       | 100.0%        | 2.31           |               | 2.39           |               | 2.03           |               | 3.98           |      |         |   |      |
| Erfüllungsgrad [%] |            |       | 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:

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

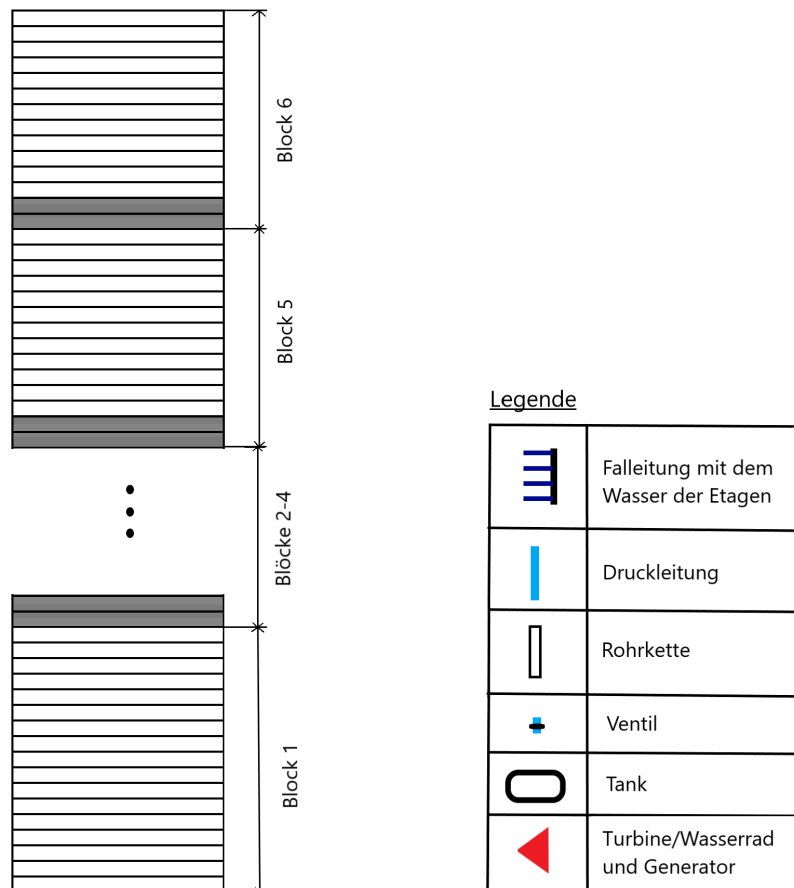
Die Energie  $E$  hat die Einheit J, die Einheit der Geschwindigkeit  $v$  ist m/s, und die Masse  $m$  hat die Einheit kg

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

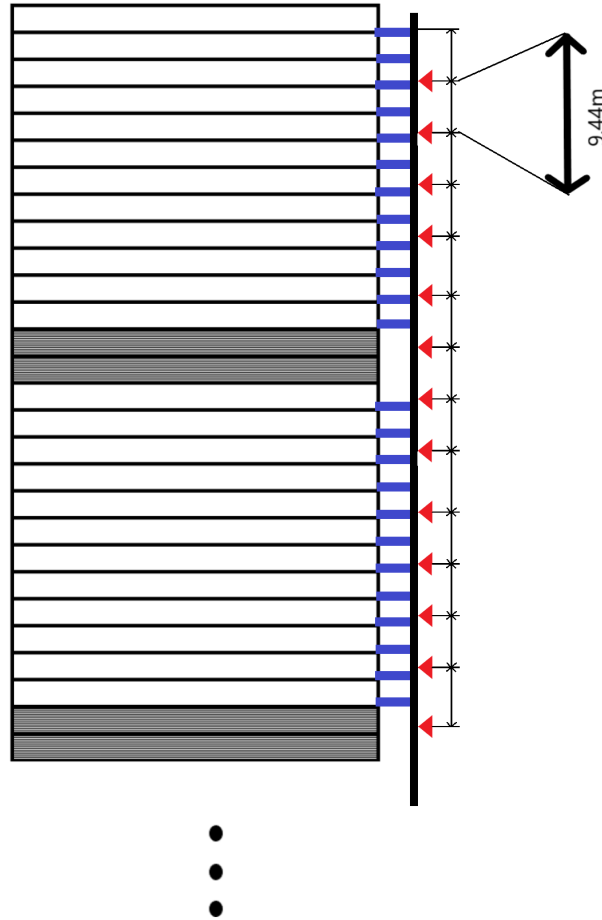
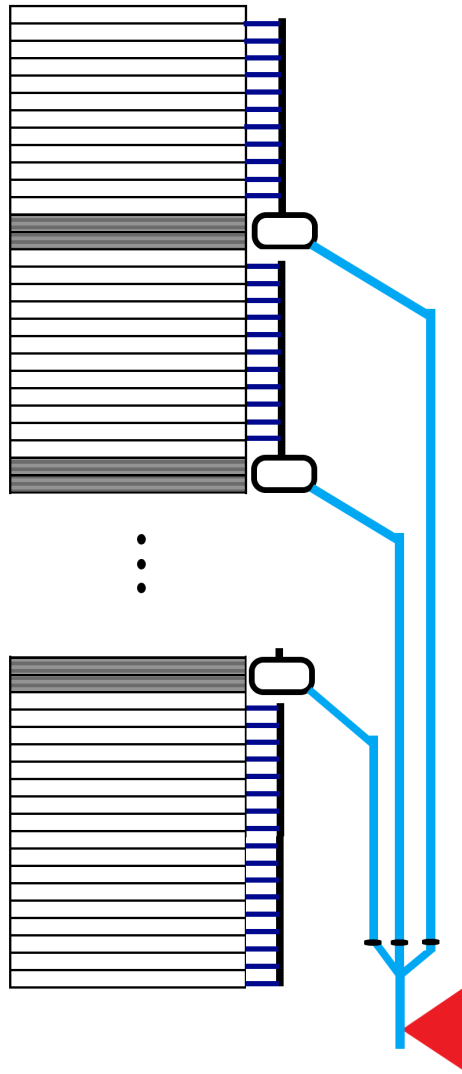


Abbildung 3.3: Prinzip Grobkonzept 1

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.

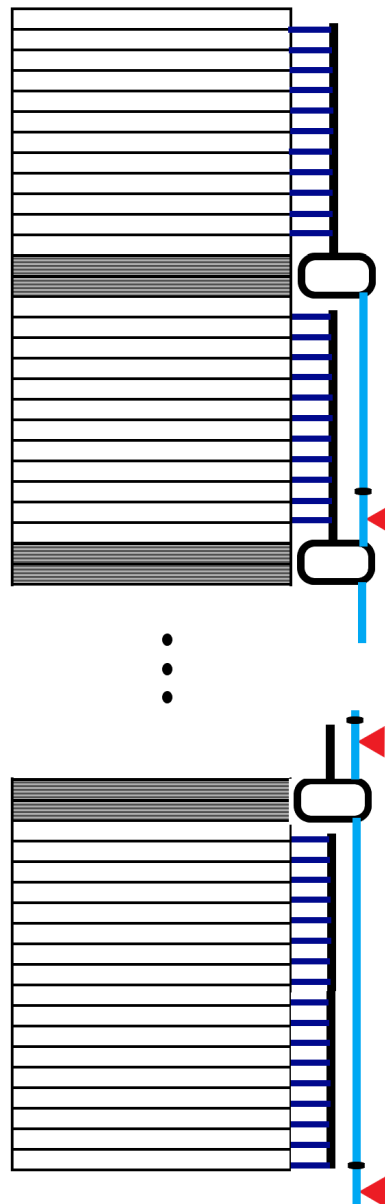


**Abbildung 3.4:** Prinzip Grobkonzept 2

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.

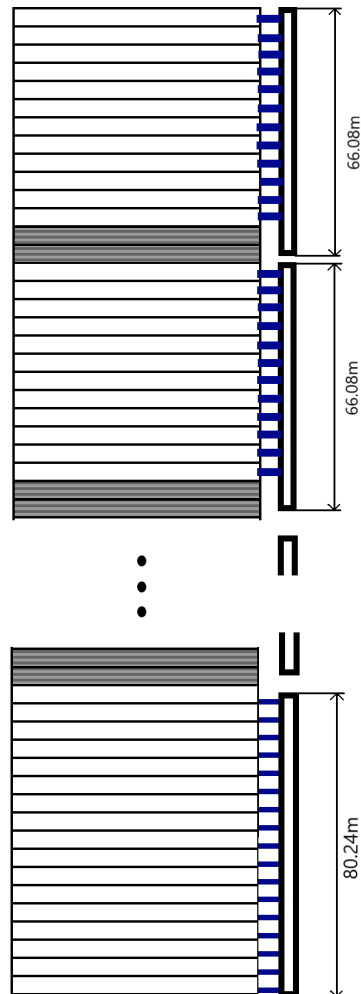


**Abbildung 3.5:** Prinzip Grobkonzept 3

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

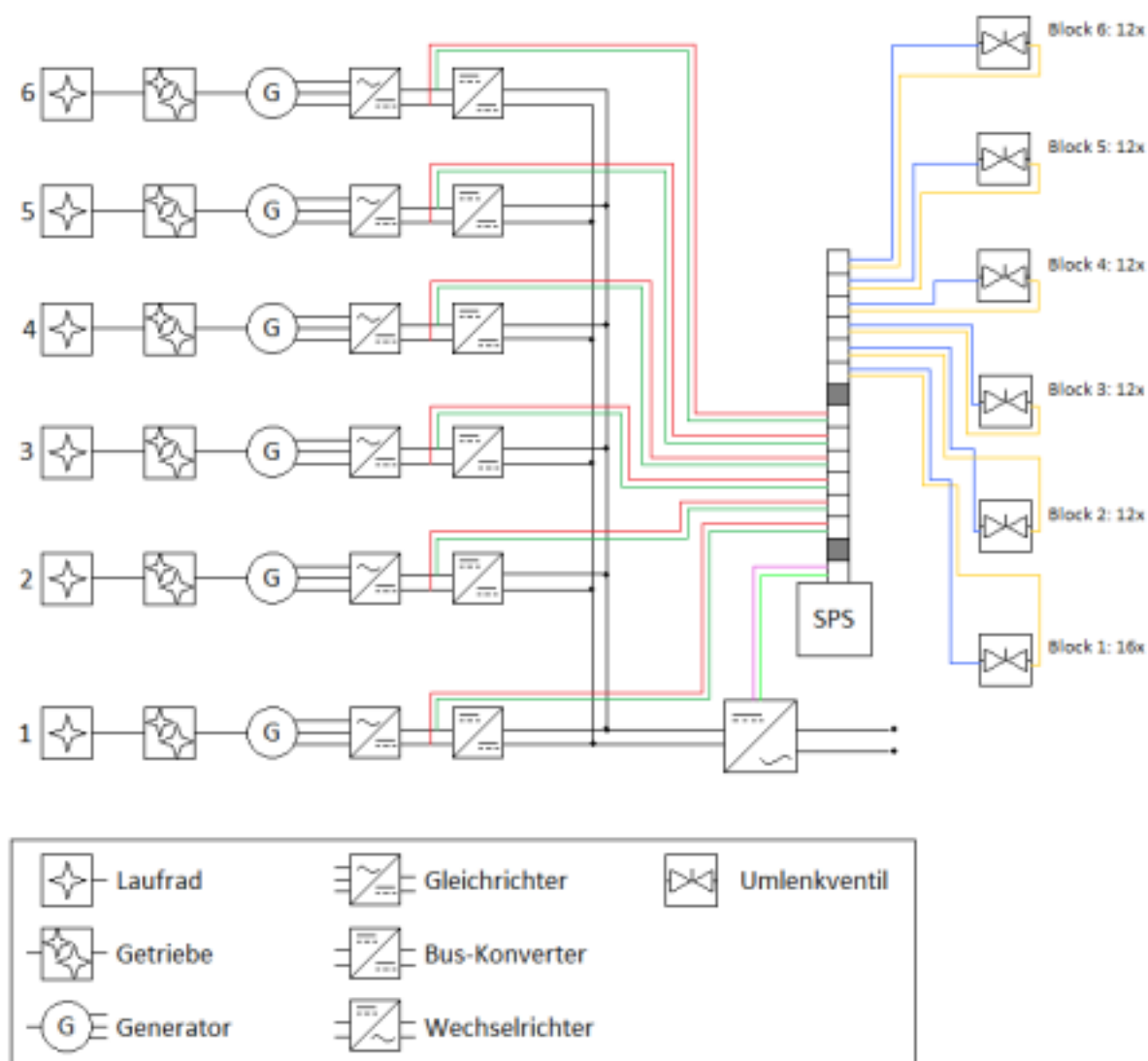


Abbildung 4.1: Prinzipschema

#### 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

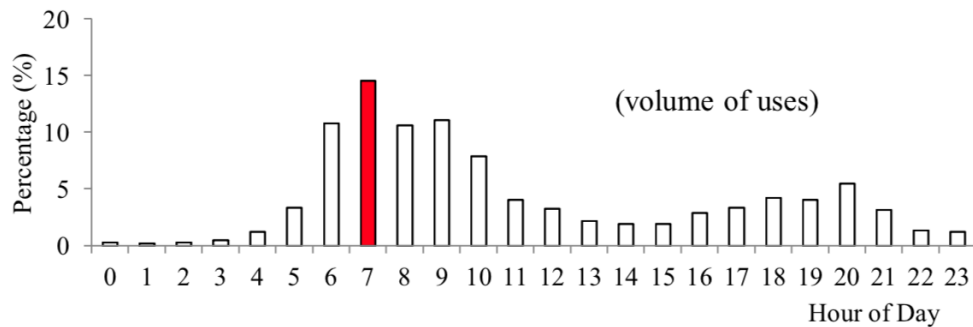


Abbildung 4.2: Typische Tagesgangkurve. **peakWaterDemand**

### Wechselrichter

### DC-DC Wandler

### Wechselrichter

Damit die gewonnen 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 verschiedenen 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**

## 4.2 Mechanik

### Rohrkette

In der Industrie werden Rohrkettenförderer für den Transport von Schüttgütern verwendet. In der Abbildung 4.2 Innenaufbau Rohrkettenförderer **abconvey** ist der Innenaufbau eines solchen Rohrkettenförderers ersichtlich.

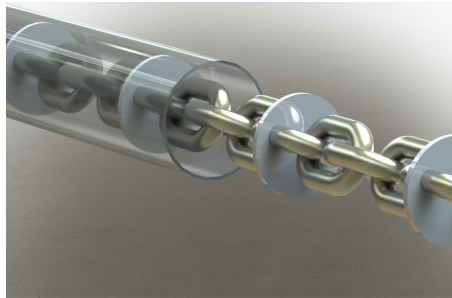


Abbildung 4.3: Innenaufbau Rohrkettenförderer **abconvey**

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 4.3 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**

**Ventile**

**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





7.4 Energieberechnung Grobkonzept 4

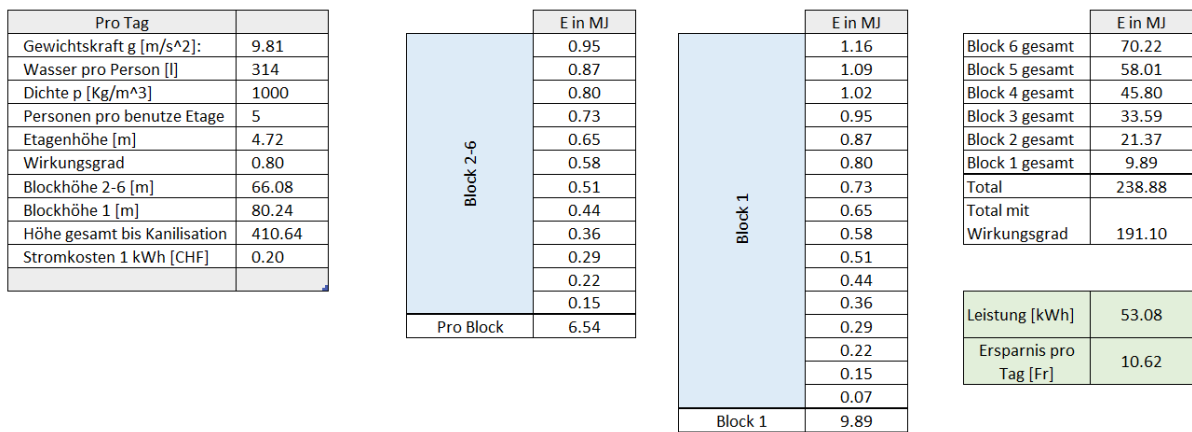


Abbildung 7.4: Berechnung Grobkonzept 4

7.5 Vereinfachtes Modell

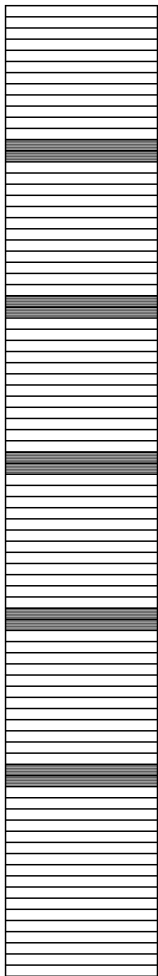


Abbildung 7.5: Vereinfachtes Modell