

Kleinwasserkraftwerk

Recherche

Windisch, 05.10.2018



Hochschule	Hochschule für Technik - FHNW
Studiengang	Elektro- und Informationstechnik
Autoren	Bachmann Lars Fischer Roni Imhof Frank Puschmann Pascal
Betreuer	Pascal Buchschacher
Auftraggeber	Felix Jenni
Version	1.0

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziel des Dokuments	1
1.3	Produktbedingungen	1
2	Recherche	2
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	8
2.4	Integrationen Bestehende Systeme	9
2.4.1	Recherchegrund	9
2.4.2	Ergebnisse	9
2.4.3	Fazit	10
2.5	Sicherheit	11
2.5.1	Recherchegrund	11
2.5.2	Ergebnisse	11
2.5.3	Fazit	11
3	Zusammenfassung	12
4	Quellenverzeichnis	13

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

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

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

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

1.2 Ziel des Dokuments

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

1.3 Produktbedingungen

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

2 Recherche

2.1 Anwendungsbereiche

2.1.1 Recherchegrund

Wir wollen wissen, ob und welche Abwasserkraftwerkssysteme bereits bestehen. Gibt es auch Systeme für die Energiegewinnung via Abwasserturbinen in Hochhäusern? Wie sieht deren Markt aus?

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(LINK). In Japan wurde in der Gegend des Toyogawa Flussbeckens untersucht, wo hydraulische Potentiale in den Abwasserrohren bestehen. Zudem wurden drei kleine Turbinen mit unterschiedlicher Beschaukelung auf Verstopfung durch Fremdmaterial untersucht. Die Studie (LINK) schliesst mit einem positiven Ergebnis.

In Abfluss von Kläranlagen

“Electricity is the second largest operating cost at WWTPs [Kläranlagen], representing 25 to 40% of the total operating budget.” Aus diesem Grund sind viele Kläranlagen (z.Bsp. Aquarion Water Co (USA) und North Head WWTP (AUS)) darum bemüht, ihre Energiekosten zu reduzieren. In Australien wurde dies in einem Pilotprojekt bereits realisiert, indem das hydraulische Potential genutzt wurde, das zwischen der Kläranlage und dort, wo das gereinigte Wasser hinfliesst, besteht. Das dort verwendete Turbinensystem (Flow-to-Wire) (LINK) wurde von der amerikanischen Firma Rentricity hergestellt. Der Vorteil von dieser Variante ist, dass das Problem der Verstopfung durch das bereits gereinigte Wasser ausbleibt. Ähnliche Systeme für Trinkwasserleitungen existieren bereits in Oregon und Kalifornien (LucidPipe LINK). Aber auch hier wird erwähnt, dass ein grosser Wasserstrom (53 Mio. Liter pro Tag) nötig ist, damit sich eine Installation lohnt.

In Hochhäusern

Es wurde nur ein Pilotprojekt (HighDro Power, Tom Broadbent) gefunden, wo eine Abwasserturbine für die Anwendung innerhalb von Gebäuden entwickelt wurde. Der Entwickler Tom Broadbent 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.”*



Abbildung 2.1: Tom Broadbent and his turbine.

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 (LINK) bereits in zwei Hochhäusern ihre Lösung: anstatt Druckreduzierventile werden Turbinen verwendet. 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.”(NEWYORKTIMES LINK)

2.1.3 Fazit

Der Markt beschränkt sich vorwiegend auf die Anwendungsbereiche, wo ein grosser Wasserfluss besteht, also in Zu- und Abflussrohren von Kläranlagen. Für die Anwendung innerhalb von Gebäuden existiert keine Lösung, die marktreif wäre. Gründe dafür ist das schlechte Preis-Leistungs-Verhältnis der kleinen Turbinen, das auf den geringen Wasserfluss und die hohen Installationskosten zurückzuführen ist.

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

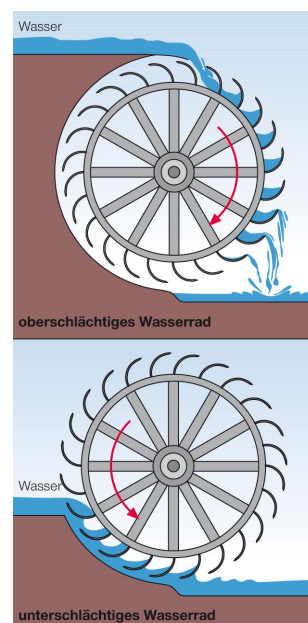


Abbildung 2.2: Wasserrad

Das Wasserrad wird in fließende Gewässer eingesetzt. Wie in der Abbildung 2.2 Wasserrad 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

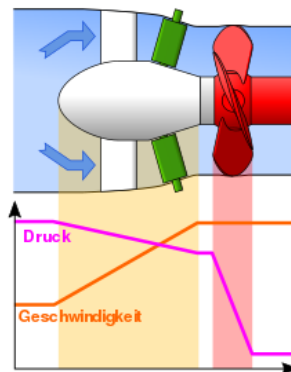


Abbildung 2.3: Ueberdruckturbine

Bei der Überdruckturbine, zu sehen in der Abbildung 2.3 Ueberdruckturbine 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

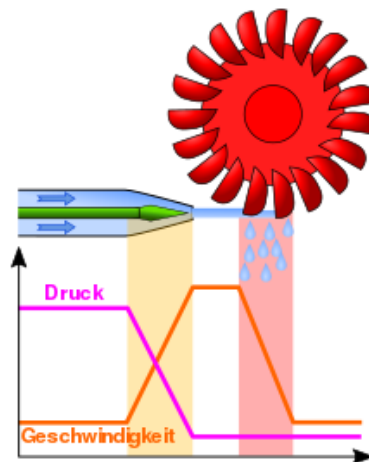


Abbildung 2.4: Gleichdruckturbine

In der Abbildung 2.4 Gleichdruckturbine ist eine Gleichdruckturbine zu sehen. Für die Turbine wird das Wasser von einer gewissen Höhe in eine Falleitung nach unten befördert. Die potenzielle Energie des Wassers wird dabei in kinetische Energie umgewandelt und das Wasser trifft mit einer Geschwindigkeit unten aus. Um diese Energie zu nutzen wird der Wasserstrahl auf die Schaufeln der Pelton-Turbine gerichtet, die anschliessend zu drehen beginnt.

Entscheid

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

Berechnungen

Die Endgeschwindigkeit des Wassers kann mit folgender Formel berechnet werden:

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

Die Einheit der Geschwindigkeit v ist m/s. Das Schwerfeld 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 hat die Einheit m³/s. Die Einheit der Dichte φ ist kg/m³ und die Einheit der Geschwindigkeit v ist 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 ³ /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 gut ersichtlich.

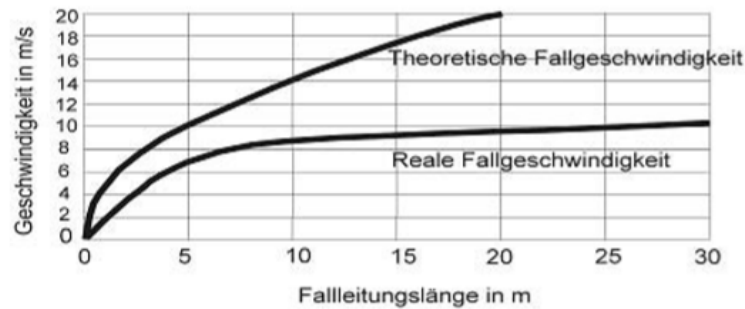


Abbildung 2.5: Fallgeschwindigkeit

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 Fallleitung komplett mit Wasser befüllt wäre und somit der Luftwiderstand wegfällt.

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

2.3 Infrastrukturen

TODO: Lars

2.3.1 Recherchegrund

2.3.2 Ergebnisse

2.3.3 Fazit

2.4 Integrationen Bestehende Systeme

2.4.1 Recherchegrund

2.4.2 Ergebnisse

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

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

2.4.3 Fazit

Stromspeicher sind teuer – nicht nur wegen der Batteriezellen, sondern auch wegen zugehöriger Hardware. Es ist fraglich, ob es diese Investition angesichts der überschaubaren Energiemenge wert ist. Die Einspeisung des Stromes in das Stromnetz scheint hingegen schon eher möglich zu sein, da dies in der Schweiz ohne Bewilligung erlaubt ist, solange die eingespiesene Leistung gering ist. Dazu muss der Strom zunächst gleichgerichtet und anschliessend von einem Wechselrichter auf 230V @ 50 Hz transformiert werden. Solche Gerät 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 einem Abwassersystem einschätzen.

2.5.2 Ergebnisse

Die Verstopfungsgefahr beim Einbau einer Turbine in einer Abwasserrohre 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 den Einkanal-Hydrauliken der sich von diesen Materialien nicht verstopft.

Die Möglichkeit besteht, diese 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.

Leitungen

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

Abgase

Die entstandenen Abgase (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 benutzen Ingenieure den Duplex-Stahl mit korrosionsbeständigem Material (Keramikbeschichtung).

Wartung

Abwasserrohre werden alle 30 Jahren auf Dichtigkeit kontrolliert. Die Materialien für die Abwasserrohre werden spezifisch gewählt, da sie solange im Gebrauch sind wie das Haus steht.

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

4 Quellenverzeichnis