

Doku 32 018
Version b
Datum 17.01.04
Autor Mau

Wasserkraftwerk selbst gebaut



Maurer
Elektromaschinen

www.maurelma.ch



Maurer
Elektromaschinen

Wasserkraftwerk selbst gebaut

Anleitung zum Bau eines Picokraftwerks

Peter Maurer 2004

Doku 32 018
Version b
Datum 17.01.04
Autor Mau

Wasserkraftwerk selbst gebaut



Maurer
Elektromaschinen
www.maurelma.ch

Vorwort

So mancher Junge hat doch mal den nächsten Bach gestaut, ein kleines Wasserrad montiert und sich gefragt, ob sich damit nicht Strom produzieren liesse. Dieser Kindheitstraum, mit dem nahen Bächlein Strom zu produzieren, lässt sich nun einfacher realisieren. Bereits werden viele Komponenten wie Kleinturbinen, Generatoren und Umformer auf dem Markt angeboten.

Diese Broschüre soll nun helfen, dass diese Komponenten auch sinnvoll eingesetzt werden können.

Der Bau eines Picokraftwerks ist nicht so kompliziert, wie es am Anfang den Eindruck macht. Trotzdem sollten Sie sich dafür genügend Zeit nehmen, sodass Sie die optimalste Ausnützung der Begebenheiten erreichen.

In einigen Fällen wird es auch nicht ganz ohne fremde Hilfe gehen. Gerade auf der elektrischen Seite ist es oft ratsam, eine Fachkraft zuzuziehen, damit Unfälle vermieden werden. Sollte das Kraftwerk an das öffentliche Netz angeschlossen werden, ist dies auf jeden Fall von einem Elektriker vorzunehmen.

Bei der Erstellung dieses Textes wurde mit grosser Sorgfalt vorgegangen; trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Autor kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Das Dokument ist auch einer stetigen Verbesserung unterworfen: Neue Erkenntnisse sollen ergänzt und Unklarheiten beseitigt werden. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler ist der Autor dankbar. Diese Vorschläge können gesendet werden an: peter.maurer@maurelma.ch

© 2004 by Peter Maurer Burgdorf

Weitere Informationen unter:

<http://www.maurelma.ch/>

Inhalt

1	Zweck des Kraftwerkes	5
2	Situationsanalyse	5
3	Leistung aus dem Wasser	6
3.1	Brutto-Fallhöhe	6
3.1.1	Landkarte	6
3.1.2	Höhenmeter	7
3.1.3	Wasserdruck	7
3.1.4	Transparenter Schlauch	7
3.2	Netto-Fallhöhe	8
3.3	Volumenstrom	8
3.3.1	Messgerät	9
3.3.2	Querschnitt und Geschwindigkeit	9
3.3.3	Behälter füllen	9
3.3.4	Salzlösung	9
3.4	Wirkungsgrad	10
3.5	Geschätzte Leistungsabgabe	11
4	Bestandteile eines Picokraftwerks	12
4.1	Wasserfassung	12
4.2	Wasserleitung	12
4.3	Turbine	12
4.4	Generator	12
4.5	Getriebe	12
4.6	Elektrische Anlage	13
4.7	Ableitung	13
5	Die richtige Turbine	14
6	Kraftwerk mit Peltonturbine	15
6.1	Arbeitsprinzip der Peltonturbine	15
6.2	Wasserfassung für eine Peltonturbine	15
6.3	Druckleitung zur Peltonturbine	17
6.3.1	Druck	17
6.3.2	Querschnitt	17
6.3.3	Absperrung	18
6.3.4	Verlegung der Leitung	18
6.4	Die Turbine	18
6.4.1	Das Prinzip	18
6.5	Generator	19
6.6	Ableitung des Wassers	19
7	Generatoren	20
7.1	Gleichstromgenerator	20
7.2	Asynchrongenerator	20
7.3	Synchrongenerator	20
8	Inselbetrieb	21
8.1	Gleichspannungs-Netz	21
8.1.1	Laderegler	21
8.1.2	Verdrahtung	21

Wasserkraftwerk selbst gebaut



8.2	Wechselstrom-Netz	22
8.2.1	Mit Zwischenspeicher	22
8.2.2	Ohne Zwischenspeicher	22
9	Netzbetrieb	24
9.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung	24
9.1.1	Strompreis	24
9.1.2	Amortisation	24
9.1.3	Wartung und Unterhalt.....	24
9.1.4	Kapitalkosten	25
9.1.5	Break even Diagramm	25
9.1.6	Steuerliche Vergünstigung.....	26
9.2	Direktkopplung.....	26
9.2.1	Synchronisationsschaltung	26
9.3	Gleichstromzwischenkreis	27
10	Rechtliche Aspekte	28
10.1	Restwassermenge	28
10.1.1	Definitionen	28
10.1.2	Bewilligungspflicht auf Grund Gewässerschutzgesetz	28
10.1.3	Laufkraftwerke	28
10.2	Baubewilligung	28
10.3	Wasserzins	28
10.4	Wasserrechte	28
10.5	Fischerei.....	29
10.6	Stromrückspeisung.....	29
10.7	Elektrische Sicherheit	29
11	Literaturverzeichnis	30

1 Zweck des Kraftwerkes

Ob Sie Ihr Ferienhaus oder Alphütte elektrifizieren wollen oder ob einfach die Rechnung des Elektrizitätswerkes verkleinert werden sollte: Ein Wasserkraftwerk eignet sich für beides. Die Anlage wird jedoch unterschiedlich aussehen.

Wird eine alleinstehende Alphütte mit Elektrizität versorgt nennt man das Inselbetrieb.

Wird jedoch der Strom ins öffentliche Netz zurück gespiesen, nennen wir es Netzbetrieb.

Im Inselbetrieb konkurriert das Wasserkraftwerk im Preis mit den Kosten einer Zuleitung vom öffentlichen Netz oder dem Preis für eine Solaranlage. Wenn jedoch die Wasserverhältnisse ausreichen, ist ein Picokraftwerk meistens die günstigste Möglichkeit.

Im Netzbetrieb spielt die Wirtschaftlichkeit eine zentrale Rolle. Interessant wird es vor allem, wenn die Leistung selber verbraucht wird. Dann kann man den Preis pro kWh in die Kalkulation einbeziehen, den man selber bezahlen müsste.

2 Situationsanalyse

Bevor mit der Detailplanung begonnen wird, ist es ratsam einige Punkte Abzuklären:

- Wer ist der Besitzer der Quelle (des Gewässers)?
- Wer ist der Besitzer der Grundstücke für Wasserfassung, Leitung und allenfalls der Platzierung der Turbine?
- Hat jemand Anspruch auf die Wasserrechte?
- Kann mit den jeweiligen Besitzern eine Übereinkunft getroffen werden?
- Ist der Kanton bereit, Wasserrechte zu erteilen?
- Wie sieht es mit der Restwassermenge aus?
- Auch kann eine grobe Abschätzung der Kosten und des Nutzens angebracht sein.
- Gibt es unter Umständen günstigere Alternativen (was natürlich aus unserer Sicht eher unwahrscheinlich ist)?
- Wie ist die Situation mit den Fischereirechten?
- Muss von den Behörden eine Konzession erteilt werden?

3 Leistung aus dem Wasser

Nun denken Sie sicher an ein spezielles Gewässer und fragen sich, welche Leistung nun ein Picokraftwerk diesem Gewässer entnehmen könnte.

Eine Abschätzung ist relativ einfach: Die Leistung hängt ab von der Höhendifferenz, welche das Wasser zurücklegt und von der Wassermenge, welche in einer bestimmten Zeit über die Turbine (Wasserrad) fliesst. Natürlich hat auch der Wirkungsgrad der gesamten Anlage einen verschlechternden Einfluss.

Unabhängig, welche Turbine später gewählt wird, die Grundformel ist wie folgt:

$$P = g \cdot Q \cdot \rho \cdot H \cdot \eta$$

P: Leistung in Watt [W]

g: Fallbeschleunigung (Naturkonstante ~9.81)

Q: Volumenstrom in [m³/s] (Wie viel Wasser passiert in einer Sekunde einen bestimmten Punkt)

ρ: Dichte in [kg/m³] (Wasser = 1000kg/m³)

H: Fallhöhe in Meter [m]

η: Wirkungsgrad (ohne Einheiten)

So, diese Formel war jetzt eher für die Physiker unter uns gedacht. Je nach Begebenheit kann man die Formel noch etwas Umbauen. Aber zuerst zum Ermitteln der Daten: Wissen müssen wir Brutto- und Netto-Fallhöhe, den Volumenstrom und eine Abschätzung des Wirkungsgrades.

3.1 Brutto-Fallhöhe

Gerade bei geringen Höhendifferenzen muss in Betracht gezogen werden, dass je nach Turbinentyp bei der Turbine selber Nutzhöhe verloren geht. Das Wasser muss nach dem Austritt aus der Düse abfliessen können.

Doch wie kann nun die Fallhöhe bestimmt werden?
Dafür gibt es je nach Situation verschiedene Ideen:

3.1.1 Landkarte

Sollte es sich um eine relativ grosse Fallhöhe handeln, kann schon eine gute Karte hilfreich sein.

Auf Grund der Höhenkurven einer 1:25 000-Landeskarte sieht man schon in etwa die Steigung.

Vorsicht: Karten vom Flachland haben eine andere Höhen-Distanz dieser Kurven als Karten von der Bergregion. Im Flachland ist die Distanz 10m in der Bergregion 20m. Dies ist auf der Karte unterhalb der Massstabangabe vermerkt.

Die Landestopographie verfügt über genauere Vermessungen. Informationen darüber können unter www.landestopographie.ch gefunden werden.

3.1.2 Höhenmeter

Die Höhendifferenz kann natürlich auch mit einem elektronischen Höhenmeter gemessen werden. Diese Messeinrichtungen nehmen als Basis den Luftdruck. Die Genauigkeit hängt sehr stark vom Messgerät, der wetterbedingter Luftdruckänderung und dem Messverfahren ab.

3.1.3 Wasserdruck

Sollte die Wasserfassung und die Leitung schon bestehen, kann die Fallhöhe über den Druck in der stehenden Wassersäule bestimmt werden.

Zu diesem Zweck wird ein Manometer am unteren Ende der Leitung montiert und die Leitung unten verschlossen.

Die Umrechnung vom Druck zur Höhe geht folgendermassen:

$$H = p / (g \cdot \rho)$$

H: Fallhöhe in Meter [m]

p: Druck in Pascal (Pa)

g: Fallbeschleunigung (Naturkonstante ~9.81)

ρ : Dichte in [kg/m³] (Wasser = 1000kg/m³)

Wiederum was für Physiker.

Ihr Manometer wird wahrscheinlich den Druck in bar anzeigen. Die einfache Formel mit eingesetzten Konstanten:

$$H = p_{\text{bar}} \cdot 10.2$$

So einfach ist es.

Neuere Manometer könnten vielleicht den Druck in kPa (Kilopascal) anzeigen:

$$H = p_{\text{kPa}} \cdot 0.102$$

3.1.4 Transparenter Schlauch

Für geringere Fallhöhen eignet sich auch die Messung mit dem transparenten Wasserschlauch. Dazu werden zwei Pfosten in der Länge der Distanz zwischen Grund und Augenhöhe und eben der besagte transparente Schlauch benötigt.

Vorgehen

Der Schlauch wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt.

Der erste Pfosten wird nun beim Austritt der Wasserfassung platziert. So auch ein Ende des Schlauches.

Der zweite Pfosten mit dem anderen Ende des Schlauches wird nun aufrecht solange hang abwärts verschoben, bis der Wasserspiegel im Schlauch einerseits genau auf der Höhe des

Wasseraustrittes bei der Fassung andererseits auch auf Augenhöhe (oberes Ende des Pfostens) ist. So befindet sich das untere Ende des zweiten Pfostens um die Pfostenlänge tiefer als der Austritt des Wassers bei der Fassung.

Nun verschieben wir den ersten Pfosten (ursprünglich bei der Fassung) solange hang abwärts, bis der Wasserspiegel im Schlauch auf der Höhe des unteren Ende des oberen Pfostens und zugleich am oberen Ende des unteren Pfostens ist. (Tönt komplizierter als es ist)

Dieses Verschieben der Pfosten wird nun solange ausgeführt, bis der Wasserspiegel im Schlauch auf der Höhe der Turbine ist.

Die Anzahl der Nivellierungen (Verschieben der Pfosten bis der Wasserspiegel die gewünschte Höhe hat) mal die durchschnittliche Pfostenhöhe ergibt die Brutto Fallhöhe.

3.2 Netto-Fallhöhe

Sobald in einer Leitung Wasser fliesst, entstehen Verluste. Diese wirken sich als Druckabfall über der entsprechenden Distanz aus.

In der Kraftwerkstechnik mit Druckleitung ist es gang und gäbe, diesen Druckabfall umzurechnen in Fallhöhe.

Die Netto-Fallhöhe ist dann der Druck an der Düse beim Betrieb (Wasser fliesst), umgerechnet in eine Höhe.

Je länger die Druckleitung, je kleiner der Querschnitt und je grösser die Wassermenge durch die Druckleitung, desto grösser ist der Druckabfall über der Leitung. Je grösser der Druckabfall über der Leitung, desto kleiner ist die Netto-Fallhöhe, welche im direkten Zusammenhang mit der Leistung steht.

Natürlich spielt auch die Oberfläche der Leitung eine wesentliche Rolle. Je rauer die Leitungswand, desto grösser der Verlust an Netto-Fallhöhe

Es wird empfohlen, den Durchmesser der Druckleitung 3.2 mal grösser als den Durchmesser der Austrittsdüse zu wählen (Kraftwerke mit Druckleitungen).

Die Verlusthöhe kann auch gerechnet werden. Dies ist nicht ganz einfach und würde den Rahmen dieses Dokumentes sprengen. Die Berechnung ist genauer umschrieben im Buch: Hydraulik für Bauingenieure von Ekkehard Heinemann und Rainer Feldhaus. Dieses Buch kann im Shop von www.maurelma.ch bestellt werden.

3.3 Volumenstrom

Der Volumenstrom wird offiziell in m^3/s (Kubikmeter/Sekunde) angegeben, was für Picokraftwerke je nach Art eine sehr grosse Einheit ist. Oft hört man auch l/s (Liter/Sekunde).

1'000 l/s entsprechen 1 m^3/s

Der Volumenstrom ist zum Teil grossen saisonalen Schwankungen unterworfen. Es ist sicher ratsam, das Gewässer mehr als ein Jahr zu beobachten. So kann in einem trockenen Sommer oder in einem kalten Winter die Wassermenge stark zurück gehen.

Hilfreich ist auch, das Einzugsgebiet des Gewässers zu betrachten. Von grösseren Gewässern wird unter <http://www.bwg.admin.ch/d/> die Abflussmenge veröffentlicht.

Auch hier stellt sich die Frage, wie der Volumenstrom gemessen werden kann:

3.3.1 Messgerät

Wenn das Wasser bereits in einer geschlossenen Leitung fliesst, kann der Volumenstrom mit einem handelsüblichen Messgerät gemessen werden. Bei komfortablen Geräten muss keine Veränderung an der Leitung vorgenommen werden.

3.3.2 Querschnitt und Geschwindigkeit

Wenn der Querschnitt, in dem das Wasser fliesst, über eine Strecke konstant, kann über eine Zeitmessung die Geschwindigkeit des Wassers ermittelt werden. Diese Geschwindigkeit mal den Querschnitt ergibt dann den Volumenstrom. Formel:

$$Q = A \cdot v$$

Q: Volumenstrom in [m³/s] (Wie viel Wasser passiert in einer Sekunde einen bestimmten Punkt)

A: Querschnittsfläche in der das Wasser fliesst in [m²]

v: Geschwindigkeit in [m/s]

Die Geschwindigkeit v kann man folgendermassen ermitteln:

- 1) Abmessen und markieren einer Strecke, bei der sich der Querschnitt nicht ändert
- 2) Oberhalb der ersten Markierung wird ein Korkzapfen oder ein ähnlicher gut schwimmender Körper ins Wasser geworfen
- 3) Man misst die Zeit welcher der Körper braucht, um von der ersten Markierung zur zweiten zu gelangen
- 4) Die Geschwindigkeit errechnet man durch das Dividieren der gemessenen Strecke [m] durch die gestoppte Zeit [s] ($v=s/t$)

3.3.3 Behälter füllen

Wenn der Volumenstrom nicht all zu gross ist kann er auch folgendermassen ermittelt werden:

- 1) Man nimmt einen grösseren Behälter mit einem bekannten Fassungsvermögen
- 2) Die Zeit, welche benötigt wird um den Behälter zu füllen, wird gemessen.
- 3) Der Volumenstrom kann gerechnet werden durch das Dividieren des Fassungsvermögens des Behälters durch die zum Füllen benötigte Zeit.

3.3.4 Salzlösung

Für diese Methode wird ein Leitwertmessgerät und genau abgewogenes Salz benötigt. Die Idee beruht darauf, dass der Leitwert des Wassers mit zusätzlichem Salz zunimmt. Gemessen wird die Geschwindigkeit und die Konzentration einer Salzwolke im Wasser.

Vorgehen:

- 1) Eine genau aufs Gramm gemessene Menge Salz wird in einem Kessel in Wasser gelöst. Dabei spielt die Wassermenge keine Rolle. Die Menge des Salzes ist abhängig von der geschätzten Durchflussmenge des Gewässers. Es wird empfohlen 25g pro 5l/s einzusetzen. Das gelöste Salz wird in das Gewässer geschüttet.

- 2) Die Leitfähigkeit des Wassers wird bei schnell fliessenden Gewässern rund 25 bis 30 Meter unterhalb der Salzeinwurfstelle gemessen. Bevor die Salzwolke die Messstelle erreicht, sollte die Leitfähigkeit des Wasser gemessen werden, um einen Anhaltspunkt für den Grundleitwert zu erhalten. Sobald die Leitfähigkeit anfängt zu steigen, wird diese alle 5 Sekunden gemessen und registriert. Dies wird so in etwa 2 bis 3 Minuten nachdem das Salz eingesetzt wurde, passieren. Sollte der Leitwert nach 15 Minuten noch nicht auf das doppelte des Grundleitwertes erhöht haben, muss die Prozedur mit einer grösseren Menge Salz wiederholt werden. Das Messen und Registrieren des Leitwertes wird alle 5 Sekunden ausgeführt, bis der Leitwert wieder auf seinen Ursprungswert (Grundleitwert) zurückgegangen ist.
- 3) Die gemessenen Werte werden nun in einer graphischen Funktion aufgezeichnet und zwar der Leitwert in Funktion der Zeit. Eine glatte Kurve mit einer Spitze, welche mindestens den doppelten Wert des Grundleitwertes hat, weist auf eine erfolgreiche Messung hin. Sollte kaum ein Maximum zu erkennen sein, muss die Messung wiederholt werden.
- 4) Nun muss die Fläche unter der Kurve ausgerechnet werden (integrieren). Wurden die Werte digital mit einem Computer erfasst, kann dies softwaremässig durchgeführt werden. Ist die Kurve nur auf Papier erhältlich, kann ein Gitter über die Graphik gezeichnet werden. Die Anzahl Felder unter der Kurve geben nun Auskunft über die Fläche. Dabei ist besonders auf die Skalierung der Achsen zu achten. Es sollte ein Wert in [μ Siemens x s] erhalten werden.
- 5) Mit folgender Formel kann der Durchfluss gerechnet werden:

$$Q = \frac{M \cdot k}{A} \quad \text{wobei}$$

Q: Durchflussmenge in [l/s]

M: Salzgewicht in [mg]

k: Konversionsfaktor (2.04 bei 22°C) in [Liter x Siemens/mg]

A: Fläche unter der Kurve in [Siemens x 10^{-6} x s]

Das Salzgewicht (gemessen in Gramm) muss noch in Milligramm umgewandelt werden (also x 1000).

3.4 Wirkungsgrad

Nichts ist vollkommen und dies soll durch den Wirkungsgrad angegeben werden.

Er gibt indirekt an, wie gross die Verluste sind im Verhältnis der theoretischen maximalen Leistung.

Dieser Faktor kann sich zwischen 0 und knapp 1 bewegen. Ist er 0 so bringt unser Kraftwerk absolut keine Leistung. Alle Leistung wird von den Verlusten aufgebraucht. Den Wert 1 kann er nur theoretisch erreichen, da eben nichts vollkommen ist und alles mit Verlusten behaftet.

Folgende Verluste treten hauptsächlich auf:

- Reibungsverluste des Wassers in der Zuleitung. Diese Verluste kommen in der Netto-Fallhöhe zum Ausdruck.
- Die Turbine kann nicht alle Energie des Wassers in eine Drehbewegung umformen.
- Der Generator kann nicht alle Energie der Drehbewegung in elektrische Energie umwandeln. Es ergeben sich Verluste in der Lagerung, in der Wicklung und im Eisen des Generators.

- Die Elektrischen Anlagen wie Wechselrichter, Laderegler, Batterien usw. sind mit Verlusten behaftet.

Der Wirkungsgrad ist deshalb auch abhängig von der Anwendung und kann in vielen Fällen nur abgeschätzt werden.

Beim Turbinenwirkungsgrad werden Werte ab 0.75 angegeben. Bei den Generatoren um die 0.8.

Für den Gesamtwirkungsgrad werden die einzelnen Werte miteinander Multipliziert

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{Generator}} \cdot \eta_{\text{Turbine}} \cdot \eta_{\text{Umformer}} \cdot \dots$$

Schon mit den Werten vom Generator und der Turbine wird der Gesamtwirkungsgrad auf 0.6 reduziert. Mit all den noch nicht berücksichtigten Verlusten sollte man bei einem Picokraftwerk nicht mit einem Wirkungsgrad grösser 0.5 rechnen.

3.5 Geschätzte Leistungsabgabe

Nun können wir aus den oben ermittelten Werten die Leistungsabgabe ausrechnen. Für den Volumenstrom in der groben Einheit von m^3/s ergibt dies die Formel:

$$P = 9810 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta_{\text{tot}} \quad [\text{W}]$$

Mit einem Volumenstrom in l/s :

$$P = 9.81 \cdot Q_{\text{l/s}} \cdot H_n \cdot \eta_{\text{tot}} \quad [\text{W}]$$

Beispiel:

Es können von einem Bächlein rund 2 l/s abgezweigt werden. Die Fassung dazu ist 20m höher als die Turbine. Wegen den Druckleitungsverlusten wird mit einer Netto-Fallhöhe von 15m Die geschätzte Leistung ist dann:

$$P = 9.81 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 0.5 = 147 \text{ W}$$

Auch dies ist noch ein recht theoretischer Wert, da beim Wirkungsgrad vom optimalsten Arbeitspunkt des Kraftwerkes ausgegangen wird.

Deshalb ist es wichtig, das richtige System für die entsprechenden Gegebenheiten auszuwählen.

4 Bestandteile eines Picokraftwerks

Auch wenn die Picokraftwerke ein unterschiedliches Erscheinungsbild aufweisen, bestehen sie im Wesentlichen aus den selben Elementen.

4.1 Wasserfassung

Oft wird dieser Teil auch Wasserschloss genannt. Die Aufgabe besteht darin, dem Gewässer die entsprechende Wassermenge für das Kraftwerk zu entnehmen. Weiter muss diese Einheit die Restwassermenge sicherstellen und das entnommene Wasser soweit reinigen, dass kein Fremdkörper die Wasserwege verstopfen oder die Turbine blockieren kann. Dafür werden bei Niederdruckkraftwerke sogenannte Rechen eingesetzt.

Weiter muss an dieser Stelle auch den Fischen Rechnung getragen werden. Unter Umständen ist eine Fischtreppe vorzusehen.

4.2 Wasserleitung

Ob es ein Druckrohr ist wie bei einem Hochdruckkraftwerk oder eher ein Kanal, wie bei einem Niederdruckkraftwerk, die Funktion ist die selbe. Das Wasser soll zur Turbine geleitet werden. Oft ist auch eine Kombination von Druckleitung und Kanal anzutreffen. So z.B. wenn das Wasser zuerst in einem Kanal dem Berg entlang geleitet wird, bevor es dann durch eine Druckleitung auf die Turbine trifft.

4.3 Turbine

Das Herzstück des Kraftwerkes macht aus der kinetischen oder potentiellen Energie des Wassers mechanische Energie in Form von Rotation und Drehmoment. Anders ausgedrückt: Sie wandelt die Energie, welche im Wasser steckt in eine Drehung der Welle am Generator um. Welche Turbine die geeignete ist, kann man im Kapitel 5 ‚Die richtige Turbine‘ nachlesen.

4.4 Generator

Aus der drehenden Welle soll elektrische Energie entstehen. Grundsätzlich werden 3 verschiedene Generatortypen eingesetzt. Der **Gleichstromgenerator** liefert, wie sein Name schon sagt, Gleichstrom, oder besser gesagt eine Gleichspannung. Der **Synchrongenerator** wie auch der **Asynchrongenerator** liefern eine Wechselfspannung. Doch mehr dazu im Kapitel Generatoren.

4.5 Getriebe

Bei einigen Anwendungen kann es vorkommen, dass die Drehzahl der Turbine relativ klein ist. Damit nun nicht auf einen teuren vielpoligen Generator zurückgegriffen werden muss, wird die Drehzahl durch ein Getriebe erhöht. Dies ist aber mit weiteren Kosten und mit einem Verlust an Leistung verbunden.



4.6 Elektrische Anlage

Nach dem Generator muss unter Umständen die elektrische Leistung noch den Bedürfnissen des Benutzers angepasst werden. So kann z.B. die Energie in Batterien zwischengespeichert werden oder es wird eine Synchronisationsschaltung benötigt um ins öffentliche Stromnetz zurückzuspeisen usw. Der Vielfalt sind hier keine Grenzen gesetzt.

4.7 Ableitung

Irgendwie muss das Wasser wieder zurück in sein Gewässer. Auch dies kann über eine Leitung oder Kanal geschehen. Bei einigen Turbinentypen hat die Ableitung eine zusätzliche Saugfunktion.

5 Die richtige Turbine

Hauptkriterien für die Wahl des Turbinentyps ist die Fallhöhe und der Volumenstrom. Auch der Preis und die Verfügbarkeit können eine Rolle spielen. So sind Peltonturbinen am Markt schon recht gut und zu einem vertretbarem Preis erhältlich (siehe www.maurelma.ch). Die unten gemachten Angaben beziehen sich alle auf den Einsatz in Picokraftwerken. Bei Grosskraftwerken werden zum Teil komplett andere Werte eingesetzt auch wenn die grundsätzlichen Aussagen zutreffen.

Bei grossen Fallhöhen mit geringer Durchflussmenge empfiehlt sich die **Peltonturbine**. Hersteller geben als unteres Limit der Fallhöhe von 8 bis 20 Meter an. So kann gesagt werden dass der Betrieb ab 20 Meter Fallhöhe mit einer Peltonturbine problemlos ist. Nach oben sind theoretisch keine Grenzen gesetzt. Die Skala der Fallhöhe hört jedoch bei den Herstellern bei 200 Meter auf. Dem hohe Druck (20bar) und der hohe Austrittsgeschwindigkeit an der Düse (220 km/h) muss bei solchen Höhen spezielle Beachtung geschenkt werden. Der bauliche Aufwand ist eher gering. Erstellt werden muss eine Wasserrfassung (wenn nicht schon vorhanden), die Zuleitung, der Abfluss und je nach Grösse und Bauart ein kleines Fundament. Auch der Platzbedarf ist sehr gering.

Der Einsatz der **Kaplanturbine** eignet sich bei geringen Fallhöhen, benötigen jedoch eine grosse Durchflussmenge. Es werden Nettofallhöhen zwischen 1 bis 6 Meter angegeben. Der Volumenstrom sollte mindestens 100 l/s sein.

Die **Francisturbine** ist so ein Zwischending. Mit grosser Fallhöhe und grossem Volumenstrom eignet sich diese Turbine weniger für den Einsatz in einem Picokraftwerk.

Auf dem Markt werden auch einige Produkte mit einer **Turgoturbine** angeboten. Wie die Peltonturbine ist diese Turbine ein Gleichdruckturbine welche die Leistung aus der kinetischen Energie des Wasserstrahles nimmt

Durchströmturbinen sind relativ preisgünstig und werden bei Fallhöhen von 1 bis 8 Meter eingesetzt. Dies jedoch vorwiegend in einem Leistungsbereich oberhalb der Picokraftwerke (>5kW).

Zu erwähnen sind an dieser Stelle auch die klassischen **Wasserräder**. Sie können durchaus für Picokraftwerke in Frage kommen. Gerade auch auf Grund der dekorativen Eigenschaft sollten diese gefördert werden.

Zum Teil besteht auch die Möglichkeit, eine **Zentrifugalpumpe** als Turbine einzusetzen.

6 Kraftwerk mit Pelton turbine

Wohl am einfachsten ist ein Picokraftwerk mit einer Pelton turbine zu realisieren. Vor allem wenn schon eine ausgiebige Quelle in angemessener Fallhöhe zur Verfügung steht und bereits eine Leitung mit genügend Querschnitt zum Ort der Turbine besteht.

6.1 Arbeitsprinzip der Pelton turbine

Die Pelton turbine gehört zur Gruppe der Gleichdruckturbinen, weil das Wasser nach dem austreten aus der Düse keinen Unterdruck erfährt, wie das bei anderen Turbinen der Fall sein kann.

In der Druckleitung und besonders in der Düse wird die potentielle Energie des Wassers in kinetische Energie umgewandelt. Aus der Düse schießt ein Wasserstrahl mit hoher Geschwindigkeit auf ein Laufrad.

Die Geschwindigkeit des Wassers ist abhängig von der Fallhöhe und den Reibungsverlusten in der Leitung. Wenn mal 2% Verluste in der Leitung angenommen werden, so kann die Austrittsgeschwindigkeit wie folgt gerechnet werden:

$$v_d = 0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

v_d : Austrittsgeschwindigkeit [m/s]

g : Erdbeschleunigung (9.81)

H : Nettofallhöhe (Höhenunterschied zwischen Wasserfassung und Düse).

Der Umfang des Laufrades ist mit Löffeln (auch Becher genannt) bestückt, welche das Wasser aus dem Strahl wirbelungsfrei umlenken. Dadurch wird die Kraft, oder besser gesagt der Impuls des Strahles auf das Laufrad übertragen. Dies führt zur Drehbewegung des Laufrades.

6.2 Wasserfassung für eine Pelton turbine

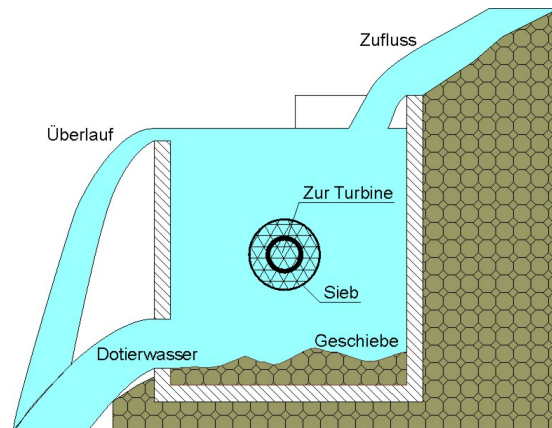
Oftmals wird die Pelton turbine bei Quellwasser eingesetzt. Dabei ist unter Umständen sogar die Leitung zur zukünftigen Turbine schon gezogen. Das ist der Idealfall, weil so auch nicht auf eine Restwassermenge geachtet werden muss. Das Wasser der Quelle sollte jedoch frei sein von grösseren Sandpartikel oder anderen Objekten, welche die Düse Verstopfen können.

Bei der Wasserentnahme aus einem offenen Gewässer muss die Restwassermenge sicher gestellt werden. Dieser konstante Wasserablass wird of auch Dotierwasser genannt. Weiter muss verhindert werden, dass grössere Partikel in die Leitung gelangen. Der Verfasser schlägt folgende Konstruktion vor:

Das Wasser des Bächleins fliesst in einen grösseren Behälter, welcher im unteren Teil ein Loch für den Abfluss hat. Die Querschnittsfläche dieser Öffnung und den Höhenunterschied zum Überlauf legen die Restwassermenge fest.

Die Querschnittsfläche A könnte wie folgt berechnet werden:

$$A = 1000 \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$



A: Querschnittsfläche in [mm²]

Q: Volumenstrom in [l/s]

h: Höhendifferenz zwischen Überlauf und Restwasserloch in [m]

g: Fallbeschleunigung (Naturkonstante 9.81)

Die Formel ist nur als Anhaltspunkt gedacht und zeigt im Wesentlichen die Beziehungen auf. Sie mit Vorsicht zu geniessen, denn auch die Strömung hat bei geringer Höhendifferenz einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss.

Der eigentliche Grund dieser Öffnung ist die Abführung von Geschiebeteile. Deshalb muss der Abfluss zur Turbine höher sein als das Dotierwasserloch.

Ist mit Geschiebe zu rechnen, welches auch grössere Körper aufweist als der Durchmesser des Dotierwasserloches, sollte die Fassung mit einem Rechen gedeckt werden. Der Gitterabstand muss kleiner sein als der Durchmesser des Dotierwasserloches. Weiter muss die Steigung der Gitterstäbe so gewählt werden, dass die Objekte darüber weg rollen oder schieben.

Unterhalb des Rechens muss genügend Raum für das Geschiebe vorhanden sein.

Auch sollte der Rechen vom Behälter demontierbar sein, damit auch das Geschiebe im innern des Behälters im Bedarfsfall entfernt werden kann.

Das Abflussrohr zur Turbine muss, wie schon erwähnt, höher angeordnet sein als das Dotierwasserloch.

Es sollte aber unterhalb der Wasserstandslinie sein, damit das Geschwemsel (schwimmende Teile wie Holz und Unrat) nicht am Sieb kleben bleibt sonder über den Überlauf abfliesst.

Weiter ist es ratsam über dem Abfluss ein Gitter anzubringen. Die Maschenweite dieses Siebes richtet sich nach der Düse vor der Turbine. Die Maschen müssen so eng sein, dass keine Körper durchschlüpfen können, welche dann die Düse verstopfen.

Der Durchmesser des Abflusses richtet sich nach dem Durchmesser der Druckleitung. Diese wird in einem späteren Kapitel behandelt.

Als Behälter für die Wasserfassung kann man sich, je nach Grösse und Gegebenheiten eine Betonröhre mit Boden oder einen abgeänderten Kunststoffbehälter vorstellen.

6.3 Druckleitung zur Peltonturbine

6.3.1 Druck

Wie es der Titel schon sagt, geht es hier um höhere Drücke. Für Picokraftwerke werden Fallhöhen bis zu 200m angegeben. Dies führt zu Betriebsdrücke von 20 bar was eigentlich für eine normale Wasserleitung durchaus im Bereich des Möglichen liegt. Zu beachten gilt dass bei einem drastischen Absperren am unteren Ende der Druckleitung enorme Drücke entstehen können.

Da aber die wenigsten Picokraftwerke mit Fallhöhen von 200m arbeiten, können meist handelsübliche Materialien der Sanitärinstallateure verwendet werden. Eine kostengünstige Variante können auch Rohre aus der Elektroinstallation darstellen.

6.3.2 Querschnitt

Der Durchmesser des Rohres sollte 2.8 bis 3.2 mal grösser sein als der Durchmesser des Wasserstrahles, welcher aus der Düse schießt.

Wir greifen schon mal vor und berechnen den Durchmesser des Wasserstrahles (welcher etwas kleiner ist als der Düsendurchmesser).

Von unserer Anwendung wissen wir, wie viel Wasser, d.h. welchen Volumenstrom Q wir verwenden können.

Weiter kennen wir auch die Nette-Fallhöhe H_n .

Als erstes berechnen wir nun die Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus der Düse schießt:

$$v_d = 0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}$$

v_d : Austrittsgeschwindigkeit [m/s]

g : Erdbeschleunigung (9.81)

H_n : Nettofallhöhe [m].

Aus dem Volumenstrom Q und der Geschwindigkeit v_d können wir nun die Querschnittsfläche des Wasserstrahles berechnen:

$$A_0 = Q / v_d$$

v_d eingesetzt und die Einheiten unseren Grössen angepasst ergibt das:

$$A_0 = 1000 \frac{Q}{0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}$$

A_0 : Querschnittsfläche in [mm²]

Q: Volumenstrom in [l/s]

H_n : Nettofallhöhe [m].

g : Fallbeschleunigung (Naturkonstante 9.81)

Sie haben richtig bemerkt: Abgesehen von den Leitungsverlusten (Faktor 0.98) haben wir dieselbe Formel wie für das Loch der Dotierwassermenge.

Nun, der Durchmesser des Wasserstrahles berechnet sich wie folgt:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_0}{\pi}}$$

D_0 : Wasserstrahldurchmesser [mm]

A_0 : Wasserstrahlquerschnitt [mm²]

π : Naturkonstante (3.1416)

Wie oben schon erwähnt, sollte nun die Druckleitung 2.8 bis 3.2 mal dem Durchmesser D_0 des Wasserstrahles entsprechen.

Wichtig ist, dass dem Wasser innerhalb der Leitung ein wirbelfreier Lauf ermöglicht wird. Enge Radien und verengte Querschnitte sind zu vermeiden. Bei Absperrhähnen sollten Kugelhähne verwendet werden, welche im offenen Zustand einen geraden Durchfluss ermöglichen. Die Druckleitung sollte auch ein dauerndes Gefälle haben, damit sich keine Luftblasen bilden können.

6.3.3 Absperrung

Damit die Turbine gewartet werden kann, sollten auch Absperrhähne vorgesehen werden. Diese sollten im offenen Zustand einen geraden, wirbelfreien Durchfluss ermöglichen. Ideal ist, wenn ein Hahn direkt nach der Wasserfassung und einer vor jeder Düse montiert wird.

6.3.4 Verlegung der Leitung

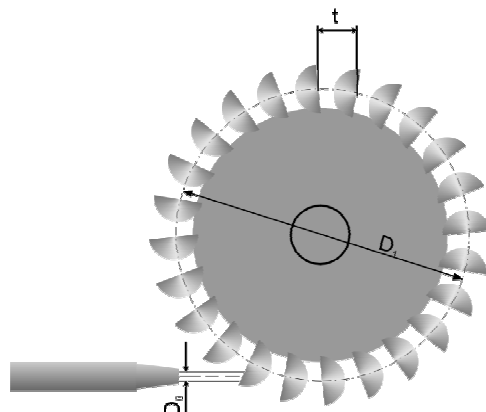
Wichtig ist, dass dem Wasser innerhalb der Leitung ein wirbelfreier Lauf ermöglicht wird. Enge Radien und verengte Querschnitte sind zu vermeiden. Um Beschädigungen der Leitung zu vermeiden sollte sie im Boden verlegt werden. Auch sollten Materialien mit möglichst glatter Oberfläche verwendet werden, damit die Reibung an den Wänden möglichst wenig Fallhöhenverluste verursacht.

6.4 Die Turbine

6.4.1 Das Prinzip

Die Pelton-turbine ist von ihrer Natur her einfach zu verstehen. Ein gebündelter Wasserstrahl trifft auf die Schaufeln (Becher) der Turbine. Der Impuls (Masse x Geschwindigkeit) des Wassers wird auf den Becher übertragen und setzt diesen so in Bewegung. Nun wird sich der Becher nie schneller bewegen als die Geschwindigkeit des Wasserstrahls. Damit kann die theoretisch maximale Drehzahl der Turbine errechnet werden.

$$n_{\max} = \frac{60 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}{D_1 \cdot \pi}$$



n_{\max} : Maximale theoretische Turbinendrehzahl in [1/min]

g : Erdbeschleunigung (9.81)

H_n : Nettofallhöhe (Höhenunterschied zwischen Wasserfassung und Düse) [m].

D_1 : Wirkungsdurchmesser der Turbine [m]

Da es sich um kinetische Energie handelt, welche dem Wasser entzogen werden sollte, muss das Wasser abgebremst werden. Am besten ist es, wenn das Wasser in Bezug auf die Austrittsdüse zum Stillstand gebracht werden kann.

Wären die Schaufeln flach, hätte das Wasser immer noch die gleich grosse Geschwindigkeit wie die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine. Also noch nicht optimal. Doch schon vor über hundert Jahren hat man herausgefunden, dass man das Wasser durch eine geeignete Form um fast 180° umleiten muss.

Wenn nun die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine auf die Hälfte der Wassergeschwindigkeit eingestellt wird, wird das Wasser auf eine Geschwindigkeit von nahezu 0 abgebremst.

Deshalb wird für die Drehzahlberechnung der Turbine im optimalen Arbeitspunkt noch ein Faktor k eingeführt:

$$n_{\text{opt}} = \frac{60 \cdot k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{D_1 \cdot \pi}$$

Wobei k nun zwischen 0.4 und 0.5 zu liegen kommt, je nach Wassermenge.

6.5 Generator

Auf Grund der kleinen Leistung beim Picokraftwerk können Peltonturbinen mit kleinem Wirkungsdurchmesser D_1 eingesetzt werden. Je nach Anwendung kann so auf ein Getriebe verzichtet werden. Welcher Typ Generator eingesetzt werden soll, wird aber eher von der Anwendung bestimmt. Mehr dazu in den Kapiteln Generatoren, Inselbetrieb und Netzbetrieb.

6.6 Ableitung des Wassers

Das Wasser fällt nach dem Umlenken durch den Turbinenbecher in den Ablauf. Es muss kein spezielles Saugrohr oder dergleichen installiert werden. Auch hält sich die Wassermenge in Grenzen, sodass die Ableitung des Wassers keine Probleme schaffen sollte. Natürlich ist es nicht ratsam, dass Wasser in die Kanalisation zu führen.

7 Generatoren

In einem Picokraftwerk können vorwiegend drei verschiedene Typen von Generatoren eingesetzt werden.

7.1 Gleichstromgenerator

Wie es der Name schon sagt, liefert dieser Generator einen Gleichstrom (Gleichspannung) an den Klemmen. Mittels eines sog. Kollektors und Kohlenbürsten wird der Wechselstrom, welcher in der Rotorwicklung erzeugt wird, mechanisch gleichgerichtet. Deshalb sind sie auch wartungsintensiver als die anderen Typen. Die Kohlenbürsten schleifen auf dem Kollektor, so dass beide Teile Abnutzung erfahren.

Trotz des Gleichstroms ist es ratsam, eine zusätzliche Diode in den Kreis einzubauen. Ansonsten kann im Zusammenhang mit einer Batterie der Generator zum Motor werden.

7.2 Asynchrongenerator

Der Asynchrongenerator liefert Wechselstrom wenn er schneller dreht als das Drehfeld im Stator. Für ein Picokraftwerk im Netzbetrieb kann dies die günstigste Möglichkeit sein. Dabei muss jedoch aus dem Netz oder einem Kondensator Blindleistung zugeführt werden.

7.3 Synchrongenerator

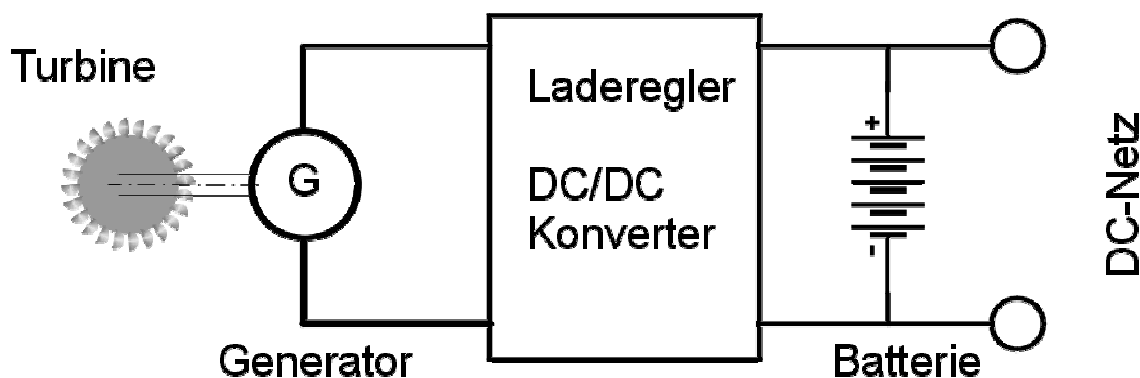
Ein Synchrongenerator muss die gleiche Drehzahl haben wie die Drehzahl des Statorfelds, wenn er in einem Netz betrieben werden soll. Die beiden Drehzahlen müssen synchron sein. Mit einem Gleichrichter kann dieser Generator auch in einem Gleichspannungsnetz eingesetzt werden.

8 Inselbetrieb

Picokraftwerke eignen sich sehr, um ein zivilisationsfernes Gebäude zu elektrifizieren. Oftmals ist eine elektrische Zuleitung oder eine Solaranlage teurer oder unzuverlässiger. Gerade wenn ein energiereiches Gewässer in der Nähe ist macht ein Kleinkraftwerk Sinn. Man kann zwischen Gleichspannungsnetz und Wechselspannungsnetz unterscheiden, wobei oft auch eine Kombination von beiden in Betracht gezogen werden kann.

8.1 Gleichspannungs-Netz

Die häufigste Anwendung ist ein kleines Gleichspannungsnetz. Ein Gleichstromgenerator oder ein Synchrongenerator mit Gleichrichter lädt eine Batterie von 12 oder 24VDC.



8.1.1 Laderegler

Damit die Batterie nicht überladen wird, dafür sorgt ein Laderegler. Je nach Turbinentyp muss der Laderegler auch in der Lage sein, die überschüssige Energie zu verheizen, sobald die Batterie geladen ist. Vor allem bei Pelton-turbinen wird damit verhindert, dass die Turbine ohne Last eine zu hohe Drehzahl aufweist.

Ideal ist auch, wenn der Laderegler zugleich als Gleichstromkonverter wirkt, welcher die Spannung vom Generator an die Batteriespannung anpasst. Dadurch kann der Wirkungsgrad optimiert werden.

8.1.2 Verdrahtung

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass bei diesen kleinen Spannungen (12VDC/24VDC) für eine brauchbare Leistung grosse Ströme fließen. Deshalb muss bei Steckern und Leitungen auf genügend grosse Querschnitte geachtet werden.

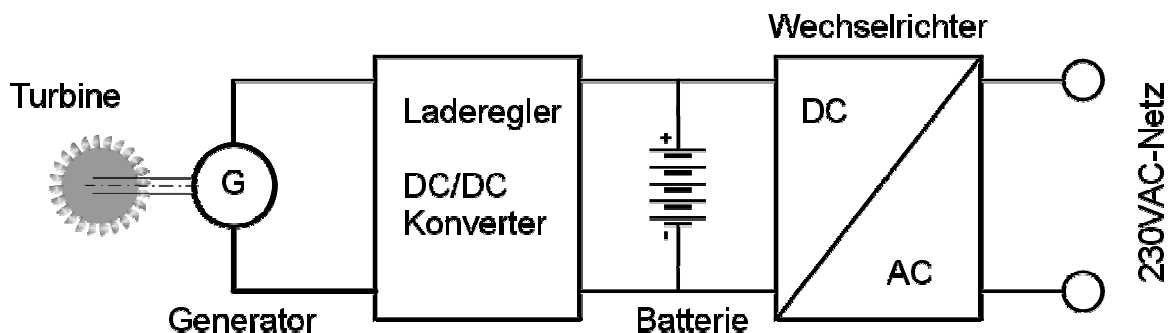
Auch können auf der Generatorseite gefährlich hohe Spannungen auftreten. Dies z.B. wenn der drehende Generator vom Laderegler getrennt wird.

8.2 Wechselstrom-Netz

Geräte, welche mit Gleichstrom betrieben werden können, weisen meist einen höheren Wirkungsgrad auf, sind dafür aber teuer und nur schwer erhältlich. Deshalb lohnt sich in vielen Fällen die Installation eines 230V Wechselspannungsnetz. Dabei können grundsätzlich zwei Installationsarten unterschieden werden.

8.2.1 Mit Zwischenspeicher

Ist die Spitzenleistung, welche für die Betreibung der angeschlossenen Geräte benötigt wird, höher als die Leistung, welche von der Turbine abgegriffen werden kann, drängt sich eine Zwischenspeicherung über eine Batterie an. Dieser Fall tritt häufig auf. Der Aufbau ist dann ähnlich dem des Gleichstromnetzes, nur dass noch ein Wechselrichter nachgeschaltet wird.



8.2.2 Ohne Zwischenspeicher

Können die Leistungsspitzen der Verbraucher locker vom Generator abgedeckt werden, kann auf die teuren und wartungsintensiven Batterien verzichtet werden. Dafür stellt sich eine andere Problematik. Es muss ein Gleichgewicht zwischen der vom Generator erzeugter und von den Verbrauchern benötigter Leistung geschaffen werden. D.h. es muss entweder die Erzeugung der Leistung geregelt werden oder die Überschüssige Leistung muss in einem separaten Verbraucher verheizt werden.

Wird dies nicht gemacht, kann die Ausgangsspannung des Generators eine unzulässige Grösse erreichen. Bei der Anwendung mit einem Synchrongenerator ohne Gleich- und Wechselrichtung steigt zudem die Frequenz an bei ungenügender Last.

Generatorregelung

Die Leistungsabgabe wird auf der hydraulischen Seite geregelt. Dies kann bei einer Pelton-turbine durch Zu- und Abschaltung einzelner Düsen für grössere Leistungsschritte oder durch das Verstellen der Düsen geschehen.

Bei Picokraftwerken wurde diese Regelung bis anhin noch nicht gesehen. Düsen, welche elektrisch verstellt werden können, sind in diesem tiefen Leistungsbereich noch nicht auf dem Markt entdeckt worden.

Verbraucherregelung

Doku 32 018
Version b
Datum 17.01.04
Autor Mau

Wasserkraftwerk selbst gebaut



Maurer
Elektromaschinen
www.maurelma.ch

Wird nicht alle vom Generator abgegebene Leistung benötigt, wird der Rest verheizt. Zu diesem Zweck schaltet ein Regler Leistungswiderstände zu. Die Feinregulierung kann mit sogenannter Pulsweitenmodulierung erfolgen.

Um die Restleistung nicht ganz ungenutzt zu verheizen, kann man sich auch vorstellen die Energie einem Warmwasserboiler zuzuführen. Dabei muss dem Überhitzen des Boilers Rechnung getragen werden.

Auch können die Leistungswiderstände z.B. in einer kalten Alphütte in einem zu heizenden Raum platziert werden. Hier muss jedoch der Widerstand in der Zuleitung des Verbrauchers in die Berechnung einbezogen werden.

9 Netzbetrieb

Die Idee, welcher in diesem Fall hinter einem Picokraftwerk steht ist, den Strom ins 230VAC-Netz einzuspeisen. Dies, um entweder die Stromrechnung zu reduzieren oder sogar dem Netzbetreiber Strom zu verkaufen. Es stehen deshalb ganz klar wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Das Picokraftwerk muss rentieren.

9.1 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Wir stellen uns hier die Frage: Wie gross darf der finanzielle Aufwand für die Beschaffung und den Betrieb ein Picokraftwerks sein, damit es gerade noch rentiert.

9.1.1 Strompreis

Zuerst müssen wir herausfinden, welchen Strompreis wir für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung einsetzen können. Dabei muss nun unterschieden werden, ob der Strom für den Eigenbedarf erzeugt wird oder ob er einem EW verkauft werden sollte.

Eigenbedarf

Die vom Picokraftwerk abgegebene Leistung ist kleiner als die zum Eigenbedarf benötigte Leistung. In diesem Fall können wir den Preis einsetzen, welchen wir dem Netzbetreiber (EW) bezahlen müssten. Der Preis ist in der Stromrechnung ersichtlich. Einen Anhaltspunkt bietet auch die Internetseite: <http://strompreise.preisueberwacher.ch/web/d/>

Verkauf an EW

In diesem Fall ist es schon schwerer zum Vornherein einen Preis festzulegen. Unterstes Limit ist der Preis, welcher vom EGL in den Medien publiziert wird. Dieser ist jedoch mit zwischen 4 bis 7 Rp/kWh sicher sehr tief.

Die Ews werden vom Bund und den Kantonen angehalten, Strom aus erneuerbarer Energie zu kostendeckenden Preisen zu vergüten. Am Besten fragen Sie beim zuständigen Netzbetreiber nach.

Als Annahme für spätere Berechnungen wir von einem Preis von 16Rp/kWh ausgegangen.

9.1.2 Amortisation

Energieerzeugungsanlagen werden in den meisten Fällen für eine lange Betriebszeit dimensioniert. Es kann schon von einer Lebensdauer von 10 Jahren ausgegangen werden.

9.1.3 Wartung und Unterhalt

Wartung entsteht vor allem auf der hydraulischen Seite des Systems. Je nach Typ muss unter Umständen die Wasserfassung hie und da gereinigt werden.

Werden Batterien eingesetzt, so haben diese oftmals eine kleinere Lebensdauer als 10 Jahren. Sie müssen früher ersetzt werden.

Wir nehmen mal als ersten Ansatz zur Berechnung Kosten von 0.25 CHF/W installierter Leistung und Jahr an.

Dabei muss beachtet werden, dass Picokraftwerke im unteren Leistungsbereich eher teurer und die im oberen Leistungsbereich eher günstiger sind.

9.1.4 Kapitalkosten

Zur Vereinfachung wird mit einer Verzinsung des Kapitals von 10% ausgegangen.

9.1.5 Break even Diagramm

Mit der untenstehenden Graphik soll aufgezeigt werden, was ein Picokraftwerk für Kosten verursachen darf bei der Installation, sodass es über 10 Jahre amortisiert werden kann. Die Graphik zeigt die Investition in Abhängigkeit der installierten Leistung.

Annahmen:

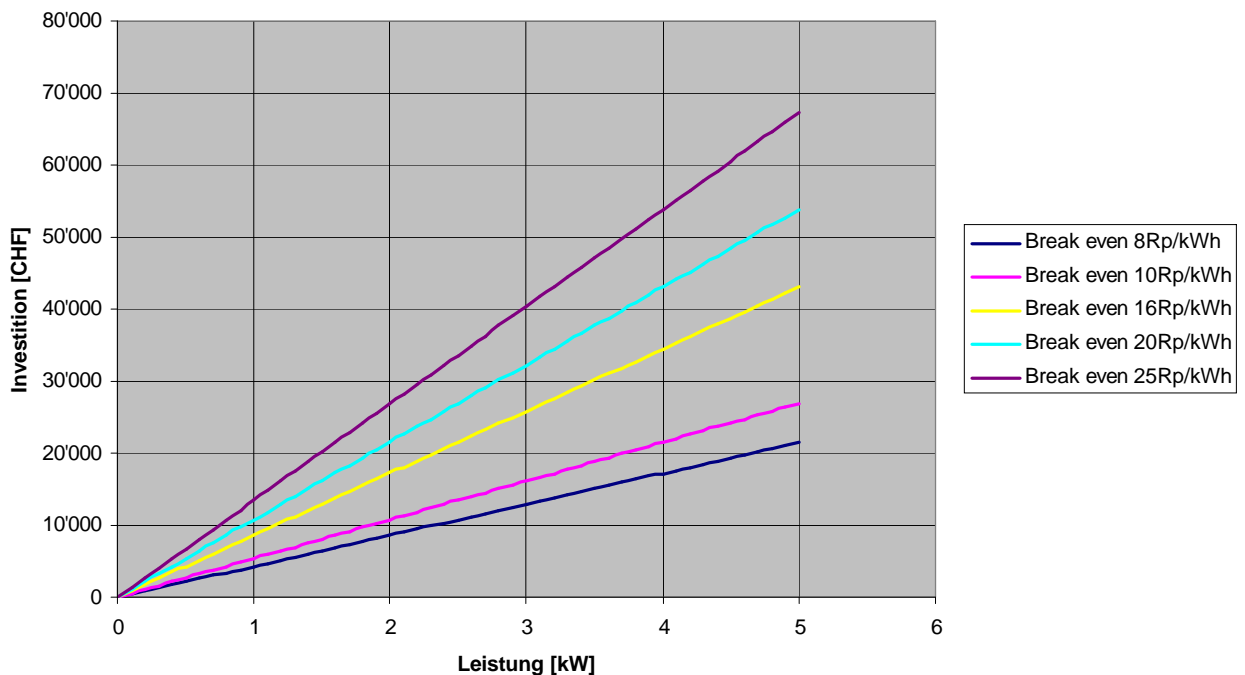
- Strompreise 8, 10, 16, 20, 25Rp/kWh
- Kapitalverzinsung 10%
- Wartung und Unterhalt 0.25 CHF pro Watt installierter Leistung im Jahr
- Amortisation 10 Jahre

Der Abzinsungsfaktor bei einer Kapitalverzinsung von 10% und einer Laufzeit von 10 Jahren $a=6.146$

Die Formel:

$$\text{Investition} = (\text{Leistung} \times \text{Strompreis} \times 24 \times 365 - \text{Leistung} \times \text{Wartung}) \times 6.146$$

Investition in Abhängigkeit der installierten Leistung



Wie ist nun die Graphik zu interpretieren?

Sie zeichnen eine senkrechte Linie bei der Leistung welche Ihnen vom Gewässer her zur Verfügung steht. Sie wählen die Linie welche Ihrem Strompreis am nächsten kommt und

schneiden diese mit der vorher gezeichneten Linie. Mit einer horizontalen Linie durch den Schnittpunkt auf die Skala der Investition ergibt Ihnen den Betrag, welcher Sie maximal für den Bau eines Picokraftwerks ausgeben können.

Sind Sie nun in der Lage, ein günstigeres Kraftwerk zu bauen, so können Sie nicht nur bei den Kollegen prahlen, dass Sie ein eigenes Kraftwerk haben, Sie machen zugleich auch noch Gewinn.

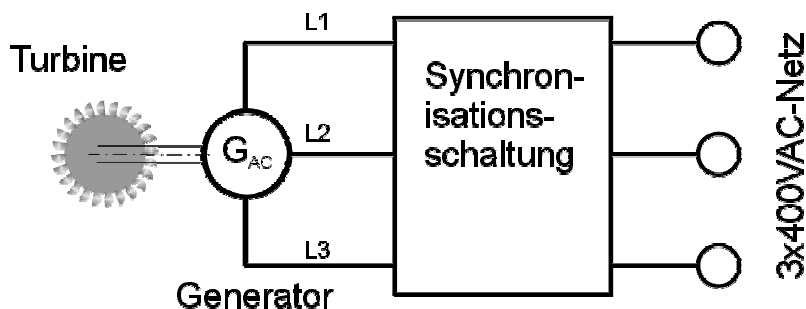
Bei guten Voraussetzungen kann es sich deshalb lohnen, ein Picokraftwerk zu installieren.

9.1.6 Steuerliche Vergünstigung

Investitionen in erneuerbare Energien werden steuerlich begünstigt. Ein Nachfragen bei der Wohngemeinde und beim Wohnkanton lohnt sich.

9.2 Direktkopplung

Mit Direktkopplung ist gemeint, dass der Wechselstromgenerator direkt mit dem 3x400VAC Netz verbunden ist. Dies ist sicher eine der günstigsten Lösungen. Als Generator kann ein preiswerter Asynchrongenerator eingesetzt werden.



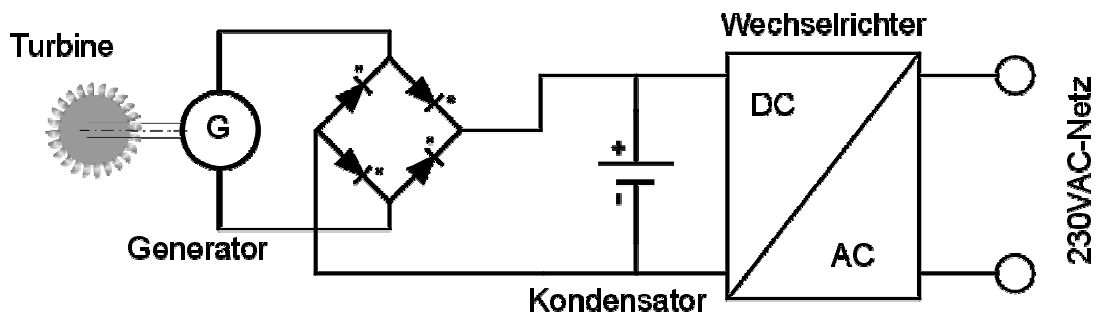
9.2.1 Synchronisationsschaltung

Gleich mehrere Aufgaben hat diese Schaltung zu bewerkstelligen.

- Sie muss bei einem Netzausfall den Generator vom Netz nehmen. Dies damit bei einer Ausschaltung das öffentliche Netz auch wirklich Spannungslos ist.
- Wird das öffentliche Netz wieder zugeschaltet, sollte die Turbine selbständig hochfahren und mit dem öffentlichen Netz synchronisieren, damit ein automatischer Betrieb möglich ist.
- Bei einer Trennung des Generators vom Netz muss unter Umständen das hochdrehen der Turbine verhindert werden.

9.3 Gleichstromzwischenkreis

Ein Picokraftwerk mit Gleichstromzwischenkreis hat den Vorteil, dass die Synchronisation dem Wechselrichter überlassen werden kann. Dabei kann als Netzausgang 230VAC oder 3x400VAC gewählt werden, je nach Leistung des Kraftwerkes.



Auch bei dieser Schaltungsvariante muss unter Umständen das Überdrehen der Turbine verhindert werden.

10 Rechtliche Aspekte

10.1 Restwassermenge

10.1.1 Definitionen

Abflussmenge Q_{347} :

Abflussmenge, die gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird.

Dotierung, Dotierwassermenge

Wassermenge, die zur Sicherstellung einer bestimmten Restwassermenge bei der Wassernahme im Gewässer belassen wird. Die Dotierung bildet eine wichtige Massnahme zur Gewährleistung einer angemessenen Restwassermenge

10.1.2 Bewilligungspflicht auf Grund Gewässerschutzgesetz

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) schreibt vor, welche minimale Wassermenge in einem Gewässer noch fließen muss, nachdem oberhalb Wasser entnommen wurde.

Muss für eine Wasserentnahme eine Bewilligung auf Grund des Gewässerschutzgesetzes eingeholt werden, ist keine Bewilligung nach dem Fischereigesetz mehr notwendig.

10.1.3 Laufkraftwerke

Bei diesem Kraftwerkstyp ist die Zentrale im Wehr eingebaut. Da Laufkraftwerke ohne Speicher arbeiten und auf die laufenden Zuflüsse angewiesen sind, wird hier nicht von einer Wasserentnahme gesprochen. Deshalb spielt die Restwassermenge keine Rolle und es besteht keine Bewilligungspflicht auf Grund des Gewässerschutzgesetzes (Artikel 29). Es besteht jedoch eine Bewilligungspflicht nach dem Fischereigesetz (BGF Artikel 8). Es sollte deshalb schon früh abgeklärt werden, ob das betreffende Gewässer ein Fischgewässer ist.

10.2 Baubewilligung

In vielen Fällen muss eine Baubewilligung eingeholt werden, da Bauten für das Kraftwerk gemacht werden müssen, welche sich ausserhalb der Bauzone befindet.

10.3 Wasserzins

Für Kleinkraftwerke mit einer Bruttoleistung kleiner als 1000kW muss seit 1997 kein Wasserzins mehr bezahlt werden.

10.4 Wasserrechte

Um von einem Fliessgewässer Wasser für ein Picokraftwerk zu entnehmen muss man eine entsprechende Bewilligung haben. Die Erteilung solcher Rechte ist Kantonal geregelt. Informationen und Kontaktstellen der jeweiligen Kantone findet man am einfachsten im Internet unter [www.Autokennzeichen des Kantones.ch](http://www.Autokennzeichen.des.Kantones.ch). Z.B. www.be.ch für Bern.

10.5 Fischerei

Obwohl ein Picokraftwerk als sehr umweltverträglich angesehen werden kann, bringt es doch eine Veränderung der Natur mit sich. Besonders den Wassertieren muss dabei Rechnung getragen werden.

10.6 Stromrückspeisung

Bevor der Strom ins öffentliche Netz zurück gespiesen werden darf, muss dazu vom Netzbetreiber eine Bewilligung vorliegen.

Die Energieerzeugungsanlagen sind unter Beachtung der jeweils gültigen Bestimmungen und Vorschriften des Netzbetreibers so zu errichten, dass sie für den Parallelbetrieb mit dem Netz geeignet sind und störende Rückwirkungen auf das Netz oder andere Anlagen ausgeschlossen sind.

Für die Errichtung und den Betrieb der elektrischen Anlagen sind folgende Gesetze, Vorschriften und Normen zu beachten:

- Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (EleG) SR 734.0
- Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (StV) SR 734.2
- Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für elektrische Anlagen (VPeA) SR 734.25
- Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV) SR 734.27
- Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV) SR 734.26
- Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) SR 734.5
- EN 50160 Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
- Empfehlung für die Beurteilung von Netzurückwirkungen (VSE 2.72d)
- Tonfrequenz-Rundsteuerung (VSE 2.66d)
- Werkvorschriften des Netzbetreibers

Der Netzbetreiber kann Änderungen und Ergänzungen an eine zu errichtende oder bestehende Anlage fordern, soweit diese aus Gründen der sicheren und störungsfreien Versorgung, insbesondere auch im Hinblick auf die Erfordernisse des Verteilungsnetzes notwendig sind.

10.7 Elektrische Sicherheit



ACHTUNG: Unsachgemässer Umgang mit der Elektrizität kann zu Personen- und Sachschäden führen. Für Arbeiten am Starkstromnetz sollte unbedingt ein Elektriker beigezogen werden.

Der Inhalt dieses Infoblattes kann jederzeit und ohne spezielle Ankündigung geändert werden. Für Schäden, welche auf Grund fehlerhafter Information oder Interpretation dieses Infoblattes entstanden sind, wird jegliche Haftung abgelehnt.

Doku 32 018
Version b
Datum 17.01.04
Autor Mau

Wasserkraftwerk selbst gebaut

11 Literaturverzeichnis

- Felix, von König / Christoph, Jehle: Bau von Wasserkraftanlagen. 3.Auflage Heidelberg: Müller 1997.
- Diezel, Fritz: Turbinen, Pumpen und Verdichter. 1. Auflage .Würzburg: Vogel 1980.
- Kuchling, Horst: Taschenbuch der Physik. 12.Auflage. Thun: Deutsch, 1989.
- Sándor O. Pálffy.: Wasserkraftanlagen. 5. Auflage. Renningen: Expert, 2002.
- Thommen, Jean-Paul: Managementorientierte Betriebswirtschaftslehre. 5. Auflage. Zürich: Versus 1996.
- R. Estoppey, u.a.:Wegleitung, Angemessene Restwassermengen. Bern: Buwal 2000
- Ekkehard Heinemann, Rainer Feldhaus: Hydraulik für Bauingenieure. 2. Auflage. Stuttgart:B.G. Teubner 2003.
- Jeremy Thake:The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual. London: ITDG Publishing 2000.
- Philip Maher, Nigel Smith: Pico Hydro For Village Power. 2001.