

Weiterbildungskurse 2017



www.brunnenmeister.ch

Rückwärtslaufende Pumpen

Von:

Reto Baumann
Häny AG
Pumpen, Turbinen und Systeme
Buechstrasse 20
8645 Jona



www.haeny.com

reto.baumann@haeny.com

Veranstaltungsort:



Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Die häufig eingesetzten Bauarten von Turbinen	4
1.2	Ein Vergleich	4
1.3	Was heisst „Gegendruck“	7
2	Energieproduktion mit einer rückwärtslaufenden Pumpe	8
2.1	Einleitung	8
2.2	Grundsätzliche Funktionsweise	8
2.3	Eingesetzte Pumpentypen	8
3	Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten	9
3.1	PAT direkt gekuppelt mit Generator	9
3.2	Pumpen und Turbinenbetrieb kombiniert	9
3.3	PAT direkt gekuppelt mit weiterer Pumpe	10
3.4	Pumpe mit Motor und angekuppelter PAT	10
4	Einsatzbereiche der Technologie PAT	11
4.1	Der Einsatz wird vor allem durch diese Faktoren beeinflusst.....	11
4.2	Vorteile/Nachteile einer PAT in der Trinkwasserversorgung	11
4.3	Vorzusehende Schutzmassnahmen beim Einsatz von PAT	12
4.4	Stromerzeugung, Synchron- oder Asynchrongenerator?	12
4.5	Sinnvoller Einsatzbereich von PAT	13
4.6	Erzielbare hydraulische Wirkungsgrade mit PAT	14
4.7	Erzielbare Lebensdauer (empirisch)	14
4.8	Kennliniencharakteristik im Vergleich zu einer Pumpe	15
4.9	Betriebspunktbestimmung.....	17
5	Einsatz in der Trinkwasserversorgung	18

5.1	Quellwassernutzung	18
5.2	Ausgleich von Druckzonen	19
5.3	Bezug ab Verbandsleitung	20
5.4	Turbinierung von Überschusswasser	21
5.5	Beispiel eines Installationsschemas.....	22
5.6	Wichtigste Planungsgrundsätze in der Wasserversorgung.....	23
6	Anhang	24
6.1	Quellenverzeichnis	24

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

1 Einleitung

1.1 Die häufig eingesetzten Bauarten von Turbinen

Diese drei Turbinenarten eignen sich besonders für Trinkwasser:

Pelton-turbine. Diese Aktionsturbine in klassischer Bauweise benötigt einen freien Auslauf aus der Turbine und wird daher meistens oberhalb des Reservoirbehälters platziert.

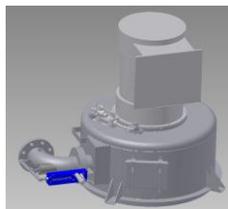
Pelton-Gegendruckturbine. Eine neue Anwendung, somit kann nun auch der höhere Wirkungsgrad für Gegendruckanwendungen genutzt werden.

Rückwärtslaufende Pumpe als Turbine. Bekannt für einfache, kostengünstige Gegendruckanwendungen. Läuft normalerweise auf einem konstanten Durchsatz. Abgekürzt auch RLPT oder PAT genannt.

1.2 Ein Vergleich

Gültig für den Bereich: Durchsatz 10-40 l/s, Fallhöhen 100-200 m

Bauart	Pelton	Pelton-Gegendruck	RLPT/PAT
Wirkungsgrad	75 – 92 %	70 – 90 %	65 – 85 %
Initialkosten	100 %	140 %	30-60 %
Durchsatz	variabel	variabel	fixiert
Gegendruck	Nicht möglich	Bis 10 bar	Bis 25 bar

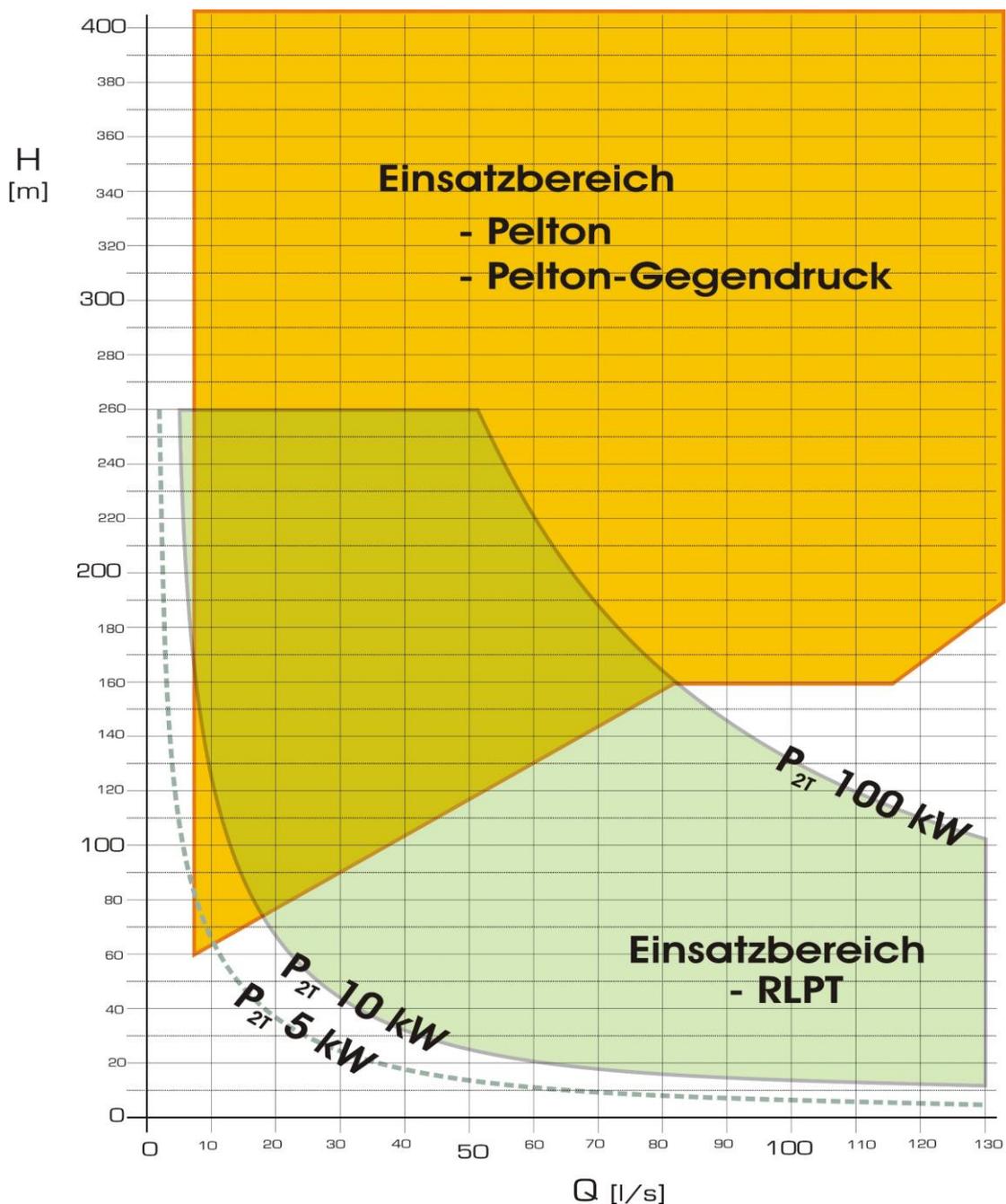


Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

Die untenstehende Grafik zeigt die nach unserer Ansicht sinnvollen Einsatzbereiche der drei vorgängig genannten Technologien im Bezug auf den Volumenstrom und die Fallhöhe.

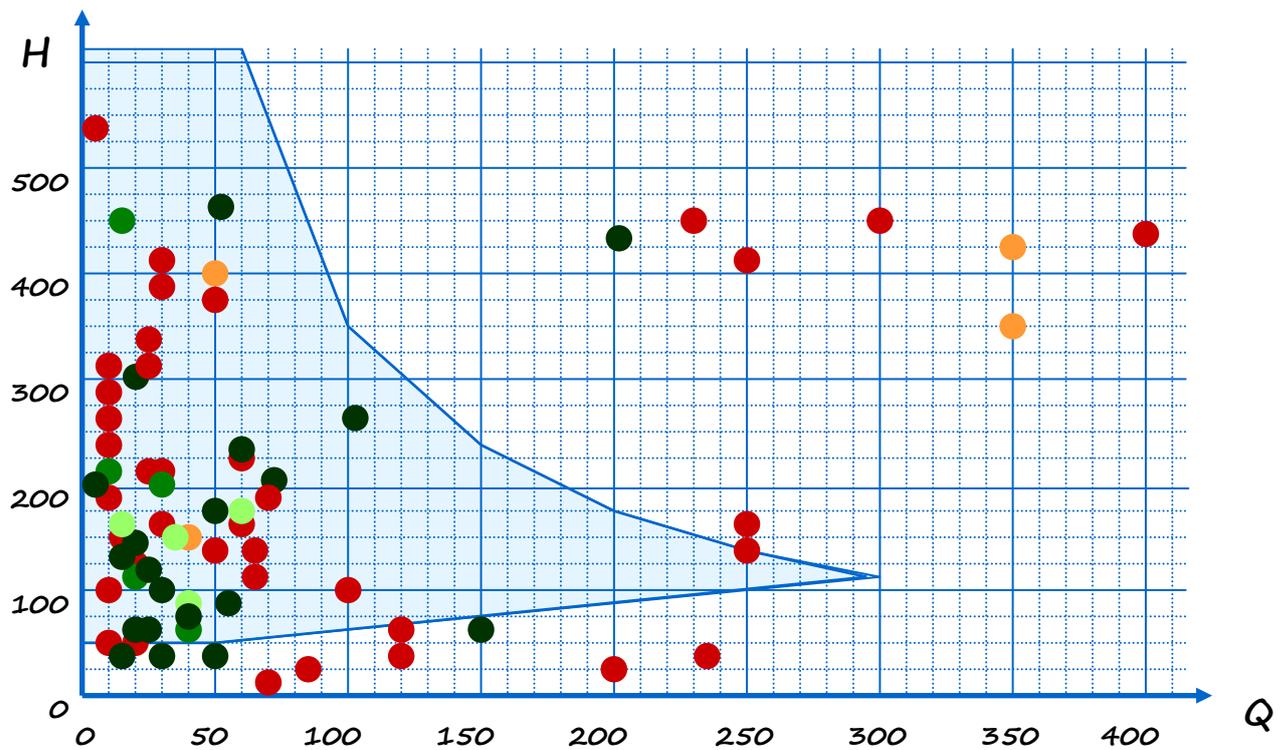
Da sehr viele Faktoren wie der Zufluss (konstant oder variabel), der Aufstellungsort, wirtschaftliche Kriterien, die Einspeiseart, .. berücksichtigt werden müssen. Ist die Auswahl der Turbinen-Technologie für jedes Objekt individuell festzulegen.



Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

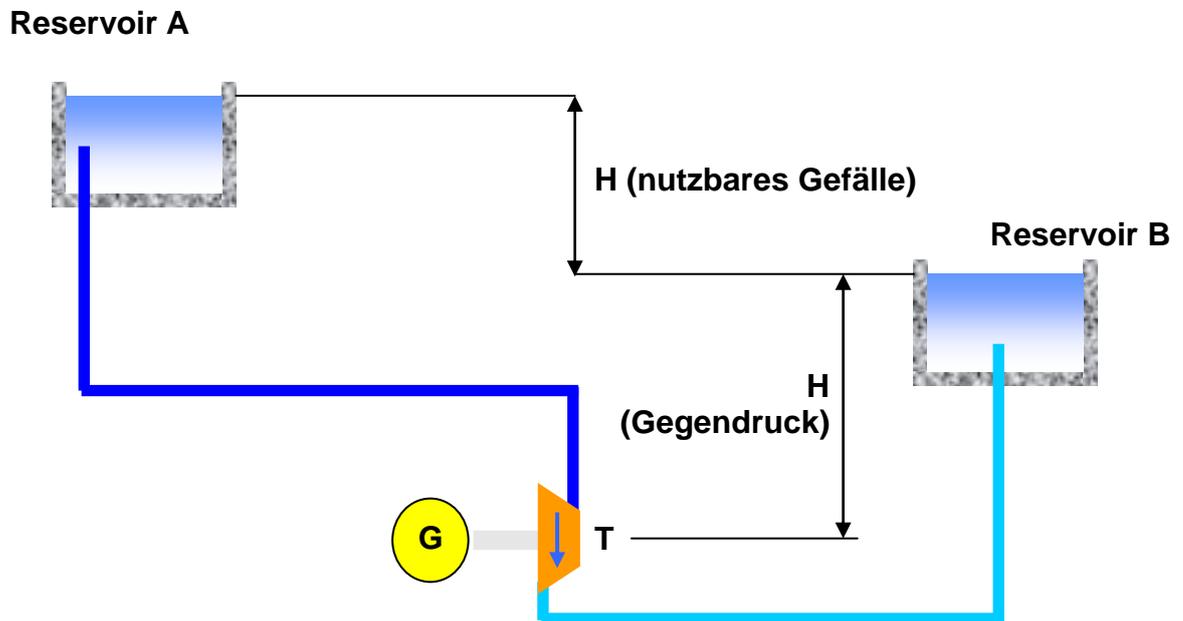
Die untenstehende Grafik zeigt einen Auszug der in der Schweiz installierten Kleinstwasserkraftwerke in Trinkwasserversorgungen. Die Grenzmarkierung des blauen Feldes stellt die 300 kW Leistung dar. Der Grossteil der Installationen liegt weit unter den 300 kW.



Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

1.3 Was heisst „Gegendruck“



Häufig werden Turbinen in Wasserversorgungen in bestehenden Infrastrukturen untergebracht. Es tritt darum häufig der Fall auf, dass zum Beispiel im Rohrkeller des Reservoirs wo noch Platz vorhanden ist eine Turbine vorgesehen wird. Die Turbine muss in einem solchen Fall die Möglichkeit bieten, nach dem Austritt das Wasser wieder in einem Rohr gefasst auf ein höheres Energieniveau (in diesem Fall in die Reservoirkammer) zu leiten. Der dazu erforderliche Druck wird Gegendruck genannt.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

2 Energieproduktion mit einer rückwärtslaufenden Pumpe

2.1 Einleitung

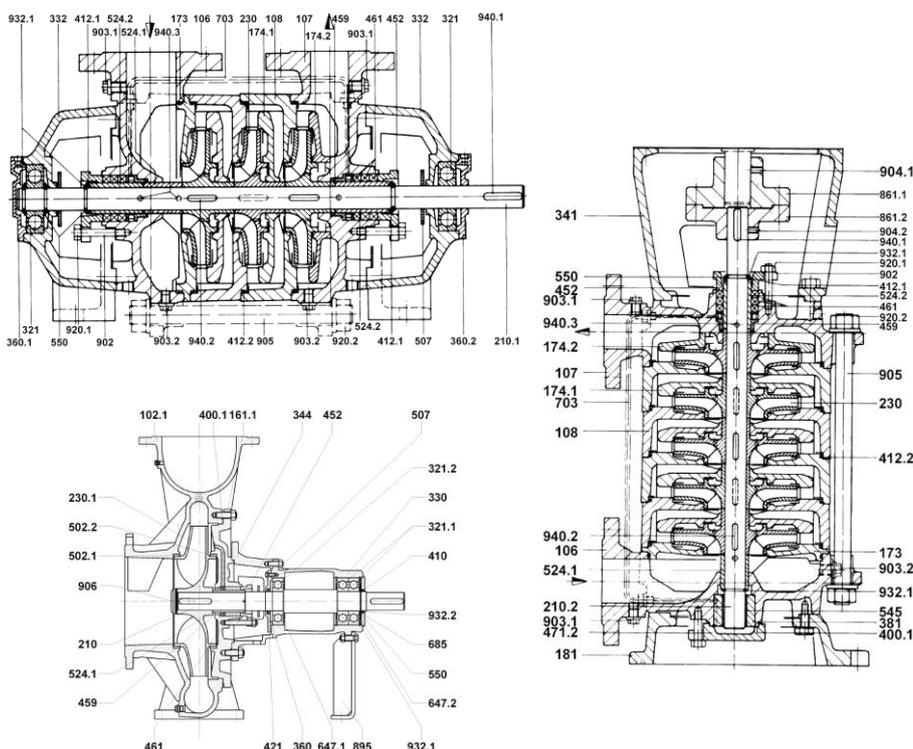
- ⇒ Die Energieerzeugung mittels einer Kreiselpumpe ist keine neue Technologie.
- ⇒ Bereits vor mehreren Jahrzehnten wurde diese Anwendung mehrfach auch in der Schweiz installiert.
- ⇒ Sozusagen unverändert kann jede Standardkreiselpumpe als Turbine eingesetzt werden.
- ⇒ Zur Vereinfachung wird die rückwärtslaufende Pumpe als Turbine nachfolgend RLPT oder PAT genannt.

2.2 Grundsätzliche Funktionsweise

- ⇒ Die Standardpumpe wird rückwärts (vom Druckstutzen zum Saugstutzen) durchströmt, ändert dabei die Drehrichtung und erzeugt ein nutzbares mechanisches Moment an der Pumpen-welle.
- ⇒ Der Vergleich der Hydraulik zeigt Ähnlichkeiten mit der Francisturbine. Die Pumpe als Turbine hat einzig keine verstellbare Leiteinrichtung und kann daher den Betriebspunkt nur gering variieren.

2.3 Eingesetzte Pumpentypen

Häufig werden entweder: 1) horizontale, 2) vertikale Hochdruckpumpen oder 3) einstufige Niederdruckpumpen eingesetzt.

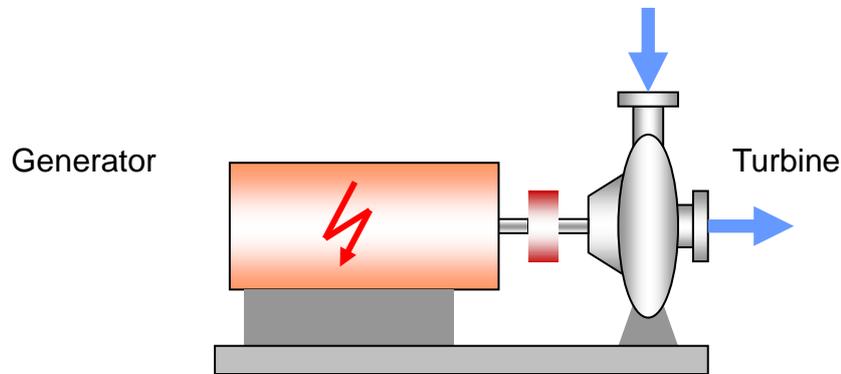


Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

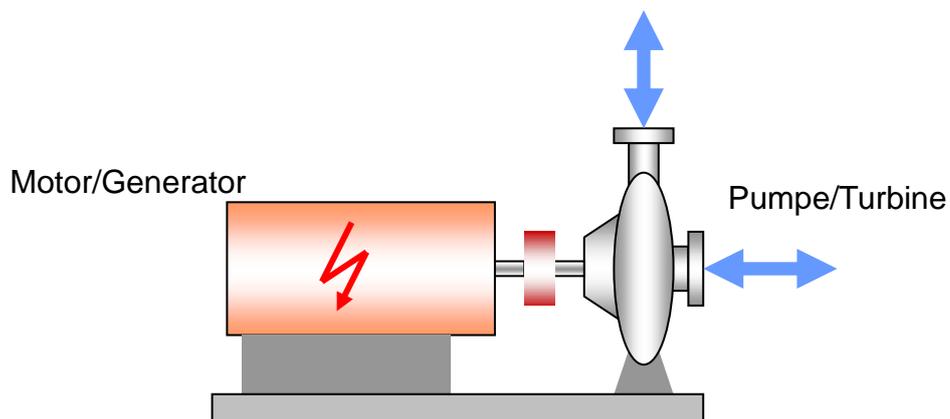
3 Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten

3.1 PAT direkt gekoppelt mit Generator



Diese klassische Anwendung stellt die häufigsten Einsatzfälle dar, um Wasser aus einem höhergelegenen Energieniveau zu turbinieren.

3.2 Pumpen und Turbinenbetrieb kombiniert

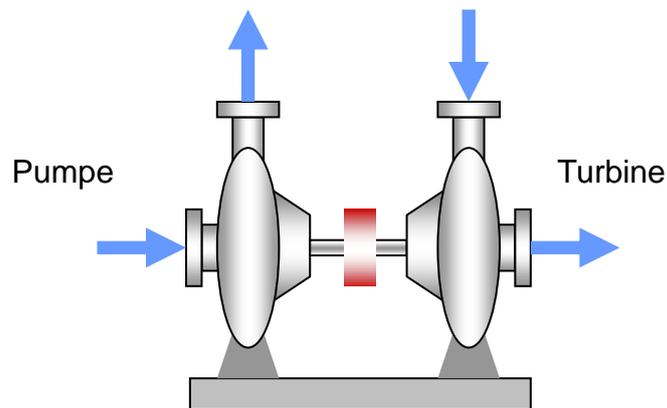


In diesem Fall kann die Maschine sowohl als Turbine, als auch als Pumpe eingesetzt werden. Beispielsweise ein Notwasserpumpwerk, welches die höchste Druckzone im Notfall versorgt. Im Normalbetrieb wird das Überschusswasser des Quellertrages turbinieren. (Installation mit Frequenzumformer)

Rückwärtslaufende Pumpen

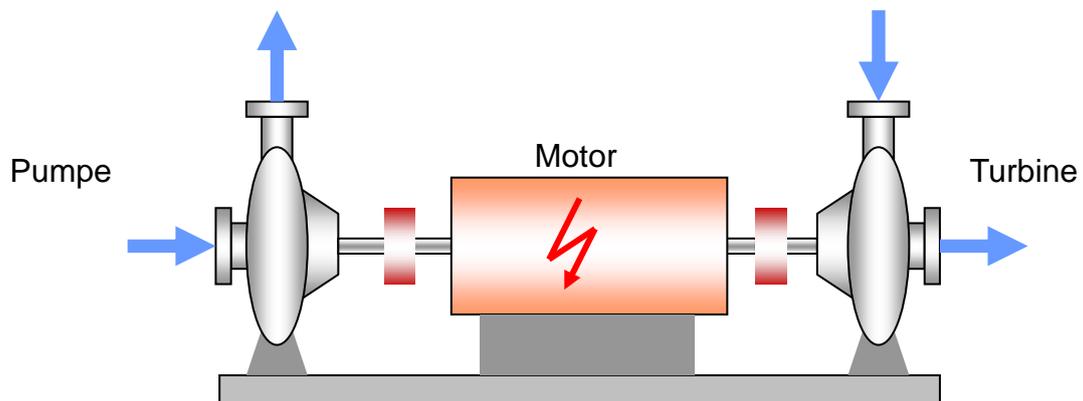
Autor / Referent: Reto Baumann

3.3 PAT direkt gekuppelt mit weiterer Pumpe



Diese Anwendung findet ihren Einsatz vorwiegend dann, wenn am Installationsort kein elektrischer Anschluss an das Versorgungsnetz vorhanden ist und ein nutzbares hydraulisches Potential vorliegt.

3.4 Pumpe mit Motor und angekuppelter PAT



Diese Anwendung findet ihren Einsatz, wenn am Installationsort unmittelbar ein geeignetes hydraulisches Energiepotential vorhanden ist. Somit reduziert sich die zu installierende elektrische Leistung.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4 Einsatzbereiche der Technologie PAT

4.1 Der Einsatz wird vor allem durch diese Faktoren beeinflusst

- ⇒ **Gesamtkostenbetrachtung** einer Anlage mit einer rückwärtslaufenden Kreiselpumpe im Vergleich zur häufig eingesetzten energieeffizienteren Pelton-turbine. (Stromgestehungskosten)
- ⇒ **Betriebskonzept der Anlage.** Ist ein Schwallbetrieb mit konstantem Durchsatz möglich oder werden mehrere, stark variierende Betriebszustände auftreten.
- ⇒ **Installationsmöglichkeiten in der Anlage.** Die rückwärts laufende Pumpe kann mit geringen Platzbedarf in einem bestehenden Aufstellraum installiert werden. Die Wahl der verschiedenen Bauformen erhöht die Flexibilität für eine nachträgliche Installation zusätzlich.

4.2 Vorteile/Nachteile einer PAT in der Trinkwasserversorgung

- ⇒ **Konstanter Durchsatz.** Die RLPT läuft bedingt durch die Konstruktion optimalerweise nur auf einem fixen Betriebspunkt. Somit ist ein Turbinenbetrieb mit Quellwasser nur sinnvoll, wenn der Quellsammler über ein ausreichendes Nutzvolumen für einen Schwallbetrieb verfügt. Ein optimaler Einsatz ist beispielsweise der Bezug ab einer Verbandsleitung zur Speisung des eigenen Reservoirs.
- ⇒ **Gegendruck am Austritt.** Die RLPT eignet sich auch für hohe Gegendrücke am Austritt (bis PN25 teilweise PN40 aus dem Standardsortiment).
- ⇒ **Geschlossenes System.** Aufgrund der Konstruktion ist nicht mit einem Lufteintrag in das System zu rechnen. (Probleme mit UV-Anlagen, Qualität des Trinkwassers, ...)

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4.3 Vorzusehende Schutzmassnahmen beim Einsatz von PAT

- ⇒ **Versorgungssicherheit.** Da die Energieproduktion in Trinkwasserversorgungen klar einen untergeordneten Stellenwert einnimmt gegenüber der Versorgungssicherheit, ist bei jeder Installation ein Bypass mit konventionellem Druckreduzierventil vorzusehen, um bei stehender Turbine die Versorgung zu jeder Zeit zu gewährleisten.
- ⇒ **Stromausfall (Nullspannungsfall).** Bei einem Netzabwurf droht die RLPT aufgrund der fehlenden Last (Stromnetz) auf die Durchbrenndrehzahl zu beschleunigen. Um dies zu verhindern werden als Schutzmassnahmen unter anderem vorgespannte Scheibenbremsen und Schwungräder eingesetzt.

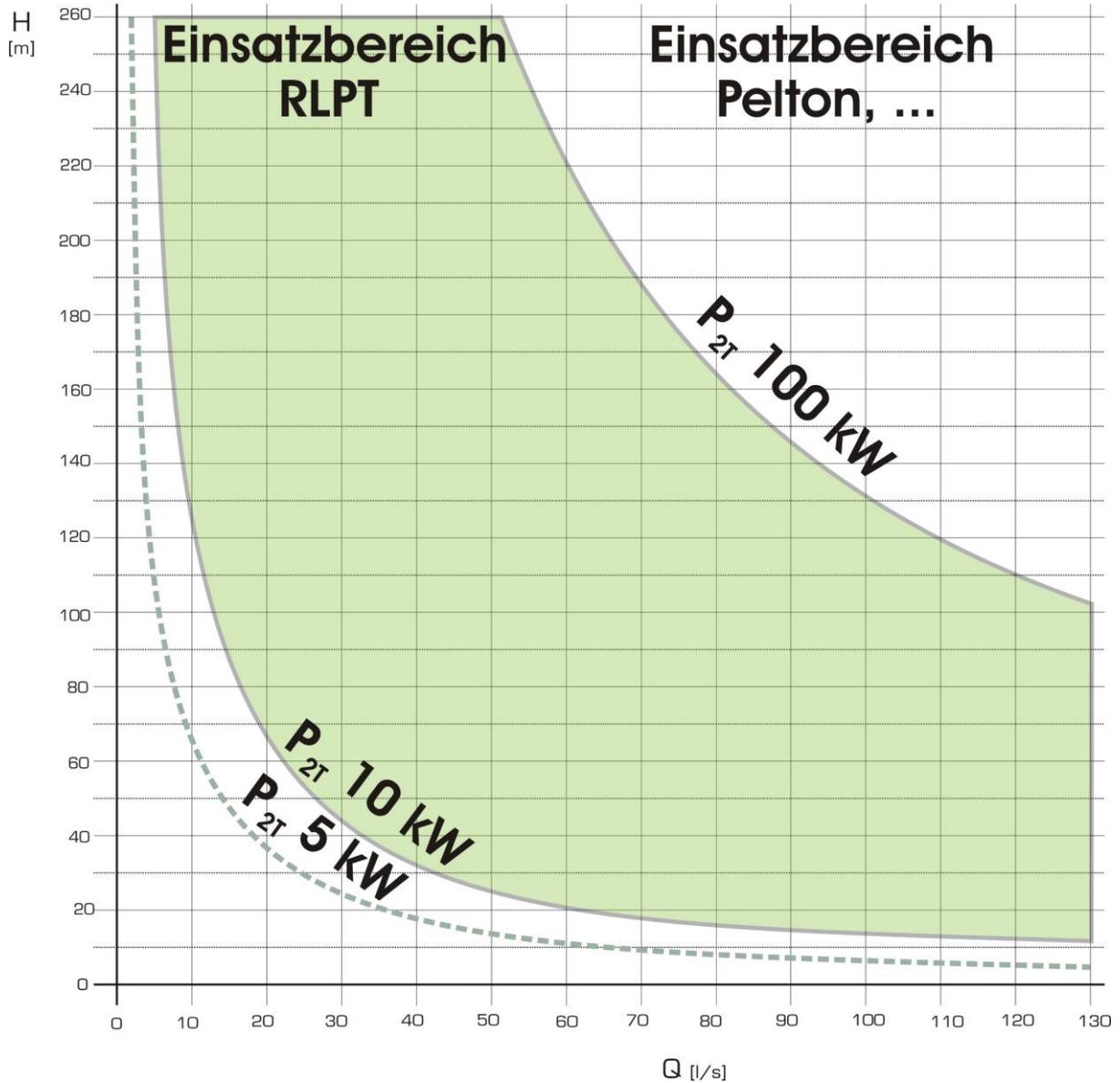
4.4 Stromerzeugung, Synchron- oder Asynchrongenerator?

- ⇒ **Netzparallelbetrieb.** Diese einfache, kostengünstige und dadurch häufigst verwendete Betriebsart sieht vor, dass der **Asynchrongenerator** mit Kurzschlussläufer „automatisch“ durch die Netzfrequenz synchronisiert und auf der entsprechenden Drehzahl gehalten wird. Aufgrund der erzeugten Blindleistung ist der Einsatz einer Kompensationsanlage immer zu prüfen. Bis ca. 100 kW Rückspeiseleistung ist diese Variante in den meisten Fällen klar wirtschaftlicher.
- ⇒ **Inselbetrieb.** Um auch eine autarke Versorgung sicherzustellen ist die Anlage mit einem **Synchrongenerator** auszurüsten. Dadurch können zusätzlich bessere Wirkungsgrade erzielt werden. Diese Installation ist jedoch technisch komplexer und daher auch deutlich teurer.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4.5 Sinnvoller Einsatzbereich von PAT

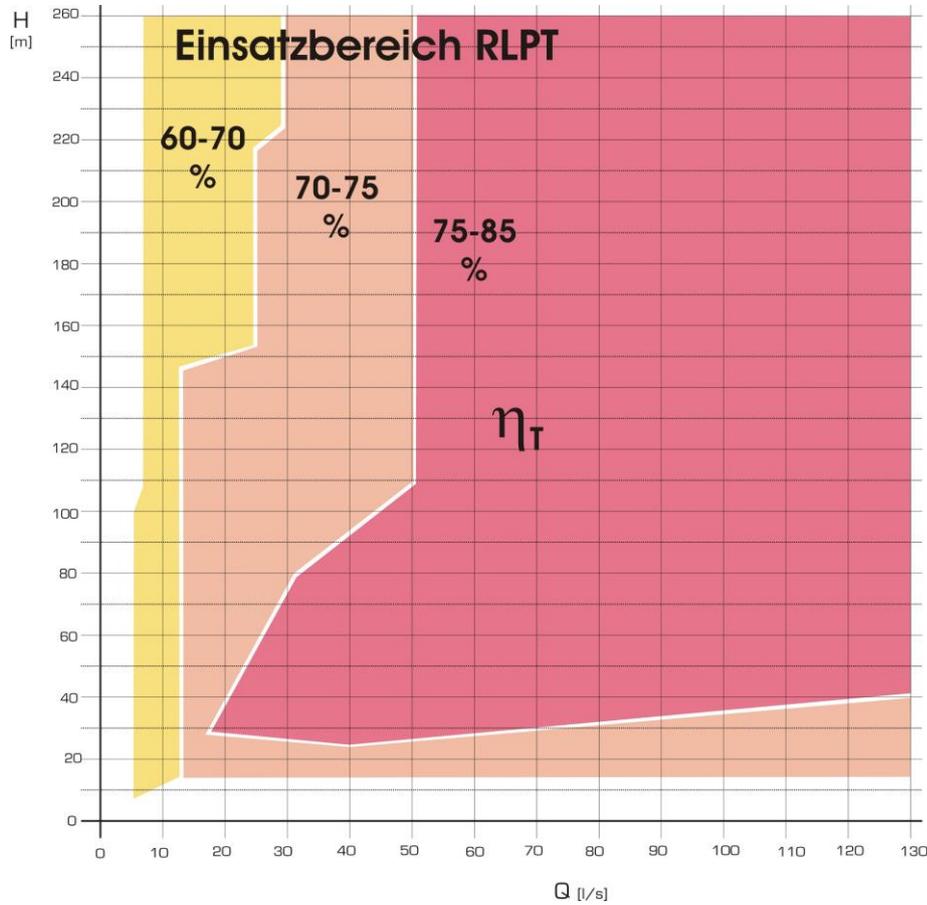


Nach unseren Erfahrungen zeigt der obenstehende, grüne Bereich das Einsatzgebiet in welchem PAT sinnvollerweise eingesetzt werden können. Der Bereich beginnt bei 10 kW hydraulischem Potential. Wir haben auch schon kleinere Anlagen mit 5 kW ausgeführt, hierzu gilt es jedoch festzuhalten, dass die Wirtschaftlichkeit von solchen kleinen Anlagen mit PAT in den meisten Fällen nicht gegeben ist. Bei Leistungen über 100 kW ist es sinnvoll eine Technologie mit höheren Wirkungsgraden in die Abklärungen miteinzubeziehen.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4.6 Erzielbare hydraulische Wirkungsgrade mit PAT



4.7 Erzielbare Lebensdauer (empirisch)

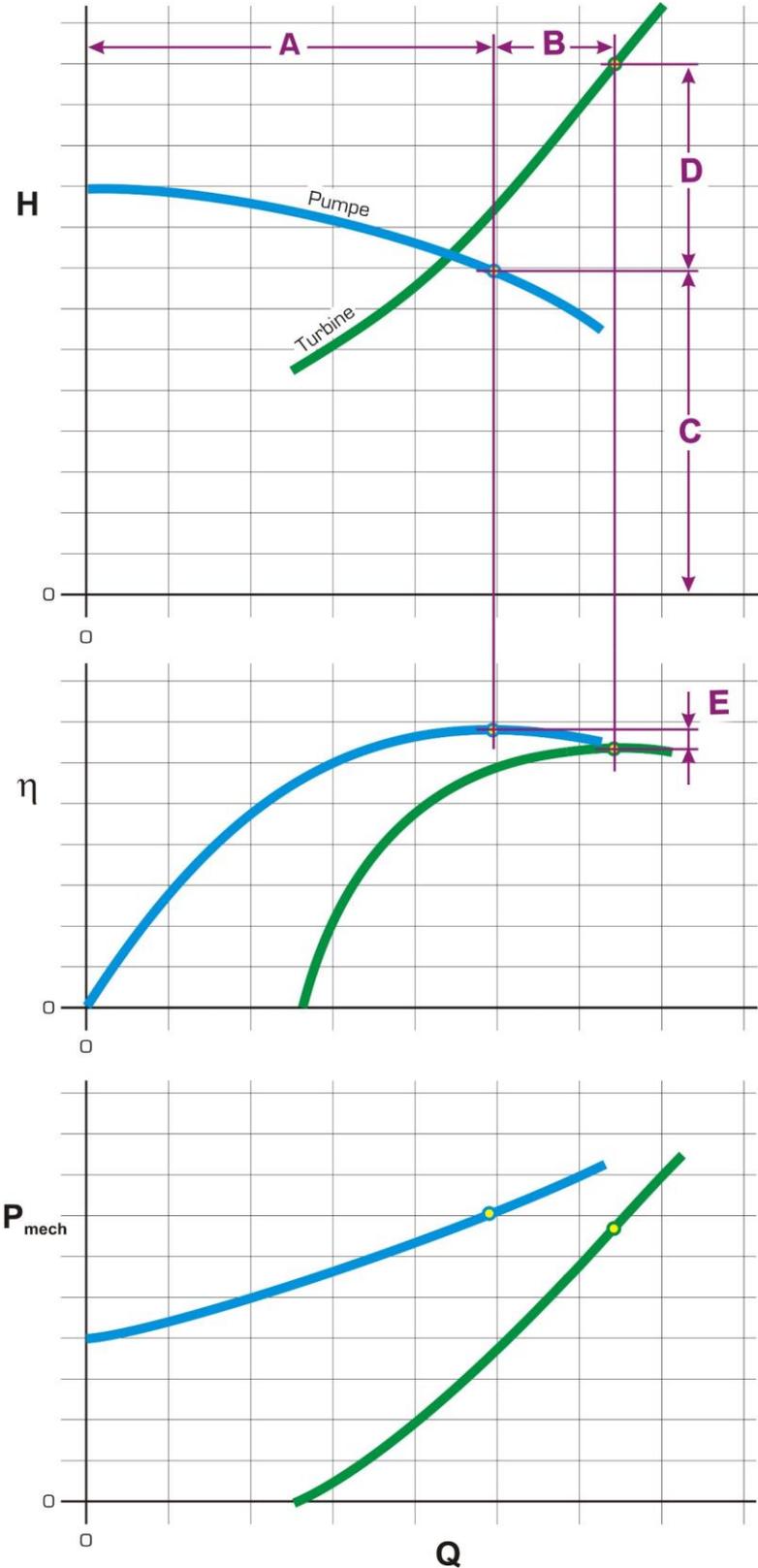
Anlagegrösse P_{2G} [kW]	100	10	5	3
Mittlere Lebensdauer [Jahre]	30	25	20	20

Bezogen auf eine 4-polige (1500 min⁻¹) Standardpumpe in Wasserwerksausführung.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4.8 Kennliniencharakteristik im Vergleich zu einer Pumpe



H in m / Q in l/min / ETA in % / P_2 in kW / Wasser 20°C / Dichte 1 kg/dm³

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

Im Turbinenbetrieb

- ⇒ Sehr steiler Verlauf der Q/H – Charakteristik
- ⇒ Wirkungsgrad nur in beschränktem Bereich optimal
- ⇒ Leistungsabgabe erst ab ca. 30% von Q_{opt} (vorher Bezug)

Im Vergleich zum Pumpenbetrieb

- ⇒ Verschiebung des Bestpunktes:

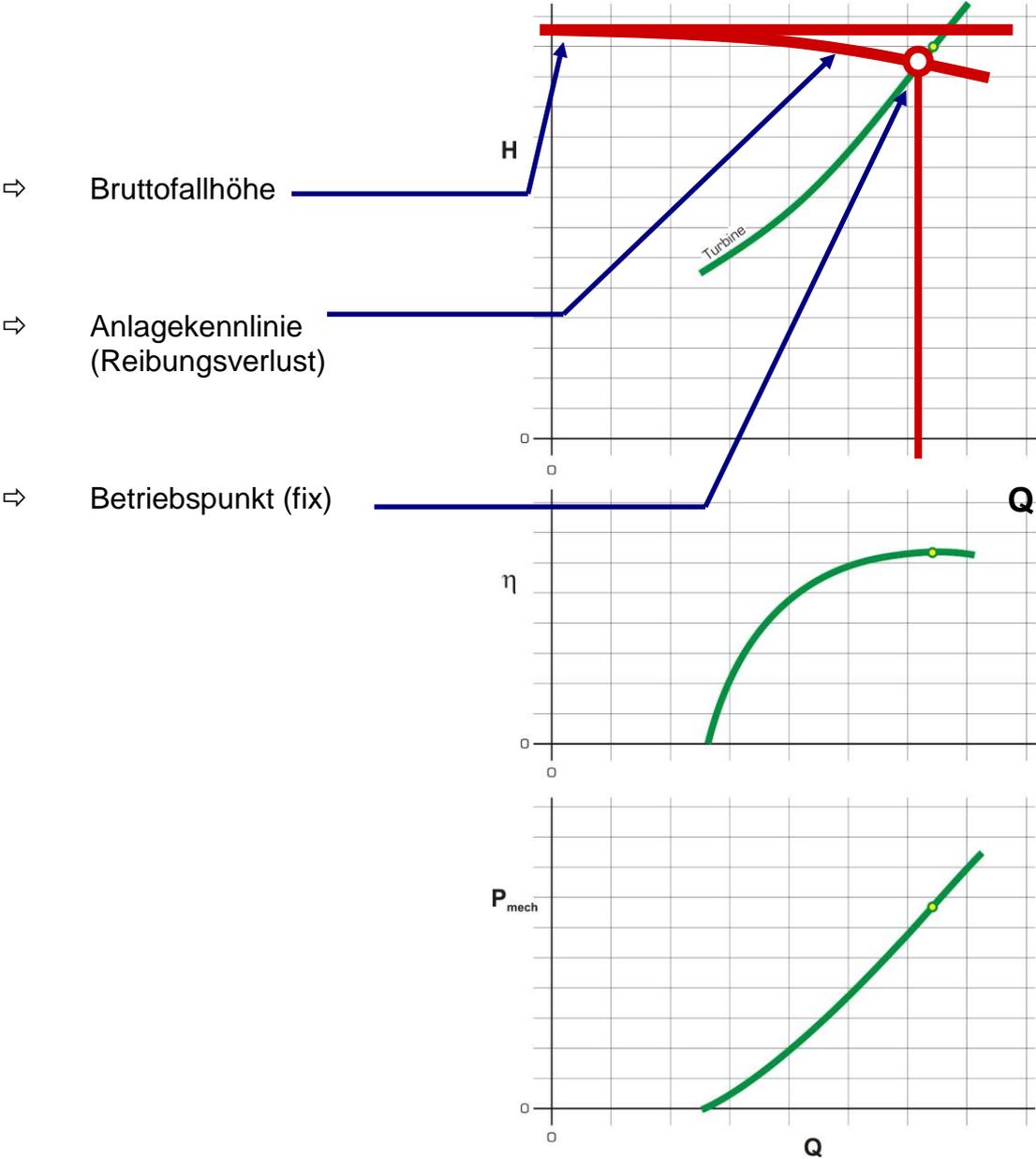
$$Q_P = \frac{A+B}{1.3} = A$$
$$H_P = \frac{C+D}{1.4} = C$$
$$E = \eta_P \cdot 0.95$$

Empirische Methode ohne Gewähr (für n_q 20-30)

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

4.9 Betriebspunktbestimmung

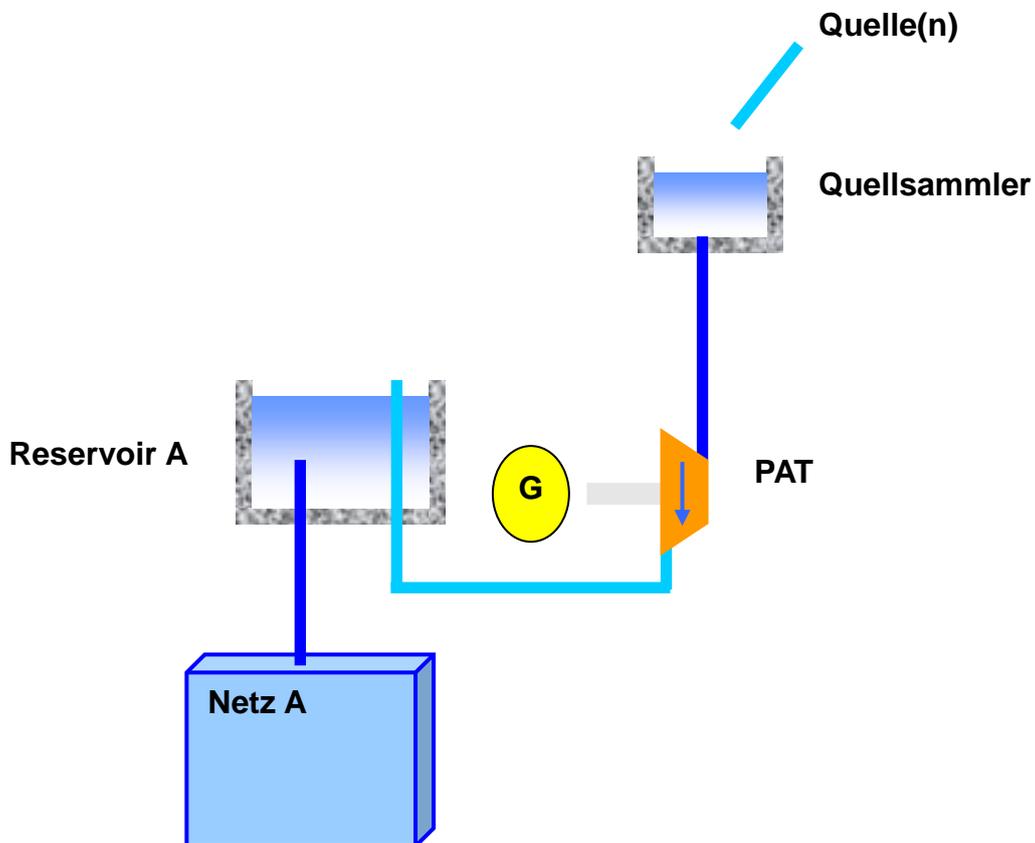


Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5 Einsatz in der Trinkwasserversorgung

5.1 Quellwassernutzung

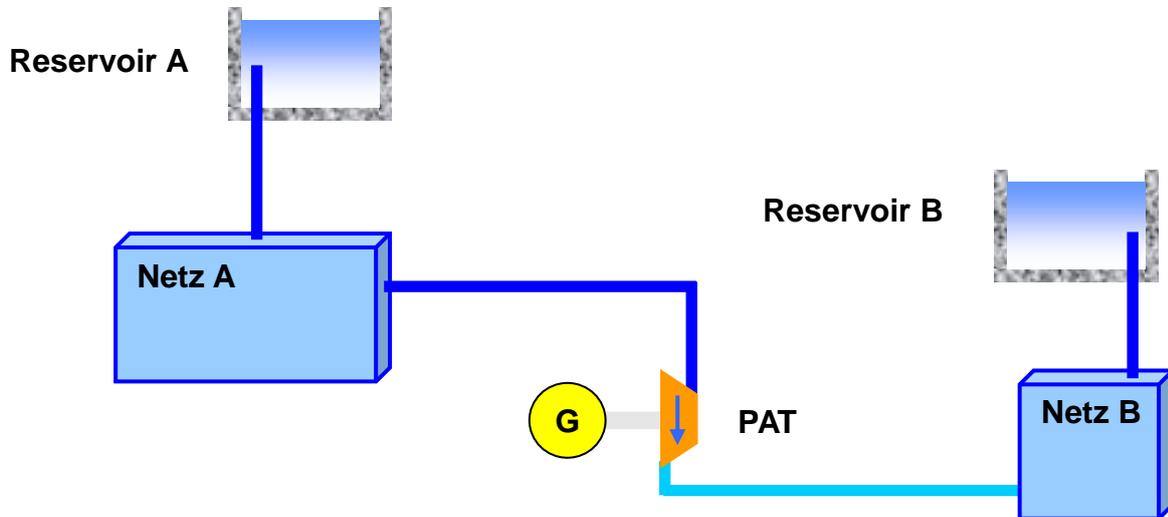


Einer der häufigsten Anwendungsfälle wo PAT zum Einsatz kommen. Hierbei ist bei der Auslegung Gewicht auf die Bewirtschaftung mit dem zur Verfügung stehenden Quellsammlervolumen zu legen bzw. deren Dimensionierung entsprechend vorzunehmen.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5.2 Ausgleich von Druckzonen

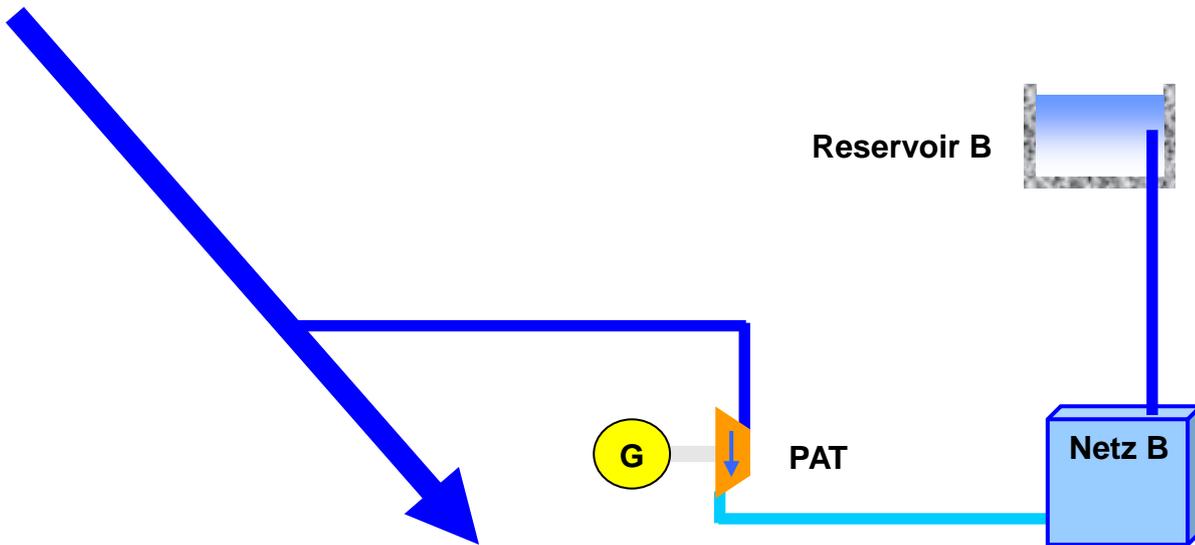


Diese Anwendung bietet den Vorteil, dass die PAT auch mit der kombinierten Funktion als Pumpe ausgelegt werden. Damit kann z.B. überschüssiges, höherliegendes Quellwasser im Normalbetrieb in die tiefere Druckzone turbinieren werden. Im Notfall arbeitet die Maschine als Pumpe und kann in die umgekehrte Richtung die obenliegende Druckzone versorgen. Sozusagen ein **«geschenktes Notpumpwerk»**.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5.3 Bezug ab Verbandsleitung

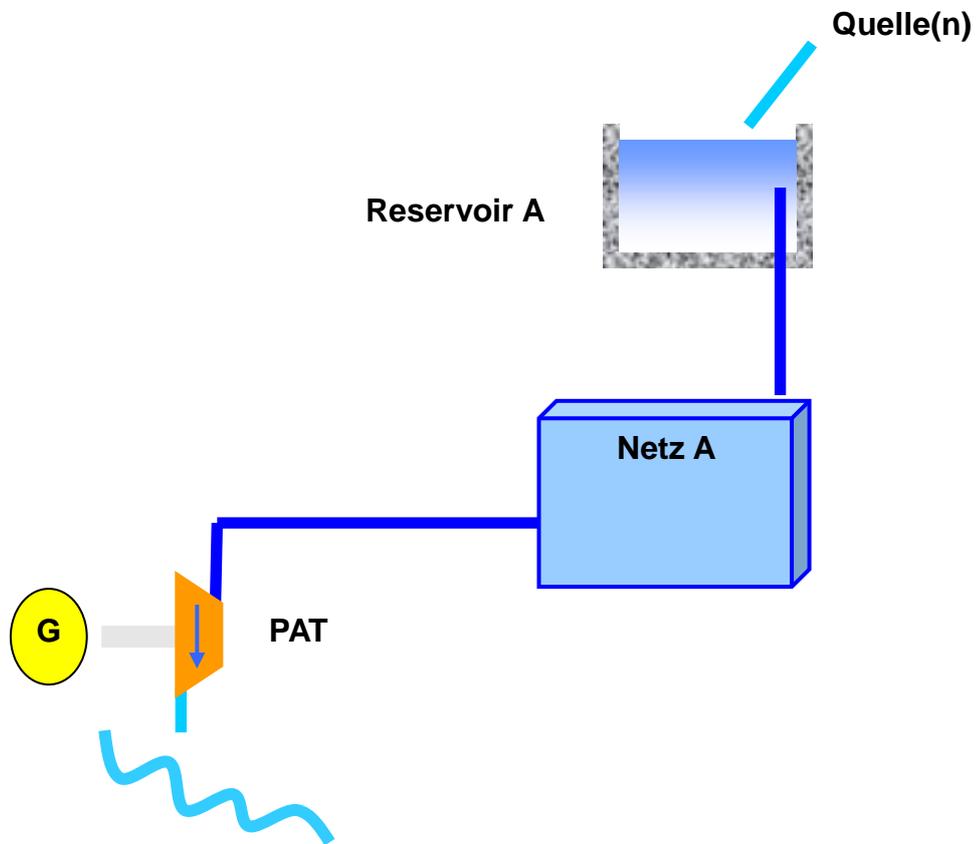


Wenn der Bezug ab einer Verbandsleitung zur Bewirtschaftung eines Reservoirs genutzt wird, ist dies ein idealer Einsatzfall für eine PAT.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5.4 Turbinierung von Überschusswasser

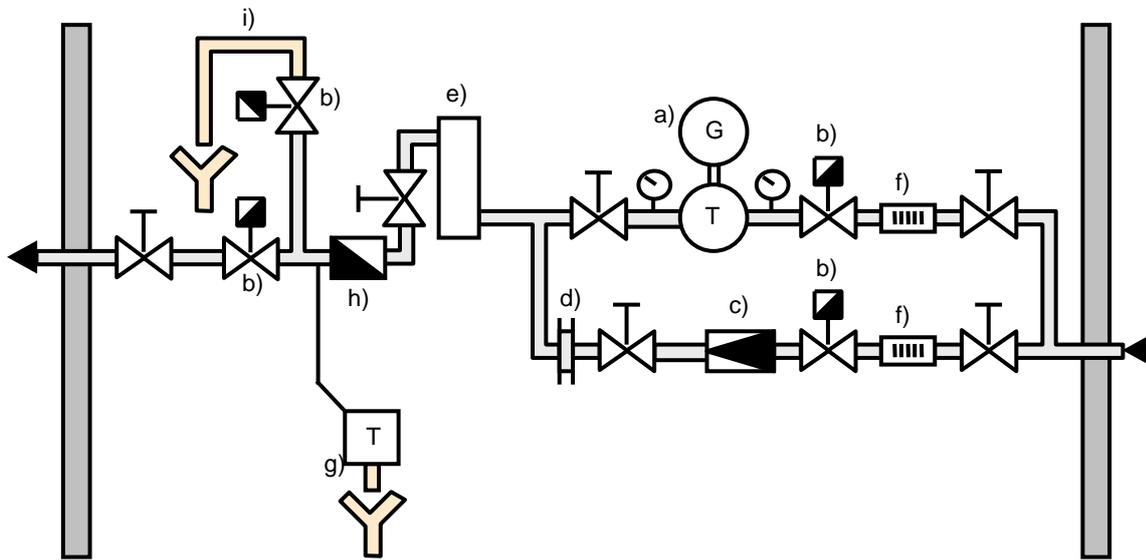


Falls eine Quelle im Einzugsgebiet einen deutlichen Überschuss leistet, welcher nicht in einen definierten Vorfluter eingeleitet werden muss, dann kann das Wasser einfach durch die bestehende Netzinfrastruktur nach unten geführt werden und dort in einen Vorfluter eingeleitet werden.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5.5 Beispiel eines Installationsschemas



- a) Turbine mit Generator
- b) Motorschieber
- c) Druckreduzierventil
- d) Lochblende (Qmax)
- e) UV-Anlage
- f) Schmutzfänger
- g) Trübungsmessung
- h) Durchflussmessung
- i) Verwurflung

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

5.6 Wichtigste Planungsgrundsätze in der Wasserversorgung

Die beiden nachstehenden Grundsätze sind aus unserer Sicht zwingend mit hoher Priorität bei der Planung eines Trinkwasserkraftwerks zu berücksichtigen:

Als wichtigster Grundsatz bei der energetischen Nutzung von Trinkwasser muss berücksichtigt werden, dass die Versorgungssicherheit der Trinkwasserbezüger alleine die höchste Priorität hat.

Deshalb ist jedes Trinkwasserkraftwerk mit einem Bypass auszurüsten, welcher die Versorgung im Störfall der Turbine ungehindert sicherstellen kann.

Rückwärtslaufende Pumpen

Autor / Referent: Reto Baumann

6 Anhang

6.1 Quellenverzeichnis

Das Quellenverzeichnis gibt Auskunft über die Herkunft der Abbildungen. Der gesamte Text, die Tabellen, die Grafiken und die Bilder stammen aus empirischen Unterlagen der Häny AG.