



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

Fachbereich 1

Ingenieurwissenschaften - Energie und Information

Regenerative Energien (B)

## Pelton Turbine vom 05.05.2023

*Betreuerin: Laila Rezai*

*Gruppe: 5*

Name	Matrikelnummer
Johannes Tadeus Ranisch	578182
Markus Jablonka	580234
Niels Feuerherdt	577669
Katharina Jacob	578522
Vorname, Name 5. Student:in	Matrikelnummer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsziele</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsbeschreibung</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Vorbereitungsfragen</b>	<b>1</b>
4.1	Wie ist die hydraulische Leistung definiert? . . . . .	1
4.2	Skizzieren Sie den typischen Verlauf einer Rohrleitungskennlinie . . . . .	1
4.3	Welche Proportionalität ergibt sich bei Strömungsmaschinen zwischen Leistung und Drehzahl? . . . . .	2
4.4	Wie lässt sich der Betriebspunkt einer Pelton-Turbine einstellen? . . . . .	2
4.5	Welcher hydraulische Parameter wird zur Regelung der Pelton-Turbine verändert? Durch welche Einstellung passiert das? . . . . .	2
<b>5</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>Auswertung</b>	<b>3</b>
6.1	Kennlinie der Pumpe . . . . .	3
6.2	Betriebspunkte der Pelton-Turbine . . . . .	4
6.2.1	Berechnen Sie die hydraulische Leistung, die mechanische Leistung und die elektrische Leistung in jedem Arbeitspunkt. . . . .	4
6.2.2	Bestimmen Sie den Turbinenwirkungsgrad und tragen diesen grafisch über der Drehzahl auf. . . . .	5
6.2.3	Vergleichen Sie den Arbeitspunkt mit bestem Wirkungsgrad mit den theoretischen Betrachtungen . . . . .	6
6.2.4	Interpretieren Sie evtl. auftretende Abweichungen des optimalen Arbeitspunkts. . . . .	6
6.3	Verlustbeiwert der Düse . . . . .	6
<b>7</b>	<b>Quellen</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>8</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Rohrleitungskennlinie bei vollständig geöffneter Düse . . . . .	2
2	Pumpenkennlinie bei gemessenen Arbeitspunkten . . . . .	4
3	Turbinenwirkungsgrade über die Drehzahl . . . . .	6

## Tabellenverzeichnis

1	Drehzahlen,Leistungen und Wirkungsgrade der Pelton Turbine bei verschiedenen Arbeitspunkten . . . . .	5
---	--	---

## Abkürzungsverzeichnis

PV	Photovoltaik
MPP	Maximum Power Point

## 1 Versuchsziele

Für den Versuch "Wasserkraft – hydraulische Anlage und Pelton-Turbine" müssen zu allererst die Charakteristika einer mehrstufigen radialen Kreispumpe aufgenommen werden. Diese können im nächsten Schritt mit den theoretischen Werten verglichen. Dann wird die Pelton-Turbine untersucht. Hier werden die Arbeitspunkte dieser vermessen um den optimalen heraus zu suchen. Dieser wird dann mit dem theoretischen Optimum verglichen.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Die wesentlichen Versuchsgrundlagen (gültige Gesetze, Gleichungen, Axiome etc.) sind in zusammenhängenden selbst formulierten Sätzen kurz (je nach Versuch ca. 2 bis 3 Seiten) darzustellen. Die im Text eingearbeiteten Gleichungen sind mit Nummern in runden Klammern auf der rechten Seite fortlaufend zu nummerieren, wie in (1) dargestellt. Weitere Informationen zur Nutzung der Mathematik Umgebung in LaTeX sind im Internet zu finden.

$$A_{Kreis} = \pi r^2 \quad (1)$$

Die dabei verwendeten Abkürzungen sind, entweder am Anfang in einem Abkürzungs- und Symbolverzeichnis, oder direkt nach der ersten Verwendung der Abkürzung zu erklären!

## 3 Versuchsbeschreibung

### 4 Vorbereitungsfragen

#### 4.1 Wie ist die hydraulische Leistung definiert?

$$P_{Eigenverbrauch} = U_{LR} \cdot I_{LR} \cdot \dot{Q} = \dot{m} \cdot g \cdot H \quad (2)$$

#### 4.2 Skizzieren Sie den typischen Verlauf einer Rohrleitungskennlinie

Dies ist die typische Rohrleitungskennlinie.

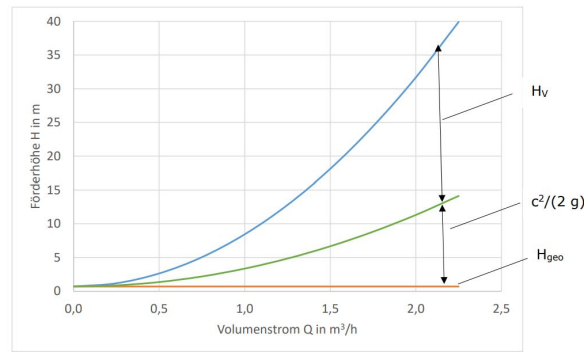


Abbildung 1: Rohrleitungskennlinie bei vollständig geöffneter Düse

#### 4.3 Welche Proportionalität ergibt sich bei Strömungsmaschinen zwischen Leistung und Drehzahl?

Die Leistung  $P$  ist wie folgt definiert.

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (3)$$

Dabei ist  $n$  die Drehzahl und  $M$  das Moment.

#### 4.4 Wie lässt sich der Betriebspunkt einer Pelton-Turbine einstellen?

Der Betriebspunkt ist mit dem Volumenstrom/Strahldurchmesser, durch eine angelegte Last am Generator oder den Erregerstrom  $I_{Err}$  steuerbar. Dabei ist der optimale Betriebspunkt über die optimale Drehzahl zu finden. Dabei liegt die optimale Drehzahl bei der halben Austrittsgeschwindigkeit aus der Düse.

#### 4.5 Welcher hydraulische Parameter wird zur Regelung der Pelton-Turbine verändert? Durch welche Einstellung passiert das?

Die Düsennadel kann so eingestellt werden, dass der Durchflussquerschnitt sich verändert. Mit dem Durchflussquerschnitt lässt sich dann der Volumenstrom  $Q$  steuern und somit die Drehzahl der Pelton Turbine.

### 5 Versuchsdurchführung

Beschreiben Sie kurz die entscheidenden Arbeitsschritte und die gewählten Einstellwerte und jeweils genutzten Messgeräte. Werden hier Bilder verwendet, dann werden sie fortlaufend (inklusive der Bilder aus Abschnitt 3!)

nummeriert. Sind sie aus einer anderen Quelle (z.B. Praktikumsanleitung) übernommen, dann sind sie, wie unter Gliederungspunkt 3 beschrieben, kenntlich zu machen.

Beispiel: „Der Versuch wurde gemäß Versuchsanleitung [xxx] durchgeführt. Die Anfangswerte der Ausgangsspannung  $U_0$  des Funktionsgenerators wurde für den vorgegebenen Bereich durchgesteuert. Strom und Spannung wurde in Tabelle 1 (siehe Anhang) aufgenommen...“

## 6 Auswertung

### 6.1 Kennlinie der Pumpe

Damit die Pumpenkennlinie dargestellt werden kann, müssen die gemessenen Ströme für den Volumenstrom und den Druck erst in verwendbare Einheiten umgewandelt werden. Hierzu werden Proportionalitätsfaktoren und Kalibrierungsoffsets benötigt. Die Offsets wurden gemessen und betragen  $I_{off,Q} = 4,05mA$  und  $I_{off,p} = 5,868mA$ . Die Proportionalitätsfaktoren wurden in der Versuchsanleitung gegeben und betragen  $K_Q = 6,3 \frac{l}{min \cdot mA}$  und  $K_p = 0,6 \frac{bar}{mA}$ . Die Volumenströme in  $\frac{m^3}{h}$  lassen sich mittels Gleichung 4 berechnen und die Drücke in bar mittels Gleichung 5.

$$Q = (I_{mess} - I_{off,Q}) \cdot K_Q \cdot \frac{60 \frac{min}{h}}{1000 \frac{l}{m^3}} \quad (4)$$

$$p = (I_{mess} - I_{off,p}) \cdot K_p \quad (5)$$

Des weiteren müssen die Drücke in Förderhöhen umgewandelt werden. Hierzu wird die gravitationkonstante  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  und die Dichte des Wassers  $\rho = 998 \frac{kg}{m^3}$  benötigt. Dies erfolgt mit Gleichung 6, wobei der Druck in Pascal und nicht in bar angegeben werden muss.

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad (6)$$

Aus den im Anhang gegebenen Messtabelln ergibt sich die Abbildung 2.

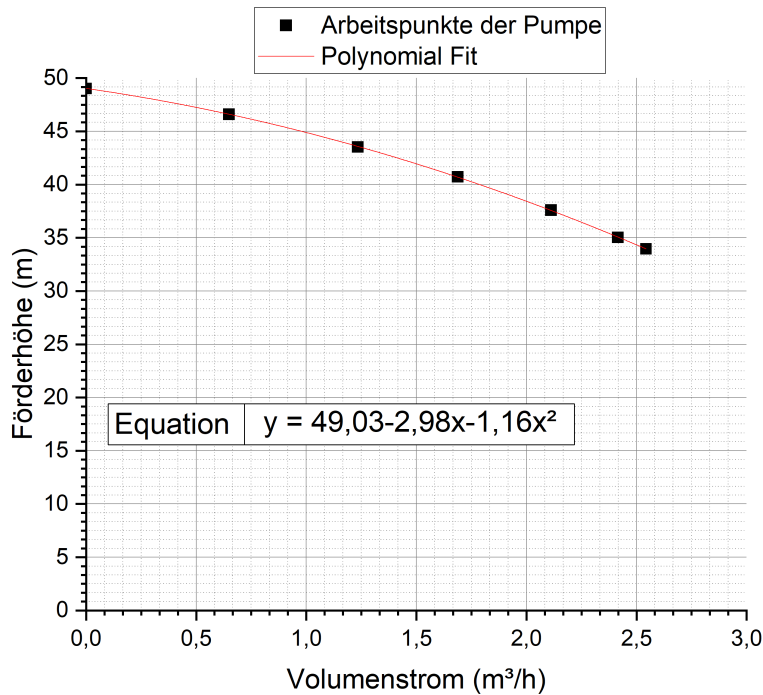


Abbildung 2: Pumpenkennlinie bei gemessenen Arbeitspunkten

## 6.2 Betriebspunkte der Pelton-Turbine

### 6.2.1 Berechnen Sie die hydraulische Leistung, die mechanische Leistung und die elektrische Leistung in jedem Arbeitspunkt.

Zur berechnung der hydraulischen Leistung werden erneut die Volumenströme und Förderhöhen benötigt, welche Analog zu dem vorgehen in Unterabschnitt 6.1 berechnet wurden. Die hydraulische Leistung wird mittels Gleichung 7 berechnet:

$$P_{Hyd.} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (7)$$

Die mechanische Leistung lässt sich mittels Gleichung 8 berechnen. Jedoch mussten zuerst die Messwerte des Kraftsensors ausgewertet und in ein Moment umgerechnet werden. Dieser hat zeitreihen der ausgeübten Kraft aufgezeichnet, von welchen die Mittelwerte gebildet wurden. Anschließend wurden diese Kräfte mit der Länge des Hebelarms  $l = 290\text{mm}$  verrechnet, um ein Moment heraus zu bekommen.

$$P_{Mech.} = M \cdot 2\pi \cdot n \quad (8)$$

Die elektrische Leistung lässt sich durch die Gemessenen Phasenströme und -Spannungen mittels Gleichung 9 berechnen:

$$P_{EL} = U \cdot I \quad (9)$$

Die Leistungen bei den verschiedenen Arbeitspunkten lassen sich in Tabelle 1 finden.

Tabelle 1: Drehzahlen, Leistungen und Wirkungsgrade der Pelton Turbine bei verschiedenen Arbeitspunkten

Drehzahl in $\text{min}^{-1}$	$P_{hyd.}$ in W	$P_{Mech.}$ in W	$P_{EL.}$ in W	$\eta_{Turbine}$
3180	298,927	-2,014	0,533	-0,67%
3130	297,214	1,325	42,990	0,45%
2970	296,785	23,337	142,288	7,86%
2800	296,785	40,993	258,249	13,81%
2600	296,785	50,566	363,731	17,04%
2430	296,357	59,603	438,209	20,11%
2230	295,929	60,693	473,889	20,51%
2050	295,029	62,358	482,203	21,14%
1930	294,579	58,116	482,203	19,73%
1820	294,130	57,654	473,889	19,60%
1750	294,130	57,198	473,889	19,45%
1640	292,830	53,868	491,036	18,40%
1360	292,830	51,171	461,418	17,47%
1220	293,727	46,710	423,573	15,90%
1100	293,727	43,527	389,711	14,82%
970	292,427	38,550	346,757	13,18%
875	292,852	35,740	321,555	12,20%
795	292,427	33,160	305,361	11,34%
705	292,405	30,200	276,435	10,33%
610	292,874	26,396	241,101	9,01%
535	292,427	23,772	218,238	8,13%

### 6.2.2 Bestimmen Sie den Turbinenwirkungsgrad und tragen diesen grafisch über der Drehzahl auf.

Die Turbinen Wirkungsgrade können durch Gleichung 10 berechnet und werden in Tabelle 1 Numerisch und in Abbildung 3 grafisch über die Drehzahl abgebildet.

$$\eta_{Turbine} = \frac{P_{Hyd.}}{P_{Mech.}} \quad (10)$$



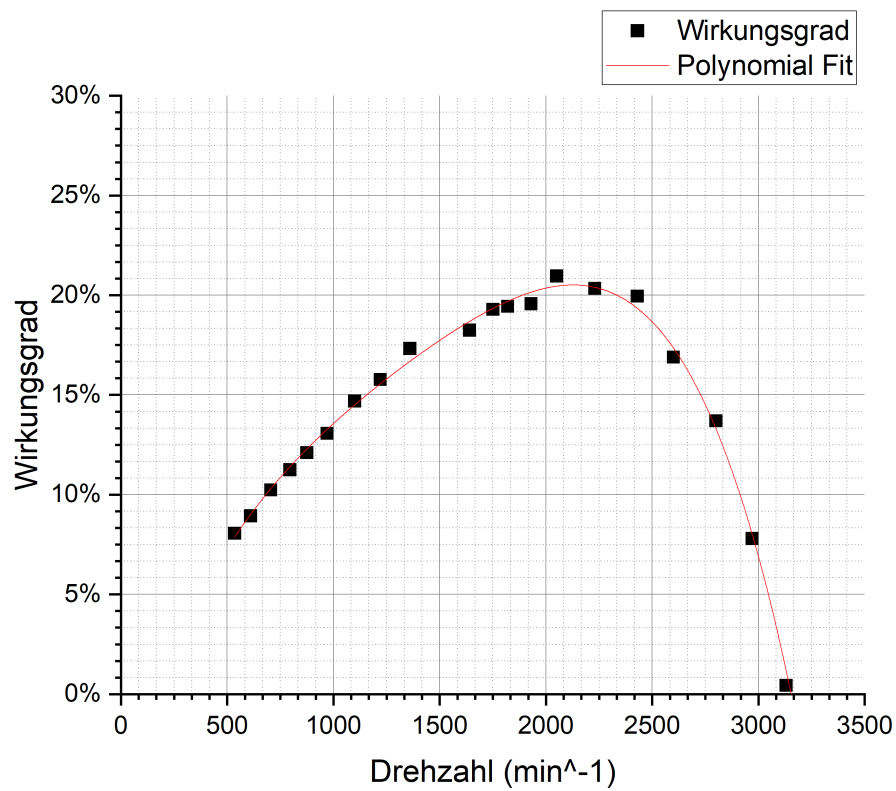


Abbildung 3: Turbinenwirkungsgrade über die Drehzahl

**6.2.3 Vergleichen Sie den Arbeitspunkt mit bestem Wirkungsgrad mit den theoretischen Betrachtungen**

**6.2.4 Interpretieren Sie evtl. auftretende Abweichungen des optimalen Arbeitspunkts.**

**6.3 Verlustbeiwert der Düse**

## 7 Quellen

### Literatur

## **8 Anhang**

In den Anhang gehört eine Kopie aller aufgenommenen Messdaten (vor der Weiterverarbeitung), ggf. mit Anmerkungen, sowie Datenblätter von Messgeräten und Maschinen soweit verfügbar.