



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
Lukas Aust	574051

# 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>2</b>
4.1	Wie ist die hydraulische Leistung definiert? . . . . .	2
4.2	Skizzieren Sie den typischen Verlauf einer Rohrleitungskennlinie . . . . .	2
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? . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>3</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. . . . .	6
6.2.3	Vergleichen Sie den Arbeitspunkt mit dem bestem Wirkungsgrad und mit den theoretischen Betrachtungen . . . . .	7
6.2.4	Interpretieren Sie evtl. auftretende Abweichungen des optimalen Arbeitspunkts. . . . .	8
6.3	Verlustbeiwert der Düse . . . . .	8
<b>7</b>	<b>Quellen</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>10</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Rohrleitungskennlinie bei vollständig geöffneter Düse . . . . .	2
2	Pumpenkennlinie bei gemessenen Arbeitspunkten . . . . .	4
3	Turbinenwirkungsgrade über die Drehzahl . . . . .	7
4	Arbeitspunkte der Turbine . . . . .	8

## Tabellenverzeichnis

1	Drehzahlen,Leistungen und Wirkungsgrade der Pelton Turbine bei verschiedenen Arbeitspunkten . . . . .	6
---	--	---

## 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

## 3 Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch wird eine Pelton-Turbine und die dazugehörige hydraulische Anlage vermessen. Den benötigten Wasserdruck erzeugt eine am Boden des Aufbaus befindliche Pumpe, welche über einen Kugelhahn geregelt werden kann. Von der Pumpe aus steigt das Wasser senkrecht auf und passiert dabei die erste Messstelle für den Wasserdruck. Danach knickt die Leitung um  $90^\circ$  ab und verläuft waagrecht. Auf der Waagerechten wird zunächst der Volumenstrom und dann erneut der Wasserdruck gemessen. Nach der Druckmessung knickt die Leitung erneut um  $90^\circ$  ab und verläuft nun nach unten. Im Knick der Leitung befindet sich der Hahn zur Kontrolle der Düse. Die Düse komprimiert dann den Wasserstrahl auf die Schaufeln der Pelton-Turbine, welche sich über einem Wasserbecken befindet und in einem Metallgehäuse ist.

An die Drehachse der Pelton-Turbine ist ein Synchrongenerator angeschlossen, dieser ist an einem (Hebel-)Arm befestigt und mit einem Sensor zur Messung der Kraftbelastung versehen. An den Synchrongenerator ist wiederum eine Schalttafel angeschlossen, welche die Einstellung und Messung des Erregerstroms ermöglicht, sowie die Einstellung des Lastwiderstandes. An diese Schalttafel werden zusätzlich 2 Multimeter angeschlossen, mit welchen die Leiterspannung und der Phasenstrom gemessen wird.

## 4 Vorbereitungsfragen

### 4.1 Wie ist die hydraulische Leistung definiert?

$$P_{\text{Eigenverbrauch}} = U_{LR} \cdot I_{LR} \cdot \dot{Q} = \dot{m} \cdot g \cdot H \quad (1)$$

### 4.2 Skizzieren Sie den typischen Verlauf einer Rohrleitungskennlinie

Dies ist die typische Rohrleitungskennlinie.

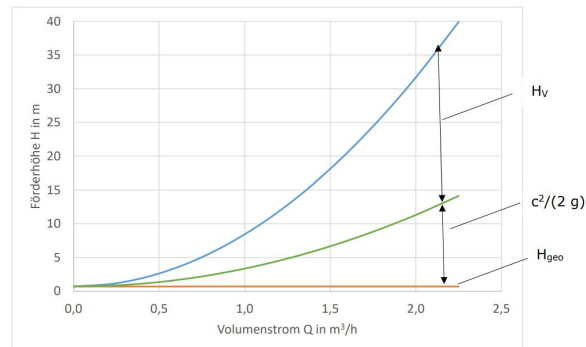


Abbildung 1: Rohrleitungskennlinie bei vollständig geöffneter Düse

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

Die mechanische Leistung  $P_{Mech.}$  ist in Gleichung 2 definiert.

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

Dabei ist  $n$  die Drehzahl und  $M$  das Moment. Somit ist die mechanische Leistung proportional zu der Drehzahl.

### 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 Düsenadel 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 verwwendbare 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 3 berechnen und die Drücke in bar mittels Gleichung 4.

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

$$p = (I_{mess} - I_{off,p}) \cdot K_p \quad (4)$$

Des Weiteren müssen die Drücke in Förderhöhen umgewandelt werden. Hierzu wird die Gravitationskonstante  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  und die Dichte des Wassers  $\rho = 998 \frac{kg}{m^3}$  benötigt. Dies erfolgt mit Gleichung 5, wobei der Druck in Pascal und nicht in bar angegeben werden muss.

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad (5)$$

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

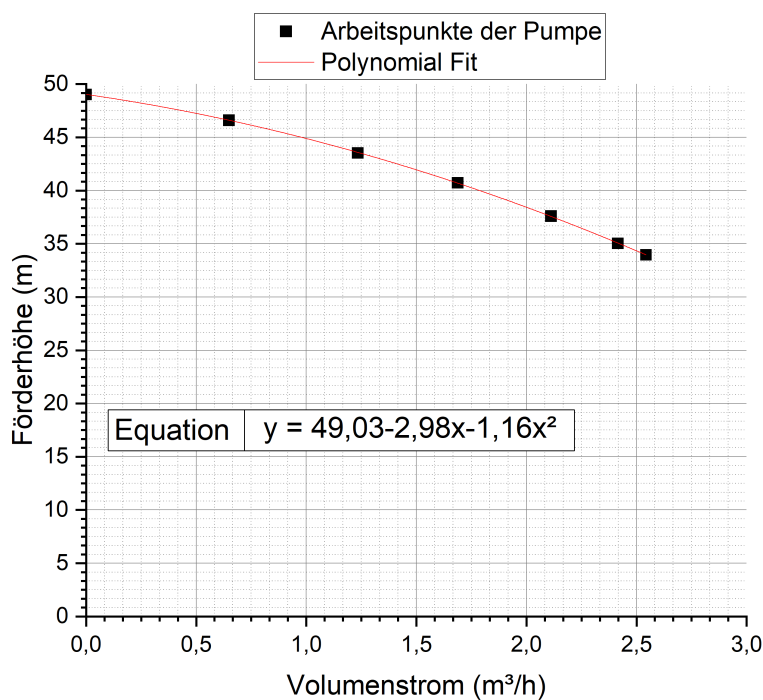


Abbildung 2: Pumpenkennlinie bei gemessenen Arbeitspunkten

## 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 6 berechnet:

$$P_{Hyd.} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (6)$$

Die mechanische Leistung lässt sich mittels der Gleichung 2 aus Unterabschnitt 4.3 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  $l = 290mm$  verrechnet, um ein Moment heraus zu bekommen. Die elektrische Leistung lässt sich durch die Gemessenen Phasenströme und -Spannungen mittels Gleichung 7 berechnen:

$$P_{El.} = U \cdot I \quad (7)$$

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 8 berechnet und werden in Tabelle 1 Numerisch und in Abbildung 3 grafisch über die Drehzahl abgebildet.

$$\eta_{Turbine} = \frac{P_{Hyd.}}{P_{Mech.}} \quad (8)$$

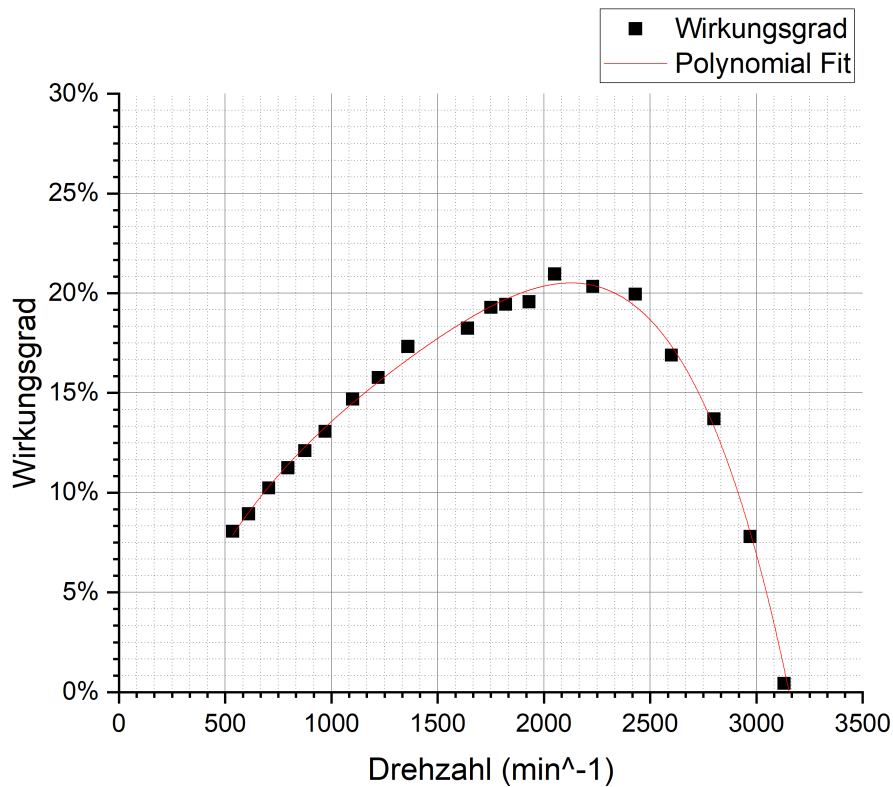


Abbildung 3: Turbinenwirkungsgrade über die Drehzahl

### 6.2.3 Vergleichen Sie den Arbeitspunkt mit dem bestem Wirkungsgrad und mit den theoretischen Betrachtungen

Um den Arbeitspunkt zu bestimmen wird die Gleichung der Umlaufgeschwindigkeit (Gleichung 9) mit Hilfe der Gleichung 10 nach der optimalen Drehzahl umgestellt.

$$u_{opt} = \frac{c_0}{2} = \pi \cdot u_{opt} \cdot d_2 \quad (9)$$

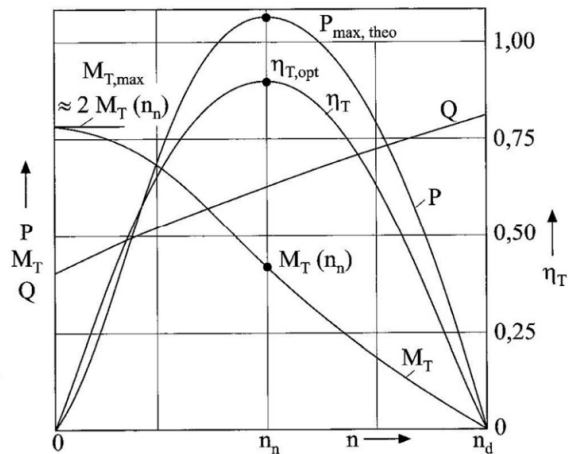
$$c_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_D^2} \quad (10)$$

Zum Bestimmen der Drehzahl wird der gemessene Wert  $Q$  zum Zeitpunkt des besten Wirkungsgrads ( $\eta = 21,14\%$ ), der Stahlkreis-Durchmesser  $d_2 = 96\text{mm}$  und der Durchmesser der Düse  $D_D = 7\text{mm}$  eingesetzt.

$$n_{opt} = \frac{c_0}{2 \cdot \pi \cdot d_2} = \frac{2 \cdot Q}{d_2 \cdot \pi^2 \cdot D_D^2} = 1766,23\text{min}^{-1} \quad (11)$$

Die optimale Drehzahl ergibt sich nach Gleichung 11 als 1766,23 Umdre-

Die gemessene Drehzahl zum Zeitpunkt des besten Wirkungsgrads ( $\eta = 21,14\%$ ) beträgt  $2050 \text{ min}^{-1}$  und liegt somit über der berechneten optimalen Drehzahl.



Wie in Abbildung 4 aus der Versuchsanleitung zu erkennen ist liegt die optimale Drehzahl theoretisch am gleichen Punkt wie der optimale Wirkungsgrad, was in dieser Messung nicht der Fall ist und auch nicht zu erwarten war. (umformulieren)

Wie zu erwarten war, entspricht der gemessene optimale Arbeitspunkt nicht dem berechneten. Das lässt sich vor allem auf Messungenauigkeiten und Fehler als auch auf die Leckagen am Versuchsaufbau zurück führen.

### 6.3 Verlustbeiwert der Düse

## 7 Quellen

Test [1, text]

## Literatur

- [1] Thermoelektrizität. <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelektrizit%C3%A4t#Seebeck-Effekt>. Accessed 30.04.2023-14:01.

## **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.