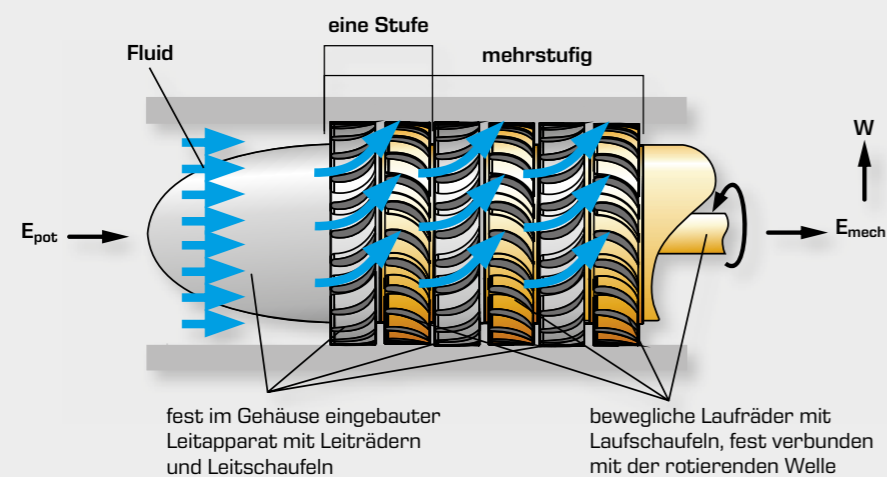


## Basiswissen Turbinen

Turbinen gehören zu den Strömungskraftmaschinen: Energie wird dem strömenden Fluid entzogen und nach außen in Form von mechanischer Arbeit abgegeben. Hauptbestandteile einer Turbine sind das umlaufende Laufrad und der fest eingebaute Leitapparat. Beide zusammen bilden eine Stufe. Oft ist die Ener-

gie, die dem Fluid entzogen werden soll, so groß, dass dies in einer Stufe nicht möglich ist. Dann schaltet man mehrere Stufen in Reihe und erhält eine mehrstufige Turbine. In der Praxis ist dies der Fall, wenn die Druckdifferenzen für eine Stufe zu hoch werden.



$E_{pot}$  potentielle Energie,  $E_{mech}$  mechanische Energie,  $W$  Arbeit, die von der Turbine abgegeben wird

### Turbinen können nach folgenden Merkmalen eingeteilt werden

#### 1. Arbeitsmedium

- Wasserturbinen
- Dampfturbinen
- Gasturbinen
- Windturbinen

#### 2. Funktionsprinzip

- Gleichdruckturbinen: Impulsturbinen, Aktionsturbinen, Freistrahlsturbinen, Durchströmturbinen
- Überdruckturbinen: Reaktionsturbinen

#### 3. Strömungsrichtung

- Axialturbinen
- Radialturbinen
- Diagonalturbinen

Nach diesen Merkmalen sind auch die GUNT-Turbinen eingeteilt.

In der Industrie sind weiterhin folgende Unterteilungen üblich:

- nach der äußeren Bauweise: z. B. entsprechend der Wellenlage oder der Wasserzuführung: Schachtturbinen, Spiralturbinen, Rohrturbinen etc.
- nach Betriebsart: entweder im reinen Turbinenbetrieb oder im Umkehrbetrieb als Pumpenturbine
- nach Regelung: einfachgeregelt nur über den Leitapparat oder doppeltgeregelt über Leitapparat und Einstellungen am Laufrad

Aufgrund der vielen Merkmale kommt es zu Überschneidungen und Turbinen lassen sich sowohl der einen als auch der anderen Gruppe zuordnen.

### Einteilung nach dem Funktionsprinzip

Trotz der Vielzahl an Unterscheidungsmerkmalen, kann eine grundlegende Einteilung in **Gleichdruck-** und **Überdruckturbinen** erfolgen. Bei dieser Einteilung ist die Umsetzung der Energie entscheidend.

Bei allen Turbinen ändert das Arbeitsmedium seinen Druck und damit seine potentielle Energie im Leitapparat. An den Laufrädern jedoch unterscheidet sich Gleich- von Überdruckturbinen.

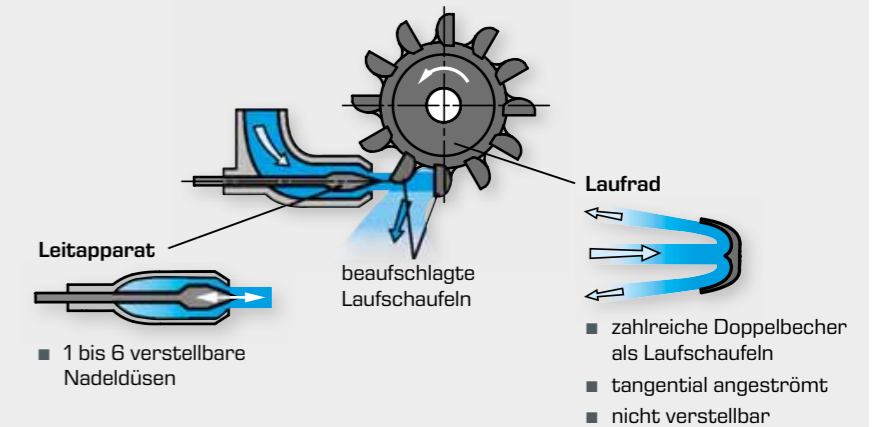
#### Gleichdruckturbinen

In Gleichdruckturbinen wird die potentielle Druckenergie im Leitapparat vollständig in kinetische Energie umgewandelt. Das Laufrad wird druckfrei und teilbeaufschlagt durchströmt. Teilbeaufschlagt bedeutet, dass nur einige der Laufschaufeln gleich-

zeitig vom Strahl beaufschlagt werden. Ein typisches Beispiel für eine Gleichdruckturbine ist die **Peltonturbine**.



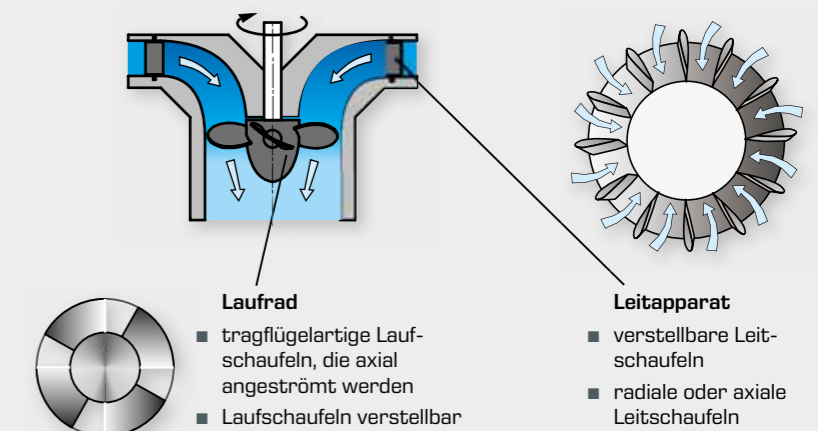
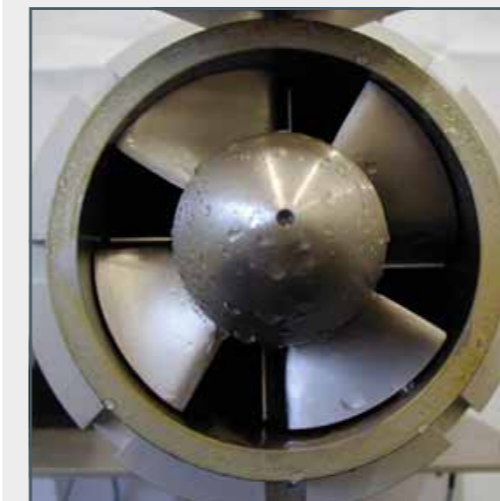
Laufrad mit Doppelbechern als Laufschaufeln und Nadeldüsen



#### Überdruckturbinen

In Überdruckturbinen ist der Druck am Laufradeintritt größer als am Austritt. Die Umwandlung der potentiellen Druckenergie wird auf Leitapparat und Laufrad aufgeteilt. Die kinetische Energie wird dann im Laufrad in mechanische Arbeit umgewan-

delt. Das Laufrad wird vollbeaufschlagt durchströmt. Vollbeaufschlagt bedeutet, dass der komplette Umfang der Laufräder vom Arbeitsmedium durchströmt wird. Ein typisches Beispiel für eine Überdruckturbine ist die **Kaplan-turbine**.

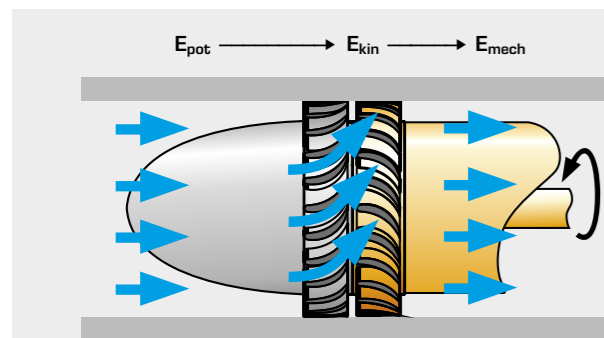


# Basiswissen Turbinen

## Einführung in die Turbinen-Theorie am Beispiel einer einstufigen Axialturbinen

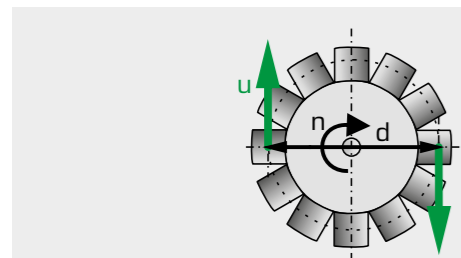
Axialturbinen sind zur Erklärung der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten sehr gut geeignet: sie können als Gleichdruckturbinen eingesetzt werden oder nach dem Überdruckprinzip arbeiten.

Ebenso ist das Arbeitsmedium bei Axialturbinen sehr unterschiedlich: Sie können sowohl mit Wasser, als auch mit Dampf oder Gas betrieben werden. Im Folgenden beziehen sich alle Angaben auf Axialturbinen.



### Energie

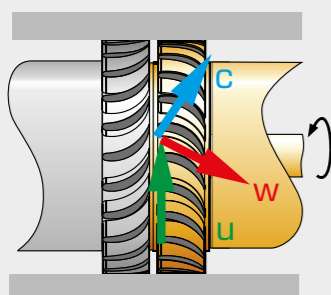
Innerhalb der Turbinen findet eine Energieumwandlung statt. Ziel ist es, aus der Energie des strömenden Fluids einen nutzbaren Energieanteil in Form von mechanischer Arbeit zu gewinnen. Im Fluid ist sowohl potentielle Energie (Druck) als auch kinetische Energie (Geschwindigkeit) enthalten. Die potentielle Energie wird im ersten Schritt auch in kinetische Energie des Fluids umgewandelt. Im zweiten Schritt wird die kinetische Energie des Fluids in mechanische Energie umgewandelt, die genutzt werden kann.



### Geschwindigkeiten

Das Laufrad mit dem Durchmesser  $d$  dreht sich mit der Drehzahl  $n$ , so dass sich in der Mitte der Laufschaufel die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  einstellt. Die Richtung von  $u$  verläuft immer senkrecht zur Drehachse. Diese Richtung wird als Umfangsrichtung bezeichnet.

- $u$  Umfangsgeschwindigkeit,
- $n$  Drehzahl,
- $d$  Durchmesser

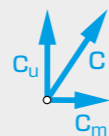


- $c$  Absolutgeschwindigkeit,
- $w$  Relativgeschwindigkeit,
- $u$  Umfangsgeschwindigkeit

Die **Umfangsgeschwindigkeit**  $u$  bezieht sich auf das Laufrad. Sie ist am Laufradeintritt und Laufradaustritt gleich.

Die **Relativgeschwindigkeit**  $w$  entspricht der Geschwindigkeit der Strömung gegenüber dem drehenden Laufrad.

Die **Absolutgeschwindigkeit**  $c$  ist die Strömungsgeschwindigkeit gegenüber der festen Umgebung. Sie gibt Auskunft über die kinetische Energie des Fluids. Die Absolutgeschwindigkeit lässt sich in ihre beiden Komponenten  $c_u$  in Umfangsrichtung und  $c_m$  in axialer Richtung zerlegen.

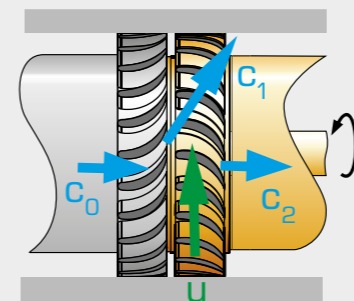


Mathematisch stehen die drei Geschwindigkeiten in folgender Beziehung:

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

Alle Geschwindigkeiten sind vektorielle Größen und lassen sich in ihre Komponenten in Umfangsrichtung sowie in radialer und axialer Richtung zerlegen.

## Der Weg zur Nutzung der Energie: Wie wird die im Fluid enthaltene Energie in der Turbinen umgesetzt?



Index 0 kennzeichnet den Leitradeneintritt, Index 1 den Leitradaustritt bzw. Laufradeintritt, Index 2 den Laufradaustritt.

Das Fluid strömt mit der Geschwindigkeit  $c_0$  in das Leitrad. Durch die Geometrie der Leitschaufeln wird das Fluid beschleunigt und trifft mit der Geschwindigkeit  $c_1$  auf die Laufschaufel. Die Laufschaufel lenkt das Arbeitsmedium um. Die Umlenkung erzeugt eine Kraft an der Laufschaufel, so dass sich das Laufrad mit der Umfangsgeschwindigkeit  $u$  dreht.

Die Absolutgeschwindigkeit des Fluids wird beim Durchströmen des Laufrads aufgrund der Energieabgabe an das Laufrad von  $c_1$  zu  $c_2$  vermindert.

Aus der Kraft an der Laufschaufel lässt sich die Arbeit berechnen, die vom Fluid an die Turbinen abgegeben wird. Da sich innerhalb der Fluidenergiemaschine die übertragene Arbeit auf die Masse des Fluids beziehen lässt, spricht man von **spezifischer Arbeit**. In der Literatur werden auch die Bezeichnungen **spezifische Schaufelarbeit** oder **Stutzenarbeit** verwendet.

### Euler'sche Strömungsmaschinen-Hauptgleichung

$$Y = \Delta (u \cdot c_u)$$

$Y$  spezifische Arbeit,  $u$  Umfangsgeschwindigkeit,  $c_u$  Komponente der Absolutgeschwindigkeit in Umfangsrichtung

Die spezifische Arbeit ist ein Indiz für das Energiegefälle zwischen Ein- und Austritt und entspricht dem nutzbaren Energieanteil. Berechnet wird die spezifische Arbeit über die **Euler'sche Strömungsmaschinen-Hauptgleichung**.

### Für Turbinen gilt:

$$Y = u_1 \cdot c_{1u} - u_2 \cdot c_{2u}$$

Bei Turbinen wirken die Geschwindigkeiten am Laufradeintritt antreibend auf das Laufrad, die Geschwindigkeiten am Laufradaustritt wirken bremsend. Daher werden sie subtrahiert.

Der Energiegewinn bzw. die gesamte spezifische Arbeit entsteht aus dem Geschwindigkeitsabfall von  $c_1$  zu  $c_2$  in Umfangsrichtung.

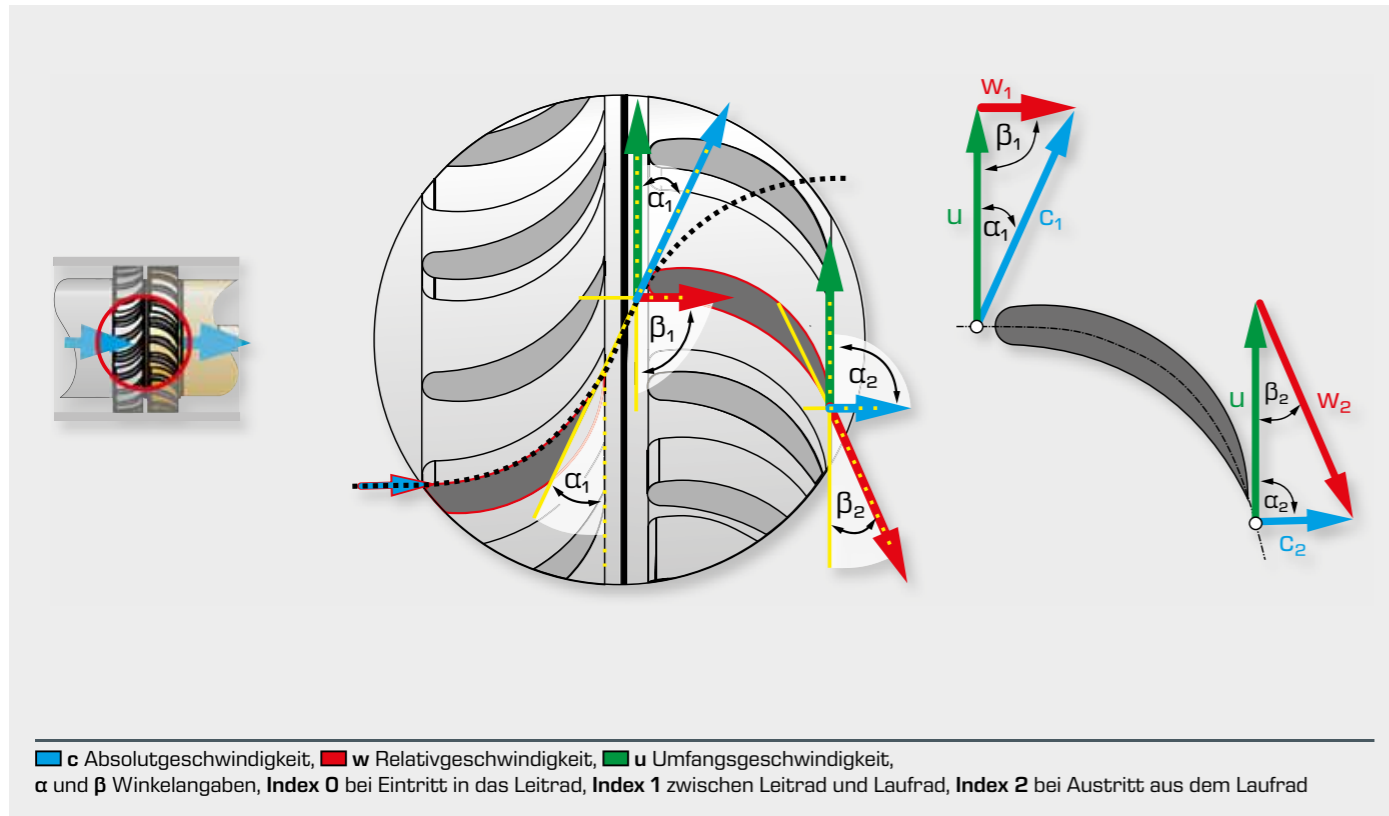
Der Geschwindigkeitsabfall bzw. der Energiegewinn ist in Geschwindigkeitsdreiecken gut zu erkennen.

Basiswissen  
Turbinen

## Geschwindigkeitsdreiecke

Geschwindigkeitsdreiecke dienen der Veranschaulichung von Strömungsverhältnissen. Strömungsgeschwindigkeiten kennzeichnen den jeweiligen Zustand einer Strömung. Um Änderungen der kinetischen Energie zu bestimmen, werden Strömungsgeschwindigkeiten nach Betrag und Richtung ermittelt. Geschwindigkeitsdreiecke werden dazu als Hilfsmittel genutzt.

Bei der Auslegung einer Turbine spielen Geschwindigkeitsdreiecke eine entscheidende Rolle, um den maximal nutzbaren Energieanteil zu ermitteln. Bei Änderung der Auslegungsparameter können mit Hilfe von Geschwindigkeitsdreiecken sehr anschaulich die Auswirkungen dargestellt werden.



Die **Absolutgeschwindigkeit c** ist die Strömungsgeschwindigkeit gegenüber der festen Umgebung. Die Richtung von  $c_1$  entspricht der Tangente der Leitschaufelkrümmung (dem Winkel  $\alpha_1$ ) am Austritt des Leitrads.

Bei Eintritt in das Leitrad sind Absolutgeschwindigkeit  $c_0$  und Relativgeschwindigkeit  $w_0$  gleich.

Die **Relativgeschwindigkeit w** entspricht der Geschwindigkeit der Strömung gegenüber dem drehenden Laufrad. Die Richtung von  $w$  entspricht der Tangente der Laufschaufelkrümmung (den Winkeln  $\beta_1/\beta_2$ ) an der betrachteten Stelle.

Die **Umfangsgeschwindigkeit u** bezieht sich auf das Laufrad. Sie ist am Laufradeintritt und Laufradaustritt gleich.

Die schwarze, gepunktete Linie entspricht der Stromlinie eines Fluidteilchens, das die Turbine durchläuft. An der Laufschaufel kann für jeden Punkt entlang der Stromlinie aus den drei Geschwindigkeiten nach Betrag und Richtung das entsprechende Geschwindigkeitsdreieck gezeichnet werden.

In der Grafik sind der Laufradeintritt und Laufradaustritt dargestellt. Die gelben Linien sind Hilfslinien, um die Tangenten der Krümmung der Laufschaufel darzustellen und Winkel zu bestimmen.

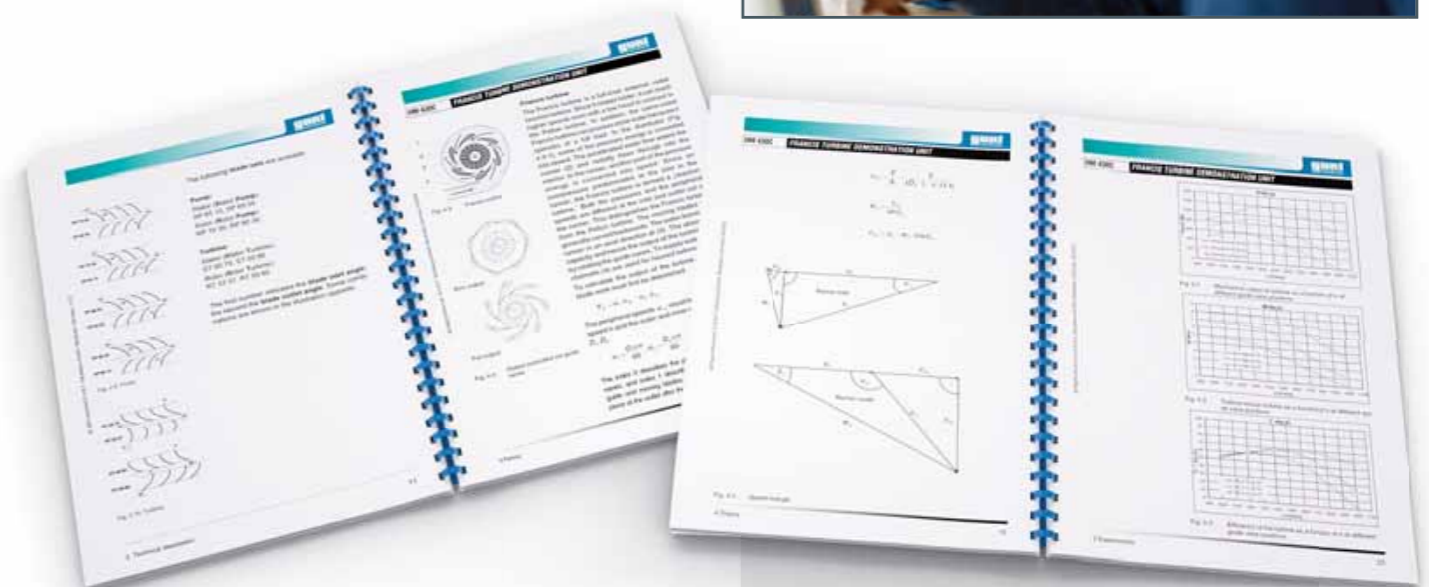
Alle Winkelangaben zu den Geschwindigkeiten gelten für den Betrieb im Auslegungspunkt mit optimaler Anströmung an der betrachteten Stelle.

## Das didaktische Begleitmaterial

Zu allen Versuchsgeräten von GUNT gehört das didaktische Begleitmaterial. Dieses ist weit mehr als eine reine Bedienungsanleitung des Gerätes.

Mit dem didaktischen Begleitmaterial bekommen Sie:

- eine detaillierte Gerätebeschreibung mit ausführlicher Bedienungsanleitung
- Theorie mit Hintergrundwissen
- ausgewählte Referenzversuche
- Versuchsmaterial wie vorgefertigte Tabellen und Diagramme
- Vorschläge zur Versuchsauswertung bis hin zu Interpretation der Versuchsergebnisse; teilweise in digitaler Form über die mitgelieferte GUNT-Software



Bei den Fluidenergiemaschinen aus dem GUNT-Programm werden die Einzelheiten zu den Geschwindigkeitsdiagrammen erläutert. Das Aufstellen der Geschwindigkeitsdreiecke wird detailliert beschrieben. Die Unterschiede zwischen Geschwindigkeitsdreiecken von Kraft- und Arbeitsmaschinen werden erläutert.

