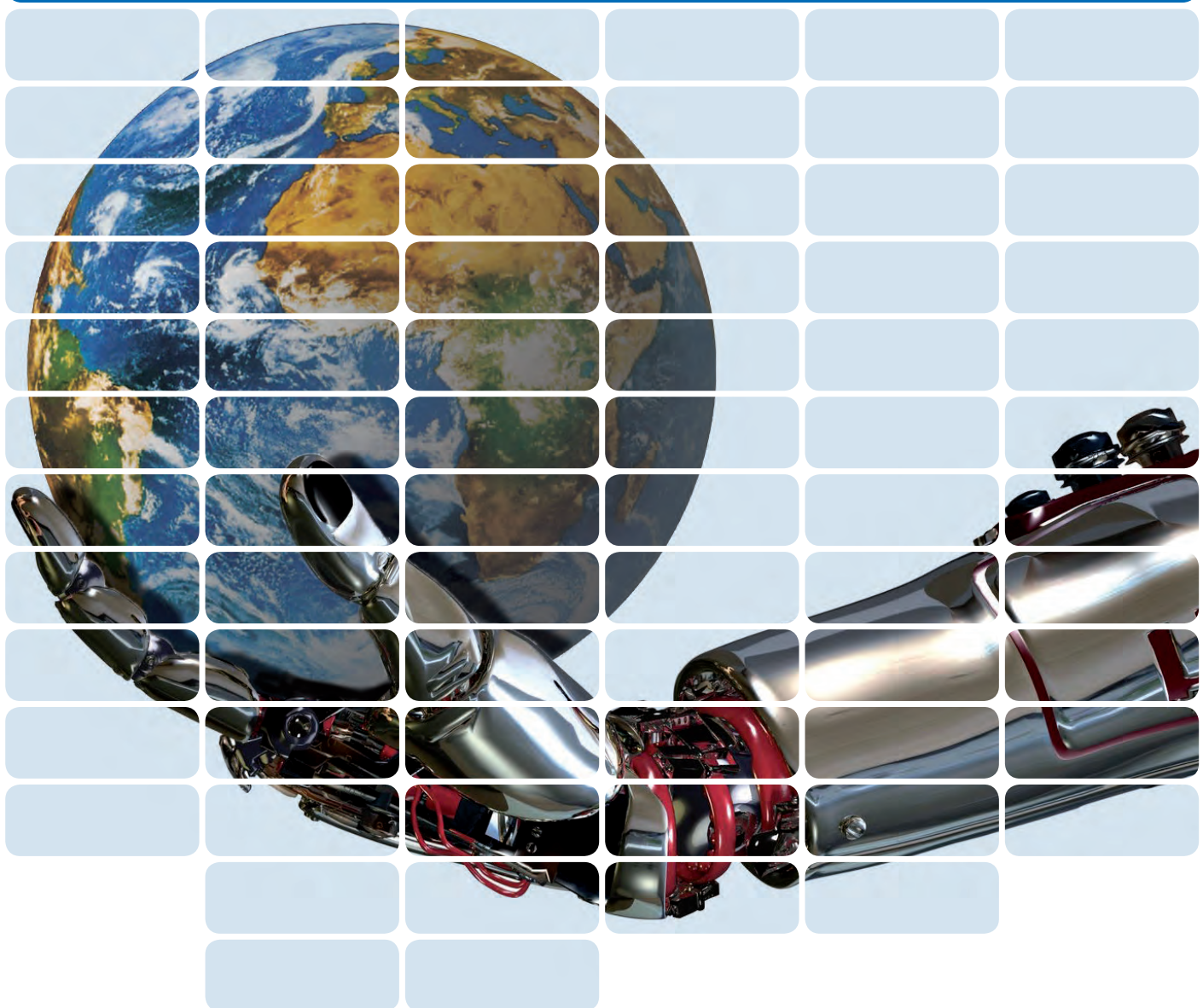


# MachineWorld

Einführung in die Maschinenteknik



**1. Einteilung**

1.1	Systemtechnische Grundlagen	6
-----	-----------------------------	---

**2. Lösbare Verbindungen**

2.1	Gewinde	10
2.2	Schraubverbindungen	21
2.3	Stifte und Bolzen	33
2.4	Wellen- und Nabenverbindungen	43
2.5	Kegel	53

**3. Nichtlösbare Verbindungen**

3.1	Nietverbindungen	60
3.2	Pressverbindungen	67
3.3	Klebeverbindungen	75
3.4	Lötverbindungen	83
3.5	Schweissverbindungen	91

**4. Übertragungselemente**

4.1	Wellen und Achsen	108
4.2	Lager und Führungen	115
4.3	Riemen	133
4.4	Ketten	139
4.5	Zahnräder	143
4.6	Getriebe	153
4.7	Kupplungen	165
4.8	Federn	175
4.9	Dämpfungselemente	183
4.10	Dichtungen	191

**5. Projekt Modell-Hubschrauber**

5.1	Aufgaben	201
-----	----------	-----

**6. Arbeits- und Kraftmaschinen**

6.1	Einteilung	212
6.2	Pumpen	219
6.3	Verdichter	239
6.4	Verbrennungsmotoren	253

**7. Erneuerbare Energien**

7.1	Einteilung	276
7.2	Sonnenenergie	277
7.3	Wasserkraftanlagen	287
7.4	Windkraftanlagen	297
7.5	Wärmepumpen	303

**8. Freiraum Maschinentechnik**

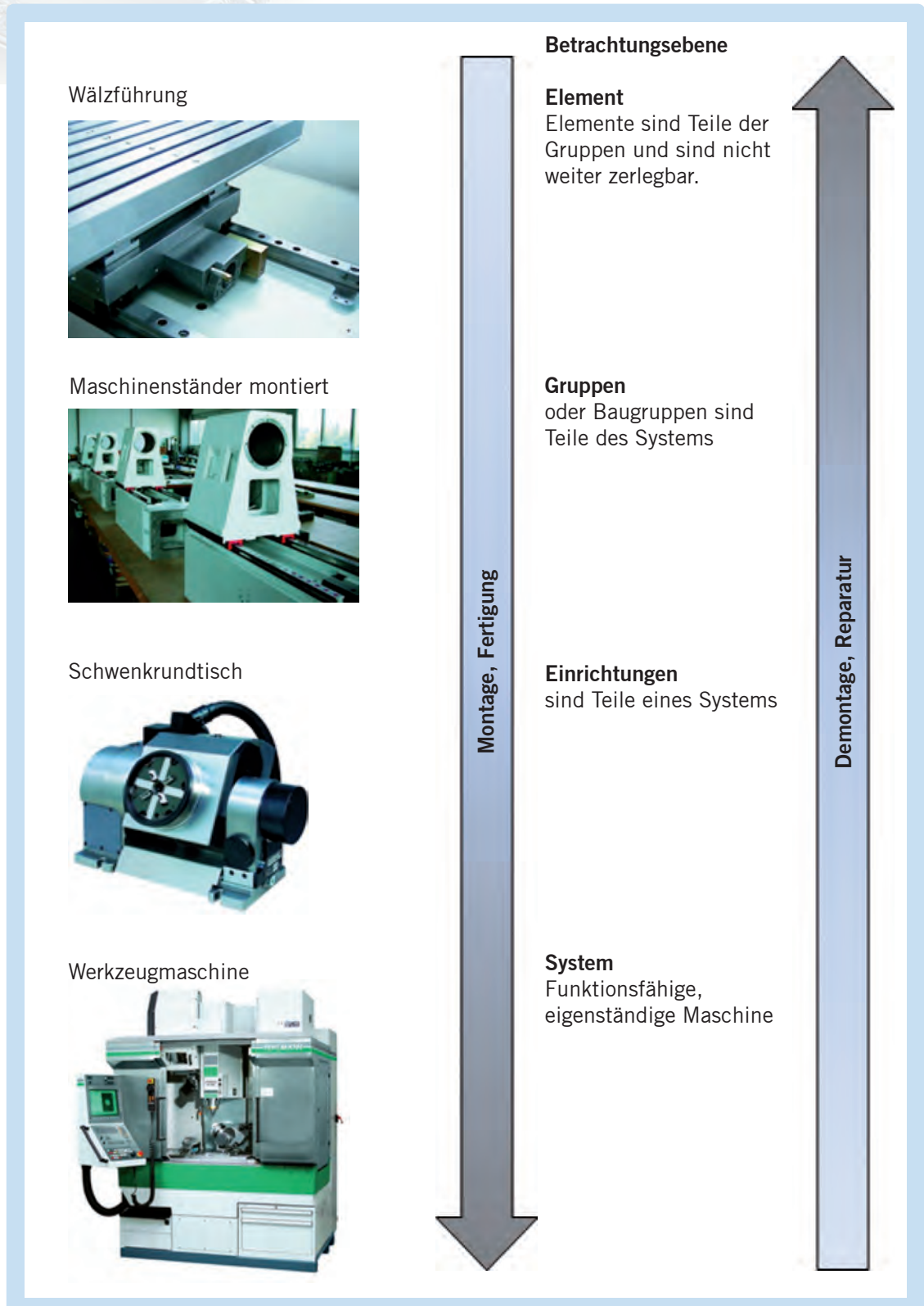
8.1	Strahltriebwerke	310
8.2	Gas- und Dampfturbinen	323
8.3	Kältemaschinen	331

**9. Projekt Sesselbahn**

9.1	Aufgaben	336
-----	----------	-----

# 1.1 Systemtechnische Grundlagen

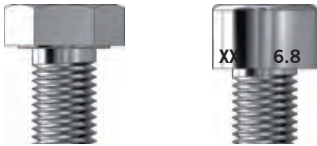
Für die Montage oder Wartung von Maschinen ist es wichtig, Kenntnisse über den inneren Aufbau (Funktion und Struktur) von Systemen, z.B. einer Werkzeugmaschine, zu haben. Man muss z.B. defekte Bauteile erkennen und austauschen können. An Maschinen sind immer ähnliche Elemente und Gruppen vorhanden. Dies können Getriebe, Motoren, Wellen, Schrauben, Federn und vieles andere mehr sein.



## 2.2.4. Festigkeitsklassen

Damit eine Schraubverbindung richtig dimensioniert werden kann, wurden Festigkeitsklassen festgelegt. Diese werden abgekürzt als Zahl auf dem Schraubenkopf resp. auf der Mutter angegeben.

### Schraube



XX = Herstellerzeichen

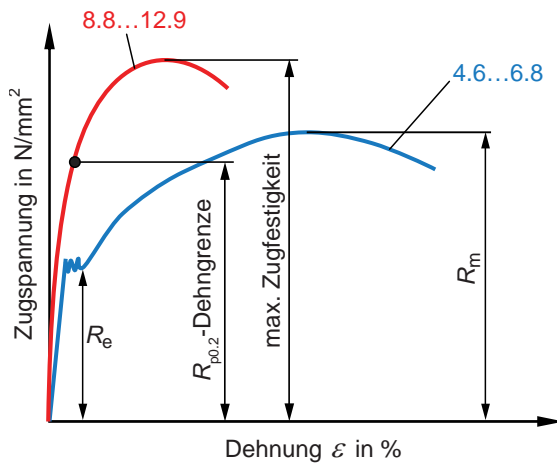
#### 6.8

Die erste Zahl (**6**) gibt  $1/100$  der Zugfestigkeit in  $\text{N/mm}^2$  an.

$$R_m = 6 \times 100 \text{ N/mm}^2 = 600 \text{ N/mm}^2$$

Das Produkt beider Zahlen (**6** mal **8**) ergibt  $1/10$  der Streckgrenze in  $\text{N/mm}^2$ .

$$R_e = 6 \times 8 \times 10 \text{ N/mm}^2 = 480 \text{ N/mm}^2$$



Die Zugfestigkeit  $R_m$  einer Schraube ist die Zugspannung, ab der ein Bruch im Schaft oder im Gewinde (nicht im Kopf) eintreten kann.

Die Streckgrenze  $R_e$  ist die Zugspannung, ab der bei zunehmender Zugkraft die Dehnung überproportional zunimmt. Nach Entlastung bleibt die Dehnung erhalten.

$R_{p0,2}$ : Bezeichnung bei Schrauben mit einer nicht ausgeprägten Streckgrenze.

### Mutter



Bei Muttern erfolgt die Festigkeitsangabe durch eine Zahl. Bei einer Mutter-Schrauben-Verbindung muss auf gleiche Festigkeitsklassen geachtet werden.

### Vergleich

Festigkeitsklasse	Schraube		Mutter	Verbindung	
	Zugfestigkeit $R_m$ in $\text{N/mm}^2$	Streckgrenze $R_e$ bzw. 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ in $\text{N/mm}^2$		Beanspruchung der Verbindung	Werkstoff der Fügeteile
		$R_e$	$R_{p0,2}$		
6.8	600	480	6	niedrig	alle Baustähle
8.8	800		8	mittel	
10.9	1000		10	hoch	Baustähle ab S355
12.9	1200		12	sehr hoch	Vergütungsstähle

## Bauformen

### Einteilung

Zylinderstift



Kegelstift



Kerbstift



Spannstift



Bolzen

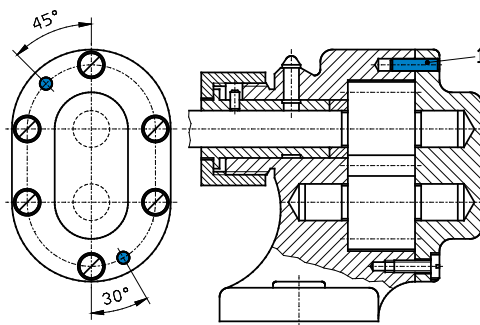


## Verwendung

### Verbindungselement

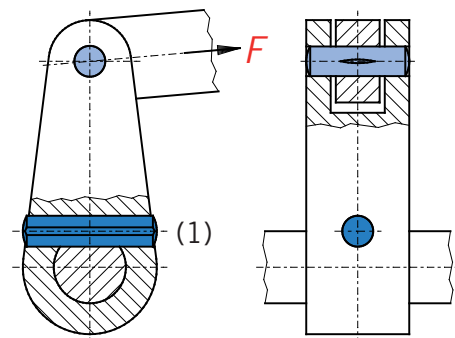
#### Passtifte

Passtifte (1) sichern die genaue Lage von Maschinenteilen zueinander. Durch eine asymmetrische Anordnung der Stifte wird eine lagerichtige Montage gewährleistet.



#### Befestigungsstifte

Befestigungsstifte verbinden Maschinenteile miteinander. Die Bohrung wird oft erst nach dem Ausrichten der Teile erstellt (1).

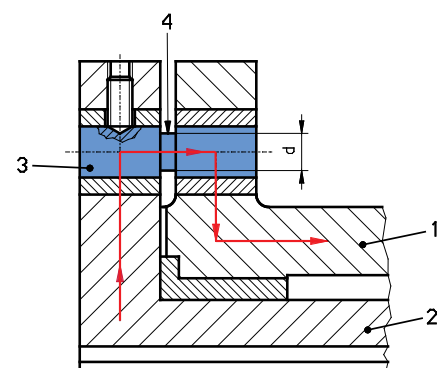


### Sicherungselement

#### Abscherstifte

Sie schützen die Maschinenteile vor Überbeanspruchung und Zerstörung.

Flanschnaben (1) und (2) werden durch mehrere gekerbte Stifte mit Eindrehung (3) miteinander verbunden. Sollbruchquerschnitte (4) sind so bemessen, dass sie bei dem höchstzulässigen Drehmoment abscheren und den Kraftfluss unterbrechen.



### Bauelement

Ein Stift kann auch als Bauelement (Federhalterung) eingesetzt werden.



Motorradständer

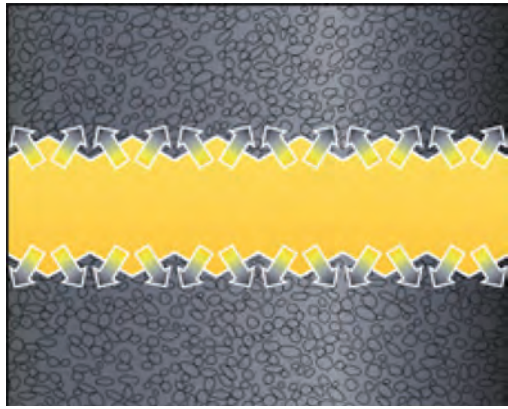
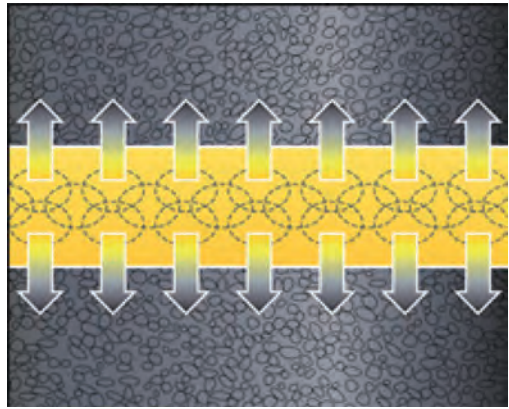


## Grundlagen des Klebens

Klebstoffe haben meist eine geringere Festigkeit und Wärmebeständigkeit als die zu verbindenden Werkstoffe. Die Nachteile müssen bei der Auswahl des Klebers und der Gestaltung der Klebeverbindung berücksichtigt werden.



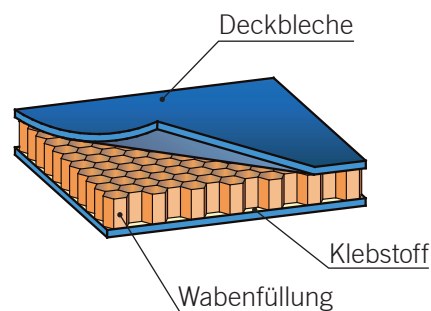
0306

<p style="text-align: center;"><b>Adhäsion</b> Verbindung des Klebstoffes mit dem Werkstück</p>	<p style="text-align: center;"><b>Kohäsion</b> Zusammenhalt innerhalb des Klebstoffes</p>
	
<p>Adhäsionskräfte nehmen zu, wenn die Werkstücke richtig vorbehandelt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verunreinigungen entfernen</li> <li>• Flächen aufrauen entfetten und trocknen</li> </ul>	<p>Kohäsionskräfte nehmen zu, wenn dünne Klebschichten angestrebt werden.</p>

### Anwendungen

#### Verbinden von Bauteilen

Zum Beispiel werden Flugzeugrümpfe geklebt. Auch Sandwich-Platten für die Luft- und Raumfahrt sind geklebt. Bei der Re 460 (Lok 2000) werden die Führerstandverschaltungen aus Kunststoff an den metallenen Lokomotivkasten geklebt.



**Sichern von Schrauben** gegen das Lösen.

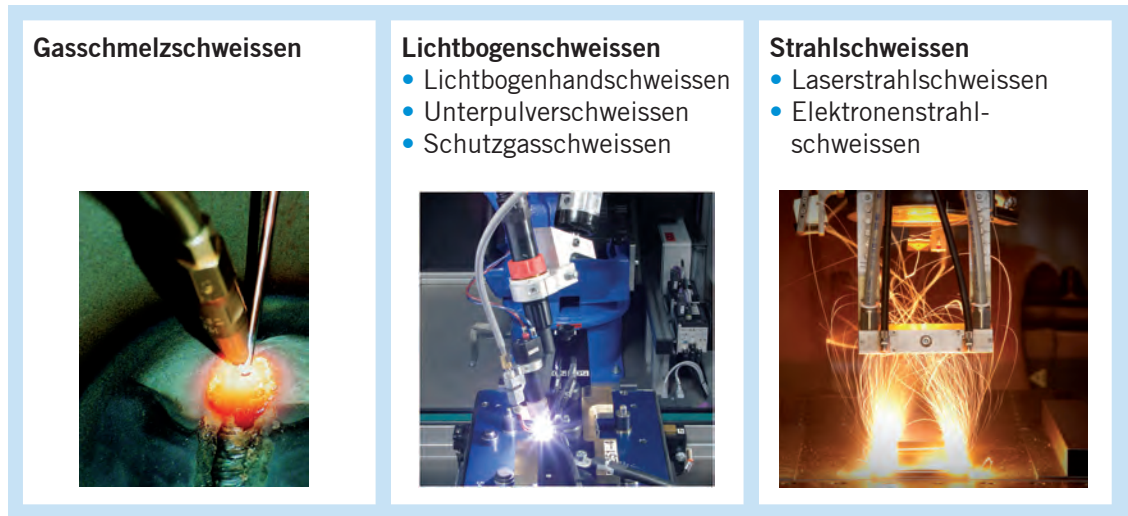
#### Dichten von Fügeflächen

Der Einsatz von Dichtungsklebstoffen ist oft wirtschaftlicher als die Herstellung und Montage kompliziert geformter Flachdichtungen.

### WISSENSWERT

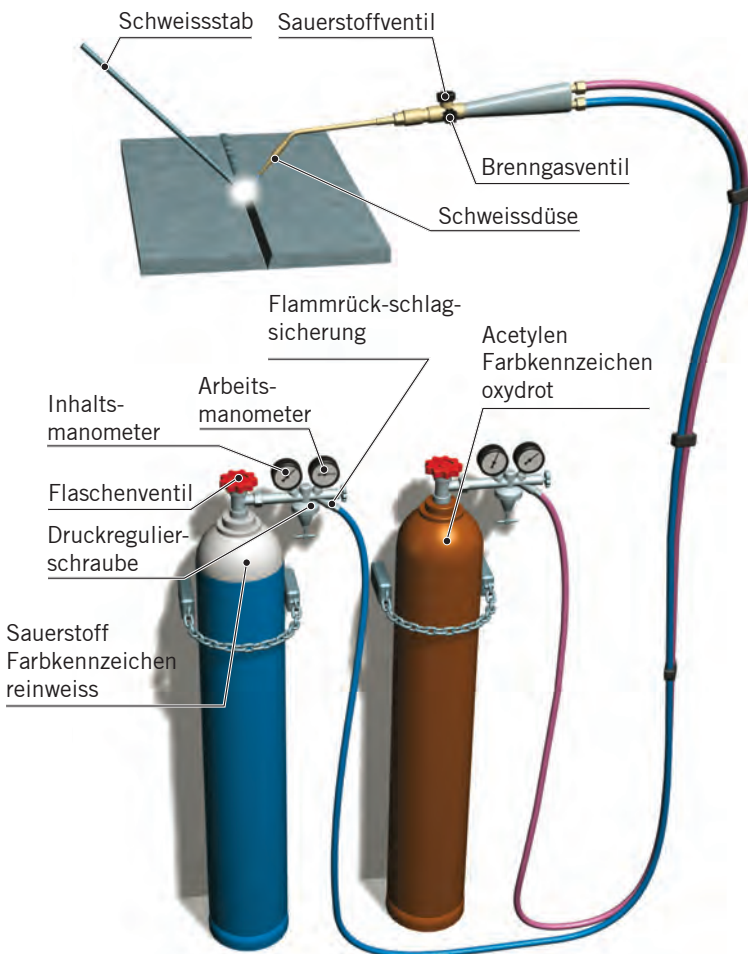
*Um ein optimales Ergebnis beim Kleben zu erhalten, sind neben der Teilegeometrie und der Materialpaarung unbedingt die Herstellerangaben zu beachten, wie auch das Ablaufdatum.*

### 3.5.2. Schmelzschweissen



#### Gasschmelzschweissen

Beim Gasschmelzschweissen (Autogenschweissen) wird der Werkstoff an der Schweißstelle durch die Verbrennungswärme eines Gases zum Schmelzen gebracht.



Gasschmelzschweissanlage

#### Werkstoffe

Unlegierte und niedriglegierte Stähle bis 3 mm Dicke.

#### Art der Fertigung

Der Zusatzwerkstoff wird von Hand zugeführt

#### Energieträger

Gasflamme aus Sauerstoff und Brenngas. Als Brenngas wird Acetylen wegen der hohen Arbeitstemperatur verwendet (wird auch zum Löten verwendet).

#### Schweisszusätze

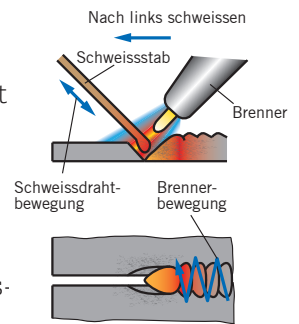
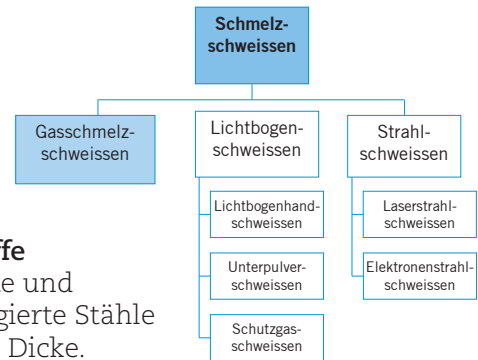
Blanke Schweißstäbe

#### Anwendung

Handschweißverfahren: wird häufig als Verbindungsschweissen bei Stahlrohren eingesetzt.

#### Sicherheit

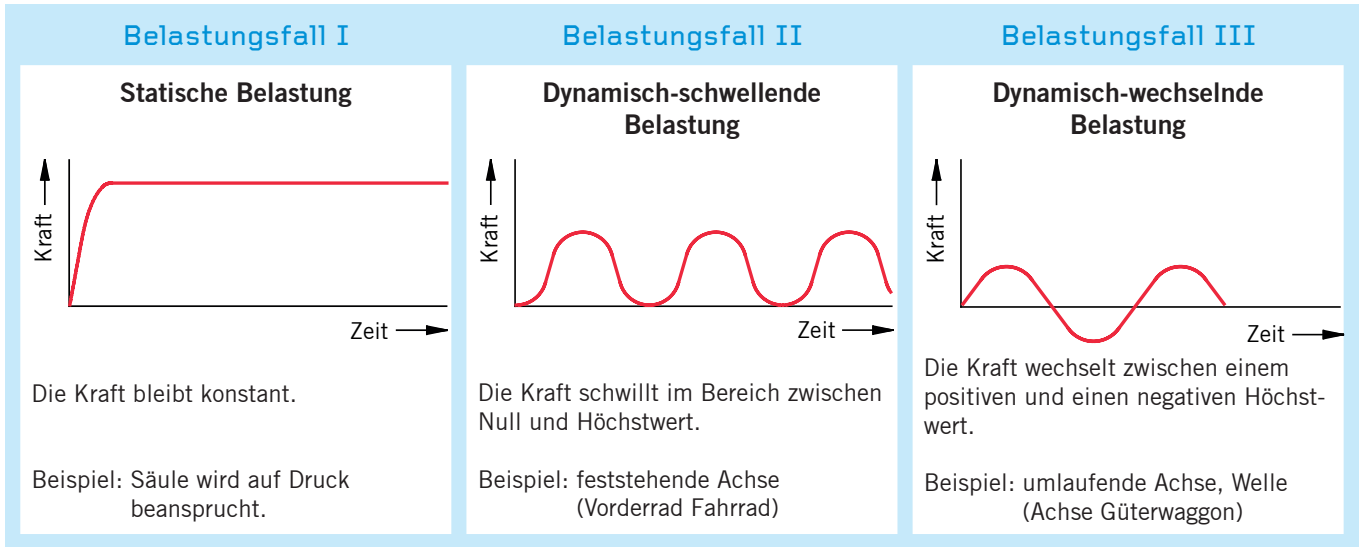
- Tragen einer Schutzbrille mit dunklen Gläsern.
- Beim Schweißen in kleinen Räumen ist für Frischluft zu sorgen.
- Gasflaschen sind gegen das Umfallen zu sichern sowie vor Stoss, Erwärmung und Frost zu schützen.



**Belastungsfälle**

**Aufgabe 4.1.1:** Zeichnen Sie in die Diagramme die Belastungskurven ein.

Nach dem zeitlichen Verlauf der Kräfte unterscheidet man:



**Kerbwirkung**

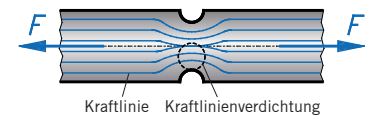
Die Höhe der Spannung in einer Achse oder Welle hängt auch von den Querschnittsveränderungen (Übergänge, Einstiche, Bohrungen, Nuten usw.) und der Oberflächenqualität ab. Am Übergang zwischen zwei verschiedenen Durchmessern bei Wellen und Achsen tritt verstärkt Kerbwirkung auf.



Bei glatten Achsen oder Wellen verlaufen die Kraftlinien störungsfrei.



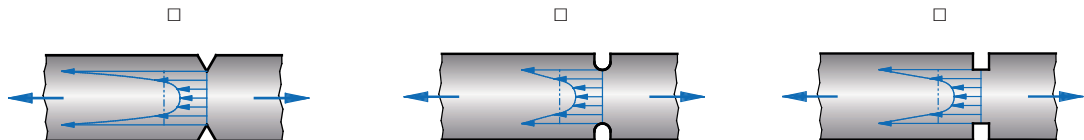
Stören Kerben den gleichmässigen Kraftschluss, kommt es zu Verdichtungen der Kraftlinien und somit zu Spannungserhöhungen im Bereich der Kerbe.



Die Spannung hängt sehr stark von der Form und Grösse der Kerbe ab.

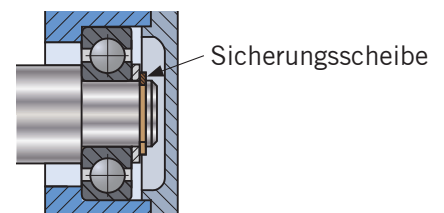


**Aufgabe 4.1.2:** Welche der Zeichnungen bezeichnet den gefährlichsten Fall?



**WISSENSWERT**

Sicherungsringe und -scheiben erfordern schmale, scharfkantige Nuten in der Welle, die nur im unbelasteten Teil der Welle (Wellenende) erlaubt sind.





## Einteilung

### Gelenkketten

- Rollenketten
- Bolzenketten



### Gliederketten

- Last- und Transportketten

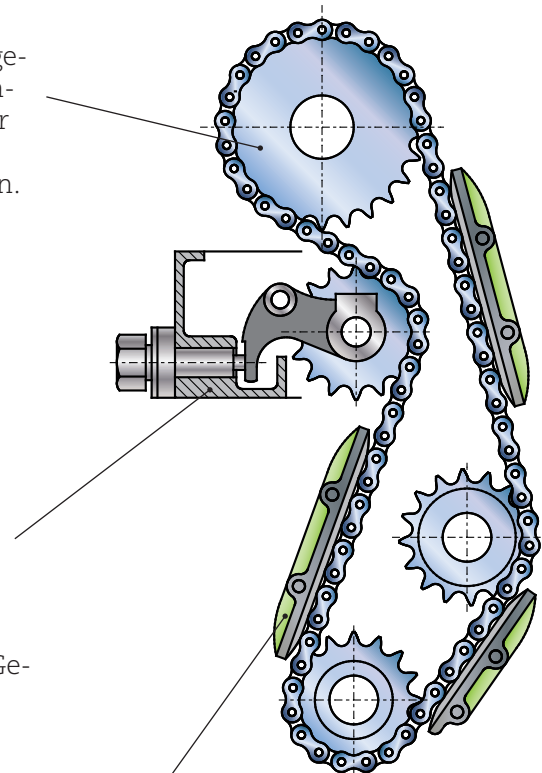


## Kettentrieb

Die Kettentriebeile und die Anordnung der Teile haben auf die Funktion und die Lebensdauer einen wesentlichen Einfluss.

### Kettenräder

Die meisten Kettentriebe verwenden eine ungerade Anzahl an Kettengliedern. Durch den Einsatz eines antreibenden Kettenrades mit einer ebenfalls ungeraden Anzahl an Zähnen kann ein gleichmäßiger Verschleiss erreicht werden.



### Kettenspanner

Die Kette muss dauernd leicht gespannt sein, weil eine lose Kette Spiel aufweist und somit übermäßiger Verschleiss von Kette und Kettenrädern zur Folge hätte. Zudem würde sie Geräusche verursachen (rasseln).



### Kettenführungen

Schwingungen vor allem auf der rücklaufenden Kettenspannung werden oft durch zusätzliche Kettenführungen und durch Spannrollen verringert.



0412

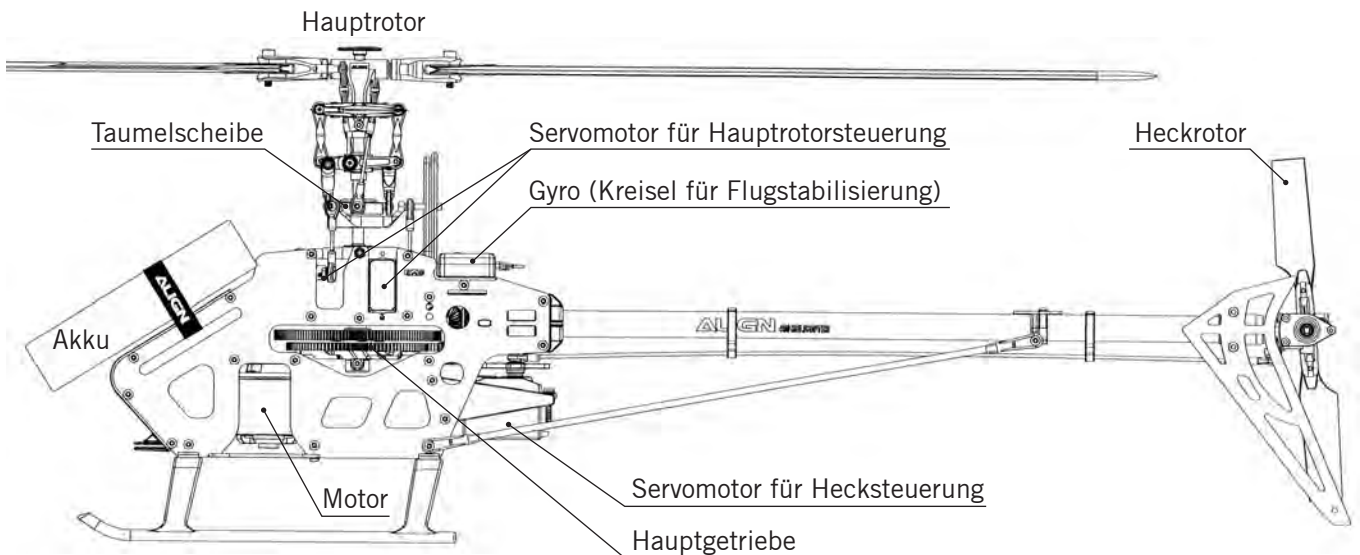
# Modell-Hubschrauber

Der elektrisch angetriebene Hubschrauber hat eine kollektive Blattverstellung, d.h. der Anstellwinkel für alle Rotorblätter wird gemeinsam eingestellt. Der bürstenlose Motor wird von einem Lithium-Polymerakku mit Strom versorgt. Der Hubschrauber hat eine hohe Laufruhe und Spurtreue.

Länge	635 mm
Höhe	230 mm
Hauptrotor	ø710 mm
Heckrotor	ø158 mm
Hauptgetriebe	$i = 10,7:1$
Heckrotor	$i = 4,24:1$
Motor	$U = 7,4 \dots 14,8 \text{ V}$
	$P_{\max} = 400 \text{ W}$



## 5.1 Übersicht



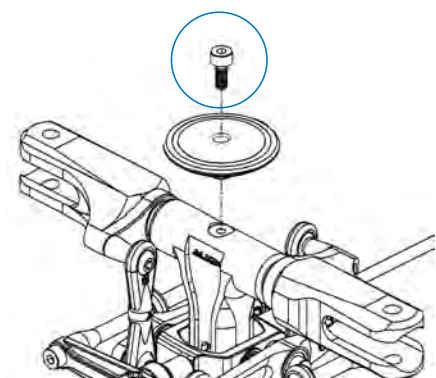
### 5.1.1 Hauptrotor

#### Aufgabe 5.1.1:

Die Rotorkopfbremse wird gemäss Zeichnung mit einer Schraube  $\varnothing 2 \text{ mm}$  und einer Länge von 5 mm befestigt.

Wie lautet die Normbezeichnung der Schraube?





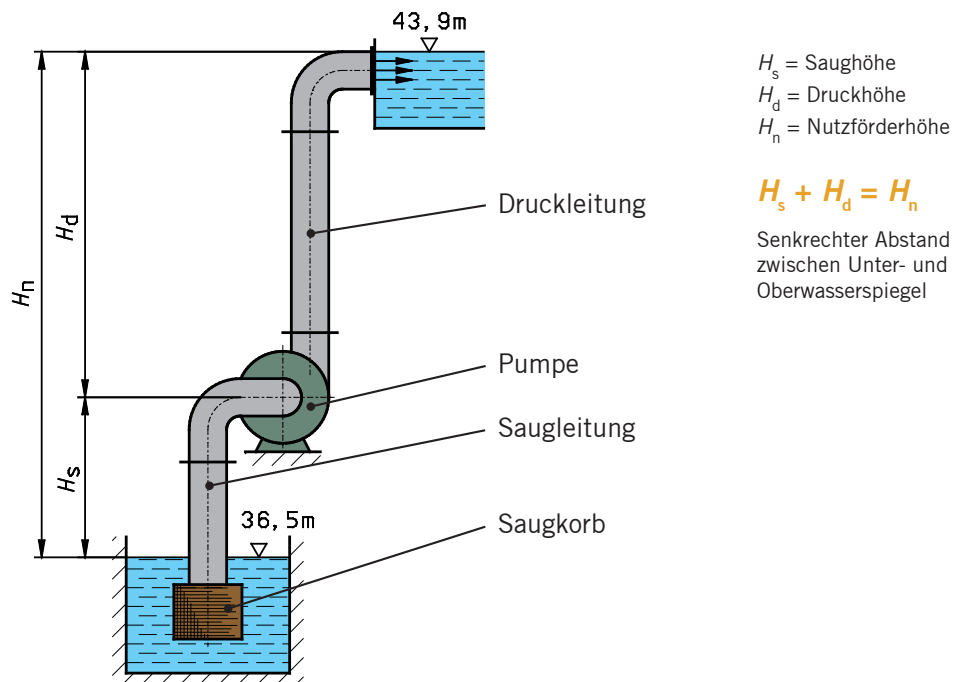
Rotorkopf

**Aufgabe 5.1.2:** Wie wird die Schraube gesichert, und weshalb?

## Einteilung



## Bezeichnungen



Nutzförderhöhe  $H_n$ : wird auch als geodätische Förderhöhe bezeichnet  
 Druckhöhe  $H_d$ : wird auch als geodätische Druckhöhe bezeichnet  
 Saughöhe  $H_s$ : wird auch als geodätische Saughöhe bezeichnet

## Teilsysteme

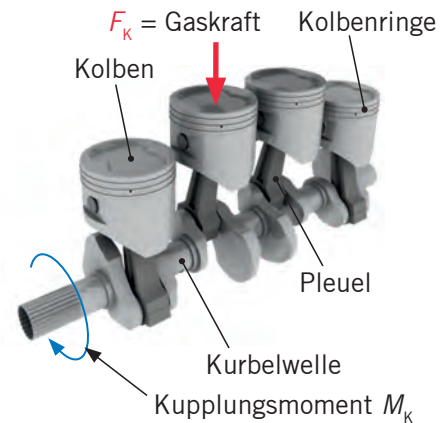
### Kurbeltrieb

Die Aufgaben des Kurbeltriebs sind:

- Die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine drehende Bewegung der Kurbelwelle umzuwandeln.
- Die durch den Verbrennungsdruck entstandene Kolbenkraft über die Pleuelstange zur Kurbelwelle zu leiten. Durch die Kröpfung der Kurbelwelle entsteht ein Drehmoment an der Kurbelwelle.

Die Bauteile des Kurbeltriebs sind:

- Kolben mit Kolbenringen und Kolbenbolzen
- Pleuelstange mit Pleuellager
- Kurbelwelle mit Kurbelwellenlager
- Schwungrad



### Kolben

Der grundsätzliche Aufbau des Kolbens ist für alle Motoren gleich. Die Kolben unterscheiden sich jedoch in:

- Festigkeit
- Grösse und Form
- Belastbarkeit (mechanisch, thermisch)

Kolbenwerkstoffe:

- Aluminium-Kupfer-Legierungen
- Aluminium-Silizium-Legierungen
- Keramik



### Pleuel/Pleuelstange

Der Pleuel stellt die Verbindung zwischen Kolben und Kurbelwelle dar. Der Pleuel sollte bei einer hohen Festigkeit trotzdem eine geringe Masse haben, deshalb wird der Pleuel aus folgenden Werkstoffen hergestellt:

- Vergütungsstahl, legiert
- Hochwertige Aluminiumlegierung
- Titan (Hochleistungsmotoren)
- Sinterwerkstoffe



Die Fertigung erfolgt durch:

- Gesenkschmieden
- Giessen
- Sintern

### Kurbelwelle

Die Kurbelwelle wandelt die Pleuelstangenkraft in ein Drehmoment um. Die Bauform wird durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Motorbauform
- Zylinderzahl
- Grösse des Hubes
- Zahl der Kurbelwellenlager

Gebäuchliche Herstellungsverfahren:

- Giessen
- Schmieden (idealer Faserverlauf)
- Modellbauweise (z.B. Grossmotoren)

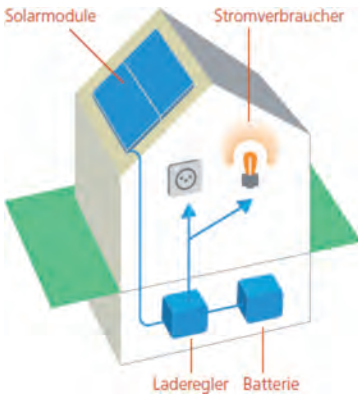




## Fotovoltaik

Unter Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Lichtenergie aus Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Mit Fotovoltaik-Modulen wird aus Sonnenlicht Gleichstrom erzeugt.

Inselanlage:



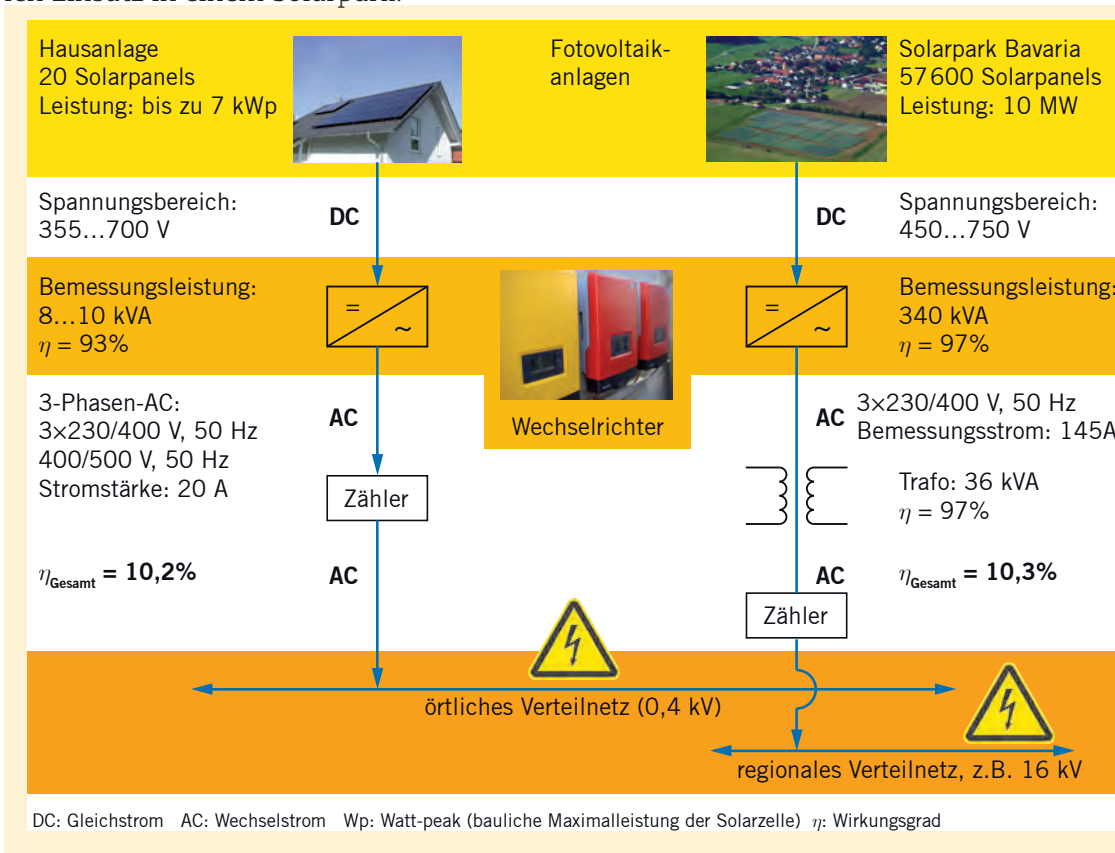
Netzgekoppelte Anlage:



Legende:  
 1 Wechselrichter DC/AC  
 2 Einspeisung-kWh-Zähler  
 3 Verbraucher-kWh-Zähler

### Solarstrom fürs Netz

Die Grafik stellt zwei Möglichkeiten der Stromerzeugung für das öffentliche Netz mittels Fotovoltaik gegenüber: den dezentralen Einsatz im Privathaushalt und den zentralen Einsatz in einem Solarpark.



### WISSENSWERT

Fotovoltaische Anlagen sind saubere, autonome, zuverlässige Energieproduzenten und haben eine lange Lebensdauer und benötigen geringe Wartung.



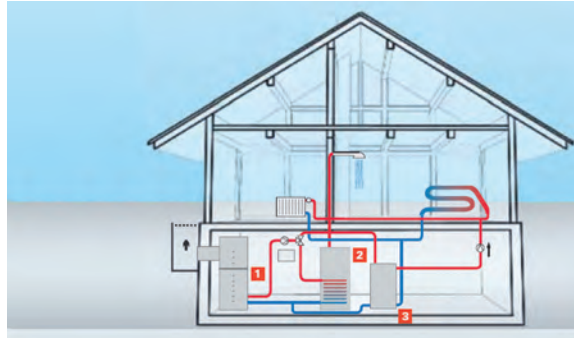
## Wärmequellen für die Wärmepumpenheizung

### Wärmepumpenheizung mit Luft als Wärmequelle

Die Luft-Wärmepumpe nutzt die von der Sonne erwärmte Aussenluft.

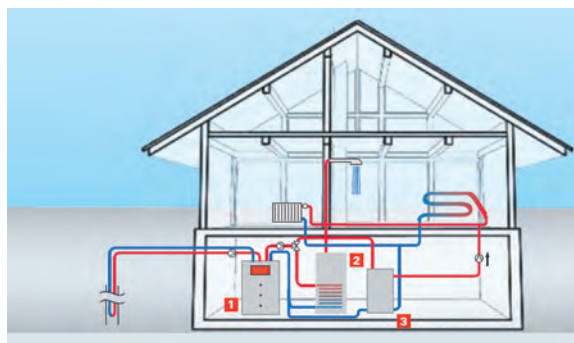
Legende:

- 1 Wärmepumpe
- 2 Boiler
- 3 Speicher



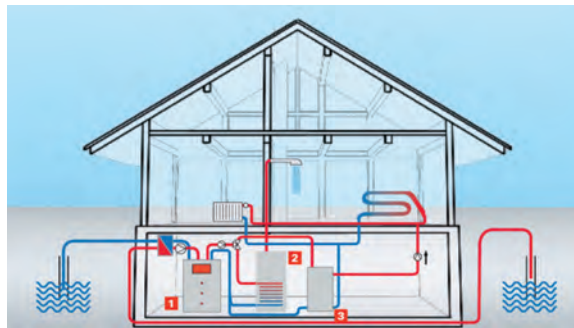
### Wärmepumpenheizung mit Tiefensonde als Wärmequelle

Die Erdwärme wird dabei mit speziellen Erdsonden entnommen, die bis zu 100 m tief in die Erde führen. Die Temperatur liegt dort ganzjährig konstant bei ca. 10 °C.



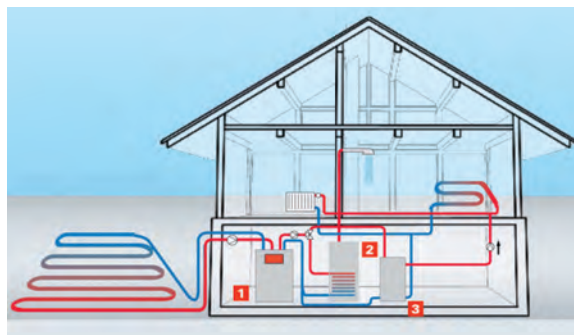
### Wärmepumpenheizung mit Grundwasser als Wärmequelle

Die Wasser/Wasser-Wärmepumpe bezieht die Wärme aus dem Grundwasser, dessen Temperatur unabhängig von der Jahreszeit und der Aussentemperatur konstant ist. Aus einem Saugbrunnen wird das Grundwasser entnommen und nach der Warmegewinnung in einen Schluckbrunnen zurückgeführt.



### Wärmepumpenheizung mit Erdreich als Wärmequelle

Die Sole/Wasser-Wärmepumpe nutzt die Wärme aus dem Erdreich. Dort herrscht ganzjährig eine fast gleichmässige Temperatur. Ein Erd-Kollektor in 1,5 m Tiefe, wie eine Heizschlange verlegt, entzieht der Erde die Wärme.



### WISSENSWERT

*Unsere Umwelt wird von der Sonne erwärmt. Deshalb sind Grundwasser, Flüsse und Seen, das Erdreich und die Aussenluft ständig verfügbare (erneuerbare) Energiespeicher.*

## Triebwerktypen mit technischen Daten

### Turbojet

Eines der erfolgreichsten Triebwerke für Kampfflugzeuge in der Geschichte der US-Luftwaffe. Dieses Triebwerk treibt die Kampfflugzeuge F-15 und F-16 an.

#### Technische Daten

Max. Schub 130 kN

Druckverhältnis 30,7

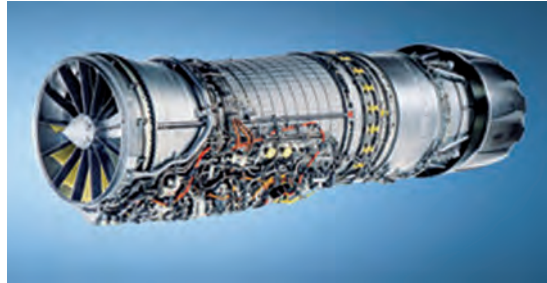
Nebenstromverhältnis 0,76:1

Länge 4620 mm

Max. Durchmesser 1181 mm

Gewicht (trocken) 1805 kg

- Zweiwellen-Zweistromtriebwerk mit Nachbrenner
- Konvergent-divergente Schubdüse
- Digitaler Triebwerkregler



### Turbofan

Dieses Triebwerk kommt im Langstreckenbereich, beispielsweise beim Airbus A380, zum Einsatz.

#### Technische Daten

Schub 340 kN

Nebenstromverhältnis 9:1

Druckverhältnis 43,9:1

Länge 4740 mm

Fan-Durchmesser 2950 mm

- zweiwelliger Turbofan
- fünfstufiger Niederdruckverdichter
- neunstufiger Hochdruckverdichter
- zweistufige Hochdruckturbine
- sechsstufige Niederdruckturbine
- Niedriger Kraftstoffverbrauch bei Reisegeschwindigkeit
- Geringe Lärmemission
- Geringes Gewicht



### Turboprop

Das TP400-D6 kommt im Militärtransporter Airbus A400M zum Einsatz.

#### Technische Daten

Leistung (in Seehöhe) 8200 kW

Länge 3500 mm

Durchmesser Propeller 5330 mm/  
8 Blätter

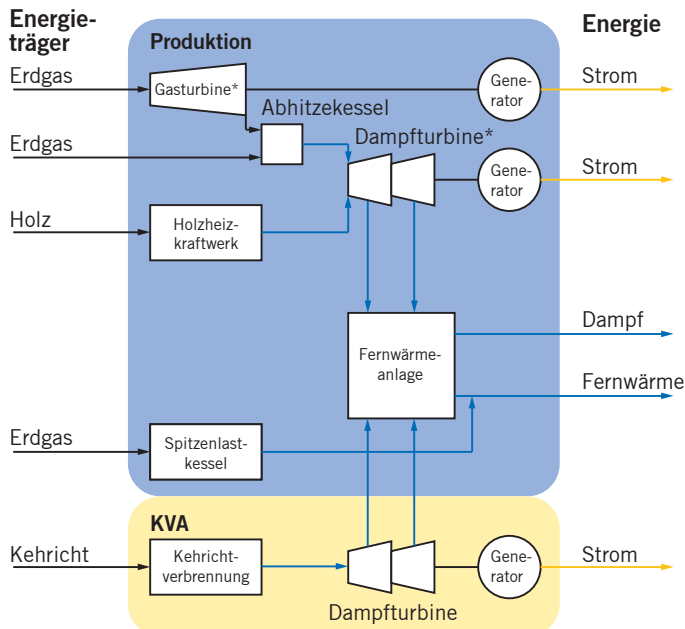
Gewicht ca. 1860 kg

- Stärkster westlicher Turboprop
- Niedrige Unterhaltskosten
- Lebensdauer der Teile gemäss zivilen Standards



## Energiezentrale Forsthaus in Bern

Die Anlage produziert mit einer Kehrichtverwertungsanlage (KVA) mit einem Holzheizkraftwerk (HHKW) und einem Gas- und Dampf-Kombikraftwerk (GuD) Strom, Wärme und Dampf für die Stadt Bern. Die Energiezentrale Forsthaus deckt rund einen Drittel des städtischen Stromverbrauchs.



\*Beide Turbinen bilden das GuD

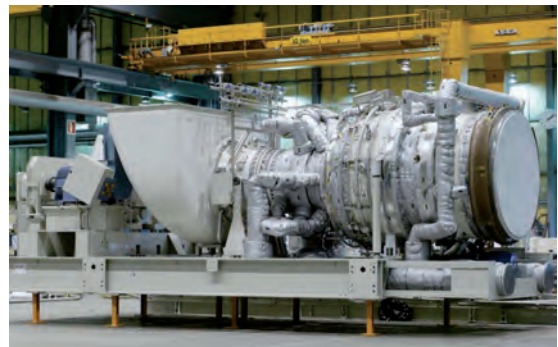
### Technische Daten

Kapazität KVA:	110 000 t Kehricht pro Jahr
Kapazität HHKW:	112 000 t Holzschnittel pro Jahr
Kapazität GuD:	650 000 MWh Gas pro Jahr
Abgegebene Fernwärme:	ca. 250 000 MWh pro Jahr
Abgegebener Dampf:	ca. 40 000 MWh pro Jahr
Stromproduktion:	ca. 360 000 MWh pro Jahr
Elektrische Gesamtleistung:	89 MW
Dampfturbine KVA:	16 MW
Dampfturbine GuD und HHKW:	27 MW
Gasturbine:	46 MW
Baujahr:	2009–2013
Standort:	Stadt Bern

### Gasturbine

Die Gasturbine ist eine Einwellenmaschine mit 15 Verdichterstufen. Die ersten drei Stufen haben verstellbare Leitschaufeln.

Turbinendrehzahl:  $6600 \text{ min}^{-1}$   
 Verdichtungsverhältnis: 19:1  
 Wirkungsgrad: 37,5%  
 Wärmeverbrauch: 9597 kJ/kWh  
 Abgasmassenstrom: 131,5 kg/s  
 Abgastemperatur: 544 °C



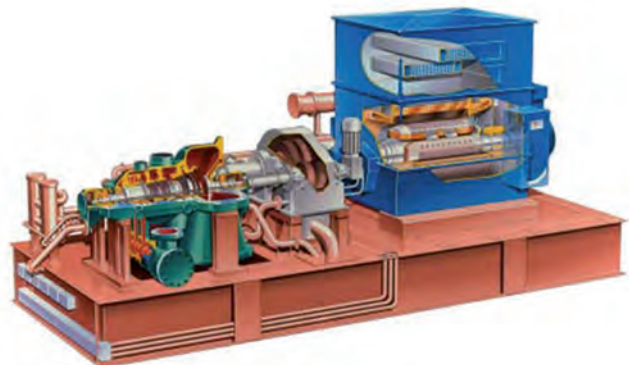
Die Dampfturbinen sind eingehäusige Industriedampfturbinen.

### Dampfturbine KVA

Max. Frischdampfmenge: ca. 77 t/h  
 Max. Betriebsdruck: ca. 39 bar  
 Max. Betriebstemperatur: 395 °C

### Dampfturbine GuD und HHKW

Max. Frischdampfmenge: ca. 104 t/h  
 Max. Betriebsdruck: ca. 59 bar  
 Max. Betriebstemperatur: 480 °C



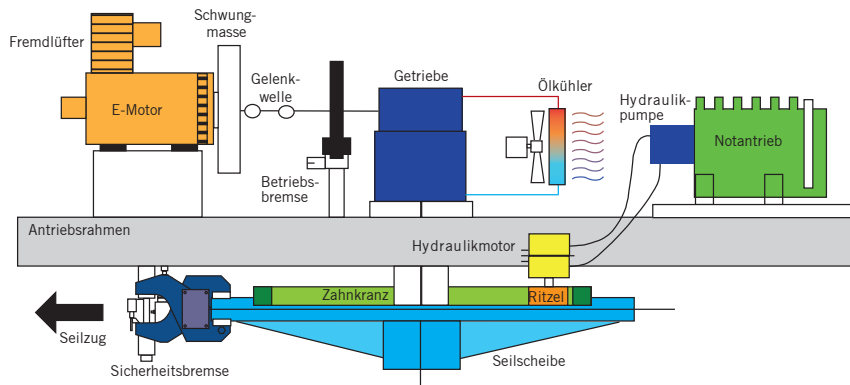


## 9.2 Bergstation

In der Bergstation befinden sich verschiedene Einrichtungen und Baugruppen. Wir wollen hier die wichtigsten kennenlernen.

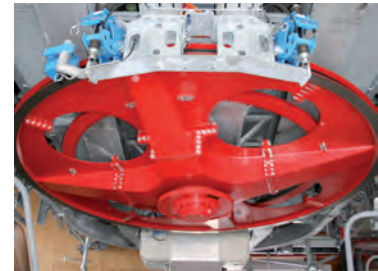
### Hauptantrieb:

Die Sesselbahn wird mit einem Elektromotor angetrieben. Im Planetengetriebe wird die Drehzahl reduziert und das Drehmoment erhöht. Die Drehbewegung treibt die Seilscheibe an.

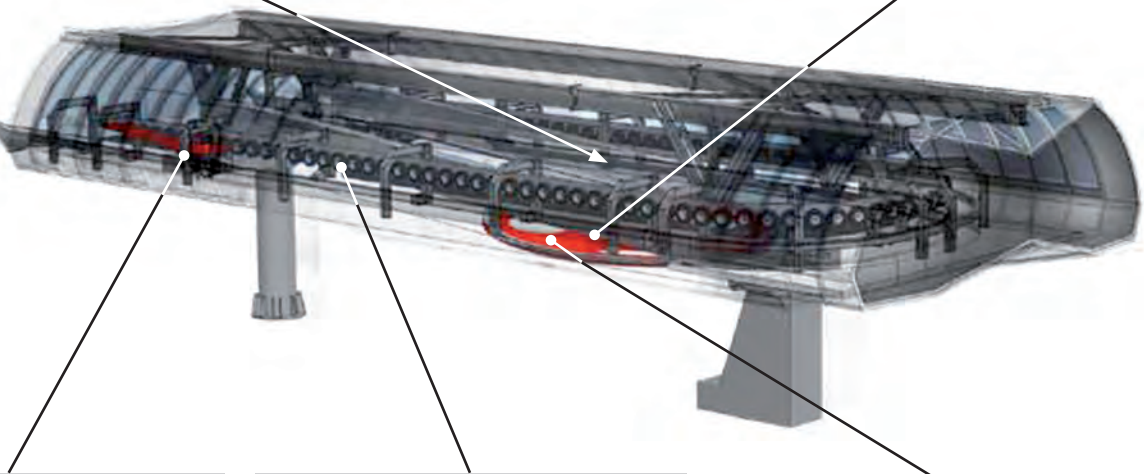


### Seilscheibe:

Durch Seilscheiben wird das Förderseil in den Stationen und an Kurvenkonstruktionen umgelenkt. Damit die Biegebeanspruchung des Förderseiles in bestimmten Grenzen bleibt, beträgt der Seilscheibendurchmesser in der Regel minimal das 80-fache des Seildurchmessers.



Einfahrt



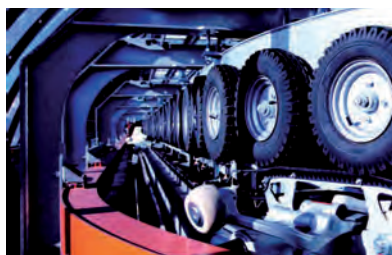
### Eintrieb:

Der Antrieb des Pneuförderers erfolgt kraftschlüssig vom Seil über Rollen. Die Antriebseinheit wird Eintrieb genannt.



### Pneuförderer:

Sobald die Sessel vom Seil abgekoppelt sind, werden diese mit dem Pneuförderer beschleunigt, resp. verzögert. Der Antrieb der Räder erfolgt mit Riemen von Rad zu Rad. Durch die Wahl geeigneter Riemenscheibendurchmesser wird die Geschwindigkeit bestimmt.



### Sicherheitsbremse:

Die Sicherheitsbremse dient zum Abbremsen der Bahn und zum Festhalten der Bahn bei Betriebschluss. Sie ist als Scheibenbremse ausgebildet und wirkt direkt auf die Antriebscheibe.

