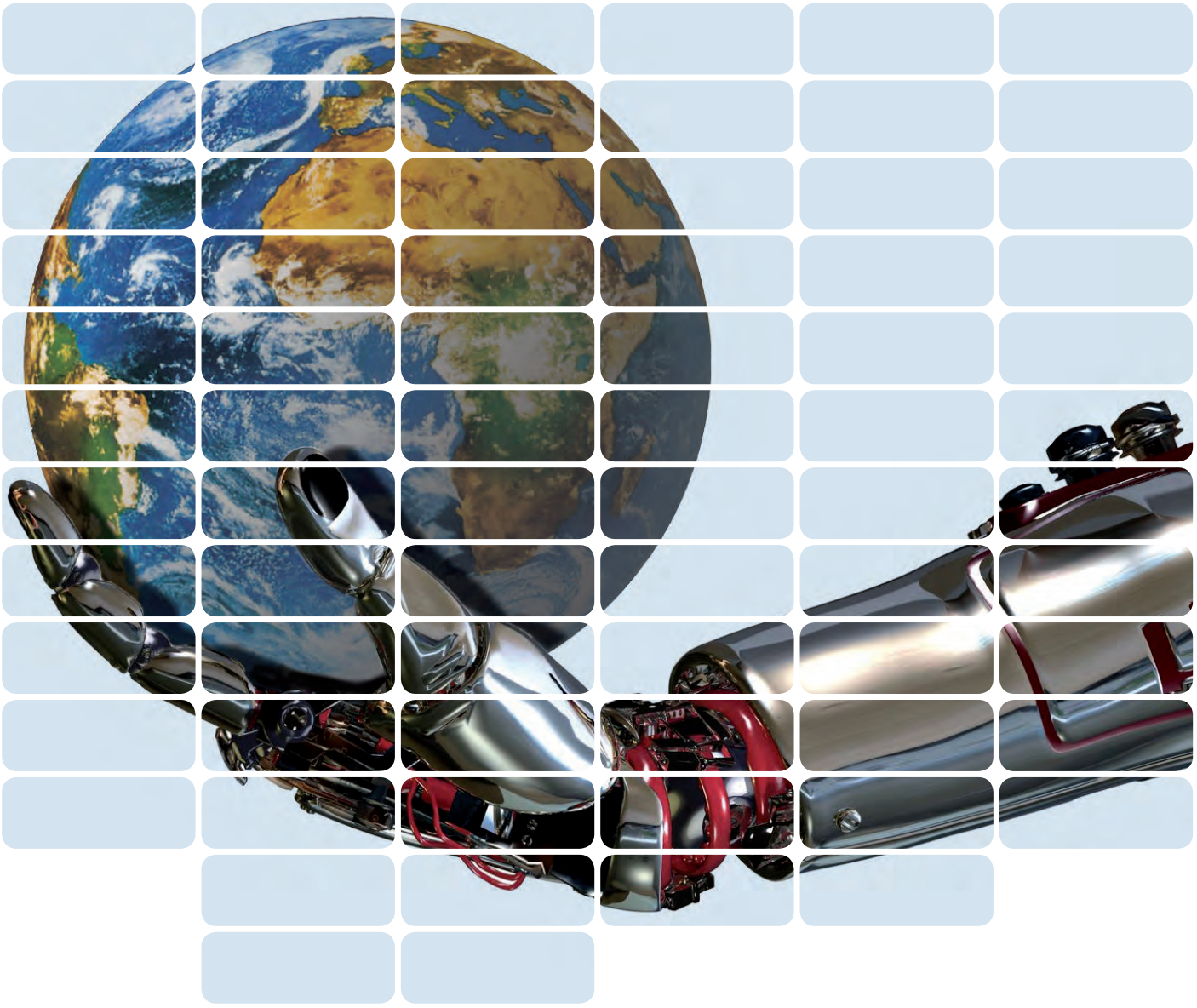
MachineWorld

Einführung in die Maschinentechnik



Edition Swissmem

SWISSMEM
Berufsbildung

Projekt Sesselbahn (Aufgaben über das Gesamte)

Projekt Modell-Hubschrauber (Aufgaben zu diesen Modulen)

Basismodule

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

Maschinenmodule

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

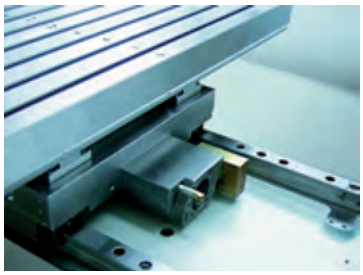
9. Projekt Sesselbahn

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.

Wälzführung



Maschinenständer montiert



Schwenkrundtisch



Werkzeugmaschine



Betrachtungsebene

Element
Elemente sind Teile der Gruppen und sind nicht weiter zerlegbar.

Gruppen
oder Baugruppen sind Teile des Systems

Einrichtungen
sind Teile eines Systems

System
Funktionsfähige, eigenständige Maschine

Montage, Fertigung

Demontage, Reparatur

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





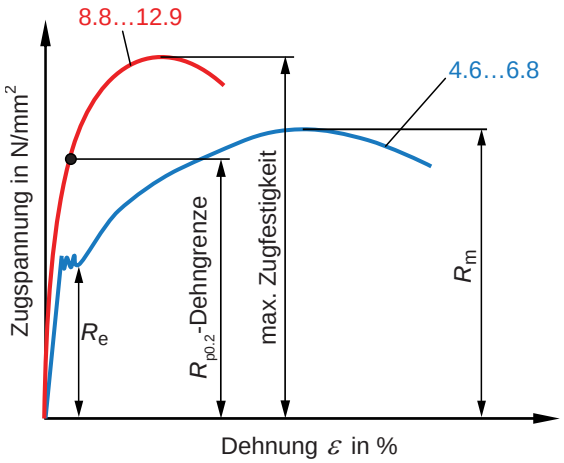


XX = Herstellerzeichen

6.8

Die erste Zahl (**6**) gibt $^1/_{100}$ der Zugfestigkeit in N/mm² an.
$R_m = 6 \times 100$ N/mm² = 600 N/mm²

Das Produkt beider Zahlen (**6** mal **8**) ergibt $^1/_{10}$ der Streckgrenze in N/mm².
$R_e = 6 \times 8 \times 10$ N/mm² = 480 N/mm²



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

Schraube				Mutter	Verbindung	
Festigkeitsklasse	Zugfestigkeit R_m in N/mm²	Streckgrenze R_e bzw. 0,2%-Dehngrenze $R_{p0.2}$ in N/mm²		Festigkeitsklasse	Beanspruchung der Verbindung	Werkstoff der Fügeteile
		R_e	$R_{p0.2}$			
6.8	600	480		6	niedrig	alle Baustähle
8.8	800		640	8	mittel	
10.9	1000		900	10	hoch	Baustähle ab S355
12.9	1200		1080	12	sehr hoch	Vergütungsstähle

Bauformen

Einteilung

Zylinderstift



Kegelstift



Kerbstift



Spannstift



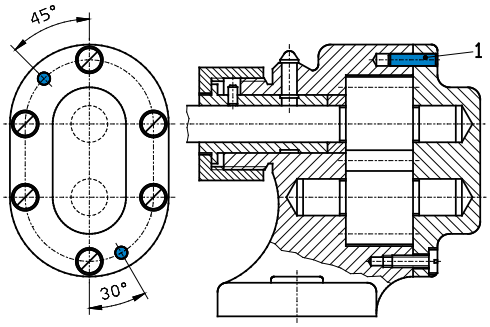
Bolzen



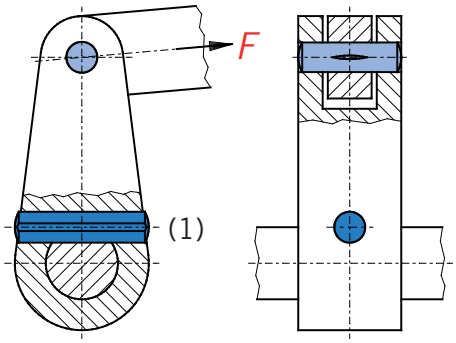
Verwendung

Verbindungselement

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

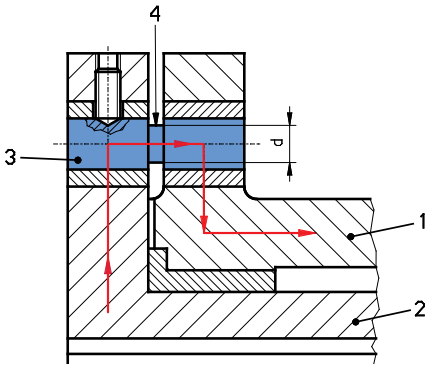


Befestigungsstifte
Befestigungsstifte verbinden Maschinenteile miteinander. Die Bohrung wird oft erst nach dem Ausrichten der Teile erstellt (1).



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.



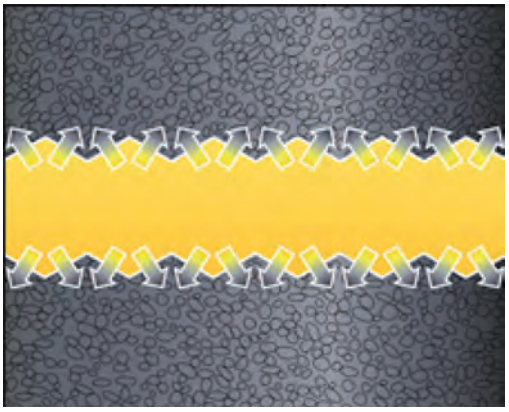
Motorradständer

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

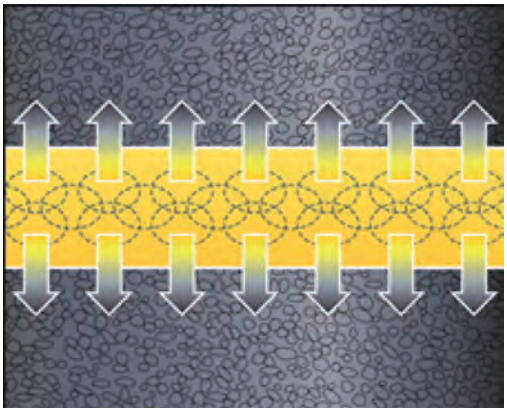
Adhäsion
Verbindung des Klebstoffes mit dem Werkstück



Adhäsionskräfte nehmen zu, wenn die Werkstücke richtig vorbehandelt werden.

- Verunreinigungen entfernen
- Flächen aufrauen entfetten und trocknen

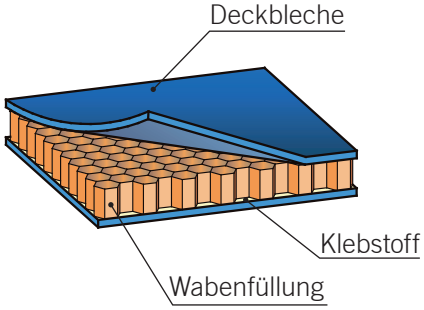
Kohäsion
Zusammenhalt innerhalb des Klebstoffes



Kohäsionskräfte nehmen zu, wenn dünne Klebschichten angestrebt werden.

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 Führerstandverschalungen aus Kunststoff an den metallenen Lokomotivkasten geklebt.



Sichern von Schrauben gegen das Lösen.

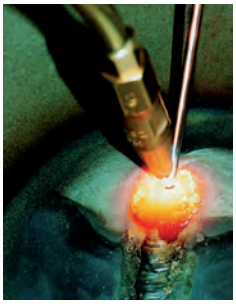
Dichten von Fügeflächen
Der Einsatz von Dichtungsklebstoffen ist oft wirtschaftlicher als die Herstellung und Montage kompliziert geformter Flachdichtungen.

WISSENSWERT

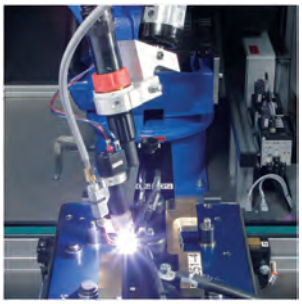
Um ein optimales Ergebnis beim Kleben zu erhalten, sind neben der Teilegeometrie und der Materialpaarung unbedingt die Herstellerangaben zu beachten, wie auch das Ablaufdatum.

3.5.2. Schmelzschweissen

Gasschmelzschweissen



Lichtbogenschweissen
- Lichtbogenhandschweissen
- Unterpulverschweissen
- Schutzgasschweissen

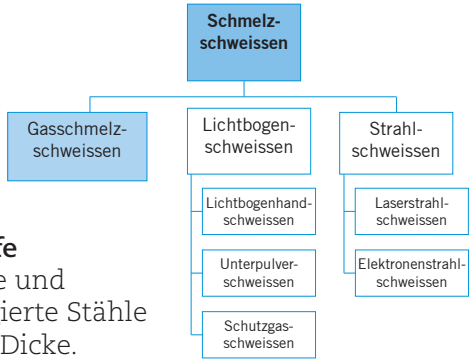


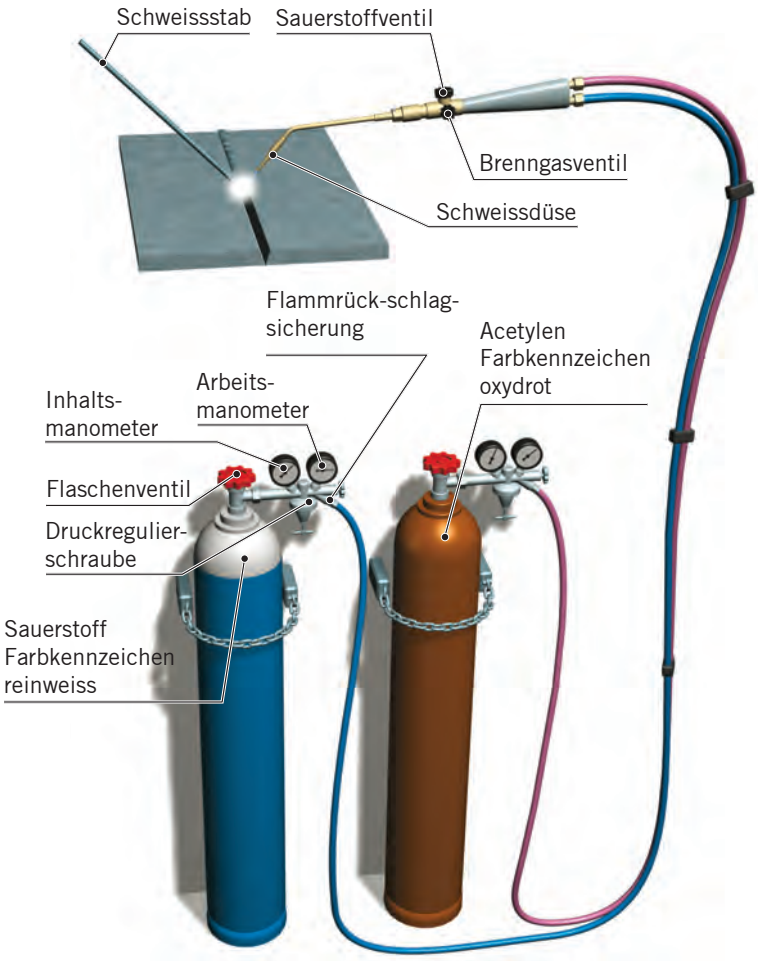
Strahlschweissen
- Laserstrahlschweissen
- Elektronenstrahl-schweissen



Gasschmelzschweissen

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

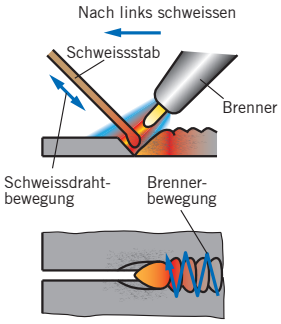




Gasschmelzschweissanlage

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

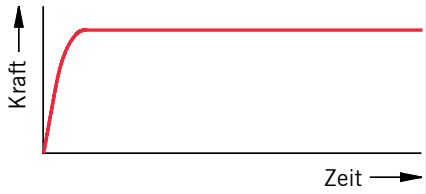
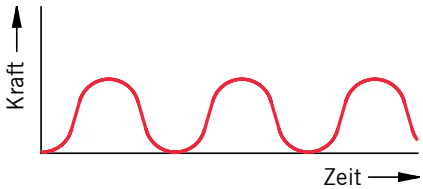
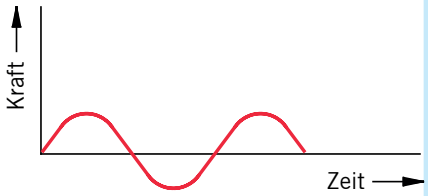
Anwendung
Handschweissverfahren: wird häufig als Verbindungsschweissen bei Stahlrohren eingesetzt.

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:

Belastungsfall I	Belastungsfall II	Belastungsfall III
Statische Belastung	**Dynamisch-schwellende Belastung**	**Dynamisch-wechselnde Belastung**
		
Die Kraft bleibt konstant.	Die Kraft schwillt im Bereich zwischen Null und Höchstwert.	Die Kraft wechselt zwischen einem positiven und einen negativen Höchstwert.
Beispiel: Säule wird auf Druck beansprucht.	Beispiel: feststehende Achse (Vorderrad Fahrrad)	Beispiel: umlaufende Achse, Welle (Achse Güterwaggon)

0401

Kerbwirkung

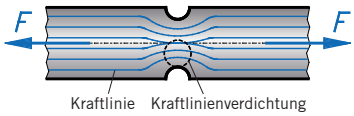
Die Höhe der Spannung in einer Achse oder Welle hängt auch von den Querschnittsveränderungen (Übergänge, Einstiche, Bohrungen, Nuten usw.) und der Oberflächenqualität ab. Am Übergang zwischen zwei verschiedenen Durchmessern bei Wellen und Achsen tritt verstärkt Kerbwirkung auf.

0402

Bei glatten Achsen oder Wellen verlaufen die Kraftlinien störungsfrei.



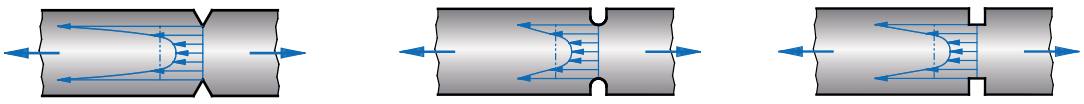
Stören Kerben den gleichmässigen Kraftschluss, kommt es zu Verdichtungen der Kraftlinien und somit zu Spannungserhöhungen im Bereich der Kerbe.



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

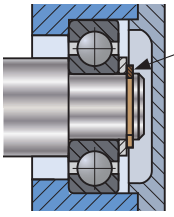
Aufgabe 4.1.2: Welche der Zeichnungen bezeichnet den gefährlichsten Fall?

☐ ☐ ☐



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

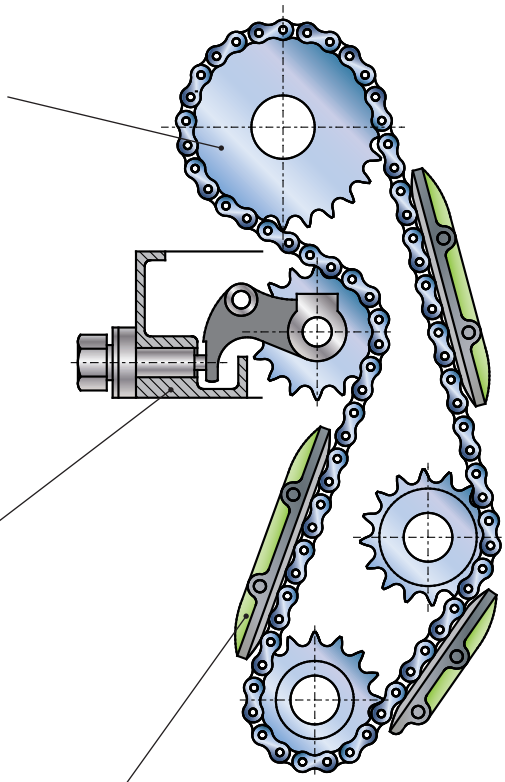
Die Kettentriebteile und die Anordnung der Teile haben auf die Funktion und die Lebensdauer einen wesentlichen Einfluss.

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.







0412

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 Kettenstrecke werden oft durch zusätzliche Kettenführungen und durch Spannrollen verringert.



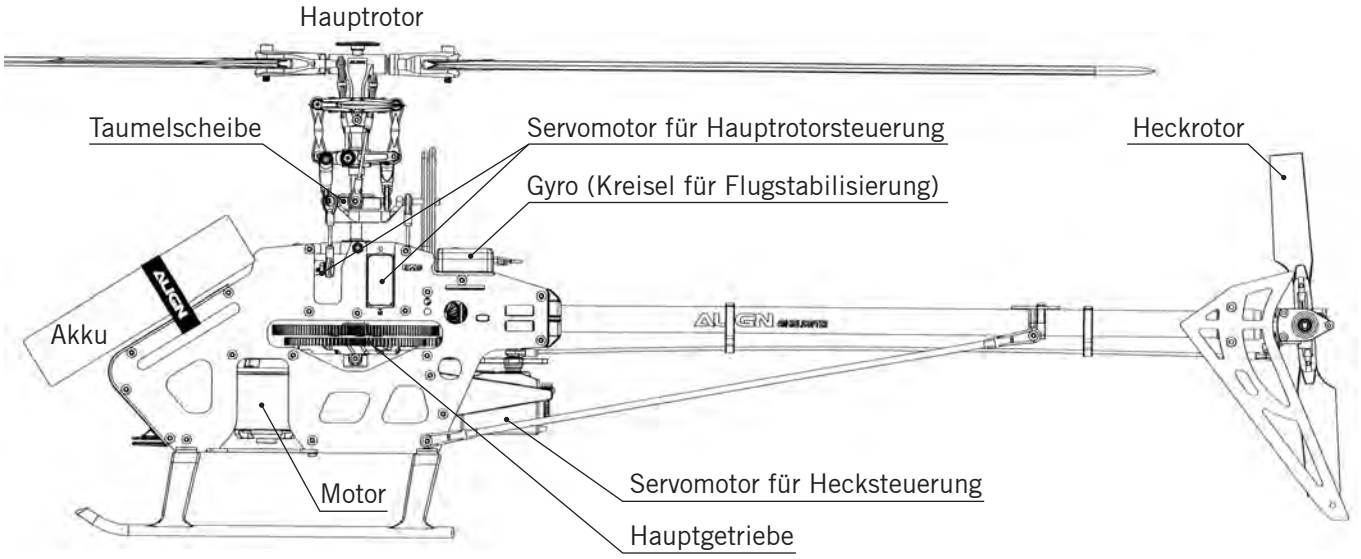
Modell-Hubschrauber

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	$U = 7{,}4 \ldots 14{,}8$ V
	$P_{max} = 400$ W

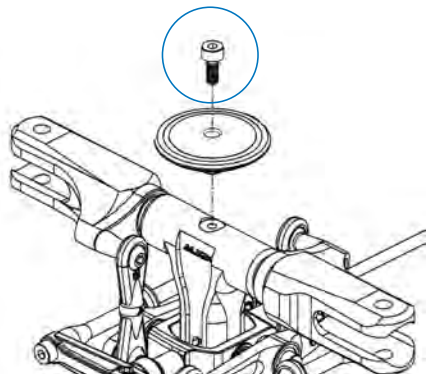


5.1 Übersicht



5.1.1 Hauptrotor

Aufgabe 5.1.1:
Die Rotorkopfbremse wird gemäss Zeichnung mit einer Schraube ø2 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

Bauarten

Verdrängerpumpen
- Flügelzellenpumpe
- Zahnradpumpe
- Kolbenpumpe
- Schraubenspindelpumpe
- Schlauchpumpe



Strömungspumpen
- Kreiselpumpe



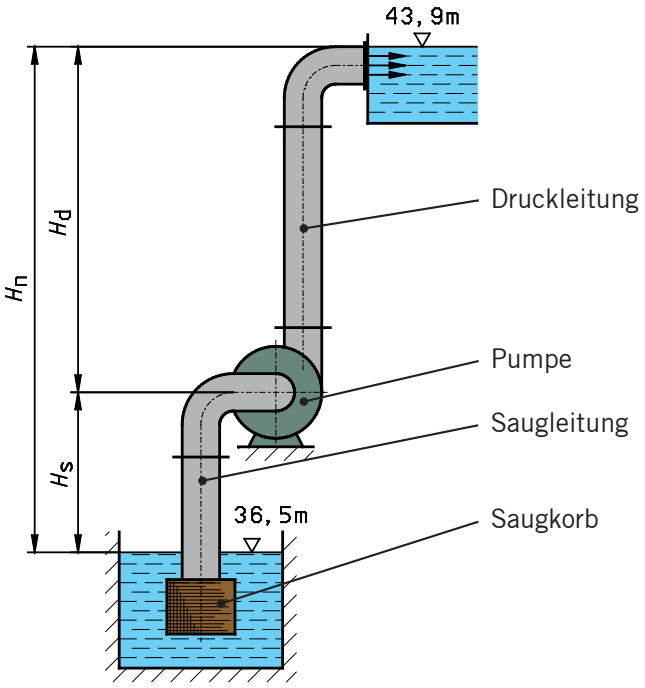
Spezialpumpen
- Strahlpumpe
- Venturirohr



Druck

Niederdruck	Mitteldruck	Hochdruck	Höchstdruck
2 … 170 bar	… 170 bar	200 … 650 bar	über 650 bar

Bezeichnungen



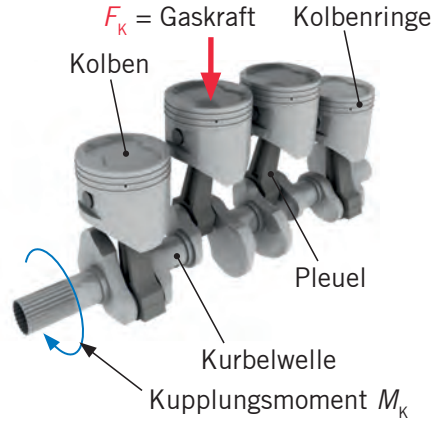
H_s = Saughöhe
H_d = Druckhöhe
H_n = Nutzförderhöhe

$$H_s + H_d = H_n$$

Senkrechter Abstand zwischen Unter- und Oberwasserspiegel

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



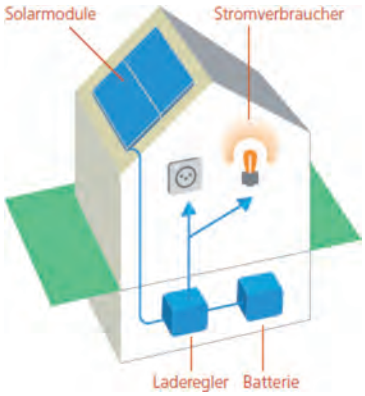
Gebräuchliche Herstellungsverfahren:

- 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:



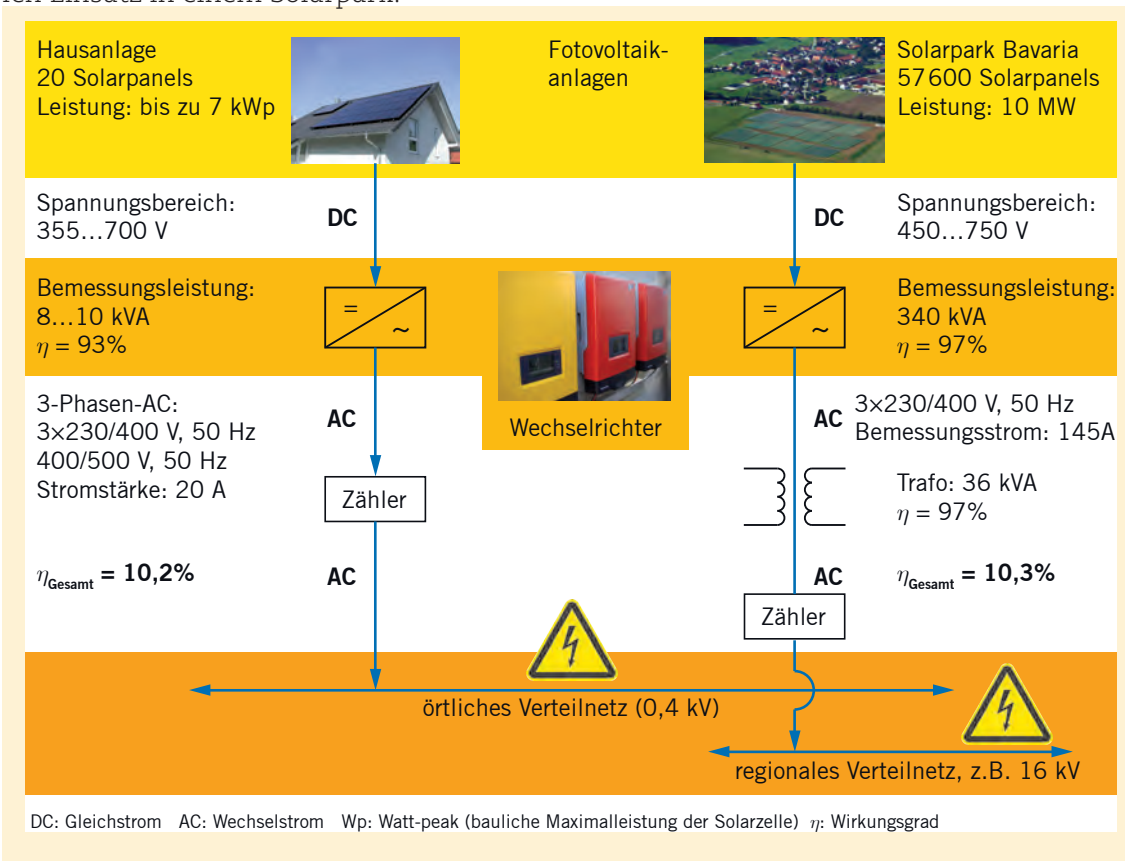
Netzgekoppelte Anlage:



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.



DC: Gleichstrom AC: Wechselstrom Wp: Watt-peak (bauliche Maximalleistung der Solarzelle) η: Wirkungsgrad

WISSENSWERT

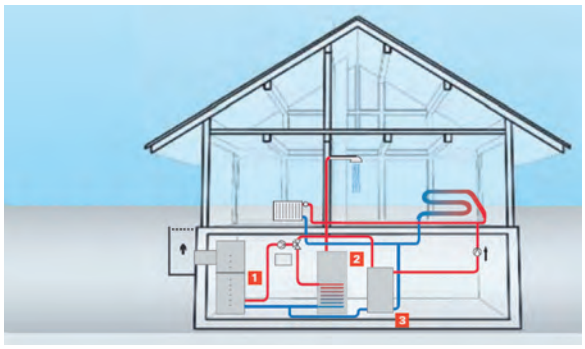
Fotovoltaische Anlagen sind saubere, autonome, zuverlässige Energieproduzenten und haben eine lange Lebensdauer und benötigen geringe Wartung.

Wärmequellen für die Wärmepumpenheizung

Wärmepumpenheizung mit Luft als Wärmequelle

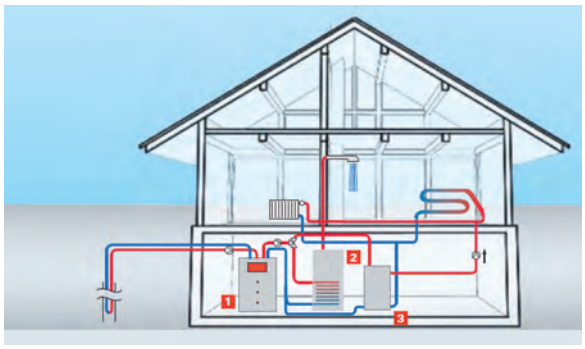
Die Luft-Wärmepumpe nutzt die von der Sonne erwärmte Aussenluft.

Legende:
1 Wärmepumpe
2 Boiler
3 Speicher



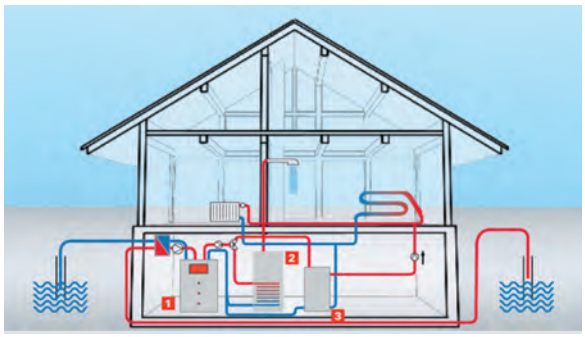
Wärmepumpenheizung mit Tiefensonde als Wärmequelle

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.



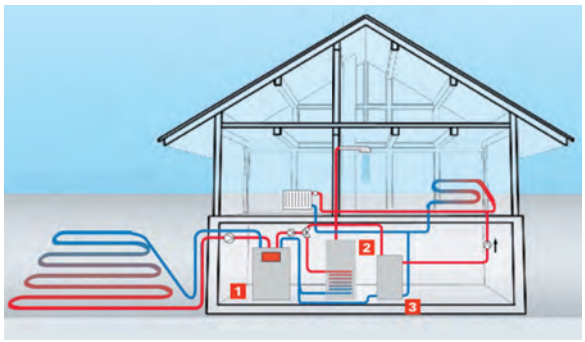
Wärmepumpenheizung mit Grundwasser als Wärmequelle

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 Wärmegewinnung 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.



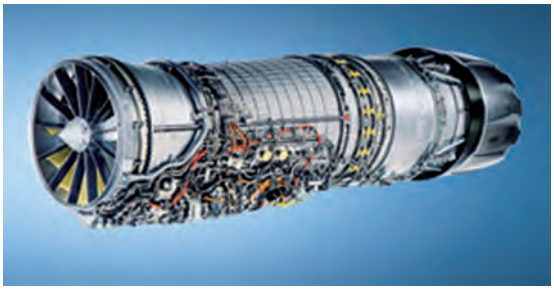
WISSENSWERT

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.

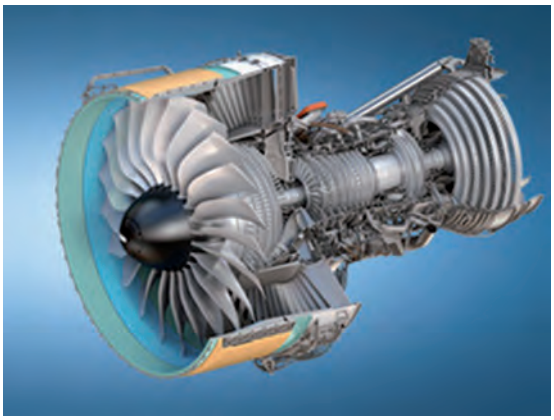


Technische Daten
Max. Schub 130 kN
Druckverhältnis 30,7
Nebenstromverhältnis 0,76:1
Länge 4620 mm
Max. Durchmesser 1181 mm
Gewicht (trocken) 1805 kg

- 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.

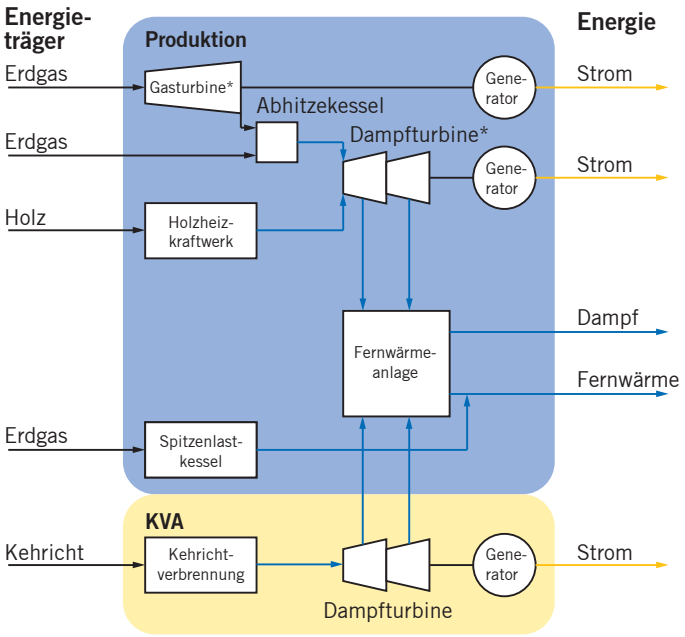


Technische Daten
Leistung (in Seehöhe) 8200 kW
Länge 3500 mm
Durchmesser Propeller 5330 mm/
8 Blätter
Gewicht ca. 1860 kg

- 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.



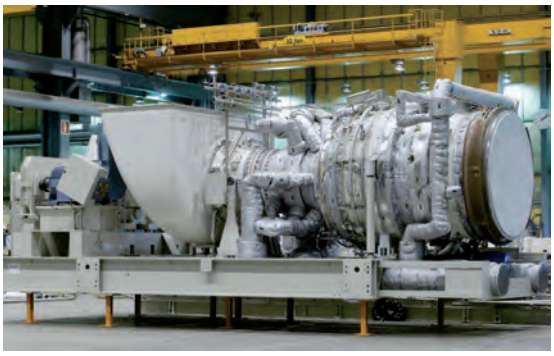
*Beide Turbinen bilden das GuD

Technische Daten

Kapazität KVA:	110 000 t Kehricht pro Jahr
Kapazität HHKW:	112 000 t Holzschnitzel 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.

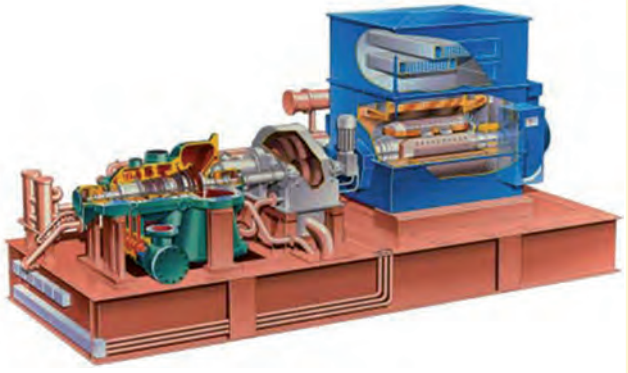
Turbinendrehzahl: 6600 min^{-1}
Verdichtungsverhältnis: 19:1
Wirkungsgrad: 37,5%
Wärmeverbrauch: 9597 kJ/kWh
Abgasmassenstrom: 131,5 kg/s
Abgastemperatur: 544 °C



Die Dampfturbinen sind eingehäusige Industriedampfturbinen.

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

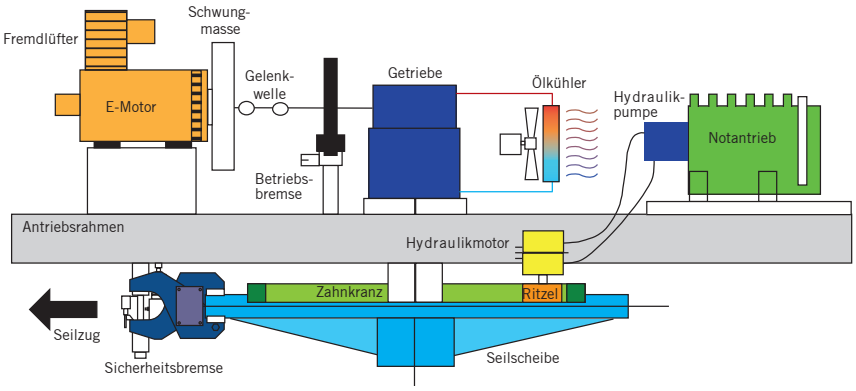
Dampfturbine GuD und HHKW
Max. Frischdampfmenge: ca. 104 t/h
Max. Betriebsdruck: ca. 59 bar
Max. Betriebstemperatur: 480 °C



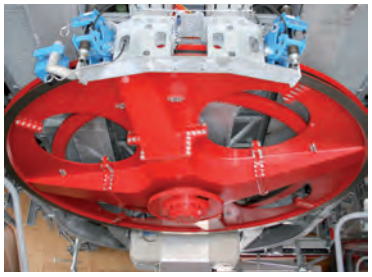
9.2 Bergstation

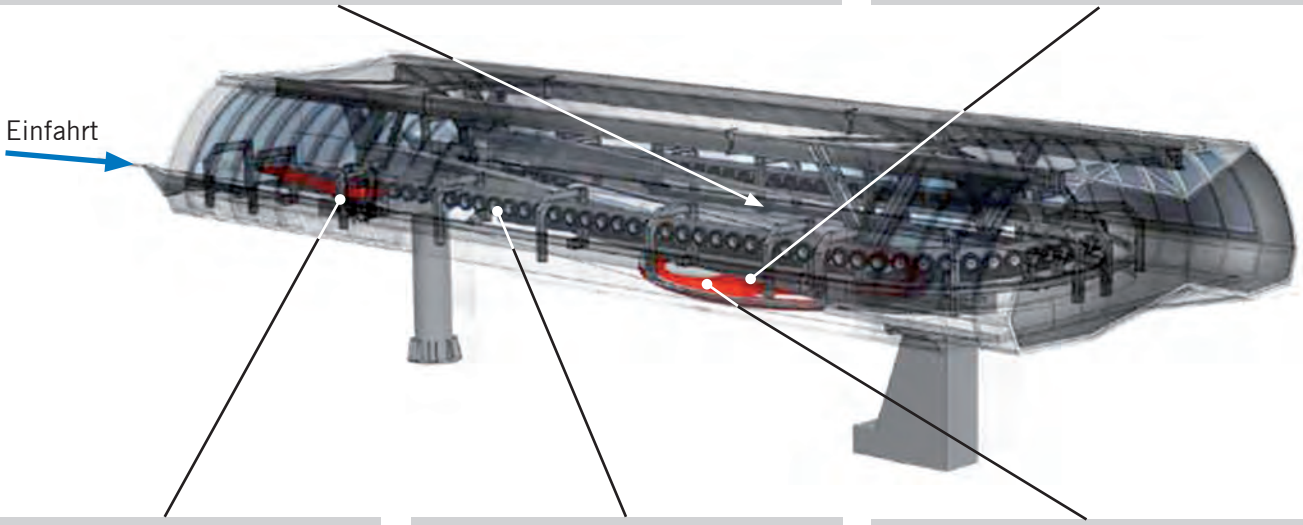
In der Bergstation befinden sich verschiedene Einrichtungen und Baugruppen. Wir wollen hier die wichtigsten kennenlernen.

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.

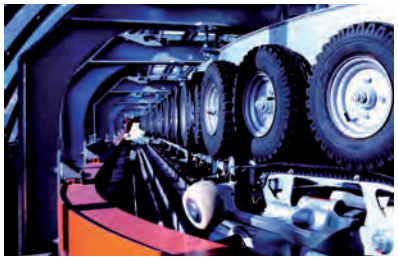




Eintrieb:
Der Antrieb des Pneuförderers erfolgt kraftschlüssig vom Seil über Rollen. Die Antriebseinheit wird Eintrieb genannt.



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 Betriebsschluss. Sie ist als Scheibenbremse ausgebildet und wirkt direkt auf die Antriebsscheibe.

