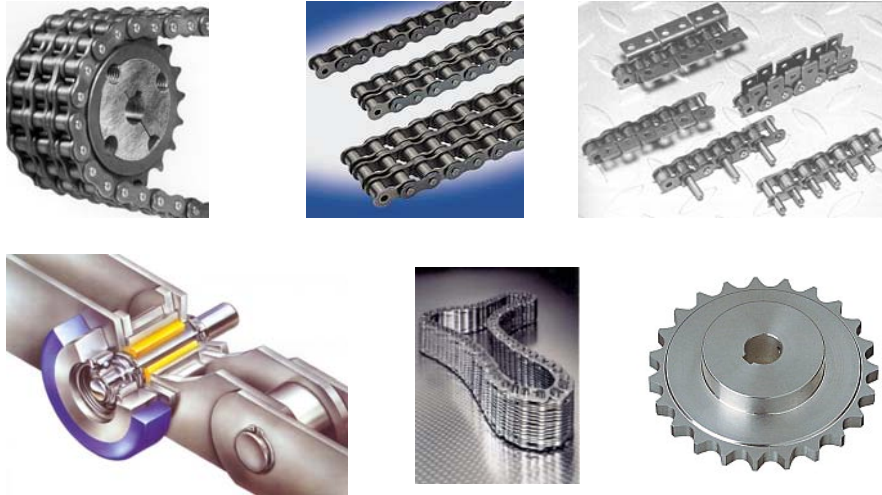


Modul TA.PR+SY

Zugmittelgetriebe

3. Teil: Kettentriebe



FH Zentralschweiz

Inhalt

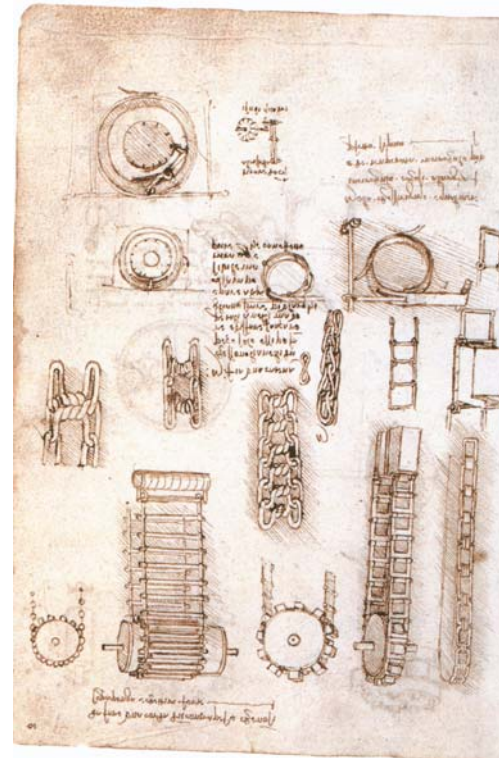
- Geschichte, Entwicklung
- Kettentypen und Aufbau
- Anwendungsbeispiele
- Kettenräder
- Polygoneffekt
- Dimensionierung und Auslegung
- Gestaltung
- Schmierung und Verschleiss
- Kräfte im Kettenzug
- Schwingungen und Geräusche

Geschichte und Entwicklung

- Die ersten Ketten sind keltischen Ursprungs. (ca. 200 v. Chr.)
- Leonardo da Vinci (1452 – 1519) befasste sich in seinem reichen Schaffen intensiv mit Ketten.

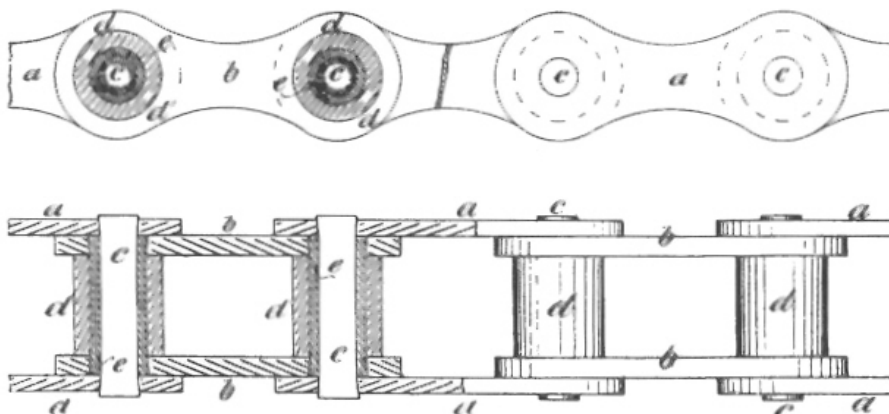


Handskizzen und Modell nach Leonardo da Vinci



Geschichte und Entwicklung

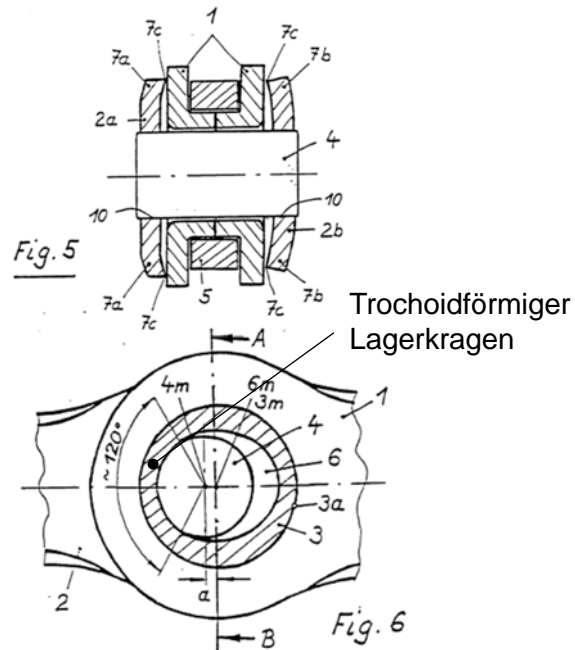
- Erst im 19. Jahrhundert erfuhr die Kette durch den Franzosen André Galle (1828) und den Schweizer Hans Renold (GB Patent 1880) ihre wirtschaftliche Bedeutung.



Patent GB1219, 1880
Hans Renold

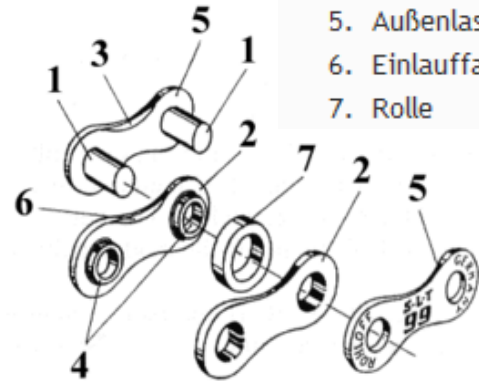
Aktuelle Entwicklungen

- Patent Rohloff: Rollenkette S-L-T 99 (Patente US 5,140,806 / EP 0396701)



Bauteile:

1. Bolzen
2. Innenlasche
3. Schaltfase
4. Lagerkragen
5. Außenlasche
6. Einlauffase
7. Rolle

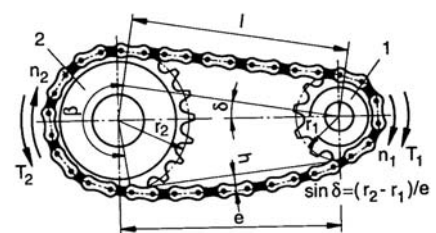


© HSLU PR+SY_H16: Kettengetriebe

6

Aufbau und Funktion

- Antriebsketten (Leistungsübertragung)



- Förderketten (Transport)



- Lastketten (Heben von Lasten)

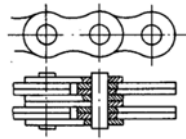


© HSLU PR+SY_H16: Kettengetriebe

7

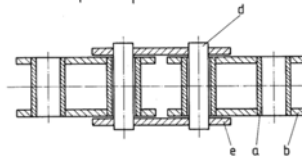
Aufbau und Funktion

- Bolzenkette

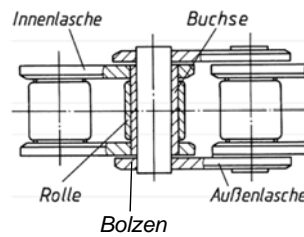


Lastkette: Flyerkette

- Buchsenkette

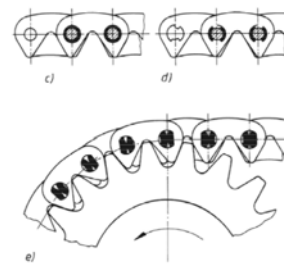
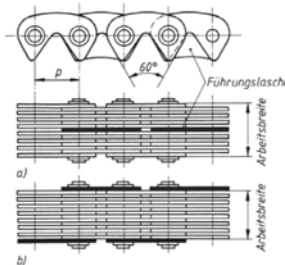


- Rollenketten



Klassische Antriebskette

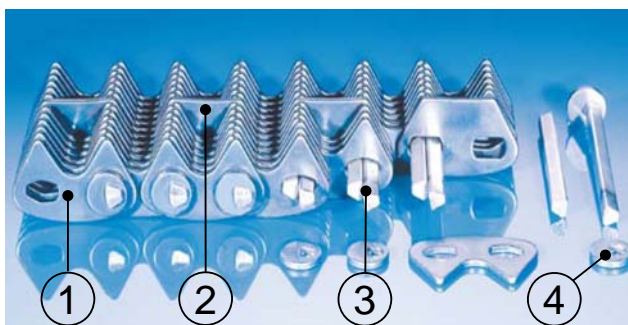
- Zahnkette
(Laschenkette)



© HSLU PR+SY_H16: Kettengeräte

8

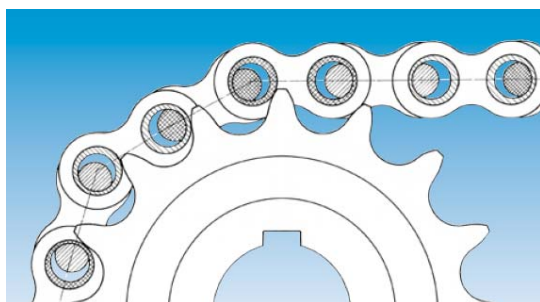
Aufbau Zahnkette



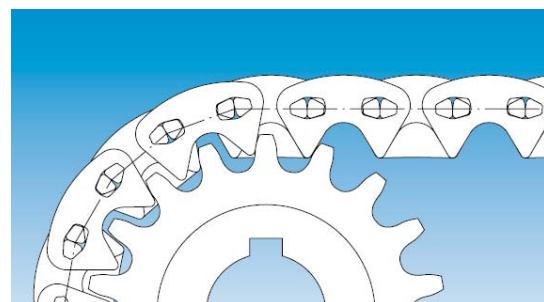
Die Zahnkette setzt sich zusammen aus:

- 1: Zahnlaschen
- 2: Führungslaschen
- 3: Wiegegelenk – bestehend aus 2 Profilzapfen
- 4: Nietscheiben

- Verschleissverhalten der Rollen- und Zahnkette



Unterschiedlicher Verschleiss von Innen- und Aussenlasche bei Rollenketten



Gleichmässiger Verschleiss der Kettenglieder

© HSLU PR+SY_H16: Kettengeräte

Bilder: Bosch Rexroth

9

Anwendungsbeispiel Zahnkette

- Zahnketten in einem Antrieb

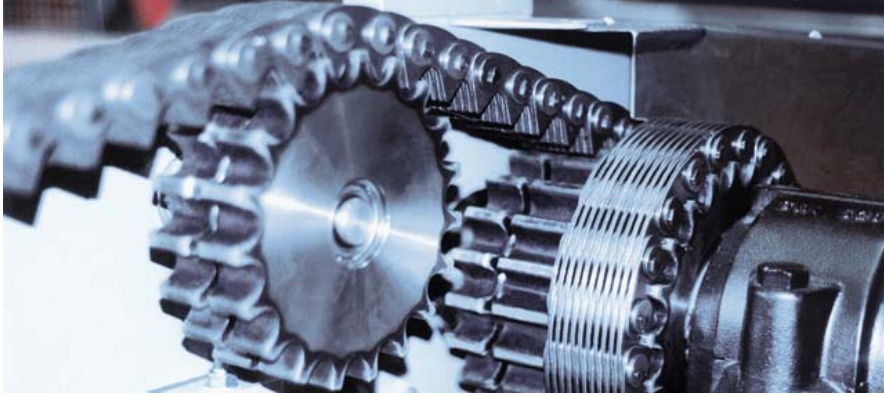
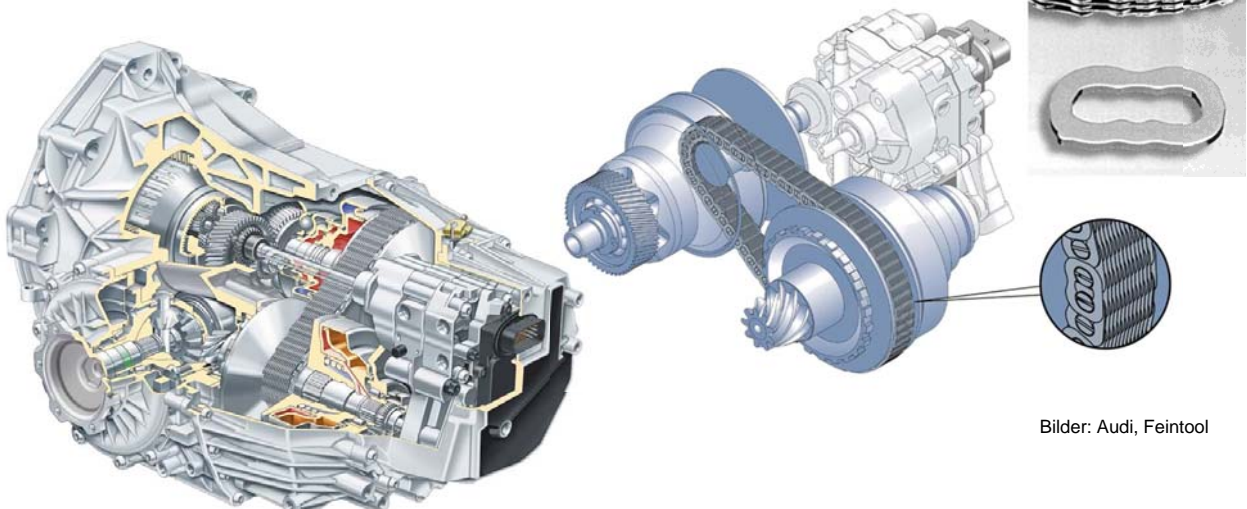


Bild: Bosch Rexroth

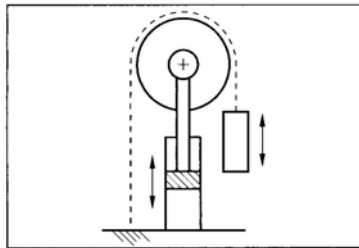
Anwendungsbeispiel Laschenkette

- CVT Continuously Variable Transmission
Audi Multitronic für A4 und A6
Übertragbares Drehmoment 280-300 Nm

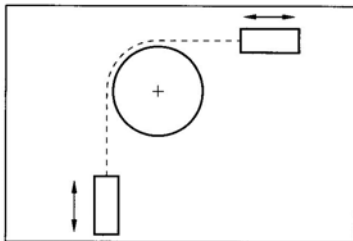


Bilder: Audi, Feintool

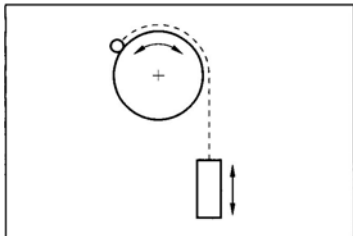
Anwendungsbeispiele Flyerketten



Gabelstapler, Senkrechtförderer



Werkzeugmaschine, Bearbeitungszentrum



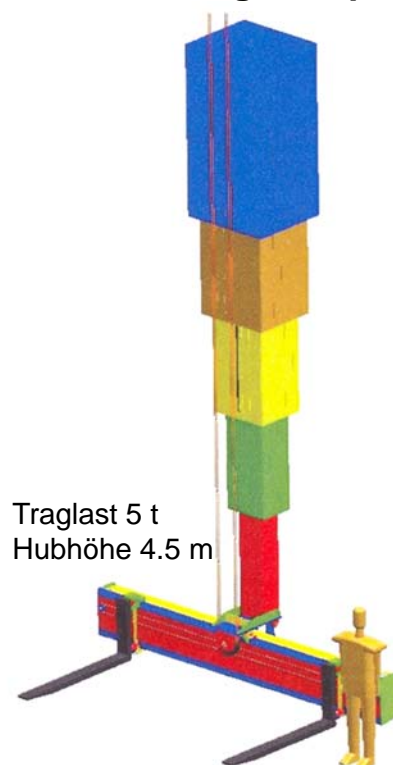
Gegengewichtsketten bei Türen und Toren



13

Anwendungsbeispiel: Stapelkran mit Flyerketten

Diplomarbeit Léger, Leisibach, HSLU 2006



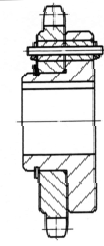
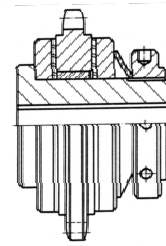
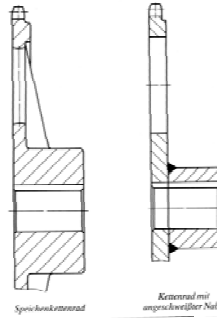
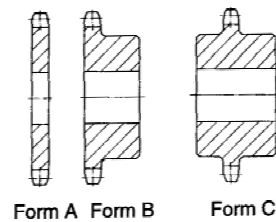
Traglast 5 t
Hubhöhe 4.5 m



Stapelkran der Firma Gersag Krantechnik GmbH, Reiden

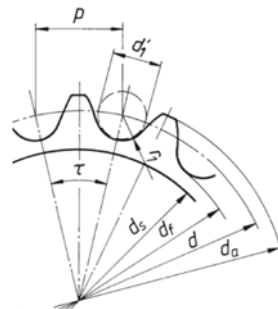
Kettenräder

• Bauformen



- Werkstoffe: bis 30 Zähne; $v_{Kette} < 7 \text{ m/s}$
unlegierte Stähle, E295, C35, C45
höhere Geschwindigkeiten, Vergütungs- oder Einsatzstähle
C35, C45, 42CrMo4, C15, 15Cr3, 16MnCr5
Grossräder, GJL, GS

• Verzahnung:



$$\tau = \frac{360^\circ}{z}$$

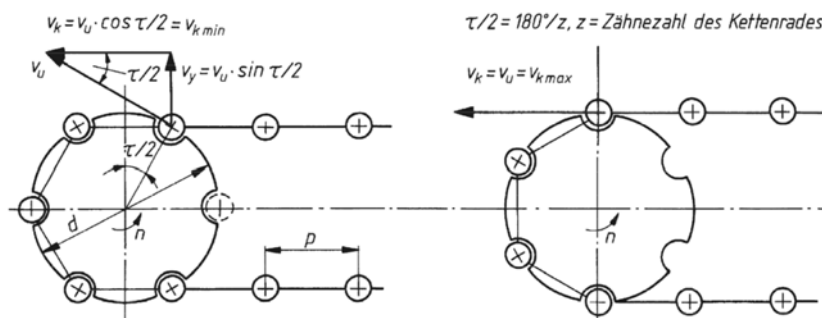
Teilungswinkel

$$d = \frac{p}{\sin\left(\frac{\tau}{2}\right)} = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}$$

Teilkreisdurchmesser

Polygoneffekt

- Infolge der vieleckförmigen Auflage der Kette schwankt der wirksame Durchmesser am Rad. Die gleichförmige Drehbewegung des Rades wird so in eine ungleichförmige Geschwindigkeit des Kettenstrahls umgewandelt; es entsteht der so genannte **Polygoneffekt**.



$$v_{\text{mittel}} = \frac{p * z * n}{60 * 10^3}$$

$$v_{\text{min}} = \frac{p * n * \pi}{60 * 10^3 * \tan \frac{\tau}{2}}$$

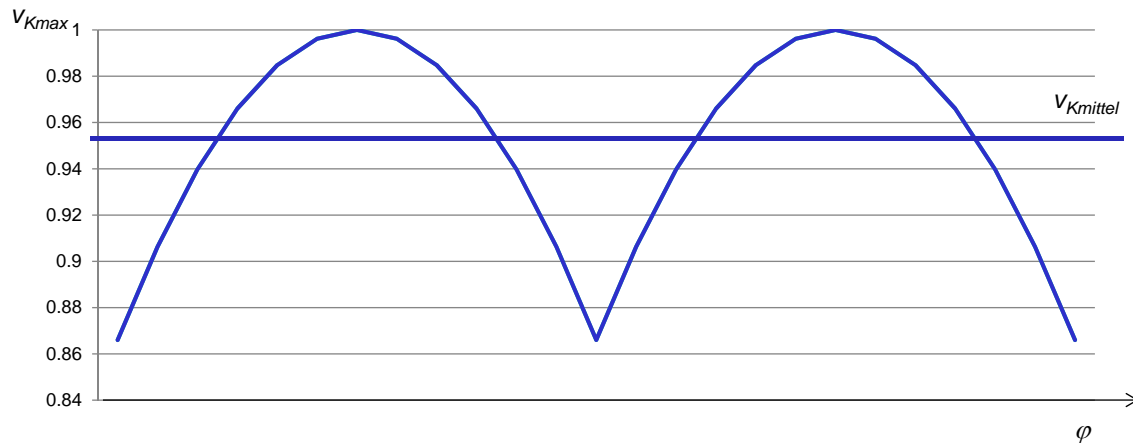
$$v_{\text{max}} = \frac{p * n * \pi}{60 * 10^3 * \sin \frac{\tau}{2}}$$

$$a_{\text{max}} = \frac{2 * 10^4 * v^2}{p * z^2}$$

$$\delta = \frac{v_{\text{max}} - v_{\text{min}}}{v_m} \quad \text{oder} \quad \delta = \cos\left(\frac{180^\circ}{z}\right) \quad \text{Ungleichförmigkeitsgrad}$$

Polygoneffekt

- Randbedingungen GIS Kettenzug GCH 160
- 6 Taschen, Kette 3x9 mm, $d_T = 34.5$ mm, $v_{Kette_max} = 16$ m/min
- $m = 100$ kg, $c = 810$ N/mm



Dimensionierung und Auslegung von Kettentrieben

- Einflussfaktoren auf die Lebensdauer einer Kette:

Trieb- und Belastungs- spezifische Wirkfaktoren

Triebspezifische Einflussgrößen
Gelenkbewegungen
Triebanordnung
Spannung / Führung
Schmierung

Statische Einflussgrößen
Kettenzugkraft
Fliehkraft

Dynamische Einflussgrößen
Belastungsschüsse
Polygoneffekt
Einfuhrbeanspruchung
Lastwechsel / Frequenz
Schwellbelastung

Gebrauchseigenschaften der Ketten

**Bruchfestigkeit
Verschleissfestigkeit
Dauerfestigkeit**

Kettenspezifische Wirkfaktoren

Dimensionierung
Einzelteile
Gesamtaufbau

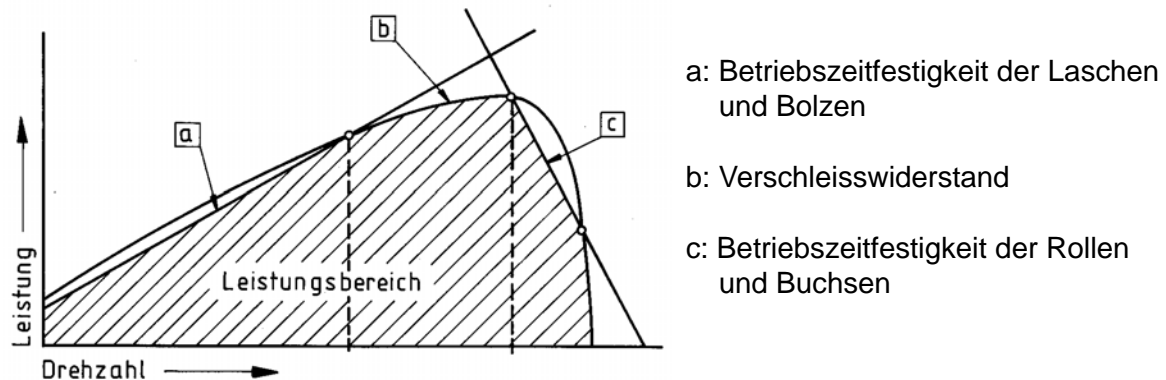
Werkstoffe
Art
Qualität
Wärmebehandlung
Oberflächenbehandlung

Verarbeitung
Teilefertigung
Montagepräzision
Werkseitige Erstfettung

Dimensionierung und Auslegung von Kettentrieben

- **Bruchfestigkeit** Bei dieser Belastung tritt ein Gewaltbruch ein.
- **Dauerfestigkeit** Belastung die unter Wechsel- und Schwellbetrieb zu einem Dauerbruch führt.
- **Verschleissfestigkeit** Der Verschleiss in den Kettengelenken und die daraus entstehenden Kettenlängen bestimmen die zulässige Belastung.

Nutzbarer Leistungsbereich eines Kettentriebes (Doppelt logarithmische Darstellung)



© HSLU PR+SY_H16: Kettengeräte

25

Dimensionierung und Auslegung von Kettentrieben

Die Leistungsdiagramme gelten für die folgenden Voraussetzung:

- Zähnezahl des kleinen Rades $z_1 = 19$
- Übersetzung $i = 3$
- 2 Wellen
- Kettenlänge von $x = 100$ Gliedern
- einwandfreie Schmierung
- stossfreier Betrieb
- 15'000 h Lebenserwartung
- maximal 3 % Längung der Kette durch Verschleiss

Dimensionierung und Auslegung von Kettentrieben

Kettenauswahl mit Hilfe von Leistungsdiagrammen

- Liegen abweichende Betriebsverhältnisse vor, so muss die Diagrammleistung P_D unter Berücksichtigung der Einflussgrößen ermittelt werden:

$$P_D = \frac{P_n * K_A * f_1}{f_2 * f_3 * f_4 * f_5 * f_6}$$

f_1	Zähnezahlfaktor	TB 17-5
f_2	Wellenabstandfaktor	TB 17-6
f_3	Kettenformfaktor	$f_3 = 0.8$ gekröpft, sonst 1
f_4	Wellenfaktor	$f_4 = 0.9^{(n-2)}$, 2 Welle $f_4=1$
f_5	Lebensdauerfaktor	$f_5 = (15000/L_h)^{1/3}$
f_6	Schmierfaktor	TB 17-7



Dimensionierung und Auslegung von Kettentrieben

• Charakteristika und Merkmale von Kettentrieben

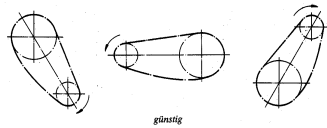
- Wirkungsgrad bei guter Schmierung bis 0.98
- Übersetzungen bis $i = 5$ ist üblich, bis $i = 7$ oder grösser nur in Sonderfällen
- Geschwindigkeiten:
 - günstig bis 7 m/s
 - normal bis 12 m/s
 - möglich bis 25 m/s
- Zähnezahlen:

< 11	womöglich vermeiden
11 - 13	für Kettengeschwindigkeiten < 4 m/s
14 - 16	für Kettengeschwindigkeiten < 7 m/s
17 - 24	bevorzugte Zähnezahlen für Kleindräder
38 - 76	günstige Zähnezahlen für Grossräder
> 120	aus technischen und wirtschaftlichen Gründen vermeiden
- Zulässige Gelenkflächenpressung für Dauerbelastung

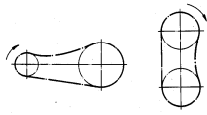
bei guter Schmierung:		bei unzureichender Schmierung:	
$p_{zul} = 30$	N/mm ² normal	$p_{zul} = 15$	N/mm ² bei Nachschmierung
$p_{zul} = 60$	N/mm ² hoch	$p_{zul} = 7$	N/mm ² geringe Verschmutzung
$p_{zul} = 120$	N/mm ² sehr hoch kurzzeitig	$p_{zul} = 4$	N/mm ² Trockenlauf und Verschmutzung

Gestaltung von Kettentrieben

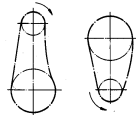
- Anordnung von Kettentrieben, Kettenführungen und Kettenspanner



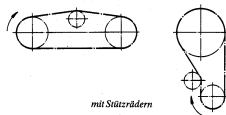
günstig



ungünstig

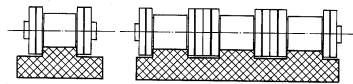


sehr ungünstig

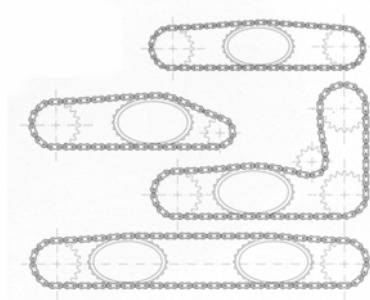


mit Stützrädern

Anordnung bei zwei Kettenrädern



Kettenführungen



Kettenspanner Roll-Ring



Kettenspanner Rosta

Gestaltung von Kettentrieben

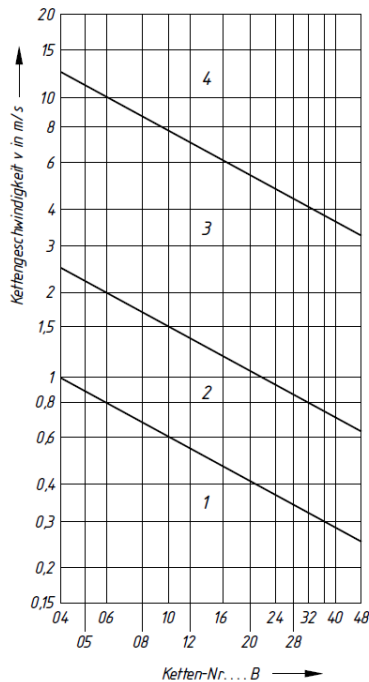
- Anwendungsbeispiel Roll-Ring Kettenspanner

Kettenantrieb für Bodenbearbeitungsmaschine der Baertschi Agrartecnic, Hüswil



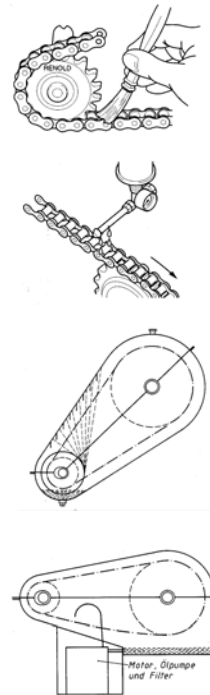
Schmierung

• Schmierbereiche nach DIN ISO 10823 TB 17-8



Bereiche:

- 1 Manuell in regelmäßigen Abständen erfolgende Ölzufuhr durch Sprühdose, Ölkanne oder Pinsel
- 2 Tropfschmierung
- 3 Ölbad oder Schleuderscheibe
- 4 Druckumlaufschmierung mit Filter und gegebenenfalls Ölkühler

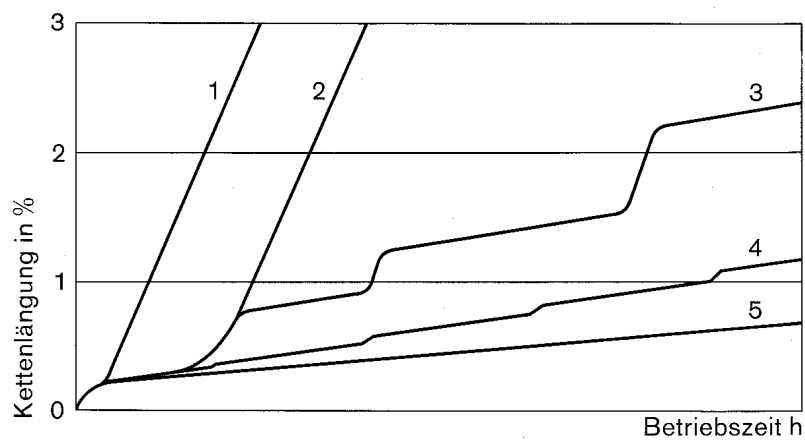


© HSLU PR+SY_H16: Kettengetriebe

36

Schmierung und Kettenverschleiss

• Verschleiss in Abhängigkeit von Schmierung und Betriebszeit



- 1: Trockenlauf
- 2: Erstschrnerung
- 3: teilweiser Trockenlauf
- 4: unzureichende Schmierung durch Verschmutzung oder ungeeignetes Schmiermittel
- 5: optimale Schmierung

© HSLU PR+SY_H16: Kettengetriebe

37

Kräfte im Kettenzug

- Die statische Kettenzugkraft ergibt sich aus: $F_t = \frac{P_1}{v}$ (17.14)
- Die Kettenzugkraft wird von Schwellkräften überlagert. Die resultierende Schwellkraft setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:
 - Fliehzugkraft F_z
 - Stützzugkraft F_s
 - Schwell- und Stosskräfte aus den antriebs- und abtriebsseitigen Ungleichförmigkeiten
 - Schwell- und Stosskräfte durch den Polygoneffekt
- Fliehzugkraft**
 - Reaktion der radialen Fliehkraft der Kette. Abhängig vom Metergewicht der Kette und der Kettengeschwindigkeit. Ab $v > 7$ m/s unbedingt berücksichtigen.

$$F_z = q * v^2 \quad (17.15)$$

q : Längengewicht in kg/m

Kräfte im Kettenzug

Stützzugkraft

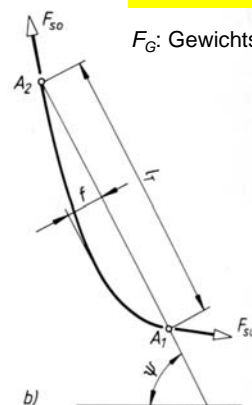
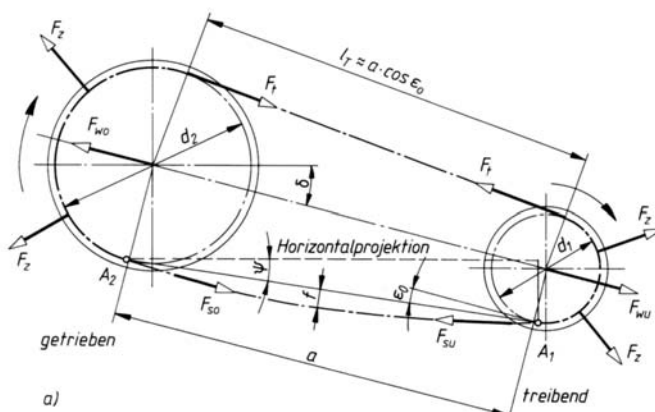
Wirkt im Los- und Lasttrum. Ist abhängig vom Trumgewicht, dem Durchhang sowie vom Neigungswinkel des jeweiligen Trums.

Bei einwandfrei montiertem Kettentrieb mit 1% - 2% Durchhang des Kettentrums ist die Stützzugkraft ohne Bedeutung. Bei grossen Achsabständen kann die Kraft aber sehr gross werden.

Bei annähernd horizontaler Lage des Leertrums gilt:

$$F_s \approx \frac{F_G * l_T}{8 * f} \quad (17.16)$$

F_G : Gewichtskraft des Kettentrums



Bilder: RM 17-18

Schwingungen in Kettentrieben

- Der Polygoneffekt und die Rundlauffehler der Verzahnung verursachen transversale Schwingung

$$f_{eq} = \frac{\lambda}{2 * l} * \sqrt{\frac{F}{q}}$$

q : Längengewicht kg/m
 λ : Ordnungszahl der Freiheitsgrade

- Die longitudinalen Schwingungen werden ebenfalls durch den Polygoneffekt hervorgerufen.

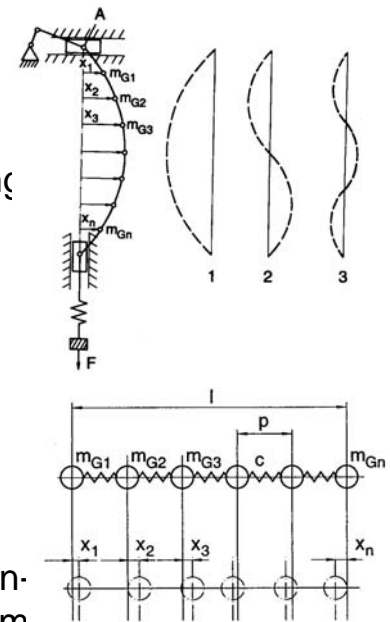
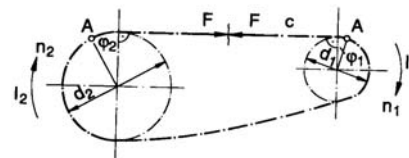
$$f_{el} = \frac{\lambda}{2 * l} * \sqrt{\frac{c_{rel} * F_B}{q}}$$

$$c_{rel} = \frac{c * l}{F_B}$$

F_B : Mindestbruchkraft N

- Die Drehschwingungen werden durch den Polygoneffekt, Rundlauffehler, Teilungsfehler, Ungleichförmigkeit der An- und Abtriebe angeregt.

$$f_{ed} = \frac{1}{4 * \pi} * \sqrt{c * \left(\frac{d_1^2}{J_1} + \frac{d_2^2}{J_2} \right)}$$



Schwingungen und Geräusche

Schwingungen

- Der Betrieb im Resonanzdrehzahlbereich mit Übereinstimmung von Eigen- und Erregerfrequenzen sollte vermieden werden.
(Unsicherheitsbereich der Frequenzen von 10% berücksichtigen)

$$f_{err} = v * \frac{z_1 * n_1}{60}$$

v : Ordnungszahl der Erregung

Geräusche

- Die spezifischen Kettentriebgeräusche entstehen hauptsächlich durch das Aufschlagen der Kettenrollen auf die Zahnflanken beim Einlaufen der Kette in die Verzahnung.
- Der Schalldruckpegel kann wie folgt berechnet werden:
(Im Abstand von 5 cm des Kettenrades gemessen)

$$p_{sch} = 20 \log \left[1.135 * 10^{-6} * p^3 * n^{1.5} * z^{1.5} * \sin \left(\frac{360^\circ}{z} + \gamma \right) \right]$$

Quelle: Handbuch der Kettentechnik, Arnold & Stolzenberg 1989