

Konstruktionsbeleg 2025

Kalandergetriebe

Kalander dienen unter anderem der Herstellung von Folien, sowie zur Beschichtung von Stoffen. Im Rahmen dieses Belegs ist ein Getriebe zum Antrieb eines Kalanders auszulegen und zu konstruieren. Der Prozess erfordert dabei Walzen, die mit gleicher Drehzahl gegenläufig rotieren. Diese Anforderung soll durch den Einsatz einer Stirnradstufe realisiert werden. Der Antrieb des Kalanders erfolgt durch einen Elektromotor. Die Drehzahl des eingesetzten Motors liegt über der geforderten Walzendrehzahl, was eine zweite Getriebestufe erforderlich macht. Zur Auslegung gilt die Annahme, dass sich die Leistung gleichmäßig auf die zwei Abtriebswellen verteilt und der Wirkungsgrad $\eta = 1$ ist.

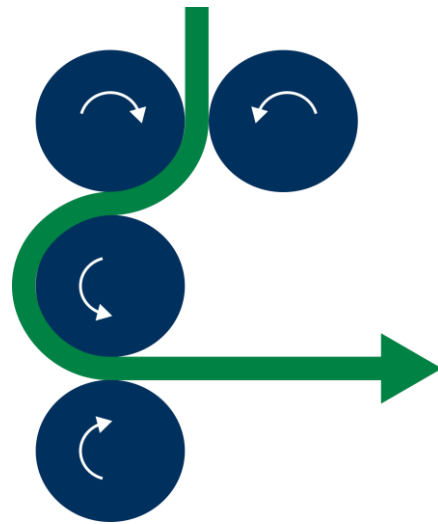


Abbildung 1: Kalander und Kalanderprozess

Aufgabenstellung

Zum Antrieb zweier Kalanderwalzen nach oben beschriebenem Anwendungsfall ist ein Stirnradgetriebe mit einer Ein- und zwei Ausgangswellen zu konstruieren. Das Getriebeschema ist in Abbildung 2 dargestellt.

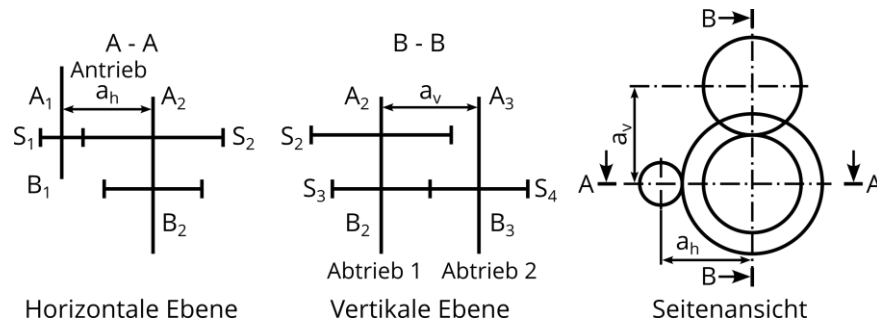


Abbildung 2: Getriebeschema

Umfang der Aufgabenstellung

Zeichnungen

1. Werkstattzeichnung(en) mit allen zur Fertigung erforderlichen Angaben
 - a. der Antriebswelle
 - b. des Zahnrads S₁ (ggf. als Ritzelwelle in einer Zeichnung mit a)
2. Zusammenbauzeichnung mit Stückliste

Rechnerische Nachweise

1. Verzahnung beider Stufen
 - a. Sicherheit S_F gegen Ermüdungsbruch des Zahnfußes
 - $S_F \geq 1,3$
 - b. Sicherheit S_H gegen Ermüdungsschäden der Zahnflanke
 - $S_H \geq 1,1$
2. Nachweise für alle drei Wellen am höchstbeanspruchten Querschnitt der jeweiligen Welle (mindestens 1 Nachweisort pro Welle)
 - a. Sicherheit S_D gegen Dauerbrüche
 - $S_D \geq 2$
 - b. Sicherheit S_F gegen plastische Verformung
 - $S_F \geq 2$
3. Nachweise für alle Lager
 - a. Erreichbare Lebensdauer L_{10} in Stunden
 - $L_{10} \geq 20.000 \text{ h}$
 - b. Laufgüte f_S
 - $f_S \geq 1,5$
4. Nachweise für die Welle-Nabe-Verbindungen
 - a. Sicherheit S_F gegen plastische Verformung für die Welle-Nabe-Verbindungen
 - am Wellenende der Antriebswelle,
 - an den Wellenenden beider Abtriebswellen,
 - erste Abtriebswelle – Zahnrad S₂,

- erste Abtriebswelle – Zahnrad S_3 ,
 - zweite Abtriebswelle – Zahnrad S_4 ,
- mit je $S_F \geq 1,3$

b. Sicherheit S_R gegen Rutschen für die Verbindung erste Abtriebswelle – Zahnrad S_3

- $S_R \geq 2,0$

c. Nachweis zulässiger Fügetemperatur für die Verbindung erste Abtriebswelle – Zahnrad S_3

- $\vartheta \leq 200 \text{ °C}$

5. Verläufe

- Torsions- und (überlagerter) Biegemomentenverlauf für alle Wellen
- Nennspannungsverläufe (Biegung und Torsion) für alle Wellen

Kennwerte und Anforderungen

Leistung und Lastkollektiv

Das Getriebe soll in unterschiedlichen Varianten ausgelegt werden, die sich hinsichtlich Abtriebsdrehzahl $n_{ab,nenn}$, Leistung $P_{an,nenn}$, Walzachsabstand a_v und Übersetzung i unterscheiden. Die für Sie gültige Variante ergibt sich dabei wie folgt aus Ihrem Namen:

- Die Hunderterstelle wird durch den ersten Buchstaben des Vornamens bestimmt
- Die Zehnerstelle wird durch den zweiten Buchstaben des Vornamens bestimmt
- Die Einerstelle wird durch den ersten Buchstaben des Nachnamens bestimmt

Die Zuordnung der Variantenkenzziffern zu den Buchstaben Ihres Namens kann Tabelle 1 entnommen werden. In Tabelle 2 finden sich die Leistungskennwerte der jeweiligen Varianten.

Tabelle 1: Zuordnung der Variantenkenzziffern

AÄB	CDE	FGH	IJK	LMN	OÖP	QRS	TUÜV	WXYZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabelle 2: Daten der Varianten

Ziffer der Kennzahl	Hunderter	Zehner		Einer
	$n_{ab,nenn} [\text{min}^{-1}]$	$P_{an,nenn} [\text{kW}]$	$a_v [\text{mm}]$	$i [-]$
1	30	3	120	2,00
2	40	4	130	2,50
3	50	5	140	3,00
4	60	6	150	3,50
5	70	7	160	4,00
6	65	6,5	155	3,75
7	55	5,5	145	3,25
8	45	4,5	135	2,75
9	35	3,5	120	2,25

Aufgrund der Prozesscharakteristik ergibt sich das in Tabelle 3 dokumentierte Lastkollektiv im Betrieb des Getriebes, das für die Auslegung zu beachten ist. Das Lastkollektiv wiederholt sich periodisch nach der Zeit $T = \sum t_i$ innerhalb der Mindestlebensdauer des Getriebes von $L_h \geq 20.000 \text{ h}$. Das Torsionsmoment schwankt in jeder Laststufe um $\pm 25 \%$, das heißt $K_{A\tau} = 1,25$ (analog Betriebsfaktor C_B). Im Lastkollektiv sind jedoch zur Vereinfachung die oberen Werte einer Stufe angegeben. Somit berechnet sich die Amplitude des Drehmoments wie folgt:

$$M_{tai} = K_{Bi} \cdot M_{t,nenn} \cdot (K_{A\tau} - 1)$$

(siehe Anleitung Konstruktionsbeleg).

Tabelle 3: Lastkollektiv

Laststufe i	M_{ti}	t_i	n_i
1	$2 \cdot M_{t,nenn}$	0,005 s	$0,5 \cdot n_{an,nenn}$
2	$1,5 \cdot M_{t,nenn}$	3,995 s	$0,7 \cdot n_{an,nenn}$
3	$0,9 \cdot M_{t,nenn}$	296 s	$1,1 \cdot n_{an,nenn}$

Wöhlerlinienkennwerte

Der Knickpunkt der Wöhlerkurve wird für alle Wellen und Zahnräder mit der Lastwechselzahl $N = N_{Flim} = N_{Hlim} = 3 \cdot 10^6$ festgelegt. Aus Gründen der Vereinfachung bei der Berechnung wird ein einheitlicher Wöhlerlinienexponent $q = q_F = q_H = 6$ für die Wellen und Zahnräder (Fuß und Flanke) angenommen. Die Berechnung der Maschinenelemente erfolgt mit dem äquivalenten Moment, welches sich aus dem Belastungskollektiv für die treibenden Getriebestufen ergibt (K_B).

Auslegungsanforderungen

Bezüglich der Gestaltung des Getriebes und der Maschinenelemente sind folgende Anforderungen zu beachten:

- Das Getriebegehäuse ist als Gussgehäuse auszuführen.
- Antriebswelle und erste Abtriebswelle liegen horizontal nebeneinander, erste und zweite Abtriebswelle liegen vertikal übereinander.
- Zur Lagerung der Wellen sind Zylinderrollen- oder Radialrillenkugellager in Fest-/Loslagerung zu verwenden.

- Es soll eine Tauchschmierung zum Einsatz kommen, dabei soll das größte Zahnrad ungefähr 4-5-mal Modul in das Öl eintauchen.
- Die Verzahnung soll mit schrägverzahnten, einsatzgehärteten und geschliffenen Stirnrädern aus 16MnCr5 umgesetzt werden

Hinweise zur Gestaltung und Dokumentation

Ausführung des Entwurfs

Der Entwurf ist als technische Freihandzeichnung anzufertigen. Dabei muss kein standardisierter Maßstab eingehalten werden, die Größe ist entsprechend anzupassen, dass die Zeichnung A3 ausfüllt. Die Proportionen der Teile zueinander, sowie die gestaltungstechnischen Aspekte (z. B. Lageranordnung) müssen erkennbar sein.

Alle Lager sind exakt in ihrer Bauart darzustellen. Eine vereinfachte Darstellung ist außer bei Radialwellendichtringen nicht gestattet. Es ist mindestens eine Schraubenverbindung im Schnitt darzustellen, weitere Schrauben können vereinfacht dargestellt werden.

Ausführung der Gestaltung und Berechnung

Sämtliche Nachweise sind nur für eine Drehrichtung zu führen. Die Drehrichtung der Antriebswelle ist mit Blick von außen auf den Eingang der Antriebswelle im Uhrzeigersinn.

Verzahnung

Für die Verzahnung gelten pauschal folgende Werte:

- $\sigma_{Hlim} = 1400 \frac{N}{mm^2}$
- $\sigma_{FE} = 700 \frac{N}{mm^2}$
- $\sigma_{0,2} = 590 \frac{N}{mm^2}$
- $Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V = 1$
- $K_{H\alpha} \cdot K_V \cdot K_{H\beta} = K_{F\alpha} \cdot K_V \cdot K_{F\beta} = 1,8$

Bei der Aufteilung der Profilverschiebung ist $Y_{FS1} = Y_{FS2}$ anzustreben. Schrägungswinkel und Zahnbreite beider Zahnradstufen sind selbstständig zu wählen. Die zulässige Abweichung der Übersetzung beträgt $\Delta i = \pm 2,5 \%$, der Achsabstand der beiden Abtriebswellen ist genau einzuhalten. Für die Gesamtüberdeckung ist möglichst ein ganzzahliger Wert anzustreben ($\pm 10 \%$). Gleiche Zähnezahlen und glatte Übersetzungszahlen sind zulässig. Die Verzahnungskräfte sind grafisch in der wirkenden Richtung darzustellen.

Wellen

Die Nachweisorte sind an Skizzen der Wellen zu markieren.

Welle-Nabe-Verbindungen

Für den Antrieb und die Abtriebe sind Keilwellen- oder Evolventenverbindungen vorzusehen. Die Wellenenden für An- und Abtrieb sind als standardisierte Wellenenden zu gestalten.

Wenn der Abstand zwischen Zahnfuß des Rades S1 und der Bohrung (bzw. Nutgrund) dieses Rades kleiner als das Dreifache des Moduls der Verzahnung ist, ist die Antriebswelle als Ritzelwelle auszuführen.

Die Verbindungen zwischen erster Abtriebswelle und Zahnrad S2, sowie zwischen zweiter Abtriebswelle und Zahnrad S4 sind formschlüssig auszuführen.

Zwischen erster Abtriebswelle und Zahnrad S3 ist eine Querpressverbindung einzusetzen.

Ausführung der Zeichnungen

Alle Einzelteilzeichnungen und Schnitte sind grundsätzlich im Maßstab 1:1 anzufertigen. Für die Ansichten in der Zusammenbauzeichnung dürfen standardisierte Maßstäbe 1:2 oder 1:5 genutzt werden. Falls die zur Verfügung stehenden Papiergrößen für die Darstellung nicht ausreichen, dürfen auch die Schnitte der Zusammenbauzeichnung im Maßstab 1:2 angefertigt werden, Einzelheiten sind dann, wo erforderlich, vergrößert darzustellen. Die Erkennbarkeit der konstruktiven Details muss bei allen Zeichnungen gewährleistet sein.

In der Zusammenbauzeichnung sind mindestens darzustellen:

1. Vorderansicht, Blick auf Antriebswelle, Seitenansicht und Draufsicht auf einem Blatt
2. Schnitt in der horizontalen Ebene der Antriebswelle auf einem weiteren Blatt
3. Schnitt in der vertikalen Ebene der Abtriebswellen auf einem weiteren Blatt

Gegebenenfalls können mehr Ansichten zur Darstellung aller Details erforderlich sein. In der Zusammenbauzeichnung sind Hauptabmessungen und Anschlussmaße anzugeben.

Es sind alle zurzeit gültigen Zeichnungs- und Darstellungsnormen zu beachten. Alle Lager sind exakt in ihrer Bauart darzustellen. Eine vereinfachte Darstellung ist nicht gestattet. Schrauben gleicher Abmessung sind jeweils nur einmal im Schnitt darzustellen (eventuell Ausbruchdarstellung). Im Teilkreis der Bohrbilder sind Mittellinien darzustellen. Die Zeichnungen sind mit einem CAD-System zu erstellen und zu plotten.

Die Stückliste gehört zur Zusammenbauzeichnung und trägt die gleiche Benennung wie diese. Sie enthält eine Auflistung aller in der Konstruktion verwendeten Teile mit Werkstoffangaben. Bei Norm- und Kaufteilen ist die entsprechende Norm- bzw. Produktbezeichnung aufzuführen.

Form der Abgabe

Abgabe des Entwurfs

Als Entwurf ist ein 90°-Schnitt durch alle drei Wellen im Format A3 zum unten benannten Termin in der Konsultation abzugeben.

Abgabe der Berechnung

Die Dokumentation der Berechnungsergebnisse erfolgt über ein per OPAL bereitgestelltes Excel-Formular. Dieses wird primär zur Bewertung herangezogen und ist dementsprechend sorgfältig auszufüllen. Es ist darauf zu achten, dass die aktuell gültige Version des Formulars verwendet wird, etwaige Aktualisierungen werden in der Konsultation und per Rundmail bekannt gegeben.

Die detaillierte Berechnungsdokumentation ist Bestandteil des Belegs. Sie ist in Matlab auszuführen und sauber sowie nachvollziehbar zu dokumentieren. Hierzu wird die Nutzung von Matlab Live-Skripten empfohlen. Zur Steigerung der Effizienz können eigene Funktionen erstellt und genutzt werden. Im Falle von Unklarheiten und Einsichten wird diese abgegebene Dokumentation zum Nachvollziehen der Berechnung herangezogen. Die darzustellenden Kraft-, Moment- und Spannungsverläufe sowie Skizzen zur Veranschaulichung der Berechnungsorte, Lagerkraftberechnung etc. sollen in das Berechnungsskript eingebunden werden.

Die Berechnungsdokumentation ist spätestens zum Abgabetermin digital über die Plattform OPAL einzureichen. Die Dateien sind direkt im Abgabeordner hochzuladen, die Abgabe von zip-Archiven ist nicht zulässig. Das Excel-Formular ist als „Datenblatt.xlsx“ zu benennen. Zur Steigerung der Übersichtlichkeit darf die detaillierte Matlab-Berechnung in einen Unterordner gesammelt werden. Sämtliche Dateien, die zur Ausführung der Skripte erforderlich sind, müssen mit abgegeben werden. Das primäre Berechnungsskript ist eindeutig erkennbar zu benennen, z.B. als „Berechnung_Kalandergetriebe.mlx“

Zur eigenen Kontrolle werden Zwischenabgaben angeboten, bei denen lediglich das Datenblatt über OPAL abzugeben ist. In der Zwischenabgabe werden Abweichungen vom richtigen Ergebnis farblich markiert und die theoretisch erreichten Punkte in das Datenblatt eingetragen. Die Zwischenabgaben gehen nicht in die Bewertung ein.

Abgabe der Zeichnungen

Die Zeichnungen sind in gedruckter, normgerecht gefalteter und gehefteter Form zum Abgabetermin einzureichen. Der Hefter ist mit einem Deckblatt zu versehen, aus dem die Benennung des Getriebes, die Nummer der Variante, der Name, die Matrikelnummer, die E-Mail-Adresse und der Abgabetag hervorgehen. Die einzelnen Blätter dürfen nicht in Folienhüllen geheftet werden.

Berechnungsgrundlagen und Literatur

Zur Bearbeitung des Belegs sind folgende Unterlagen erforderlich, diese werden im OPAL bereitgestellt:

- Arbeitsheft Maschinenelemente Teil 1 und Teil 2
- Anleitung zum Konstruktionsbeleg

Weiterhin werden folgende Literaturhinweise empfohlen:

- Präsentation „Maschinenbauzeichnen“ im OPAL
- Hoischen: Technisches Zeichnen
- Schaeffler: [Die Gestaltung von Wälzlagerungen](#)
- Lagerkataloge und Websites der Lagerhersteller (z. B. Schaeffler, SKF)
- Schlecht: Maschinenelemente 1 und 2
- Ulrich: Technisches Freihandzeichnen: Lehr- und Übungsbuch
- Linke: Stirnradverzahnung: [Berechnung – Werkstoffe – Fertigung]
- Berechnungs- und Konstruktionsnormen über Nautos
- Matlab-Onlinedokumentation

Termine

- 26.11.2025: Abgabe des Entwurfs und erste Zwischenkontrolle Berechnung
- 17.12.2025: zweite Zwischenkontrolle Berechnung
- 14.01.2026: dritte Zwischenkontrolle Berechnung
- 04.02.2026: Abgabe

Bewertung

Im Beleg können insgesamt 100 Punkte erlangt werden. Diese verteilen sich wie folgt auf die Bestandteile des Belegs

- 15 Punkte Entwurf

- 15 Punkte Einzelteilzeichnungen
- 30 Punkte Zusammenbauzeichnung
- 40 Punkte Berechnung