



Handreichung zu den Bildungsplänen zur Erprobung Teil III

**für die Bildungsgänge,
die zu einem Berufsabschluss nach Landesrecht
und zur Allgemeinen Hochschulreife
oder
zu beruflichen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten
und zur Allgemeinen Hochschulreife führen**

Ingenieurwissenschaften Fachbereich Technik Profil bildender Leistungskurs



Herausgegeben vom Ministerium für Schule und Bildung
des Landes Nordrhein-Westfalen
Völklinger Straße 49, 40221 Düsseldorf
01/2019



Einleitung

Die vorliegende Handreichung soll eine Hilfestellung zur didaktisch/methodischen Umsetzung des Fachlehrplans in der Qualifizierungsphase für das Profil bildende Leistungskursfach Ingenieurwissenschaften bieten.

Ausgehend von einer fächerverbindenden situierten Lernaufgabe werden Problemstellungen im Kontext der Modernisierung einer Holzwerkstatt dargestellt. Die offenen Aufgabenstellungen sind modular aufgebaut und mit Hinweisen zur Erweiterung ergänzt. Diese Handreichung dient als Vorlage zur Erstellung eigener Lernaufgaben im Unterricht mit alternativen Lösungswegen, zur Verknüpfung mit praktischen Übungen durch Laborversuche sowie deren Auswertung.

Die pädagogischen Grundlagen des situierten Lernens sind in einem Arbeitsbericht¹ zur Entwicklung des Leistungskurses Ingenieurwissenschaften zusammengefasst und dort in einer Beispielaufgabe für die Jahrgangsstufe 11 umgesetzt.

Die als Materialien zur Verfügung gestellten Vergleichsklausuren wurden im Rahmen des Schulversuches in dem Zeitraum 2015 bis 2018 entwickelt und beziehen sich somit auf die Curricularen Skizzen aus dem Jahr 2015.

Die Formelsammlung entspricht der Anlage zum Abitur 2018.



Beispiel einer situierten Lernaufgabe:

„Modernisierung einer Holzwerkstatt“

In Ihrem Schulgebäude aus den 50er Jahren ist eine Holzwerkstatt eingerichtet, in der die Schülerinnen und Schüler praktische Erfahrungen im Umgang mit Holz und Holzwerkstoffen sammeln. Im Zuge einer Modernisierung müssen die folgenden Tätigkeiten durchgeführt werden:

- Erweiterung der Zufahrt zur Holzwerkstatt
- Installation einer neuen zentralen Absauganlage
- Energetische Sanierung der Gebäudehülle
- Austausch einzelner Bauteile des Antriebes der Formatkreissäge

Ihr Leistungskurs Ingenieurwissenschaften wird mit der Vorplanung der Maßnahmen betraut.

1 Erweiterung der Zufahrt zur Holzwerkstatt

Die Durchfahrt zur Holzwerkstatt muss erweitert werden (Abbildung 1). Ihr Kurs erhält den Auftrag von dem Planungsbüro Planquadrat, die Bewehrung für den Sturz vorzudimensionieren und die Zusammensetzung des Frischbetonvolumens zu ermitteln.

Folgende Angaben zu dem Stahlbetonbalken stellt das Büro Planquadrat vor.

Eigenlast aus OG und Dach g_{k1} :	27 kN/m
Eigenlast des aufgehenden Mauerwerks g_{k2} :	0,5 kN/m
Rohwichte des Stahlbetonbalkens für die Eigenlast g_{k3} :	25 kN/m ³
veränderliche charakteristische Einwirkungen q_{k1} :	7 kN/m
Eigenlast des Unterzuges inkl. der aufgenommenen Lasten G_{k4} :	60 kN
veränderliche charakteristische Einwirkungen (Unterzug) Q_{k2} :	15 kN
Durchmesser des Bügels $d_{s, bü}$:	8 mm
Druckfestigkeitsklasse des Betons:	C 25/30

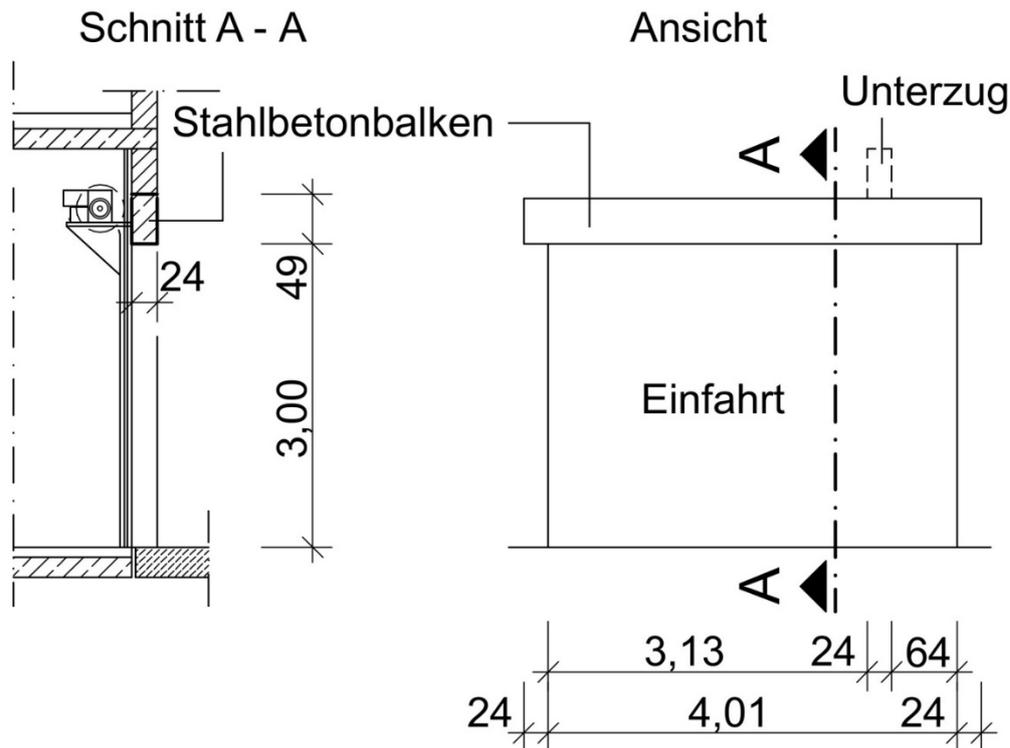


Abbildung 1: Zeichnung der Toreinfahrt

2 Installation einer neuen zentralen Absauganlage

Wegen der entstehenden Stäube bei der Herstellung der Werkstücke ist eine Absauganlage für die gesamte Holzwerkstatt notwendig. Die Elektrofirma Volta Spezial und Ihr Werkstattlehrer haben nach Rücksprache mit entsprechenden Herstellern und unter der Berücksichtigung des auszutauschenden Raumvolumens folgende Anforderungen für die Absauganlage festgelegt:

- Es soll eine dreistufige Absaugung realisiert werden. Die Stufen sollen manuell zuschaltbar sein.
- Jeder Antrieb muss ein Moment von 42 Nm aufweisen.
- Es werden drei Drehstromasynchronmotoren nebeneinander eingebaut, die Zuleitungen werden auf einer Kabelpritsche gemeinsam bis zur Unterverteilung geführt.
- Der Anschluss und die fachgerechte Absicherung der Motoren soll realisiert werden.
- Die technischen Anschlussbedingungen des Versorgungsnetzbetreibers müssen eingehalten werden.
- Der Leistungsfaktor und die Stromaufnahme nach der Kompensation sollen dem Kunden mitgeteilt werden.

- Aus Kostengründen und aufgrund der Robustheit soll die Steuerung mit konventionellen Schützsicherungen aufgebaut werden.

Ihr Kurs erhält den Auftrag, eine Vorplanung der elektrischen Installation der Absauganlage durchzuführen. Folgende Pläne stehen Ihnen dafür zur Verfügung:

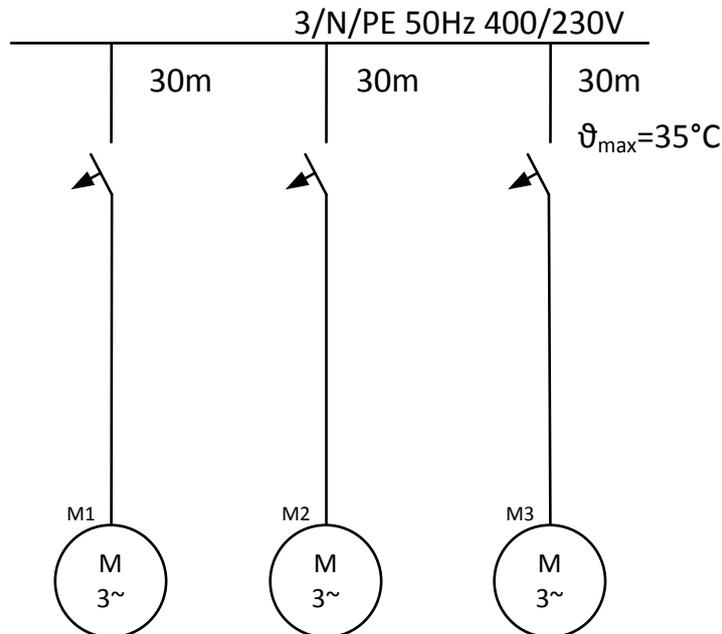


Abbildung 2: Übersichtsplan der Absauganlage

4-polige Motoren DRE.. für 400 V, 50/60 Hz, IE2

Motortyp DRE..	P _N kW	M _N Nm	n _N 1/min	I _N A	cosφ	IE	η _{50%} %	η _{75%} %	η _{100%} %	I _A /I _N	M _A /M _N	M _H /M _N	M _K /M _N
DRE80S4	0.37	2.45 2.05	1435 1740	0.87 0.79	0.77 0.73	IE2	76.5 78.2	78.5 80.2	78.8 80.0	4.9 6.9	2.6 3.0	2.1 2.4	2.9 3.7
⋮													
DRE132S4	4	26 21.5	1460 1765	8 6.7	0.82 0.83	IE2	87.6 88.0	88.2 89.4	87.4 88.5	8.0 8.9	2.7 2.7	2.4 2.2	3.2 3.7
DRE132M4	5.5	36 30	1455 1760	10.5 9	0.85 0.85	IE2	89.8 90.1	89.6 90.8	88.5 89.5	7.7 8.8	2.6 2.5	1.9 1.7	3.1 3.0
DRE132MC4	7.5	48.5 40.5	1470 1775	14.8 13.8	0.82 0.76	IE2	88.9 87.3	89.5 89.5	89.0 89.5	8.2 8.7	2.2 2.1	1.8 1.6	3.2 3.2
DRE160S4	7.5	49 40.5	1465 1770	14.7 12.6	0.82 0.83	IE2	90.3 90.0	90.3 91.0	89.3 90.2	6.5 7.6	2.4 2.8	1.8 2.0	2.5 2.9
DRE160M4	9.2	60 49.5	1470 1775	18.3 15.7	0.80 0.80	IE2	90.4 90.4	90.7 91.6	90.0 91.0	7.7 8.4	2.9 3.3	2.2 2.4	3.0 3.2
DRE160MC4	11	71 59	1475 1780	21.5 18.3	0.81 0.82	IE2	90.3 90.9	90.6 92.0	90.2 91.7	7.7 8.6	2.6 3.2	1.9 2.2	2.8 3.3
DRE180S4	11	71 59	1470 1775	21 18.1	0.83 0.83	IE2	89.5 89.7	90.4 91.4	90.2 91.0	7.2 8.0	2.6 3.1	2.2 2.4	2.9 3.3

Abbildung 3: Daten der zur Verfügung stehenden Motoren²

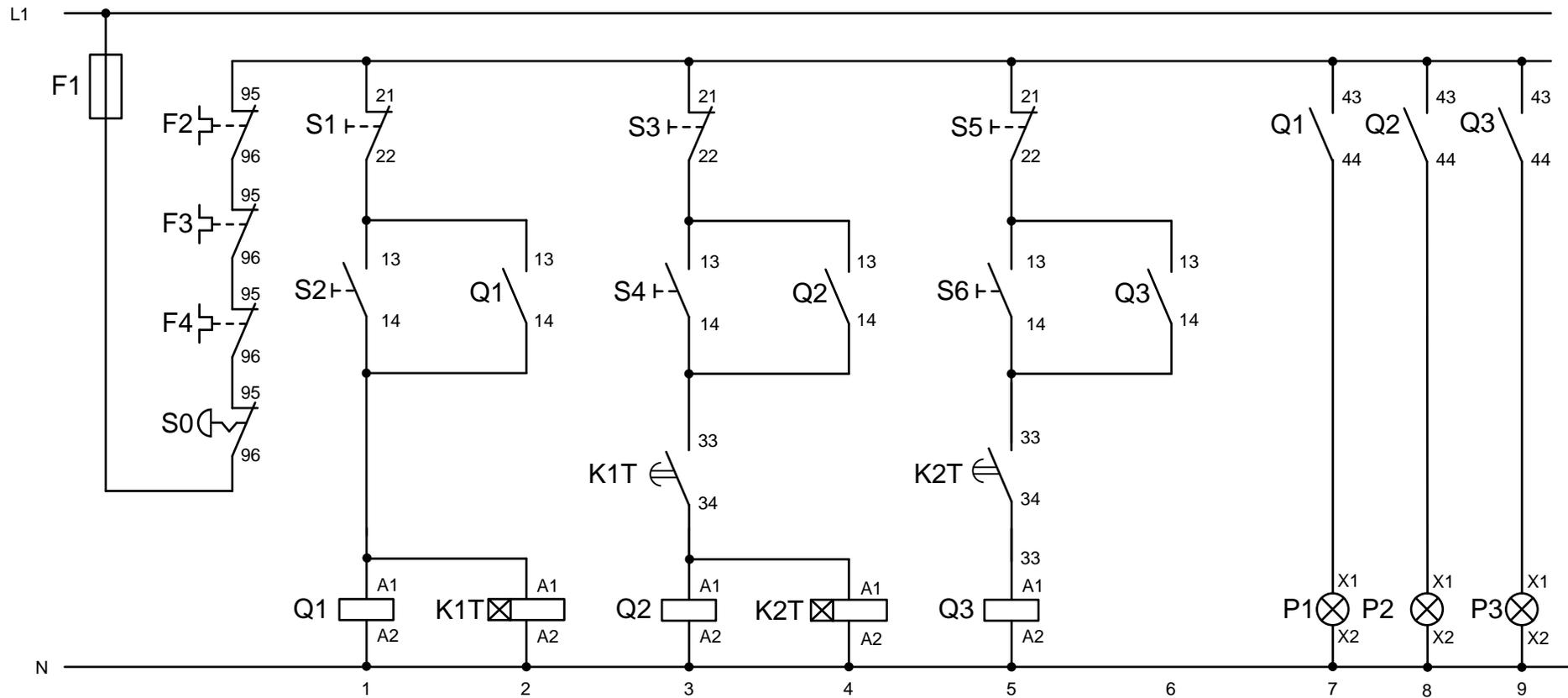


Abbildung 4: Auszug aus dem Steuerstromkreis der Absauganlage

3 Energetische Sanierung der Gebäudehülle

Im Zuge der energetischen Sanierung ist für die Gebäudehülle eine Dämmung vorgesehen. Sie erhalten den Auftrag, einen Sanierungsvorschlag für die Bauleitung zu erarbeiten und zu präsentieren.

Bestehende Außenwand:

- Kalkzementputz (innen) mit 1,5 cm
- Kalksandstein ($\rho = 1.600 \text{ kg/m}^3$) mit 24 cm
- Kalkzementputz (außen) mit 2 cm

4 Austausch einzelner Bauteile des Antriebes der Formatkreissäge

Bei der Wartung der Formatkreissäge (Abbildung 5) ist festgestellt worden, dass die Antriebskomponenten Getriebe, Riemenscheibe und Riemen ausgetauscht werden und die Wellen neu gelagert werden müssen. Helfen Sie durch Ihre Überlegungen bei den Berechnungen und Überprüfungen bei der Auswahl der neuen Bauteile.



Abbildung 5: Formatkreissäge in der Holzwerkstatt

Folgende Werte der Formatkreissäge sind bekannt:

- Auf dem Leistungsschild des Motors stehen folgenden Angaben: $P = 15 \text{ kW}$;
 $n = 147 \text{ min}^{-1}$.
- Der Durchmesser der Riemenscheibe am Motor beträgt $d_{w1} = 200 \text{ mm}$.
- Der Durchmesser der Riemenscheibe an der Kreissägewelle beträgt $d_{w2} = 110 \text{ mm}$.

Auf dem Gestell der Formatkreissäge ist eine Baugruppenzeichnung des Antriebs aufgeklebt (Abbildung 6).

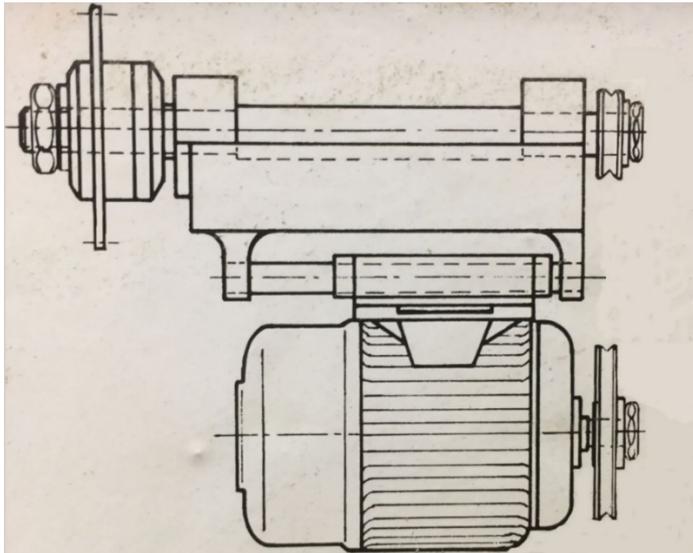


Abbildung 6: Baugruppenzeichnung des Antriebs

Das Leistungsschild des Motors enthält die Angaben: $P = 15 \text{ kW}$, $n = 1470 \text{ min}^{-1}$. Eine Zeichnung stellt die Anordnung der Komponenten dar.

Zusammen mit Ihrem Werkstattelehrer haben Sie in einer Skizze die Bemaßung der Kreissägewelle und deren Lagerung festgehalten (Abbildung 7).

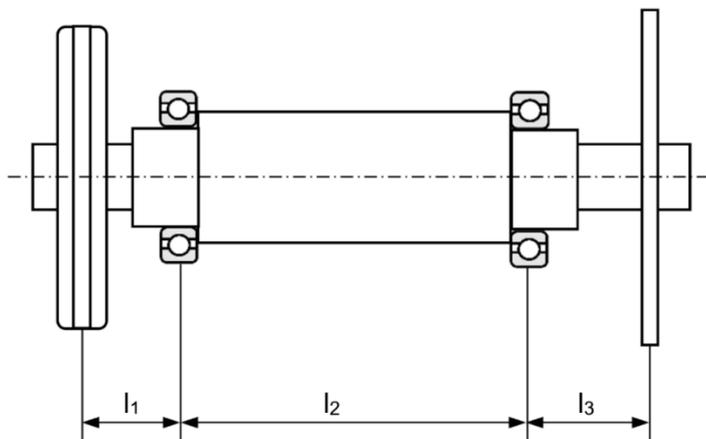


Abbildung 7: Skizze der Kreissägewelle mit Lagerung und notwendiger Bemaßung

Lösungsraum

1 Erweiterung der Zufahrt zur Holzwerkstatt

Dimensionierung der Biege-Zugbewehrung

Rechnerische Ermittlungen:

Ermittlung der Expositionsklasse: XC1

Geschätzter Durchmesser: $d_{s,l} = 16 \text{ mm}$

Ermittlung der Betondeckung:

$$c_{min, bü} = 10 \text{ mm} > d_{s, bü}$$

$$c_{nom, bü} = 10 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min, l} = 10 \text{ mm} < d_{s, l} = 16 \text{ mm}$$

$$c_{nom, l} = 16 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = \max \{26 \text{ mm} - 8 \text{ mm} = 18 \text{ mm}, 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

Berechnung der effektiven Spannweite:

$$l_{eff} = l_w \cdot 1,05 = 4,01 \text{ m} \cdot 1,05 = 4,21 \text{ m}$$

Berechnung der statischen Höhe d:

$$d = h - c_{nom} - d_{s, bü} - 0,5 d_{s, l}$$

$$d = 49 \text{ cm} - 2 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm}$$

$$d = 45,4 \text{ cm}$$

Berechnung des Bemessungswertes der Streckenlast:

$$e_d = \sum \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$$

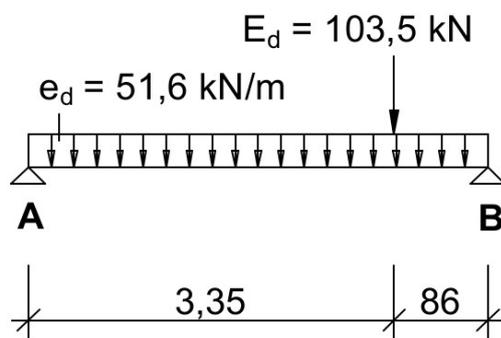
$$e_d = 1,35 \cdot \left(27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + (25 \cdot 0,24 \cdot 0,49) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) + 1,5 \cdot 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Berechnung des Bemessungswertes der Einzellast:

$$E_d = \sum \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

$$E_d = 1,35 \cdot 60 + 1,5 \cdot 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 103,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Statische Skizze:



Ermittlung der Auflagerkräfte:

$$\sum M_i = 0$$

$$51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4,21 \text{ m} \cdot \frac{4,21 \text{ m}}{2} + 103,5 \text{ kN} \cdot 3,35 \text{ m} - F_B \cdot 4,21 \text{ m} = 0$$

$$F_B = 190,98 \text{ kN}$$

$$\sum F_{v_i} = 0$$

$$51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4,21 \text{ m} + 103,5 \text{ kN} - F_A - 190,98 \text{ kN} = 0$$

$$F_A = 129,76 \text{ kN}$$

Ermittlung der Querkräfte:

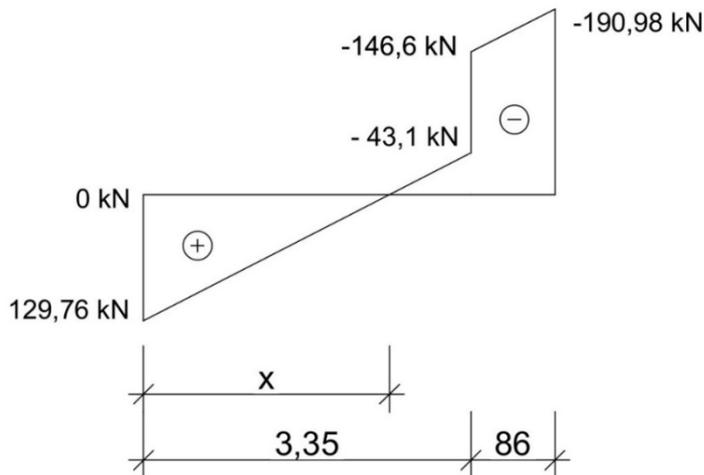
$$Q_{A,r} = 129,76 \text{ kN}$$

$$Q_{1,l} = 129,76 \text{ kN} - 51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3,35 \text{ m} = -43,1 \text{ kN}$$

$$Q_{1,r} = -43,1 \text{ kN} - 103,5 \text{ kN} = -146,6 \text{ kN}$$

$$Q_{B,l} = -146,6 \text{ kN} - 51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,86 \text{ kN} = -190,98 \text{ kN}$$

Verlauf der Querkraft:



Abstand der Nullstelle vom Lager:

$$129,76 \text{ kN} - 51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot x = 0$$

$$x = 2,51 \text{ m}$$

Ermittlung des maximalen Moments:

$$M_{ed} = 129,76 \text{ kN} \cdot 2,51 \text{ m} - 51,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{(2,51 \text{ m})^2}{2} = 163,16 \text{ kNm}$$

Dimensionierung der Biegezugbewehrung:

$$k_d = \frac{d \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_{Ed} \text{ [kNm]}}{b \text{ [m]}}}} = \frac{45,4 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{163,16 \text{ kNm}}{0,24 \text{ m}}}} = 1,74$$



k_d für Betonfestigkeitsklasse C ...									k_s
12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	
14,34	12,41	11,10	9,93	9,07	8,39	7,85	7,40	7,02	2,32
7,90	6,84	6,12	5,47	5,00	4,63	4,33	4,08	3,87	2,34
5,87	5,08	4,54	4,06	3,71	3,44	3,21	3,03	2,87	2,36
4,94	4,27	3,82	3,42	3,12	2,89	2,70	2,55	2,42	2,38
4,39	3,80	3,40	3,04	2,77	2,57	2,40	2,27	2,15	2,40
4,01	3,47	3,10	2,78	2,53	2,35	2,20	2,07	1,96	2,42
3,63	3,14	2,81	2,51	2,29	2,12	1,99	1,87	1,78	2,45
3,35	2,90	2,60	2,32	2,12	1,96	1,84	1,73	1,64	2,48
3,14	2,72	2,43	2,18	1,99	1,84	1,72	1,62	1,54	2,51
2,97	2,57	2,30	2,06	1,88	1,74	1,63	1,53	1,46	2,54
2,85	2,47	2,21	1,97	1,80	1,67	1,56	1,47	1,40	2,57
2,72	2,36	2,11	1,89	1,72	1,59	1,49	1,41	1,33	2,60
2,62	2,27	2,03	1,82	1,66	1,54	1,44	1,36	1,29	2,63
2,54	2,20	1,97	1,76	1,61	1,49	1,39	1,31	1,24	2,66
2,47	2,14	1,91	1,71	1,56	1,44	1,35	1,27	1,21	2,69
2,41	2,08	1,86	1,67	1,52	1,41	1,32	1,24	1,18	2,72
2,35	2,03	1,82	1,63	1,49	1,38	1,29	1,21	1,15	2,75
2,28	1,98	1,77	1,58	1,44	1,34	1,25	1,18	1,12	2,79
2,23	1,93	1,73	1,54	1,41	1,30	1,22	1,15	1,09	2,83
2,18	1,89	1,69	1,51	1,38	1,28	1,19	1,13	1,07	2,87
2,14	1,85	1,65	1,48	1,35	1,25	1,17	1,10	1,05	2,91
2,10	1,82	1,62	1,45	1,33	1,23	1,15	1,08	1,03	2,95
2,06	1,79	1,60	1,43	1,30	1,21	1,13	1,07	1,01	2,99
2,03	1,75	1,57	1,40	1,28	1,19	1,11	1,05	0,99	3,04
1,99	1,72	1,54	1,38	1,26	1,17	1,09	1,03	0,98	3,09

Abbildung 8: Kennwerte Biegebemessung³

Für die Betonfestigkeitsklasse C 25/30: $k_d = 1,71 \rightarrow k_s = 2,69$

$$\text{erf. } A_s [\text{cm}^2] = k_s \cdot \frac{M_{Ed} [\text{kNm}]}{d [\text{cm}]} = 2,69 \cdot \frac{163,16 \text{ kNm}}{45,4 \text{ cm}} = 9,67 \text{ cm}^2$$



Betonstabstahl			gesamter Nennquerschnitt A_S in cm^2											
d_s mm	Gewicht kg/m	Umfang cm	bei Stückzahl											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	0,222	1,89	0,283	0,566	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	3,11	3,40
8	0,395	2,51	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	5,53	6,04
10	0,617	3,14	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42
12	0,888	3,77	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,2	11,3	12,4	13,6
14	1,21	4,40	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,8	12,3	13,9	15,4	16,9	18,5
16	1,58	5,03	2,01	4,02	6,03	8,04	10,1	12,1	14,1	16,1	18,1	20,1	22,1	24,1
20	2,47	6,28	3,14	6,28	9,42	12,6	15,7	18,8	22,0	25,1	28,3	31,4	34,5	37,7
25	4,83	7,85	4,91	9,82	14,7	19,6	24,6	29,5	34,4	39,3	44,2	49,1	54,0	58,9
28	4,83	8,80	6,16	12,3	18,5	24,6	30,8	36,9	43,1	49,3	55,4	61,6	67,8	73,9

Abbildung 9: Gesamter Nennquerschnitt von Stabstahl A_S ⁴

Bei fünf Stäben mit dem Durchmesser $d_{s,l} = 16$ mm ist der Querschnitt mit $A = 10,1$ cm^2 größer als der erforderliche Querschnitt mit $A = 9,67$ cm^2 .

Überprüfung der Einhaltung des Mindestabstandes der Tragstäbe:

$$a = (24 \text{ cm} - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot d_{s,bü} - 5 \cdot d_{s,l}) : 4$$

$$a = (24 \text{ cm} - 4 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm} - 8 \text{ cm}) : 4$$

$$a = 10,4 \text{ cm} : 4 = 2,6 \text{ cm} > d_s = 2 \text{ cm}$$

Bei fünf Stäben mit dem Durchmesser $d_{s,l} = 16$ mm werden die Mindestabstände der Biegezugbewehrung eingehalten.

Ermittlung der Zusammensetzung des Frischbetonvolumens

Für die Herstellung von Beton und die Eignung von Gesteinskörnungen gelten folgende technische Regelwerke:

- Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und
- Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 und DIN 1045-2:2008-07

Festlegungen, die zu treffen sind:

- **Betondruckfestigkeit:** Da der Sturz mit Wärmedämmung versehen wird (vgl. Aufgabe 3) und somit, obwohl in der Außenwand liegend, nicht mit der Außenluft in Kontakt kommt, ist der Stahlbetonbalken als Innenbauteil zu betrachten. Daraus ergibt sich als Mindestanforderung an einen Stahlbetonbalken die



Expositionsklasse XC1 mit der Druckfestigkeitsklasse C16/20. Aufgrund der statischen Erfordernisse wird die Druckfestigkeitsklasse C25/30 ausgewählt.

Das Vorhaltemaß wird auf $9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ festgelegt, damit ergibt sich:

$$f_{c,cube} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hinweis: Für das Vorhaltemaß findet man in der Fachliteratur Werte von 6 bis 12 N/mm². Im Profil bildender Leistungskursfach Ingenieurwissenschaften nehmen wir standardmäßig 9 N/mm² an, da wir gemäß Fachlehrplan nicht darauf eingehen, nach welchen Kriterien man genau einen Wert für das Vorhaltemaß festlegt!

- Zement: CEM I 42,5 N-R, Rohdichte von $\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$
- Konsistenzklasse: F2 (plastisch)
- Gesteinskörnung:
Körnungsziffer: Sieblinie A/B 16, $k = 4,5$; $\rho_g = 2,79 \text{ kg/dm}^3$
- Eigenfeuchte Gesteinskörnung: 3,5 %
- Zusatzstoffe: keine
- Luftporenanteil: 1,5 %

Hinweis: Praktisch vollständig verdichteter Beton enthält noch zwischen 1 % - 2 % Luftporen als Verdichtungsporen.⁵



Expositions- klasse	Beschreibung der Umgebung	Druck- festigkeits- klasse	Mindest- zement- gehalt in kg/m ³	Höchst- zulässiger w/z-Wert	Bauteile (Beispiele)
6 Betonkorrosion durch chemischen Angriff					
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	C25/30	280	0,60	Kellerwände im Erdreich und wasserundurch- lässige Baukörper mit schwachem chemischen Angriff, Behälter von Kläranlagen, Güllebehälter
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung	C35/45	320	0,50	Kellerwände im Erdreich und wasserundurch- lässige Baukörper mit mäßigem chemischen Angriff, Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung	C35/45	320	0,45	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern, Gärfuttersilos, Kühltürme mit Rauchgasableitung
7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung					
XM1	mäßige Verschleiß- beanspruchung	C30/37	300	0,55	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleiß- beanspruchung	C30/37	300	0,55	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummi- bereifte Gabelstapler
XM3	sehr starke Verschleiß- beanspruchung	C35/45	320	0,45	Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden



Expositions- klasse	Beschreibung der Umgebung	Druck- festigkeits- klasse	Mindest- zement- gehalt in kg/m ³	Höchst- zulässiger w/z-Wert	Bauteile (Beispiele)
1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko					
XO	für Beton ohne Bewehrung	C8/10	–	–	Fundamente (ohne Frosteinwirkung), Innenbauteile, unbewehrt
2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung					
XC1	trocken/ständig nass	C16/20	240	0,75	Innenbauteile mit üblicher Luftfeuchte ein- schließlich Küchen, Bäder und Waschküchen, bewehrt
XC2	nass, selten trocken	C16/20	240	0,75	Fundamente, Kellerwände im Erdbereich unter GOK, bewehrt, Sohlplatten (ohne Frosteinwirkung)
XC3	mäßige Feuchte	C20/25	260	0,65	Bauteile mit Zugang der Außenluft, bewehrt
XC4	wechselnd nass und trocken	C20/25	280	0,60	Bauteile im Freien, bewehrt, Bauteile mit hohem Wassereindringwiderstand, Kellerwände über GOK
3 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser					
XD1	mäßige Feuchte	C30/37	300	0,55	Bauteile im Freien, mit Einwirkung von Frost (horizontal), Tausalzsprühnebel
XD2	nass, selten trocken	C35/45	320	0,50	
XD3	wechselnd nass und trocken	C35/45	320	0,45	Bauteile im Freien, mit Einwirkung von Frost (vertikal), Tausalzsprühnebel
4 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser					
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittel- barer Kontakt mit Meerwasser	C30/37	300	0,55	Außenbauteile in Küstennähe, z. B. Wehr- und Sperrwerkspfeiler
XS2	unter Wasser	C35/45	320	0,50	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen, z. B. Sperrwerkssohlen
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebel- bereiche	C35/45	320	0,45	Kaimauern in Hafenanlagen, Schleusenwände
5 Frostangriff mit und ohne Taumittel					
XF1	mäßige Wasser- sättigung, ohne Taumittel	C25/30	280	0,60	Außenbauteile
XF2	mäßige Wasser- sättigung, mit Taumittel	C25/30	300	0,55	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasser- bereich von Taumittel behandelten Verkehrs- flächen, soweit nicht XF4, Bauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	hohe Wasser- sättigung, ohne Taumittel	C25/30	300	0,55	offene Wasserbehälter, Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser
XF4	hohe Wasser- sättigung, mit Taumittel	C30/37	320	0,50	Verkehrsflächen, die mit Taumittel behandelt werden, überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von Taumittel behandelten Verkehrsflächen

Abbildung 10: Tabelle zu den Expositionsklassen⁶

*Hinweis: An den Stellen, an denen im Original zwei Werte (aufgrund der Zugabe von
Luftporenbildnern) für die Druckfestigkeit angegeben worden sind, wird hier didaktisch reduziert.*



Art der Gesteinskörnung	Beispiel	Rohdichte [kg/dm ³]
Leichte Gesteinskörnungen	Naturbims	0,4 ... 0,7
	Hüttenbims	0,5 ... 1,5
	Blähton, Blähschiefer	0,4 ... 1,9
Normale Gesteinskörnungen	Kiessand (Quarz)	2,6 ... 2,7
	Granit	2,6 ... 2,8
	Dichter Kalkstein	2,7 ... 2,8
	Basalt	2,9 ... 3,1
Schwere Gesteinskörnungen	Baryt (Schwerspat)	4,0 ... 4,3
	Magnetit	4,6 ... 4,8
	Hämatit	4,7 ... 4,9
Rezyklierte Gesteinskörnungen ¹⁾	Betonsplitt, -brechsand	≥ 2,0
	BauwerkSplitt, -brechsand	≥ 2,0

¹⁾ Verwendungsbeschränkung auf die Gesteinskörnungstypen 1 bzw. 2 (zu mindestens 90 % bzw. 70 % bestehend aus Beton und Gesteinskörnung) entsprechend DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“.

Abbildung 11: Dichte der Gesteinskörnung⁷

Konsistenzklasse	C0	F1 C1	F2 C2	F3 C3	F4	F5	F6
Ausbreitmaß [mm]	–	≤ 340	350...410	420...480	490...550	560...620	≥ 630
Verdichtungsmaß c [-]	≥ 1,46	1,45...1,26	1,25...1,11	1,10...1,04	–	–	–
Konsistenzbeschreibung	sehr steif	steif	plastisch	weich	sehr weich	fließfähig	sehr fließfähig
Eigenschaften des Feinmörtels	erdfeucht	erdfeucht und etwas nasser	weich	flüssig	sehr flüssig		
Eigenschaften des Frischbetons beim Schütten	lose	lose/schollig	schollig bis zusammenhängend	schwach fließend	fließend		
Verdichtungsart	kräftig wirkende Rüttler und/oder kräftiges Stampfen bei dünner Schüttlage		Rütteln	Rütteln	„Entlüften“ durch Stochern oder leichtes Rütteln		

Abbildung 12: Konsistenz des Frischbetons⁸

Sieblinie	k-Wert	D-Summe
A32	5,48	352
B32	4,20	480
C32	3,30	570
U32	5,65	335
A16	4,60	440
B16	3,66	534
C16	2,75	625
U16	4,87	413
A8	3,63	537
B8	2,90	610
C8	2,27	673
U8	3,88	512

Abbildung 13: k -Wert und D -Summe⁹

Stoffraumrechnung

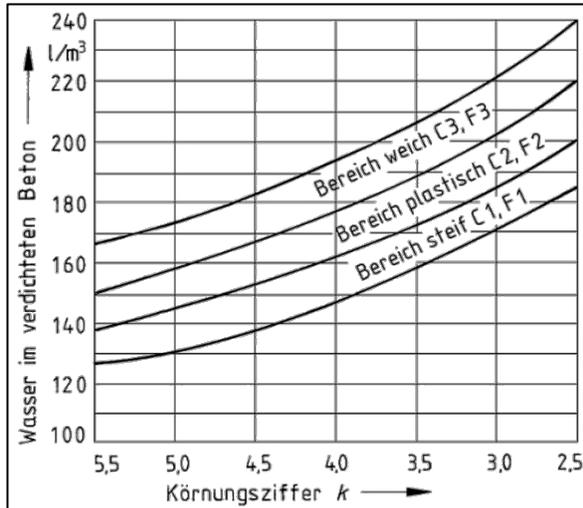


Abbildung 14: Wasseranspruch¹⁰

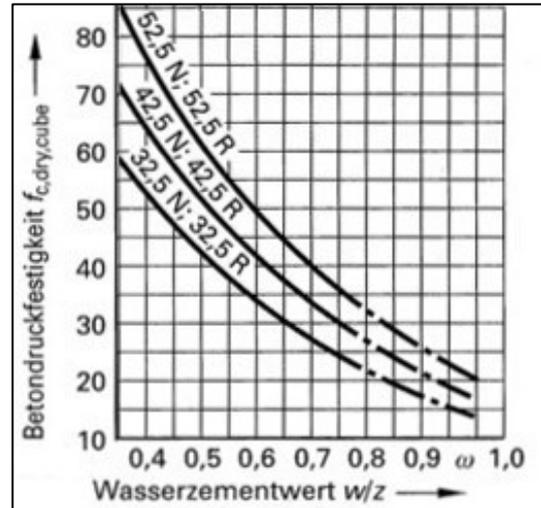


Abbildung 15: Einfluss des w/z -Wertes auf die Festigkeit des Betons (nach Walz)¹¹

Aus der Tabelle ergeben sich folgende Grenzwerte für die ausgewählten Expositionsklassen:

XC1 -> max $w/z = 0,75$ C16/20 min $z = 240 \text{ kg/m}^3$

Daraus ergibt sich für den maximal zulässigen Wasserzementwert $w/z = 0,75$. Die Druckfestigkeitsklasse des Betons muss mindestens C16/20 betragen, jedoch ist statisch die Druckfestigkeitsklasse von C25/30 erforderlich. Der Zementgehalt muss min $z = 240 \text{ kg/m}^3$ betragen.

Rezeptur des Betons mit Hilfe der Stoffraumrechnung

Ermittlung des Wasserbedarfs für 1 m^3 :

Anhand der Abbildung zur Ermittlung des Wasserbedarfs wird für eine Körnungsziffer $k = 4,5$ und für einen Konsistenzbereich F2 ein Wasserbedarf von 160 l/m^3 ermittelt.

Ermittlung des Wasserzementwerts:

Für eine Betondruckfestigkeit $f_{c,cube} = 39 \text{ N/mm}^2$ sowie einen CEM I 42,5 N-R wird ein Wasserzementwert $w/z = 0,64$ aus dem Walz-Diagramm ermittelt. Die relevante



Expositionsklasse XC1 gibt einen höchstzulässigen Wassercementwert von $w/z = 0,75$ vor.
Somit muss $w/z = 0,64$ gewählt werden.

Ermittlung des Zementbedarfs für 1 m³:

$$z = \frac{w}{\omega} = \frac{160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,64} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Die ermittelten 250 kg/m³ für den Zement liegen über dem geforderten Mindestzementgehalt von 240 kg/m³ aus der Expositionsklasse XC1 und sind somit ausreichend.

Ermittlung der Gesteinskörnung für 1 m³:

$$1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3} = \left(\frac{z}{\rho_z} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{g}{\rho_g} + p \right) \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}$$

$$g = \left(\rho_g \cdot \left(1000 - \frac{z}{\rho_z} - \frac{w}{\rho_w} - p \right) \right) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = \left(2,79 \cdot \left(1000 - \frac{250}{3,1} - \frac{160}{1} - 15 \right) \right) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 2.076,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ermittlung des Wasserbedarfs und der Gesteinskörnung unter Berücksichtigung der Eigenfeuchte für 1 m³:

Eigenfeuchte: $g_{ef} = 2.076,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,035 = 72,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Wasserbedarf: $w = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - g_{ef} = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 72,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 87,31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Gesteinskörnung: $g = 2.076,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + g_{ef} = 2.076,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 72,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2149,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Bestimmung des Betonrezepts zur Herstellung des Stahlbetonbalkens:

$$l \cdot b \cdot h = (4,01 \text{ m} + 2 \cdot 0,24 \text{ m}) \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 0,49 \text{ m} = 0,528 \text{ m}^3$$

Wasserbedarf: $w = 87,31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,528 \text{ m}^3 = 46,1 \text{ kg}$



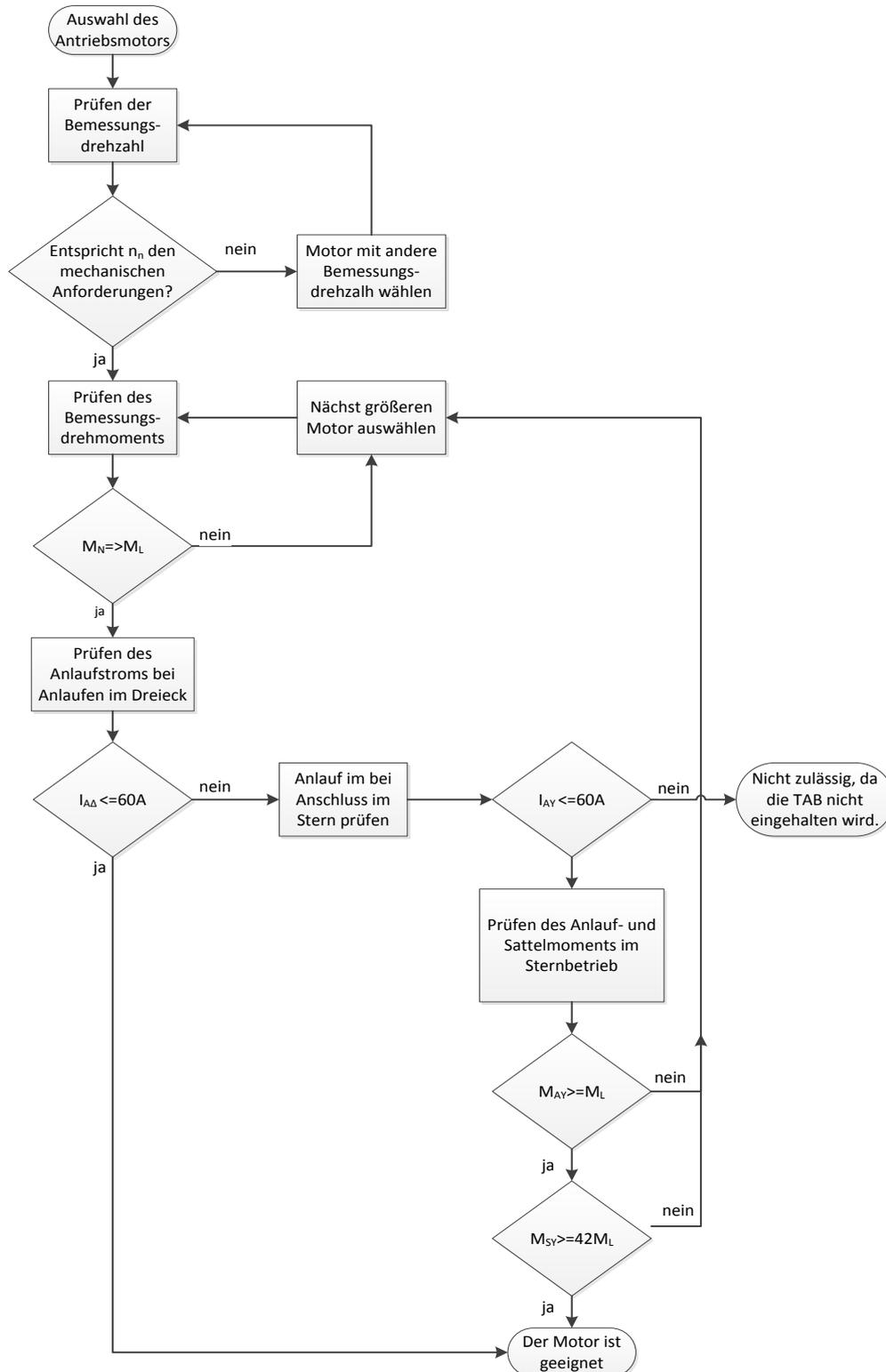
Zementbedarf: $z = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,528 \text{ m}^3 = 132 \text{ kg}$

Gesteinskörnung: $g = 2.149,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,528 \text{ m}^3 = 1.134,9 \text{ kg}$

Es werden 46,1 l Wasser, 132 kg Zement sowie 1.134,9 kg Gesteinskörnung zur Herstellung des Stahlbetonbalkens für die Zufahrt benötigt.

2 Installation einer neuen zentralen Absauganlage

Ablaufplan zur Auswahl des Antriebsmotors





Berechnungen zur Auswahl des Antriebsmotors

Das wichtigste Kriterium zur Auswahl des Antriebsmotors sind die TABs des Versorgungsnetzbetreibers. Die Grenze der Scheinleistung ($S = 5,2 \text{ kVA}$) wird von jedem Motor, der 42 Nm liefern kann, überschritten. Also muss der Anlaufstrom beachtet werden:

Motor 1: 7,5 kW DREM132MC4

Bemessungsdrehmoment: $48,5 \text{ Nm} \rightarrow$ zulässig

Anlaufstrom bei Anschluss im Dreieck:

$$\frac{I_A}{I_N} = 8,2 \rightarrow I_{A\Delta} = 8,2 \cdot 14,8 \text{ A} = 121,36 \text{ A} \rightarrow \text{nicht zulässig nach TAB}$$

Mögliche Lösung: Stern-Dreieck-Anlauf:

$$\frac{I_{AY}}{I_{A\Delta}} = 3 \rightarrow I_{AY} = \frac{1}{3} \cdot 8,2 \cdot 14,8 \text{ A} = 40,45 \text{ A} < 60 \text{ A} \rightarrow \text{zulässig}$$

Überprüfen des Anlaufmoments beim Stern-Dreieck-Anlauf:

$$\frac{M_{AY}}{M_{A\Delta}} = \frac{1}{3} \cdot 2,2 \cdot 48,5 \text{ Nm} = 35,57 \text{ Nm} < 42 \text{ Nm} \rightarrow \text{nicht zulässig}$$

Motor 2: 9,2 kW DREM160M4

Bemessungsdrehmoment: $60 \text{ Nm} \rightarrow$ zulässig

Anlaufstrom bei Anschluss im Dreieck: $\frac{I_A}{I_N} = 7,7 \rightarrow I_{A\Delta} = 7,7 \cdot 18,3 \text{ A} = 140,91 \text{ A} \rightarrow$ nicht zulässig nach TAB

Mögliche Lösung: Stern-Dreieck-Anlauf: $\frac{I_{AY}}{I_{A\Delta}} = 3 \rightarrow I_{AY} = \frac{1}{3} \cdot 7,7 \cdot 18,3 \text{ A} = 46,97 < 60 \text{ A} \rightarrow$ zulässig

Überprüfen des Anlaufmoments beim Stern-Dreieck-Anlauf:

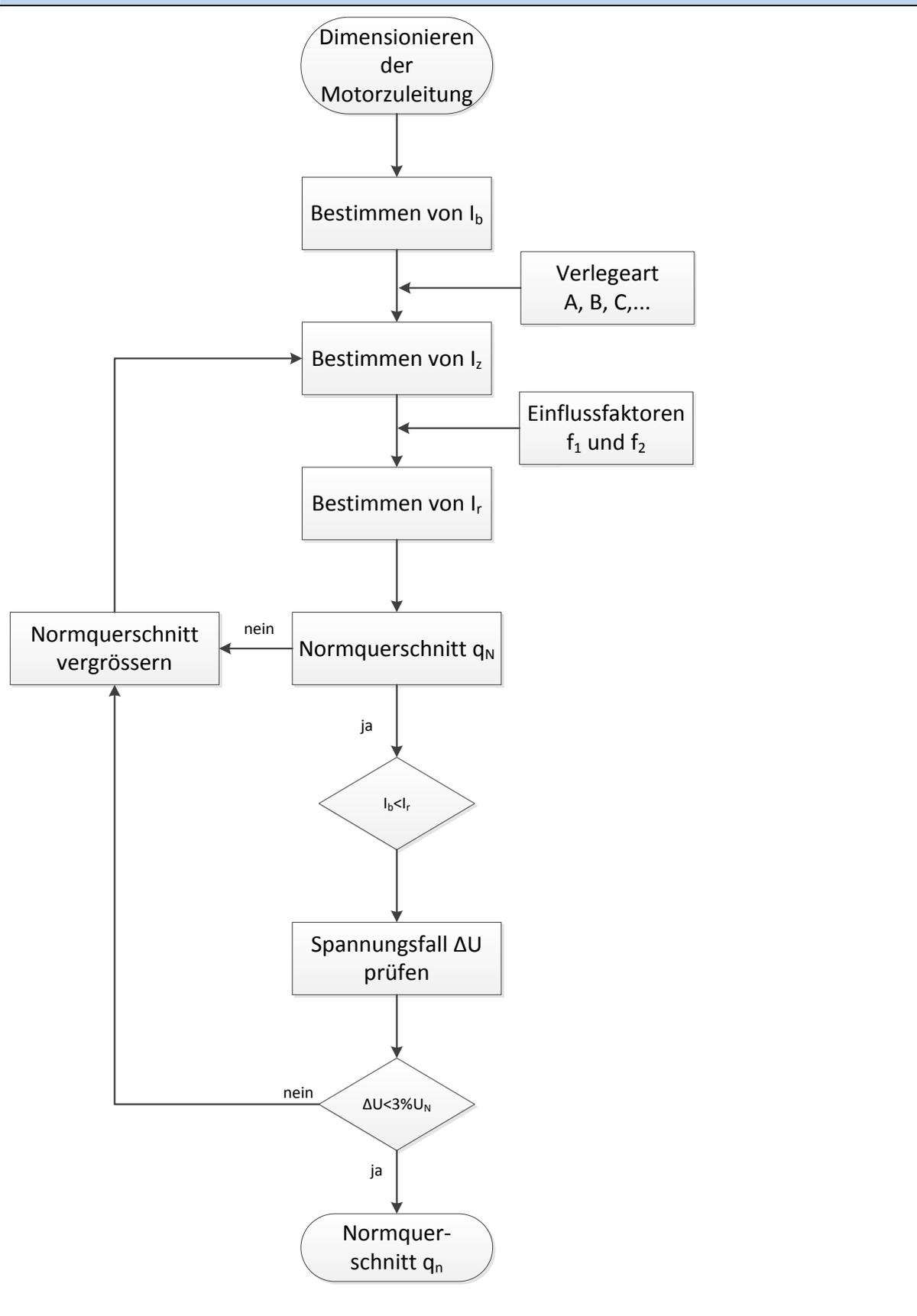
$$\frac{M_{AY}}{M_{A\Delta}} = \frac{1}{3} \cdot 2,9 \cdot 60 \text{ Nm} = 58 \text{ Nm} > 42 \text{ Nm} \rightarrow \text{zulässig}$$

Überprüfen des Sattelmoments beim Stern-Dreieck-Anlauf:

$$\frac{M_{HY}}{M_{H\Delta}} = \frac{1}{3} \cdot 2,2 \cdot 60 \text{ Nm} = 44 \text{ Nm} > 42 \text{ Nm} \rightarrow \text{zulässig}$$



Ablaufplan zur Auswahl des Querschnitts der Zuleitung





Berechnung der Strombelastbarkeit der Zuleitung und Überprüfung des Spannungsfalls

Verlegeart B2, 3 belastete Adern, $f_1 = 0,89$, $f_2 = 0,7$

$$I_r = \frac{18,3 \text{ A}}{0,89 \cdot 0,7} = 29,37 \text{ A} \rightarrow \text{gewählt aus Tabelle: } q = 6 \text{ mm}^2$$

$$\Delta u = \frac{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ m} \cdot 18,3 \text{ A} \cdot 0,8}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \cdot 6 \text{ mm}^2} = 2,26 \text{ V} < 12 \text{ V}$$

Dimensionieren des Leitungsschutzschalters über den Anlaufstrom und die Schleifenimpedanz im Kurzschlussfall

Absicherung mit $I_n = 20 \text{ A}$

Überprüfen des Anlaufstroms: $I_{AY} = \frac{1}{3} \cdot 7,7 \cdot 18,3 \text{ A} = 46,97 \text{ A}$ (Y-Δ-Anlauf!)

Gewählte Charakteristik: B $\rightarrow I_{\text{Abschalt, min}} = 3 \cdot 20 \text{ A} = 60 \text{ A} > I_{AY} = 46,97 \text{ A} \rightarrow$ zulässig

Abschalten im Kurzschlussfall: Bei gegebener Schleifenimpedanz ist zu überprüfen, ob der Kurzschlussstrom $I_k = \frac{230 \text{ V}}{Z_S}$ größer als der maximale Abschaltstrom für Charakteristik B ist.

Bestimmen der benötigten Kondensatoren zur Kompensation der Motoren

$$P_{zu} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 18,3 \text{ A} \cdot 0,8 = 10142,89 \text{ W}$$

$$Q_L = \tan \varphi \cdot P_{zu} = 7607,167 \text{ var}$$

$$\text{Für } \cos \varphi = 0,95 \rightarrow Q_{\text{neu, max}} = \tan(\cos^{-1}(0,95)) \cdot P_{zu} = 3333,81 \text{ var}$$

$$Q_{c, \text{max}} = Q_L - Q_{\text{neu, max}} = 4273,36 \text{ var}$$

$$c_{\text{ges, max}} = \frac{Q_{c, \text{max}}}{2\pi f U^2} = 85,02 \mu\text{F}$$

$$c_{\text{einzel}} = \frac{c_{\text{ges, max}}}{3} = 28,34 \mu\text{F}$$

Gewählt: $c_{\text{einzel}} = 25 \text{ Mf}$



Berechnen des neuen Wirkleistungsfaktors nach Auswahl der Kompensationskondensatoren

$$Q_{c,neu} = c_{ges} \cdot 2\pi f \cdot U^2 = 3769,91 \text{ var}$$

$$Q_{neu} = Q_L - Q_{c,neu} = 3837,26 \text{ var}$$

$$\cos \varphi_{neu} = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Q_{neu}}{P_{zu}} \right) \right) = 0,935$$

Berechnen der Stromaufnahme nach Kompensation mit Hilfe des neuen Wirkleistungsfaktors

$$I_{neu} = \frac{P_{zu}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_{neu}} = 15,6 \text{ A}$$

Berechnen der Stromaufnahme nach Kompensation mit Hilfe des neuen Wirkleistungsfaktors

- F1: Überstromschutzeinrichtung
- F2, F3, F4 Motorschutzschalter
- S0: Not-Aus
- Taster S2 schaltet Q1 (Motor 1 Stern-Dreieck-Anlauf) ein und hält sich selbst → K1T schließt in Strompfad 3 verzögert und bereitet das Zuschalten von Q2 (Motor 2 Stern-Dreieck-Anlauf) vor.
- Nach Schalten von K1T kann über S4 Q2 (Motor 2 Stern-Dreieck-Anlauf) eingeschaltet werden und sich selbst halten → K2T schließt in Strompfad 5 verzögert und bereitet das Zuschalten von Q3 (Motor 3 Stern-Dreieck-Anlauf) vor.
- Nach Schalten von K2T kann über S6 Q3 (Motor 3 Stern-Dreieck-Anlauf) eingeschaltet werden und hält sich selbst.
- Die Motoren können jederzeit über S1, S3, S5 abgeschaltet werden.
- Die Meldeleuchten P1, P2, P3 zeigen den Betrieb der Motoren 1, 2, 3 an.

3 Energetische Sanierung der Gebäudehülle

Wärme- und feuchtetechnische Untersuchungen

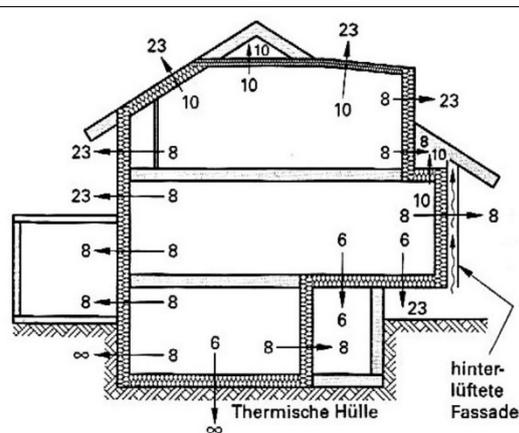
Hinweis: Die Lösung wird exemplarisch mit folgender Sanierungsmöglichkeit vorgestellt:

Sanierung mit Außendämmung:

Mineralwolle WLGr 035 mit 14 cm

Kalkzementputz (außen, neu) mit 2 cm

	Wärmeübergangszahlen		Wärmeübergangswiderstände	
	h_i	h_e	R_{si}	R_{se}
	W/(m ² K)	W/(m ² K)	m ² K/W	m ² K/W
Im Wärmeschutz				
Richtung des Wärmestroms				
aufwärts	10	23	0,10	0,04
horizontal	8	23	0,13	0,04
abwärts	6	23	0,17	0,04
hinterlüftete Fassade		8		0,13
Im Feuchteschutz				
	4	23	0,25	0,04



Wärmeübergangszahlen in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms.

Abbildung 16: Wärmeübergangszahlen und Wärmeübergangswiderstände¹²

Wärmedurchgangskoeffizient U (Wärmeschutz):

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se}$$

$$R_T = \left(0,13 + \frac{0,015}{1} + \frac{0,24}{0,79} + \frac{0,02}{1} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,02}{1} + 0,04 \right) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 4,529 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,221 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$



Wärmedurchgangswiderstand R_T (Feuchteschutz):

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se}$$

$$R_T = \left(0,25 + \frac{0,015}{1} + \frac{0,24}{0,79} + \frac{0,02}{1} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,02}{1} + 0,04 \right) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 4,649 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Ermittlung der Grenzschnitttemperaturen:

$$\Delta\vartheta_{\text{Schicht}} = (\vartheta_{\text{innen}} - \vartheta_{\text{außen}}) \cdot \frac{R_{\text{Schicht}}}{R_T}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{Luft/Innenputz}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{0,25}{4,649} \right) \text{ °C} = 1,344 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{Luft/Innenputz}} = 18,6 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{Innenputz/KS}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{0,015}{4,649} \right) \text{ °C} = 0,081 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{Innenputz/KS}} = 18,5 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{KS/Putz}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{0,304}{4,649} \right) \text{ °C} = 1,635 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{KS/Putz}} = 16,9 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{Putz/Mineralwolle}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{0,02}{4,649} \right) \text{ °C} = 0,108 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{Putz/Mineralwolle}} = 16,8 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{Mineralwolle/Außenputz}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{4}{4,649} \right) \text{ °C} = 21,510 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{Mineralwolle/Außenputz}} = -4,7 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{Außenputz/Luft}} = \left(25 \text{ °C} \cdot \frac{0,02}{4,649} \right) \text{ °C} = 0,108 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{\text{Außenputz/Luft}} = -4,8 \text{ °C}$$

Hinweise: In der Physik werden Temperaturunterschiede in Kelvin (K) angegeben.

Aufgrund der anschließenden Rechnungen wurden hier die Differenzen in °C angegeben.

Die einzelnen Temperaturen sind den tatsächlichen, nicht gerundeten Temperaturen angepasst. Prinzipiell wurde nicht im mathematischen Sinne gerundet, sondern stets auf die niedrigere, also für die Untersuchung auf Tauwasserausfall ungünstigere Temperatur.



Temperatur in °C	Sättigungsdampfdruck, in Pa, für Temperaturschritte in Zehntel °C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
20	2337	2351	2366	2381	2395	2410	2425	2440	2455	2470
19	2196	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2308	2323
18	2063	2076	2089	2102	2115	2129	2142	2155	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	1999	2012	2024	2037	2050
16	1817	1829	1841	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
15	1704	1715	1726	1738	1749	1760	1771	1783	1794	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1650	1661	1672	1683	1693
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1587
12	1402	1411	1420	1430	1439	1449	1458	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1393
10	1227	1236	1244	1252	1261	1269	1278	1286	1295	1303
9	1147	1155	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1219
8	1072	1080	1087	1094	1102	1109	1117	1124	1132	1140
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1058	1065
6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
5	872	878	884	890	897	903	909	915	922	928
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
3	757	763	768	774	779	785	790	796	801	807
2	705	710	715	721	726	731	736	741	747	752
1	656	661	666	671	676	680	685	690	695	700
0	611	615	619	624	629	633	638	642	647	652
0	611	605	601	596	591	586	581	576	571	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	526	521
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
-3	475	471	468	464	460	456	452	448	444	441
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371

Abbildung 17: Tabelle zum Wasserdampfsättigungsdruck¹³

Ermittlung der Wasserdampfsättigungsdrücke:

$$p_{sat, \text{Luft/Innenputz}} = 2142 \text{ Pa}$$

$$p_{sat, \text{Innenputz/Kalksandstein}} = 2129 \text{ Pa}$$

$$p_{sat, \text{Kalksandstein/Putz}} = 1924 \text{ Pa}$$

$$p_{sat, \text{Putz/Mineralwolle}} = 1912 \text{ Pa}$$

$$p_{sat, \text{Mineralwolle/Außenputz}} = 412 \text{ Pa}$$

$$p_{sat, \text{Außenputz/Luft}} = 408 \text{ Pa}$$



Erstellung des Glaser-Diagramms:

$$s_d = \mu \cdot d$$

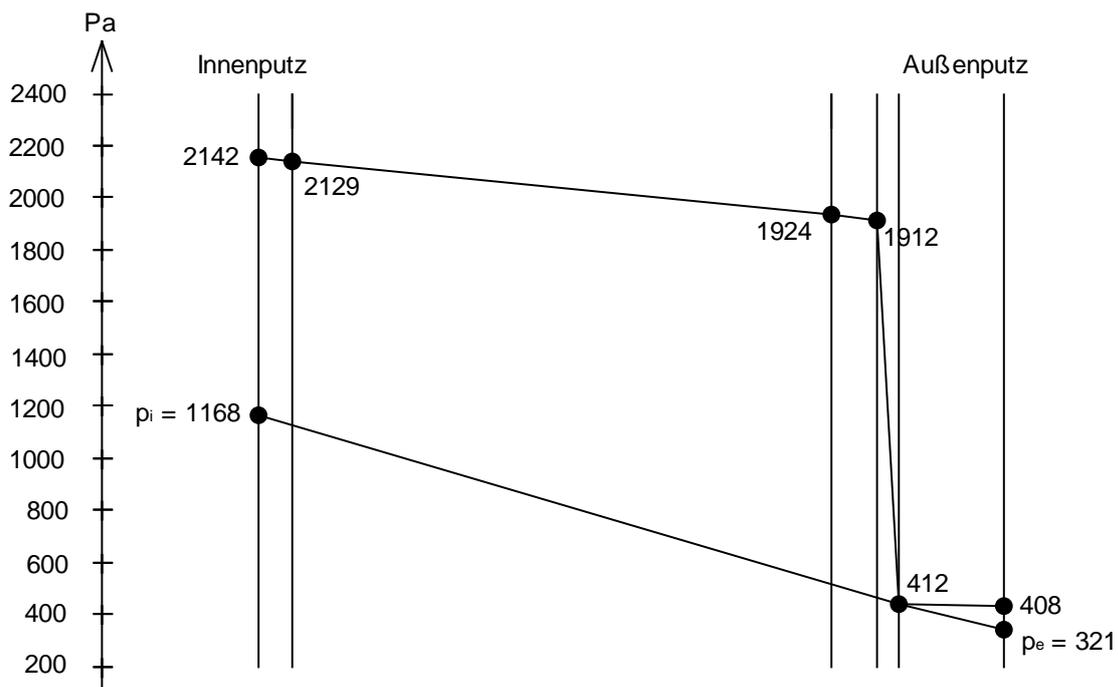
$$s_{d, \text{Innenputz}} = 15 \cdot 0,015 \text{ m} = 0,225 \text{ m}$$

$$s_{d, \text{Kalksandstein}} = 15 \cdot 0,24 \text{ m} = 3,60 \text{ m}$$

$$s_{d, \text{Putz}} = 15 \cdot 0,02 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$$

$$s_{d, \text{Mineralwolle}} = 1 \cdot 0,14 \text{ m} = 0,14 \text{ m}$$

$$s_{d, \text{Außenputz}} = 35 \cdot 0,02 \text{ m} = 0,70 \text{ m}$$



Es ist mit Tauwasserausfall zwischen der Dämmschicht (Mineralwolle) und dem (neuen) Außenputz zu rechnen.



Überprüfung der Schadensfreiheit:

Äquivalente Luftschichtdicken des Tau- und des Verdunstungsbereiches:

$$s_{d,c} = \sum \min \mu \cdot d = 4,265 \text{ m}$$

$$s_{d,T} - s_{d,c} = \sum \max \mu \cdot d = 0,70 \text{ m}$$

Anfallende Tauwassermasse während der Tauperiode:

$$m_c = \delta_0 \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_c$$

$$m_c = \left(2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{1168 - 412}{4,265} - \frac{412 - 321}{0,70} \right) \cdot 7,776 \cdot 10^6 \right) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0,0739 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \leq 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Während der Tauperiode fällt eine tolerierbare Tauwassermasse von $0,0739 \text{ kg/m}^2$ an.

Mögliche, ausdiffundierende Tauwassermasse während der Verdunstungsperiode:

$$m_{ev} = \delta_0 \cdot \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c}} + \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_{ev}$$

$$m_{ev} = \left(2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{1700 - 1200}{4,265} + \frac{1700 - 1200}{0,70} \right) \cdot 7,776 \cdot 10^6 \right) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 1,2932 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_{ev} = 1,2932 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \geq 0,0739 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = m_c$$

Die anfallende Tauwassermasse während der Tauperiode kann während der Verdunstungsperiode vollständig ausdiffundieren. Es ist langfristig nicht mit Feuchteschäden aufgrund von Tauwasserausfall zu rechnen.



4 Austausch einzelner Bauteile des Antriebes der Formatkreissäge

Berechnung des notwendigen Drehmoments M_M am Antriebsmotor der Kreissägewelle

Der antreibende Motor hat unter Last eine Drehzahl von $n = 1478 \text{ min}^{-1}$ und dabei eine Leistung von $P = 15 \text{ kW}$.

$$P = M_M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$M_M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$M_M = \frac{15000 \text{ W} \cdot 60\text{s}}{2 \cdot \pi \cdot 1470}$$

$$M_M = 97,44 \text{ Nm}$$

Berechnung des Drehmoments auf die Kreissägewelle

Der antreibende Motor hat unter Last ein Drehmoment von $M_M = 100 \text{ Nm}$. Der Wirkungsgrad des Riementriebs beträgt $\eta = 0,85$ und das Übersetzungsverhältnis $i = 0,55$.

$$M_t = M_M \cdot i \cdot \eta$$

$$M_t = M_M \cdot i \cdot \eta$$

$$M_t = 100 \text{ Nm} \cdot 0,55 \cdot 0,85$$

$$M_t = 46,75 \text{ Nm}$$

Berechnung der Schnittgeschwindigkeit am Sägeblatt

Der Antriebsmotor hat unter Last eine Drehzahl von $n = 1470 \text{ min}^{-1}$ und das Übersetzungsverhältnis beträgt $i = 0,55$. Das Sägeblatt hat einen Durchmesser von $d_s = 550 \text{ mm}$.

$$i = \frac{n_M}{n_S}$$

$$n_S = \frac{n_M}{i}$$

$$n_S = \frac{1470 \text{ min}^{-1}}{0,55}$$

$$n_S = 2672,73 \text{ min}^{-1}$$

$$v = \pi \cdot d_s \cdot n_S$$

$$v = \pi \cdot 0,55 \text{ m} \cdot 44,55 \text{ s}^{-1}$$

$$v = 76,97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnungen der Auflagerkräfte an der Kreissägewelle

Die Kreissägewelle ist an den Lagerstellen A und B gelagert. Durch die Vorspannung des Riemetriebes ergibt sich eine Wellenkraft F_w , die doppelt so groß ist wie die Tangentialkraft F_t an der Riemenscheibe. Das Drehmoment der Kreissägewelle beträgt $M_t = 50 \text{ Nm}$. Bei der Verwendung eines kleineren Sägeblatts mit dem Durchmesser von $d = 300 \text{ mm}$ beträgt die Tangentialkraft des Sägeblatts $F_{tS} = 300 \text{ N}$.

Berechnung der Wellenkraft:

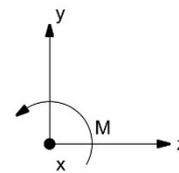
$$F_t = \frac{2 \cdot M_t}{d_{w2}}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 50 \text{ Nm}}{110 \text{ mm}}$$

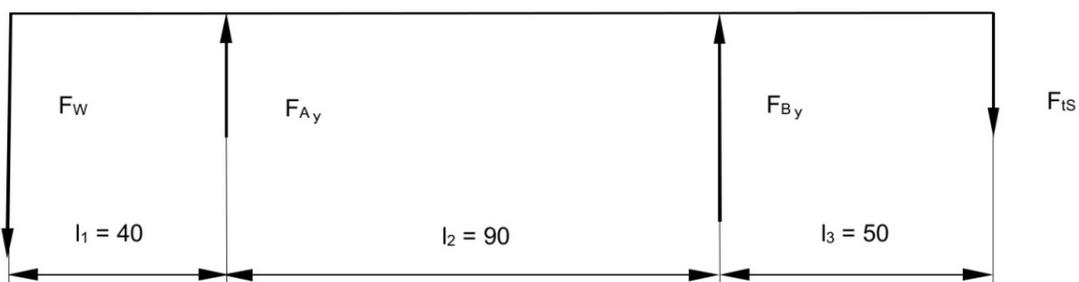
$$F_t = 909,09 \text{ N}$$

$$F_w = 2 \cdot F_t$$

$$F_w = 2 \cdot 909,09 \text{ N} = 1818,18 \text{ N}$$



mechanisches Ersatzbild:



Bestimmung der Auflagerkraft F_{Ay} :

$$\sum M_B = 0 = F_w \cdot (l_1 + l_2) - F_{Ay} \cdot l_2 - F_{tS} \cdot l_3$$

$$F_{Ay} = \frac{F_w \cdot (l_1 + l_2) - F_{tS} \cdot l_3}{l_2}$$



$$F_{Ay} = \frac{1818,18 \text{ N} \cdot (40 \text{ mm} + 90 \text{ mm}) - 300 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}}{90 \text{ mm}}$$

$$F_{Ay} = 2459,59 \text{ N}$$

Bestimmung der Auflagerkraft F_{By} :

$$\sum F_y = 0 = -F_W + F_{Ay} + F_{By} - F_{t_s}$$

$$F_{By} = F_W - F_{Ay} + F_{t_s}$$

$$F_{By} = 1818,18 \text{ N} - 2459,59 \text{ N} + 300 \text{ N}$$

$$F_{By} = -341,41 \text{ N}$$

Berechnung der Lebensdauer der Lager in Stunden

Zur Lagerung der Kreissägewelle im Lager A wird ein Rillenkugellager der Baureihe 6208 (Abbildung 18) verwendet. Die radial wirkende Kraft soll mit $F_{Ar} = 2500 \text{ N}$ und die axiale Kraft mit $F_a = 0 \text{ kN}$ angenommen werden. Die Drehzahl der Kreissägewelle wird mit $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ angenommen.

Richtwerte für Tragzahlen von Rillenkugellagern (Auswahl)

d	Rillenkugellager Lagerreihe 60			Rillenkugellager Lagerreihe 62			Rillenkugellager Lagerreihe 63		
	Tragzahl in kN dynamisch C	Tragzahl in kN statisch C ₀	Basis- zeichen	Tragzahl in kN dynamisch C	Tragzahl in kN statisch C ₀	Basis- zeichen	Tragzahl in kN dynamisch C	Tragzahl in kN statisch C ₀	Basis- zeichen
20	9,3	5	6004	12,7	6,55	6204	17,3	8,5	6304
30	12,7	8	6006	19,3	11,2	6206	29	16,3	6306
40	17	11,8	6008	29	18	6208	42,5	25	6308
50	20,8	15,6	6010	36,5	24	6210	62	38	6310
60	29	23,2	6012	52	36	6212	81,5	52	6312
70	39	31,5	6014	62	44	6214	104	68	6314
80	47,5	40	6016	72	53	6216	122	86,5	6316
100	60	54	6020	122	93	6220	163	134	6320

Abbildung 18: Tragzahlen Rillenkugellager¹⁴

Berechnung der äquivalenten Lagerbelastung:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$P = 1 \cdot 2,5 \text{ kN} + 0 \cdot 0 \text{ kN}$$

$$P = 2,5 \text{ kN}$$



Berechnung der nominellen Lebensdauer in Umdrehungen:

$C = 29 \text{ kN}$ für Lager 6208 mit $d = 40 \text{ mm}$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{10} \cdot 10^6$$

$$L_{10} = \left(\frac{29 \text{ kN}}{2,5 \text{ kN}}\right)^{10} \cdot 10^6$$

$$L_{10} = 11,6 \cdot 10^6$$

Berechnung der nominellen Lebensdauer in Betriebsstunden:

$$L_{10h} = \frac{L_{10}}{60 \cdot n}$$

$$L_{10h} = \frac{11,6 \cdot 10^6}{60 \cdot 2,5 \text{ min}^{-1}}$$

$$L_{10h} = 1288,8 \text{ h}$$

Überprüfung des Rillenkugellagers 61807 nach DIN 625 unter Berücksichtigung von technisch-konstruktiven und wirtschaftlichen Gesichtspunkten

Zur Überprüfung des Rillenkugellagers B wird eine Drehzahl der Kreissägewelle von $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ und eine maximal resultierende Lagerkraft $F_{Br} = 500 \text{ N}$ angenommen. Für das Lager ist eine Lebensdauer von mindestens $L_{10h} = 14\,000 \text{ h}$ gefordert.

Kurzzeichen	C_{dyn} (N)	d (mm)	D (mm)	B (mm)	Preis (€)
61807	4360	35	47	7	21,69
16007	13000	35	62	9	22,56
6007	16800	35	62	14	23,86
6307	35100	35	80	21	43,61

Abbildung 19: Rillenkugellager nach DIN 625

Überprüfung des Rillenkugellagers 61807 nach DIN 625 unter Berücksichtigung von technisch-konstruktiven und wirtschaftlichen Gesichtspunkten

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot \left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3}{60 \cdot n}$$



$$C_{dyn} = \sqrt[3]{\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6}} \cdot P$$

mit $P = F_{rB} = 500 \text{ N}$:

$$C_{dyn} = \sqrt[3]{\frac{14000 \cdot 60 \cdot 3000 \text{ min}}{10^6 \text{ min}}} \cdot 500 \text{ N}$$

$$C_{dyn} = 6804,09 \text{ N}$$

Das Lager 61807 kann nicht eingesetzt werden, da es die erforderliche dynamische Tragzahl nicht aufweist. Beim Einbau würde das Lager nicht die erforderliche Lebensdauer von $L_{10h} = 14\,000 \text{ h}$ erreichen.

Für die gegebene Konstruktion muss für die Lagerstelle B ein Rillenkugellager mit einer dynamischen Tragzahl von mindestens $C_{dyn} = 7000 \text{ N}$ gewählt werden. Dieses Kriterium erfüllen die Lager 16007, 6007 und 6307, die Lager 6007 und 6307 sind deutlich überdimensioniert.

Jedoch können die Lager 6007 und 6307 nicht eingebaut werden, da sie sehr große Lagerbreiten besitzen. Bei ihnen muss zu viel umkonstruiert werden (Umkonstruktion der Welle, ggf. Ausdrehen des Gehäuses, ...).

Die Auswertung der Kriterien führt zur Auswahl des Lagers 16007, da es ausreichend dimensioniert ist. Dazu muss das Gehäuse ggf. ausgedreht werden und der Lagersitz verändert werden.

Aus wirtschaftlichen Gründen kann das Lager 16007 gewählt werden, da es nur unwesentlich teurer als das Rillenkugellager 61807 ist.

Überprüfung der Dimensionierung der Passfeder nach DIN 6892 Methode C

Die Verbindung der Riemenscheibe aus EN-GJL-300 mit der Kreissägewelle mit $d = 30 \text{ mm}$ aus E335 erfolgt über eine Passfeder DIN 6885 – A – 8 x 7 x 32, die das schwellend auftretende Drehmoment von $M_t = 50 \text{ Nm}$ überträgt. Für die Ermittlung der zulässigen Flächenpressung anhand der (siehe Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22) wird der ungünstigste Fall angenommen.

Passfedern (hohe Form) vgl. DIN 6885-1 (1968-08)																
Form A		Form B		Form C		Form D		Form E		Form F						
												Toleranzen für Passfedernuten				
												Wellennutenbreite b		fester Sitz leichter Sitz		P 9 N 9
Nabennutenbreite b		fester Sitz leichter Sitz		P 9 JS 9												
zul. Abweichung bei d_1		≤ 22	≤ 130	> 130												
Wellennutentiefe t_1 Nabennutentiefe t_2		+ 0,1 + 0,1	+ 0,2 + 0,2	+ 0,3 + 0,3												
zul. Abweichung bei Länge l		6 ... 28	32 ... 80	90 ... 400												
Längentoleranzen für		Feder		- 0,2	- 0,3	- 0,5										
		Nut		+ 0,2	+ 0,3	+ 0,5										
d_1 über bis	6 8	8 10	10 12	12 17	17 22	22 30	30 38	38 44	44 50	50 58	58 65	65 75	75 85	85 95	95 110	110 130
b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
h	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18
t_1	1,2	1,8	2,5	3	3,5	4	5	5	5,5	6	7	7,5	9	9	10	11
t_2	1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	3,3	3,3	3,8	4,3	4,4	4,9	5,4	5,4	6,4	7,4
l von bis	6 20	6 36	8 45	10 56	14 70	18 90	20 110	28 140	36 160	45 180	50 200	56 220	63 250	70 280	80 320	90 360
Nennlängen l	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320 mm															
➔	Passfeder DIN 6885 – A – 12 x 8 x 56: Form A, $b = 12 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $l = 56 \text{ mm}$															

Abbildung 20: Geometrische Größen der Passfedern nach DIN 6885¹⁵



Gusseisen mit Lamellengrafit vgl. DIN EN 1561 (2012-01)							
Zugfestigkeit R_m als kennzeichnende Eigenschaft				Härte HB als kennzeichnende Eigenschaft			
Sorte		Wanddicke mm	Zugfestigkeit R_m N/mm ²	Sorte		Wanddicke mm	Brinellhärte HB30
Kurzname	Werkstoff- nummer			Kurzname	Werkstoff- nummer		
EN-GJL-100	5.1100	5 ... 40	100	EN-GJL-HB155	5.1101	2,5 ... 50	max. 155
EN-GJL-150	5.1200	2,5 ... 200	110 ... 150	EN-GJL-HB175	5.1201	2,5 ... 100	115 ... 175
EN-GJL-200	5.1300	2,5 ... 200	160 ... 200	EN-GJL-HB195	5.1304	5 ... 100	125 ... 195
EN-GJL-250	5.1301	5 ... 200	200 ... 250	EN-GJL-HB215	5.1305	5 ... 100	145 ... 215
EN-GJL-300	5.1302	10 ... 200	240 ... 300	EN-GJL-HB235	5.1306	10 ... 100	160 ... 235
EN-GJL-350	5.1303	10 ... 200	280 ... 350	EN-GJL-HB255	5.1307	20 ... 100	180 ... 255
⇒ EN-GJL-100: Gusseisen mit Lamellengrafit, Mindestzugfestigkeit $R_m = 100$ N/mm ²				⇒ EN-GJL-HB215: Gusseisen mit Lamellengrafit, maximale Brinellhärte = 215 HB			
<p>Eigenschaften Gut gießbar und zerspanbar, schwingungsdämpfend, korrosionsbeständig, hohe Druckfestigkeit (ca. das Dreifache der Zugfestigkeit), gute Gleiteigenschaften.</p> <p>Anwendungsbeispiele Maschinengestelle, Lagergehäuse, Gleitlager, druckfeste Teile, Turbinengehäuse. Die Härte als kennzeichnende Eigenschaft gibt Hinweise auf die Zerspanbarkeit.</p>							
Abbildung 21: Werkstoffeigenschaften von Gusseisenwerkstoffen ¹⁶							
Mechanische Eigenschaften für Flach- und Langerzeugnisse aus Stahlsorten ohne Werte für die Kerbschlagarbeit							
Nenn-dicken in mm	Mindest- streck- grenze R_{eH} , ^a MPa ^b	Nenn-dicken in mm	Zugfestigkeit R_m ^a MPa ^b	Nenn-dicken in mm	Mindestbruchdehnung ^a %		
					$L_0 =$ 80 mm	$L_0 =$ $5,65 \sqrt{S_0}$	
≤ 16	295	< 3	490 bis 660	≤ 1	12 10		
> 16 ≤ 40	285	> 3 ≤ 100	470 bis 610		> 1 ≤ 1,5		13 11
> 40 ≤ 63	275	> 100 ≤ 150	450 bis 610	> 1,5 ≤ 2	14 12		
> 63 ≤ 80	265	> 150 ≤ 250	440 bis 610	> 2 ≤ 2,5	15 13		
> 80 ≤ 100	255			> 2,5 ≤ 3	16 14		
> 100 ≤ 150	245			> 3 ≤ 40			20 18
> 150 ≤ 200	235			> 40 ≤ 63		19 17	
> 200 ≤ 250	225			> 63 ≤ 100		18 16	
				> 100 ≤ 150		16 15	
				> 150 ≤ 250		15 14	
<p>Dieser Stahl wird üblicherweise nicht für U-Stahl, Winkel und Profile verwendet.</p> <p>a für Bleche und Breitflachstahl in Breiten ≥ 600 mm gilt die Richtung quer (t) zur Walzrichtung. Für alle anderen Erzeugnisse gelten die Werte in Walzrichtung (l)</p> <p>b 1 Mpa = 1 N/mm²</p>							
Abbildung 22: Werkstoffeigenschaften des Stahls E295 ¹⁷							

Verbindungsart	Nabenwerkstoff		L/d	
	Stahl, GS $p_{Fzul}^* = R_e/S_F$	Grauguss $p_{Fzul}^* = R_m/S_B$	Stahl, GS	Grauguss
Passfeder	$S_F \approx 1,1 \dots 1,5$	$S_B \approx 1,5 \dots 2,0$	1,1 ... 1,4	1,6 ... 2,1
Gleitfedern und Keile	$S_F \approx 3,0 \dots 4,0$	$S_B \approx 3,0 \dots 4,0$	1,8 ... 2,0	2,0 ... 2,2

* p_{Fzul} : zulässige Fugenpressung für Federn und Keile

Abbildung 23: Sicherheitszahlen

Bestimmung der Werkstoffkennwerte:

für EN-GJL-300

$$R_{m,min} = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$P_{zul} = \frac{R_{m,min}}{S_B}$$

$$P_{zul} = \frac{240 \text{ N}}{2,0 \text{ mm}^2} = 120 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

für E295

$$R_e = 285 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$P_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$$

$$P_{zul} = \frac{285 \text{ N}}{1,5 \text{ mm}^2} = 190 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Auswahl der zu überprüfenden Stelle:

Da die zulässige Flächenpressung an der Nabe aus EN-GJL-300 kleiner als an der Welle ist und die Höhe an der Nabe ($h - t_f$) kleiner als an der Welle (t_f) ist, wird die Flächenpressung an der Nabe überprüft.



Bestimmung der tragenden Passfederlänge:

$$l_{tr} = l - b$$

$$l_{tr} = 32 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \quad l_{tr} = 24 \text{ mm}$$

Bestimmung der mittleren Flächenpressung:

Traghöhe der Nut in der Welle: $t_1 = 4 \text{ mm}$,

Passfederhöhe: $h = 7 \text{ mm}$,

Anzahl der Passfedern und Traganteil bei mehreren Passfedern: $i = 1$, $\varphi = 1$

$$p_m = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot (h - t_1) \cdot l_{tr} \cdot i \cdot \varphi}$$

$$p_m = \frac{2 \cdot 50000 \text{ Nmm}}{30 \text{ mm} \cdot (7 \text{ mm} - 4 \text{ mm}) \cdot 24 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1}$$

$$p_m = 46,30 \text{ N/mm}^2$$

Vergleich der Flächenpressungen:

$$p_m = 46,30 \text{ N/mm}^2 < p_{zul} = 120 \text{ N/mm}^2$$

→ Die Passfeder wurde ausreichend dimensioniert und kann verwendet werden.



Abbildungen

Abbildung 1: Zeichnung der Toreinfahrt.....	5
Abbildung 2: Übersichtsplan der Absauganlage	6
Abbildung 3: Daten der zur Verfügung stehenden Motoren	6
Abbildung 4: Auszug aus dem Steuerstromkreis der Absauganlage.....	7
Abbildung 5: Formatkreissäge in der Holzwerkstatt	8
Abbildung 6: Baugruppenzeichnung des Antriebs	9
Abbildung 7: Skizze der Kreissägewelle mit Lagerung und notwendiger Bemaßung	9
Abbildung 8: Kennwerte Biegebemessung	13
Abbildung 9: Gesamter Nennquerschnitt von Stabstahl As.....	14
Abbildung 10: Tabelle zu den Expositionsklassen	17
Abbildung 11: Dichte der Gesteinskörnung.....	18
Abbildung 12: Konsistenz des Frischbetons	18
Abbildung 13: k-Wert und D-Summe	19
Abbildung 14: Wasseranspruch.....	19
Abbildung 15: Einfluss des w/z-Wertes auf die Festigkeit des Betons (nach Walz).....	19
Abbildung 16: Wärmeübergangszahlen und Wärmeübergangswiderstände	27
Abbildung 17: Tabelle zum Wasserdampf-sättigungsdruck.....	29
Abbildung 18: Tragzahlen Rillenkugellager.....	34
Abbildung 19: Rillenkugellager nach DIN 625.....	35
Abbildung 20: Geometrische Größen der Passfedern nach DIN 6885.....	37
Abbildung 21: Werkstoffeigenschaften von Gusseisenwerkstoffen	38
Abbildung 22: Werkstoffeigenschaften des Stahls E295.....	38
Abbildung 23: Sicherheitszahlen	39

Inhaltsverzeichnis

1 Erweiterung der Zufahrt zur Holzwerkstatt.....	4
2 Installation einer neuen zentralen Absauganlage	5
3 Energetische Sanierung der Gebäudehülle	8
4 Austausch einzelner Bauteile des Antriebes der Formatkreissäge	8
Lösungsraum:	
1 Erweiterung der Zufahrt zur Holzwerkstatt.....	10
2 Installation einer neuen zentralen Absauganlage	22
3 Energetische Sanierung der Gebäudehülle	27
4 Austausch einzelner Bauteile des Antriebes der Formatkreissäge	32



Quellen

-
- ¹ Jenewein, Klaus; Domjahn, Jürgen; Unger, Alexander: „Situierendes Lernen im beruflichen Gymnasium für Ingenieurwissenschaften: eine Handreichung für Curriculumentwicklung und Unterrichtspraxis“ (2017)
- ² <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/19290403.pdf>, S. 98 (aufgerufen am 15.6.2018)
- ³ Wessig, Josef et al.: Bautechnik Tabellen. Braunschweig: Verlag Westermann, 14. Auflage 2010, S. 238
- ⁴ Wessig, Josef et al.: Bautechnik Tabellen. Braunschweig: Verlag Westermann, 14. Auflage 2010, S. 232
- ⁵ Zement-Merkblatt Betontechnik B 20 2.2015
- ⁶ Ballay, Falk et al.: Bautechnik Fachkunde. 15. Auflage. Haan-Gruiten 2015: Europa-Lehrmittel, S. 304 ff (angepasst)
- ⁷ <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkblätter/B20.pdf> (aufgerufen am 15.6.2018)
- ⁸ <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkblätter/B4.pdf> (aufgerufen am 15.6.2018)
- ⁹ <https://www.betontechnische-daten.de/de/2-7-2-koernungsziffer-k-wert-und-durchgangswert-d-summe> (aufgerufen am 15.6.2018)
- ¹⁰ Balder, Batran et al: Bauzeichnen, Stuttgart: Holland + Josenhans Verlag, 2. Auflage 2011, S. 159
- ¹¹ Küchlin, Dagmar et al.: Betontechnische Daten. Ausgabe 2017 HEIDELBERGCEMENT: S. 142, angepasst
- ¹² Bläsi: Bauphysik. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 10. Auflage 2015, S. 38 (angepasst)
- ¹³ DIN 4108-3:2014-11, Grenzen der Anwendbarkeit im Feuchteschutz; Anhang C: Grundlagen für wärme- und feuchteschutztechnische Berechnungen, Tabelle C.1 (angepasst)
- ¹⁴ Gomeringer, Roland et al.: Tabellenbuch Metall. 47. Auflage. Haan-Gruiten 2017: Europa Lehrmittel, S. 268
- ¹⁵ Gomeringer, Roland et al.: Tabellenbuch Metall. 47. Auflage. Haan-Gruiten 2017: Europa Lehrmittel, S. 247
- ¹⁶ Gomeringer, Roland et al.: Tabellenbuch Metall. 47. Auflage. Haan-Gruiten 2017: Europa Lehrmittel, S. 169
- ¹⁷ https://www.metall-express.de/WebRoot/Store21/Shops/63840625/MediaGallery/Datenblaetter/1.0050_St50-2_E295_gewalzt.pdf, (zuletzt abgerufen am 18.04.2018)