



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

trimet

TRIMET ALUMINUM AG Hamburg

Entwicklung eines Bohrstandes für Al-Saugrohre

Bachelorthesis

Name:	Chan
Vorname:	Felix
Matrikelnummer	1859863
Department	Maschinenbau und Produktion
Studiengang:	Entwicklung und Konstruktion
vorgelegt am:	09.09.2011
Erstprüfer:	Herr Prof. Dr.-Ing. Hilmar Hoder
Zweitprüfer:	Herr Dipl.-Ing. Till Reek

Kontakt

Erstprüfer:

Herr Prof. Dr.-Ing. Hilmar Hoder

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion
Berliner Tor 21
20099 Hamburg

hilmar.hoder@haw-hamburg.de

Zweitprüfer und betrieblicher Betreuer:

Herr Dipl.-Ing. Till Reek

Trimet Aluminium AG Hamburg
Produktionsleiter Elektrolyse
Aluminiumstraße
21129 Hamburg

till.reek@trimet.de

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei denjenigen bedanken, die mich bei der Erstellung und Ausarbeitung dieser Bachelorthesis unterstützt haben.

Ein besonderer Dank geht an meinen betreuenden Professor und Erstprüfer Herrn Prof. Dr.-Ing Hilmar Hoder, der mir bei der Planung und in der Konzipierungsphase mit seinen technischen Wissen und Erfahrungen sehr hilfreiche Hinweise gegeben hat.

Ebenfalls geht ein besonderer Dank an meinen betrieblichen Betreuer und Zweitprüfer Herrn Dipl.-Ing. Till Reek, der mir diese Arbeit ermöglicht und mich während der gesamte Zeit mit sehr wertvollen Informationen und Anregungen unterstützt hat.

Desweiteren möchte ich allen Kollegen der Firma TRIMET Aluminium AG Hamburg danken, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Christian Fick, Herrn Dr.-Ing. Andreas Lützerath, Herrn Stefan Koop und Herrn Carsten Schur, die mir bei der Erstellung der Thesis mit gutem Rat beistanden.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir das Studium ermöglicht haben. Selbstverständlich möchte ich auch meiner Schwester und meinen Freunden danken, die mich während der Zeit moralisch unterstützt haben

Felix Chan

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Grundlagen.....	2
2.1	TRIMET.....	2
2.2	Standort Hamburg.....	3
2.3	Elektrolyse.....	8
2.4	Betriebszeiten.....	10
3	Konstruktive Grundlagen.....	11
3.1	Konstruktionsmethodik.....	11
3.2	Ablaufplanung.....	12
3.3	Planung.....	14
3.3.1	Funktion.....	14
3.3.2	Anforderungsliste.....	16
3.3.3	Pflichtenheft.....	18
3.4	Konzipieren.....	19
3.4.1	Ideensammlung.....	19
3.4.2	Lösungssuche.....	20
3.4.2.1	Brainstorming.....	21
3.4.2.2	Morphologische Methode.....	23
3.4.3	Lösungsbewertung.....	25
3.4.3.1	Prüfen der Forderungserfüllung.....	25
3.4.3.2	Ermitteln der Bewertungskriterien.....	26
3.4.3.3	Wichten der Bewertungskriterien.....	26
3.4.3.4	Lösungsbewertung.....	27
3.5	Entwerfen.....	29
3.6	Ausarbeiten.....	32
4	Aufgabenstellung.....	33
4.1	Die Entscheidung des Lösungsweges.....	36
5	Produktplanung Ist-Stand-Analyse Rohrbohrstand.....	39
5.1	Funktionsanalyse Rohrbohrstand.....	45
5.2	Anforderungsliste des Rohrbohrstandes.....	49
5.3	Pflichtenheft des Rohrbohrstandes.....	53

6	Konzipierungsphase	54
6.1	Morphologischer Kasten Rohrbohrstand	54
6.2	Lösungsbewertung Rohrbohrstand.....	56
6.2.1	Forderungsüberprüfung.....	56
6.2.2	Ermittlung der Bewertungskriterien.....	56
6.2.3	Gewichtung der Bewertungskriterien.....	57
6.2.4	Auswertung mittels Wertigkeitsverfahren	57
7	Konstruktionsphase.....	61
7.1	Bohrvorrichtung	62
7.1.1	Motorauswahl.....	62
7.1.2	Bohrmolchenauswahl.....	63
7.1.3	Ermittlung des Bohrwellendurchmessers.....	64
7.1.3.1	Ermittlung des Entwurfsdurchmessers.....	64
7.1.3.1.1	Werkstoffauswahl.....	64
7.1.3.1.2	Ermittlung der Beanspruchungen	66
7.1.3.1.3	Ermittlung der Wellendurchmesser	71
7.1.3.1.4	Gestaltung der Bohrwelle	74
7.1.3.2	Kontrollrechnung Festigkeitsnachweis	75
7.1.3.2.1	Statischer Festigkeitsnachweis	76
7.1.3.2.2	Dynamischer Festigkeitsnachweis.....	77
7.1.3.2.3	Ergebnisse der Nachweise	78
7.1.4	Lagerauswahl	79
7.1.5	Kupplungsauswahl	80
7.2	Bohrvorschubvorrichtung.....	81
7.2.1	Auswahl der Profilschienenführung.....	81
7.2.2	Auswahl der Hydraulikzylinder	82
7.3	Ablageeinheit für das Saugrohr.....	83
7.4	Entlüftungsanlage.....	84
8	Ausarbeitungsphase	85
8.1	Hydraulik-Schaltplan	86
8.2	SPS Speicherprogrammierbare Steuerung	88
9	Zusammenfassung und Ausblick	90
10	Literaturverzeichnis	92

11 Anhang..... 95

I. Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Bemerkung
Lösungsbewertung		
g_i		Gesamtgewichtungsfaktor der Rangfolge-Gewichtung
g_k		Gewichtungsfaktor der Bewertungskriterien
P_i		Punkte der Teillösungen
P_{ik}		Punkte der Teillösungen der zugehörigen Bewertungskriterien
w_g		Wertigkeit der Gesamtlösung
Motorauswahl		
$F_{A\ VL}$	N	zulässige Axialkraft abtriebsseitig mit verstärkten Lagerung
$f_b = K_a$		Betriebsfaktor
$F_{R\ VL}$	N	zulässige Querkraft abtriebsseitig mit verstärkten Lagerung
i_{ges}		Getriebeübersetzung gesamt
m	kg	Masse
M_2	Nm	Abtriebsdrehmoment
M_n	Nm	Nenn Drehmoment
n_2	min^{-1}	Abtriebdrehzahl
n_n	min^{-1}	Drehzahl
P_1	kW	Antriebsleistung des Getriebes
P_n	kW	Nennleistung
ω_n	1/s	Frequenz
Wellenberechnung, Festigkeitsnachweis		
A	mm^2	Querschnittsfläche
A	N	Lagerkraft
B	N	Lagerkraft
C	N	Lagerkraft
c		Umrechnungsfaktor
D	mm	Durchmesser (groß)
d	mm	Durchmesser (Absatz)
E	N/mm^2	Elastizitätsmodul
EI	Nmm^2	Biegesteifigkeit
F	N	Axialkraft
G	N	Gewichtskraft
g	m/s^2	Erdbeschleunigung
G'	mm^{-1}	Spannungsgefälle
I	mm^4	Flächenmoment
i	mm	Trägheitsradius
$K_a = f_b$		Betriebsfaktor
K_D		Konstruktionsfaktor
K_g		geometrischer Größeneinflussfaktor
K_O		Oberflächeneinflussfaktor

K_t		technologische Größeneinflussfaktor
K_v		Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung
l	mm	Länge der Welle
M	N	Biegemoment
n		Stützzahl
R	mm	Absatzradius
r	mm	Wellenradius
R_e	N/mm^2	Fließgrenze
R_m	N/mm^2	Streckgrenze
R_z	μm	Rauhtiefe
S_D		Sicherheit gegen den Dauerbruch
S_F		Sicherheit gegen das Fließen
S_Z		Sicherheitsfaktor für den vereinfachten dynamischen Festigkeitsnachweis
T	N	Torsionsmoment
W	mm^3	Widerstandsmoment
X		virtuelle Kraft
α	$^\circ$	Winkel vom Boden zum Saugrohr
α_k		Kerbformzahl
β_k		Kerbwirkungszahl
δ	m/	Einflusszahl
λ		Schlankheitsgrad
λ_g		Grenzschlankheitsgrad
σ	N/mm^2	Spannung
τ	N/mm^2	Tangentialspannung
v		Sicherheitszahl
φ		Umrechnungsfaktor
Lagerberechnung		
C	N	dynamische Tragzahl
F_a	N	Axialkraft
f_L		dynamische Kennzahl (Lebensdauerfaktor)
f_N		Drehzahlfaktor
F_r	N	Radialkraft
L_{10}	10^6 Umdr.	nominelle Lebensdauer
L_{10h}	h	nominelle Lebensdauer
n	min^{-1}	Lagerdrehzahl
P	N	dynamischer Lagerbelastung
p		Lebensdauerexponent
Sonstige		
I	A	Stromstärke
U	V	Spannung

<i>Index</i>	
0	statisch
b	Biegung
d	Druck
eq	äquivalent
F	Fließen
ges	gesamt
GW	Gestaltwechselfestigkeit des gekerbten Bauteils
k	Knicken
krit	kritisch
max	maximal
min	minimal
P	Proportionalitätsgrenze
res	resultierend
t	Torsion
vorh	vorhanden
W	Dauerwechselfestigkeit
x	axial
z	Zug
zul	zulässig

1 Einleitung

Die Firma TRIMET Aluminium AG betreibt am Standort Hamburg eine Schmelzflusselektrolyse zur Primärgewinnung von Aluminium. Das in dem Elektrolyseprozess entstandene schmelzflüssige Aluminium muss in bestimmten Zeitintervallen aus den Elektrolysezellen gesaugt werden. Als Werkzeug wird hierzu ein Tiegel mit einem Deckel verwendet, an dem das Saugrohr befestigt ist. Beim Saugvorgang wird das Rohr in die Schmelze getaucht und mittels Unterdruck in den Tiegel gefördert. Dabei kann neben dem Aluminium immer ein Teil des Elektrolyten (Kryolith) mit eingesaugt werden. Dieser erstarrt beim Erkalten des Saugrohrs an der Innenwand. Mit der Zeit setzt sich dadurch das Rohr mit dem Elektrolyt zu und die Saugkraft nimmt wegen der Verengung des Rohrinnehdurchmessers ab. Aus diesem Grund muss das Rohr diskontinuierlich aufgebohrt werden, um den Originaldurchmesser für den einwandfreien Saugprozess wieder zu erreichen.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Bohrstand entwickelt, der die Aufgabe hat, die mit Elektrolyt zugesetzten Saugrohre automatisch wieder auf den Originaldurchmesser aufzuweiten. Die Auslegung des Bohrstandes wurde mittels einer systematischen Konstruktionsmethodik durchgeführt und ein Konzept für einen automatischen Bohrstand erarbeitet.

2 Grundlagen

2.1 TRIMET

Das Familienunternehmen TRIMET wurde von Herrn Heinz-Peter Schlüter im Jahre 1985 als Metallhandelshaus gegründet. Die Firma wurde bereits drei Jahre nach der Gründung von einer GmbH in die Metallhandelsaktiengesellschaft umgewandelt. Auch wenn die Gesellschaftsform eine AG ist, befinden sich alle Anteile im Besitz von Herrn Schlüter.

1993 übernahm das Unternehmen das Gelsenkirchener Aluminium-Recyclingwerk und mit dem Zukauf der Essener Aluminiumhütte im Jahre 1994 startete es mit der Produktion von Primäraluminium. Damit legte Herr Schlüter den Grundstein für den heutigen Geschäftsbereich „Primary Products“. Die Hütte im Essen produziert mit 360 Elektrolyseöfen jährlich 170.000 Tonnen Primäraluminium. Diese wird größtenteils von der firmeneigenen Gießerei am selben Standort für die Produktion von 245.000 Tonnen Formate pro Jahr weiterverarbeitet. In der Gießerei werden sortenreine Produktionsrückläufe direkt wieder eingesetzt und umgearbeitet.

Die Strategie des Unternehmens beruht auf der hohen Nachfrage im unmittelbaren regionalen Umfeld der Werke. Es nutzt dabei den Umstand, dass viele internationale Konzernen ihre Produktionsstandorte und Werke in Deutschland – meist aus Kostengründen – aufgeben.

Mit 300.000 Tonnen Primäraluminium und 200.000 Tonnen Recycling- und Gussprodukte aus Aluminium pro Jahr ist TRIMET der größte Aluminiumproduzent in Deutschland. Es beschäftigt an fünf Produktionsstandorte, davon zwei Aluminiumhütten, 1.800 Mitarbeiter. Im Geschäftsjahr 2009/2010 machte das Unternehmen einen Umsatz in Höhe von 870,7 Mio. €. [20] [21]

2.2 Standort Hamburg

Die TRIMET ALUMINIUM AG betreibt in Hamburg eine Elektrolyse zur Primärgewinnung von Aluminium (Bild 2-1). Am 1. Dezember 2006 übernahm TRIMET die bereits von den Vorbesitzern Norsk Hydro, Alcoa und AMAG stillgelegte Aluminiumhütte der HAW GmbH (Hamburger Aluminium Werk) in Hamburg-Altenwerder. In Anwesenheit von Hamburgs Bürgermeister Ole von Beust und Wirtschaftssenator Gunnar Uldall wurde die Hütte am 9. Mai 2007 wieder in Betrieb genommen. Die Aluminiumproduktion in Hamburg läuft seit dem 14. Dezember 2007 wieder mit voller Kapazität, war allerdings aufgrund der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 um 50% gedrosselt. Die 270 Elektrolyseöfen, die in drei Hallen (Bild 2-2) verteilt sind, produziert im Jahr rund 130.000 Tonnen Primäraluminium. [20]

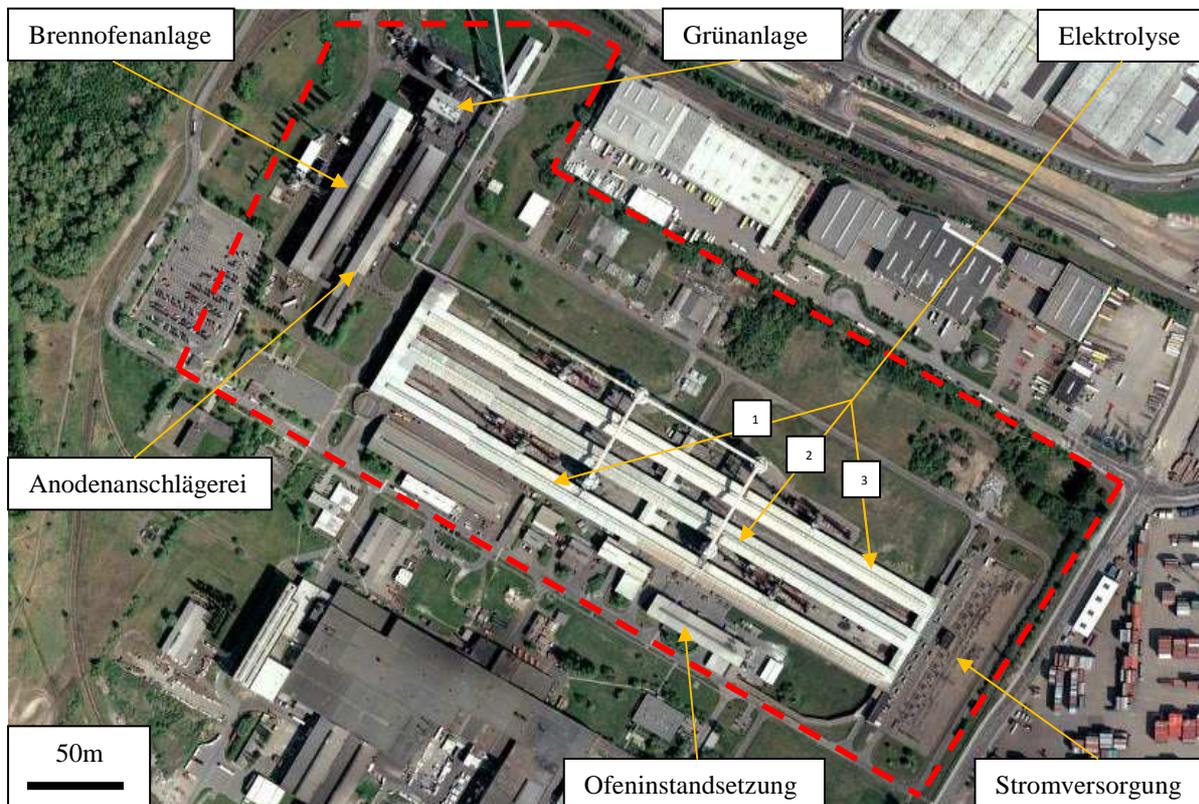


Bild 2-1 Satellitenaufnahme TRIMET Hamburg (rot kenntzeichnet das Werkgelände)



Bild 2-2 Elektrolysehalle (links: Zelle, rechts: Anoden)

Bei der Übernahme der HAW wurde ebenfalls die Anodenfabrik, auch Grünanlagen genannt, wieder in Betrieb genommen. Für die Herstellung von Rohanoden – sog. Grünen Anoden – werden Petrolkoks und Steinkohlen-Teerpech verwendet, welche in der Grünanlage erwärmt, homogenisiert und in eine Form gerüttelt wird. Diese Rohanoden gehen zur Weiterverarbeitung in den Brennofen, wo bei Temperaturen von 1250°C unter Sauerstoffabschluss alle flüchtigen Bestandteile aus der Anode gebrannt werden.

Derzeit läuft ein Großprojekt in der Brennofenanlage (Bild 2-3) im Hamburger Werk. Um die Kapazität der Öfen bzw. die Qualität der gebrannten Anoden zu steigern, aber auch den Energiebedarf zu senken, wird die Anlage neu errichtet und erweitert. Die Produktion erzielt eine Steigerung von 72.000 t auf 120.000 t Anoden p.a., welches den Bedarf des Hamburger Werks vollständig abdeckt. Zusätzlich kann es das Essener Werk mit 50% des Bedarfs versorgen. Dies ist vorteilhaft, da TRIMET Essen keinen eigenen Brennofen besitzt und dementsprechend Anoden zugekauft werden müssen. Im Gegensatz zu dem alten Ofen erzielt der neue Ofen mit gleichmäßigerer Temperaturverteilung eine bessere Brennqualität. Darüber hinaus werden 30% Energie durch die effizientere Feuerung eingespart. Der neue Brennofen soll im Dezember 2011 in Betrieb gehen.



Bild 2-3 oben: Brennofenanlage; unten: Zustellung des neuen Brennofens



Bild 2-4 Anodenanschlägerei

Nachdem die Anoden gebrannt sind, werden sie mit den Anodenstangen in der Anodenanschlägerei zusammen vergossen (Bild 2-4) und in die Elektrolysehallen für den Einsatz transportiert.

In der folgenden Tabelle 2-1 sind die Betriebsdaten für das Jahr 2010 aufgelistet. Als das Werk errichtet wurde, waren ursprünglich 4 Hallen geplant. Nachdem die Hallen 1 bis 3 errichtet wurden, konnte die Planproduktion bereits erreicht werden, da man in den ersten Planphasen von einer deutlich niedrigeren Stromstärke ausgegangen ist. Aus diesem Grund wurde die Halle 4 nicht gebaut. Für die Stromversorgung der Zellen sollten jeweils 2 Hallen einen Stromkreis bilden. Da am Ende nur 3 Hallen gebaut wurden, sind die Öfen der Halle 1 und 2 in einem Stromkreis und die Halle 3 in einem eigenen Stromkreis geschaltet.

Tabelle 2-1 Betriebsdaten des Hamburger Werks für 2010

Kategorie	Gesamt
Jahresproduktion	130.000 t
Ofenanzahl	270 (pro Halle 90)
Stromstärke	178 kA
mittlere Ofenspannung	4,44 V
mittlere Stromausbeute	94%
mittlere Energieverbrauch	14,0 kWh/kg _{Al}
Mitarbeiter	300
Abgasvolumen	1.400.000 Nm ³ /h \approx 5185 Nm ³ /(h Ofen)

Aus der Tabelle 2-1 ist deutlich zu erkennen, dass die Gewinnung von Primäraluminium sehr energieintensiv ist. Für die Produktion von eine Tonne Aluminium werden 14,0 MWh benötigt. Auf das Jahr gesehen benötigt TRIMET mit 4 TWh ca. 1% Energieproduktion der gesamten Bundesrepublik Deutschland. Aus diesem Grund spielt der Strompreis eine lebenswichtige Rolle in dieser Branche.

2.3 Elektrolyse

Bauxit ist das wichtigste Aluminiumerz, welches 40-60% Aluminiumoxid Al_2O_3 (auch bekannt als Tonerde) und andere Aluminium-Mineralen, wie Gibbsit $\text{Al}(\text{OH})_3$, Diaspor $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ und Böhmit $\text{AlO}(\text{OH})$, enthält. Die restlichen Bestandteile sind Nicht-Aluminium-Verbindungen wie Silikate, Eisen- und Titanoxide.

Im Bayer-Verfahren wird das gemahlene Bauxit in Druckbehältern unter ca. 7 bar und bei einer Temperatur von $150^\circ\text{-}200^\circ\text{C}$ mit konzentrierter Natronlauge versetzt. Dieser Prozess verläuft in mehreren Stufen bis das Aluminiumoxid gelöst ist und die Verunreinigungen, der sogenannte Rotschlamm, durch Filtration abgetrennt werden kann. Anschließend wird das gelöste Aluminiumoxid auskristallisiert, gewaschen und kalziniert. Das daraus gewonnene und raffinierte Aluminiumoxid ist der Einsatzstoff für die Primär-Aluminiumproduktion.

Die Gewinnung von Aluminium erfolgt durch Schmelzflusselektrolyse (Bild 2-5). Dieses Verfahren wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts von dem Amerikaner Charles Hall und dem Franzosen Paul Héroult zeitgleich aber unabhängig voneinander entdeckt und entwickelt. Obwohl man seit dieser Entwicklung nach weiteren Verfahren zur Aluminiumgewinnung gesucht hatte, ist der Hall-Héroult-Prozess das einzige Verfahren, das heutzutage in der Industrie Anwendung findet.

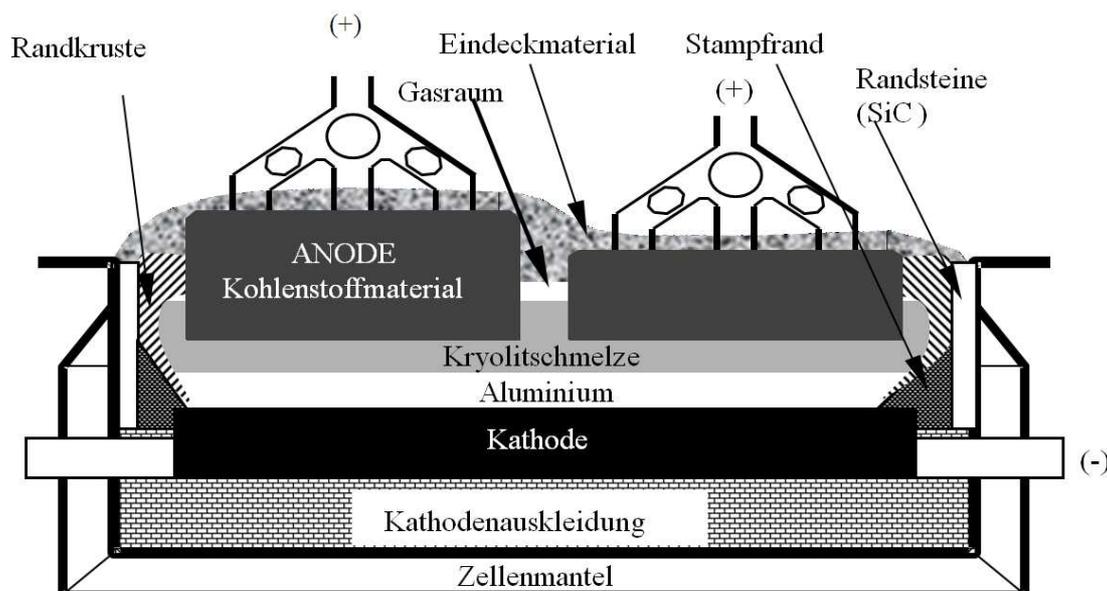


Bild 2-5 Schematischer Aufbau einer Elektrolysezelle



Bild 2-6 Elektrolysezelle

Als Elektrolyt wird Kryolith, ein NaF-AlF_3 -Gemisch, verwendet, welcher die Eigenschaft hat, Aluminiumoxid zu lösen. Aufgrund der hohen Schmelztemperatur von Aluminiumoxid von 2050°C ist eine direkte Reduktion nicht möglich, deswegen muss die Reduktion elektrolytisch erfolgen. Der Prozess läuft bei ca. 960°C mit einer Spannung von ca. 4,4 V. Es liegen sowohl der Elektrolyt als auch das produzierte Aluminium schmelzflüssig vor.

Das produzierte, schmelzflüssige Aluminium sammelt sich am Boden der Elektrolysezelle und ist vollständig von der Badschmelze (Elektrolyt) bedeckt. Der Grund hierfür ist der Dichteunterschied von Aluminium und Elektrolyt (Bild 2-5). [11]

2.4 Betriebszeiten

Die Elektrolyse arbeitet im vollkontinuierlichen Wechselschichtbetrieb. Es sind an den sieben Tagen in der Woche und 24 Stunden pro Tag Mitarbeiter vor Ort. Hierbei teilt sich der Betrieb in vier Schichten auf. Diese Schichtarbeit ist hier notwendig, da die Elektrolyseöfen nach Inbetriebnahme ununterbrochen bis zum nächsten Instandsetzung bzw. Reparatur laufen und Aluminium produzieren.

Diese Arbeitszeiten gelten auch für die Rohrbohrstation.

Die Lebensdauer einer Elektrolysezelle beträgt je nach Zustand und anderer Einflüsse 2500 bis 3000 Tage (6 - 8 Jahre). Qualität der Materialien und der Arbeit bei der Wannenzustellung, Zusammensetzung der Anoden und Elektrolyten, Schwankungen der Spannungen und Ströme, Anzahl der Anodeneffekte und andere Faktoren wirken sich negativ auf das Leben der Zellen aus.

3 Konstruktive Grundlagen

3.1 Konstruktionsmethodik

Die Konstruktionsmethodik hilft dem Ingenieur bei der Entwicklung und Konstruktion neuer Produkte und Technologien. Es gibt viele Möglichkeiten, um ein Problem zu lösen bzw. viele Wege, die zum Ziel führen. Als Beispiel wird die Antriebstechnik betrachtet. Dabei kann festgestellt werden, dass es viele verschiedene Möglichkeiten gibt, um eine Konstruktion in Bewegung zu setzen, sei es über Elektromotor oder über pneumatische Antriebe. Wird die Anzahl der Einzelteile in der Konstruktion berücksichtigt, ergibt sich eine große Anzahl von Lösungsvarianten. Die Variable „n“ sei die Einzelteile des zu konstruierenden Aggregats und die Variable „m“ die ausführbaren Varianten der Einzelteile. Daraus ergibt sich $z = m^n$ verschiedene Lösungs- bzw. Kombinationsmöglichkeiten.

Ein Getriebe wird als Beispiel in Betracht gezogen. Es besteht aus 5 Einzelteilen und jedes dieser Einzelteile kann in 3 verschiedenen Varianten ausgeführt werden. Es ergibt $3^5 = 243$ Lösungs- bzw. Kombinationsmöglichkeiten.

Ziel der Konstruktionsmethodik ist, aus diesen „z“ Lösungsvarianten die günstigste konstruktive Lösung herauszufinden.

Nach VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1 wird der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess wie folgt in sieben grundlegende Arbeitsschritte eingeteilt:

1. Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen
3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
4. Gliedern in realisierbare Module
5. Gestaltung der maßgebenden Module
6. Gestalten des gesamten Produkts
7. Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben

Diese Arbeitsschritte werden bei der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess in der Praxis je nach Anwendungsbereich oft unterschiedlich zusammengefasst.

Im Maschinenbau wird die Entwicklung und Konstruktion in vier Hauptphasen „Planen – Konzipieren – Entwerfen – Ausarbeiten“ unterschieden. Es ist sinnvoll, vor Beginn der Hauptphasen eine Ablaufplanung durchzuführen.

3.2 Ablaufplanung

Um die erste Vorstellung zu bekommen, wie der zeitliche Verlauf eines Projektes sein kann, ist die Erstellung der Ablaufplanung vom Vorteil. Hierbei wird sowohl das Projekt gegliedert, die Zeit und Termine vorgegeben, als auch die verfügbaren Kosten geplant [1]. Die Ablaufplanung ist gegliedert in

1. Zielfunktion definieren
2. Projekt strukturieren
3. Abhängigkeiten der Strukturen ermitteln
4. Planzeiten ermitteln
5. Kapazitäten benennen
6. Kosten der Kapazitäten ernennen

1. Zielfunktionen definieren

Die Zielfunktionen müssen als erstes heraus gearbeitet werden. Sie sind somit die Führungsgrößen in jedem Projekt. Je nach Aufgabenstellung haben die Parametern wie fixierter Endtermin, minimale Durchlaufzeit, niedrigste Projektkosten, technischer Bedingung, etc. unterschiedlichen Vorrang.

2. Projekt strukturieren

Im nächsten Schritt wird das Projekt in Unterprojekte und Aufgaben aufgeteilt und gegliedert. Die Gliederung kann funktionsorientiert (nach Teilfunktionen gegliedert), aufgabenorientiert (nach Teilaufgaben zusammengefasst), ergebnisorientiert (nach Teilzielen für das Gesamtprodukt ausgerichtet) oder verantwortungsorientiert (nach Zuständigkeit und Verantwortung orientiert) sein.

3. Abhängigkeiten der Strukturen ermitteln

Als drittens werden die Abhängigkeiten in und zwischen den Vorgängen ermittelt und in Arbeitspakete zusammengefasst. Diese Abhängigkeiten lassen sich in zeitlicher Reihenfolge, technologischen und technischen Bedingungen gliedern.

4. *Planzeiten ermitteln*

Der vierte Schritt ist die Ermittlung und Festlegung der Zeit für die einzelnen Vorgänge. Hierin ist der verfügbare Zeitraum und die benötigte Stundenzahl zu planen. Wenn keine Zeitangaben für die jeweiligen Arbeitspakete und Vorgänge vorliegen, muss die benötigte Stundenzahl abgeschätzt werden.

5. *Kapazitäten benennen*

Nachdem die Zeitplanung durchgeführt ist, werden die Kapazitäten eingeteilt. Für die Planung in diesem Schritt wird festgelegt, welcher Mitarbeiter welchen Tätigkeiten in dem Projekt übernimmt.

6. *Kosten der Kapazitäten ernennen*

Schließlich werden die Stundenkosten für die Kapazitäten ermittelt und festgelegt. Zusammen mit der Kapazitätsplanung ergeben sich die Kosten des Projektes.

3.3 Planung

Die Planung (Produktplanung) ist eine systematische Vorgehensweise, die den Konstrukteur das Entwickeln und Konstruieren neuer Produkte erleichtert. Hier ist es wichtig, ein Pflichtenheft zu erstellen, das alle Anforderungen vollständig und exakt umschreibt und alle Randbedingungen eindeutig und systematisch zuordnet. Ist dies nicht der Fall, können Probleme beim Konstruieren entstehen, welche i.d.R. deutlich höhere Kosten verursachen als eine vollständig durchgeführte Planung. Der Konstrukteur muss seine Arbeit unterbrechen, um zusätzliche Informationen zu beschaffen, oder sogar in späteren Phasen Zeichnungen, Fertigungsunterlagen oder bereits vergebene Aufträge ändern. [1]

3.3.1 Funktion

Jede Maschine, jeder Apparat und jedes technische Gerät hat bestimmte Funktionen zu erfüllen, um auf dem Markt wettbewerbsfähig zu sein. Funktionen sind z.B.:

- Ein Motor soll Energie umwandeln
- Ein Gabelstapler muss eine Last in die Höhe heben können
- Ein Flugzeug muss fliegen, um Passagiere und Güter zu transportieren
- Ein Handy muss schnurlos Daten senden und empfangen
- Eine Elektrolysezelle muss Aluminiumoxid zu Aluminium reduzieren

Die Funktion nimmt daher bei der Planung eine besonders wichtige Rolle an. Diese müssen sorgfältig analysieren und ausarbeiten werden. Bei der Funktionsanalyse werden Funktionen heraus gefiltert, welche keine große Bedeutung für das Endprodukt haben. Damit können unnötige bzw. nicht notwendige Kosten eliminiert werden.

Um die Funktionen eines Produktes¹ vorerst verständnisvoll zu machen, ist es sinnvoll, die Black-Box-Methode (Bild 3-1) anzuwenden. Dabei wird das betrachtet, was in das Produkt eingeht und was aus dem Produkt herauskommt. Die Ein- und Ausgänge werden in 3 Kategorien eingeteilt: Energie, Stoff und Signal (Tabelle 3-1). Diese Umsatzgrößen durchlaufen innerhalb der Black-Box Veränderungen. [1]

¹ Produkte sind Enderzeugnisse, dazu gehören z.B. Maschinen, Anlagen, Apparaten.

Tabelle 3-1 Umsatzgrößen

Kategorie	Beispiele
<i>Energie</i>	chemische, mechanische, elektrische Energie
<i>Stoff</i>	Material, Gas, Flüssigkeit
<i>Signal</i>	Messgröße, Lärm, Daten, Anzeige

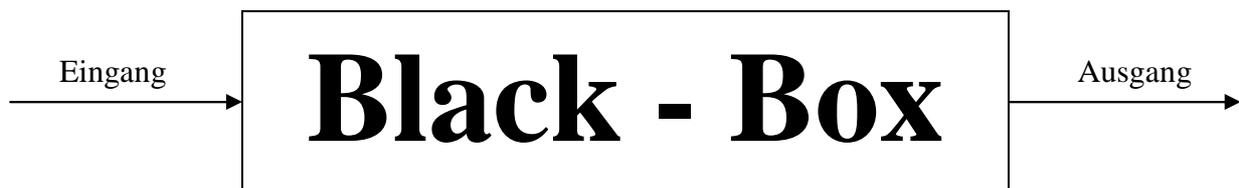


Bild 3-1 Black-Box Darstellung

Ein Haus wird beispielhaft als Black-Box angenommen. Es kann beobachtet werden, was die Ein- und Ausgänge sind. Personen, sowie Wasser, Heizgas/-öl und Strom, etc. gehen als Input in das Haus ein. Als Output wird folgendes beobachtet: Licht und Geräusche aus den Zimmern, Abwasser, Abgas aus dem Kamin und schließlich auch die Person die das Haus wieder verlässt. Nicht erkennbar sind die Tätigkeiten und Funktionen, die innerhalb des Hauses passieren.

Für die weitere Analyse muss die Black-Box geöffnet und über die Systemgrenze gesehen werden. Darin sind die Funktionsstrukturen (Bild 3-2), die wiederum in Funktionen, Teilfunktionen und Elementarfunktionen aufgeteilt sind.

Die Systemgrenze des o.g. Beispiels wäre die Hauswand. Wenn man diese öffnet und entfernt, kann man beobachten, was im Haus passiert. Die Person geht in das Zimmer und betätigt den Lichtschalter (Elementarfunktion). Der Lichtschalter hat die Teilfunktion, den Stromkreis zu schließen, damit die Funktion der Lampe, die Lichterzeugung, erfüllt werden kann.

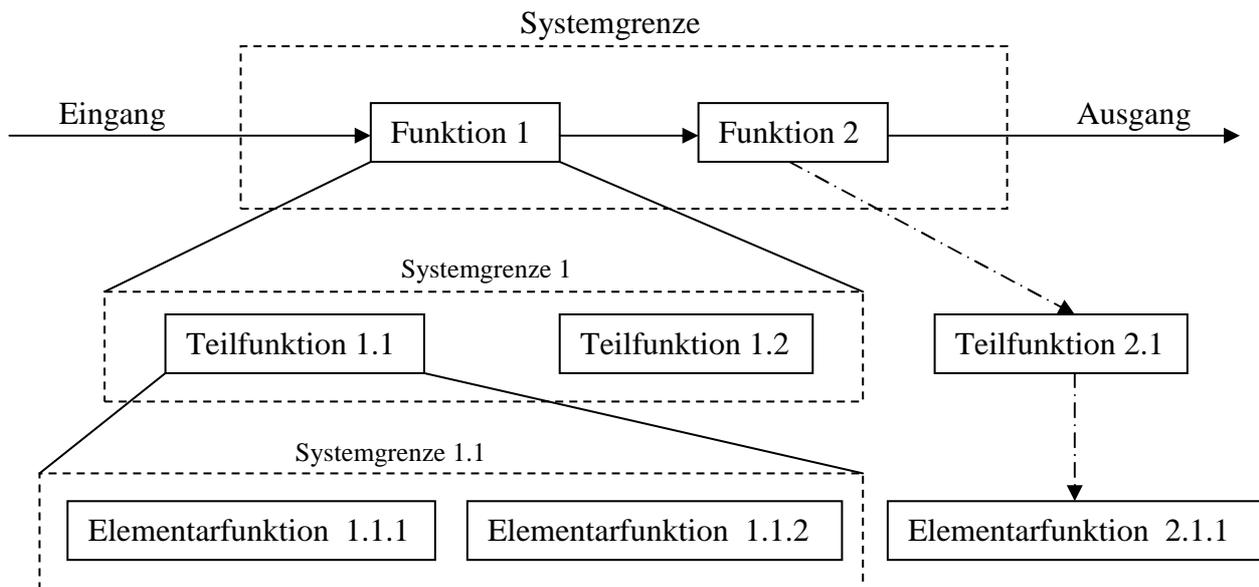


Bild 3-2 Funktionsstruktur

3.3.2 Anforderungsliste

In der Anforderungsliste, welche ein Teil des Pflichtenheftes ist, werden alle Forderungen und Wünsche des zu entwickelnden Produktes festgehalten.

Forderungen werden definiert als ein Muss für das Produkt. Wenn das Produkt diese nicht erfüllen kann, ist es unbrauchbar. Auch jede unnötige Forderung führt zu einem Wettbewerbsnachteil des Gesamtproduktes, da diese die Herstellungskosten erhöhen, nicht aber den eigentlichen Produktwert.

- Beispiel: Ein Notebook mit zwei Ein-/Aus-Tasten würde in der Herstellung mehr kosten als ein Notebook mit einer Ein-/Aus-Taste. Die höheren Herstellungskosten durch Mehraufwand könnten aber nicht an den Kunden weitergegeben werden, da der Kunde nicht für unnötige Funktionen zahlt.

Im Gegensatz zu den Forderungen können Wünsche erfüllt werden, da ein Produkt ohne diese auch funktionieren kann. Diese Wünsche werden nach Wichtigkeit bei der Entwicklung berücksichtigt. Je höher die Gewichtung ist, desto näher kommen sie den Forderungen. Wünsche, die niedrig gewertet sind, spielen bei der Entwicklung eine geringere Rolle. Durch die Erfüllung der Wünsche steigt der Wert des Produktes.

- Beispiel: Der USB-Anschluss ist ein Wunsch für Notebooks. Dieser trägt zur Funktionalität nicht bei. Durch das Hinzufügen dieser Elemente in verschiedenen Qualitäten und Quantitäten erhöht sich der Wert des Produktes dementsprechend. Ein Notebook mit einem USB 3.0-Anschluss hat einen höheren Verkaufspreis als eins mit einem USB 2.0-Anschluss. Im Vergleich mit einem Notebook mit mehreren USB 2.0 Anschlüssen könnte der Wert wiederum gleich sein.

Die Anforderungen müssen klar und deutlich formuliert sein, sodass derjenige diese beim Lesen ohne Nachfragen versteht. Nach Möglichkeit sollten die Forderungen und Wünsche immer quantitativ definiert werden, da verschiedene Personen auch verschiedene Vorstellungen über qualitative Aussagen, wie z.B. gering oder hoch, haben.

Die Strukturierung der Anforderungsliste ist von großer Bedeutung. Bei einem großen Projekt muss die Strukturierung sehr explizit und genau ausgearbeitet werden, um die Übersicht bei der Entwicklung nicht zu verlieren. Auch für kleine Projekte ist diese sinnvoll. Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Anforderungsliste zu strukturieren: nach Funktionsgruppen, nach Lastenheft oder nach Technik. Bei der Lastenheftstrukturierung nimmt man den Inhaltsverzeichnis des Lastenheftes als Vorlage und bei der Strukturierung nach Technik werden die Forderungen in physikalische und technische Kategorien eingeteilt. Das Zusammenspiel der Funktionen wird dabei vernachlässigt. Aus diesem Grund ist die Funktionsgruppenstruktur für die Entwicklung und Konstruktion neuer Produkte vorteilhaft, da man die Anforderungen zu den jeweiligen Funktionen besser nachvollziehen kann. [1]

3.3.3 Pflichtenheft

Die Ergebnisse aus der Produktplanung werden schließlich im Pflichtenheft zusammengefasst. Diese dient als Arbeitsunterlage für die weitere Produktentwicklung und Konstruktion und wird an dem Projekt beteiligten Personen ausgehändigt. Das Pflichtenheft ist deshalb von großer Bedeutung, da es den Leitfaden für die Konstruktion darstellt.

Generell wird das Pflichtenheft wie folgt strukturiert:

1. Allgemeine technische Beschreibung des Produktes
2. Gesamtfunktion und Teilfunktionen
3. Funktionsgruppen des Basis-Produktes
4. Varianten/Optionen des Produktes
5. Anforderungsliste
6. Kostendefinition der Baugruppen des Basis-Produktes
7. Kostendefinition der Varianten/Optionen
8. Entwicklungsbudget
9. Ablaufplanung des Projektes
10. Entwicklungsleiter und Entwicklungsteam

Nähere Informationen zu den einzelnen Punkten können aus dem Skript [1] entnommen werden.

3.4 Konzipieren

Während der Konzipierungsphase werden für die ausgearbeitete Aufgabenstellungen und Anforderungen Lösungen gesucht. Für die Lösungsfindung gibt es verschiedene Methoden. In der Praxis beginnt man oft mit der Informationsbeschaffung. Dies realisiert der Ingenieur durch das Sammeln von Ideen, der Rücksprache mit Lieferanten und den Zugriff auf Erfahrungen oder abgeschlossene Projekte. Anschließend werden diese zusammengefasst und daraus die Lösungen gesucht. Da es häufig mehrere Lösungen für ein Problem gibt, werden die gefundenen Lösungsmöglichkeiten miteinander verglichen und bewertet. Durch geeignet ausgewählte Bewertungskriterien und -verfahren kann letztendlich die für das Problem am günstigsten ausfallende Lösung ermittelt werden. [1]

3.4.1 Ideensammlung

Unter Ideensammlung wird das Sammeln von Unterlagen, Katalogen, Lösungen, Lösungsansätze, Beispielen, etc. verstanden. Dies gilt als eine der Hauptinformationsquelle der Ingenieure und bewirkt somit die Anregungen für neue Konzepte und Ideen. Mit der Zeit und den Erfahrungen werden viele Unterlagen gesammelt. Dies kann nur effektiv genutzt werden, wenn alte Unterlagen systematisch und sortiert abgelegt werden. Ist dies nicht der Fall, kann nur mit hohem Suchaufwand auf die Daten zugegriffen werden.

Je nach Tätigkeitsfeld werden verschiedene Datenbanken als Informationsquelle verwendet. In der heutigen Zeit ist das Internet die Hauptquelle für die Informationsbeschaffung. Positive Aussagen zu vielen Themen können hier gefunden werden. Bei dieser Art der Datenbank ist zu bedenken, dass viele Aussagen im Internet nicht korrekt sind, da jeder seine Meinungen frei ablegen kann. Weitere Datenbanken gibt es von Berufsverbänden (VDI, VDE), Wirtschaftsverbänden (VDMA), technische und wirtschaftliche Zeitschriften/Magazine, oder aber auch von einzelnen Firmen.

Patentliteratur, Konkurrenzprospekte, Lieferantenkataloge, Messekataloge und Fachliteratur können ebenfalls für die Informationsbeschaffung herangezogen werden. [1]

3.4.2 Lösungssuche

Häufig findet der Ingenieur Lösungen zu komplizierten Problemen intuitiv, d.h. die Lösungsfindung entsteht unbewusst oder gefühlsmäßig. Durch zufällige Ereignisse stößt er auf die Antwort für das Problem, welche man nicht herleiten kann. Dieser Einfall wird anschließend so lange weiterentwickelt, gewandelt, getestet und korrigiert bis er die Funktionalitäten besitzt, die die Problemlösung ermöglicht. Viele Lösungen sind so entstanden und weiterentwickelt worden. Nachteilig für diesen Vorgang ist, dass der richtige Einfall selten zur richtigen Zeit kommt. Die Intuition ist nicht erzwingbar. Wird es zu sehr an seine eigenen Vorstellungen und Vorbildern fixiert, werden neue Möglichkeiten übersehen, nicht erkannt oder sogar intuitiv abgelehnt. Um diese zu verhindern wird in der Konstruktionsmethode bei der Lösungssuche zwischen intuitiv kreativen und systematischen Verfahren unterschieden.

Bei dem intuitiven kreativen Verfahren werden Lösungsansätze durch spontanes Verhalten und divergentes Denken gefunden und anschließend, bis verwertbare Lösungen entstanden sind, weiterentwickelt. Dabei hat die Kreativität des Konstrukteurs keine Grenzen. Er muss versuchen aus den alten Denkweisen auszubrechen, um Wissens- und Erfahrungselemente aus unterschiedlichen Bereichen zu neuen Ideen zu kombinieren.

Anders ist es bei den systematischen Verfahren. Hier werden Probleme analytisch und logisch in Teilproblemen gesplittet, für die Lösungen gesucht werden. Die Ansätze und Lösungen können bereits bekannt sein oder über die kreativen Verfahren gewonnen werden. Das Zusammenfügen der Ergebnisse führt zur neuen innovative Gesamtlösung für das jeweilige Problem.

In der folgenden Tabelle 3-2 sind einige Methoden zu den o.g. Verfahren aufgelistet. Das Brainstorming und die morphologische Methode werden in *Kapitel 3.4.2.1 und 3.4.2.2* näher erläutert, da diese in der Bachelorthesis angewendet werden. Weitere Informationen zu den Verfahren können aus dem Skript [1] entnommen werden.

Tabelle 3-2 Methoden der Lösungssuche

intuitiv kreative Verfahren	systematische Verfahren
Mind Mapping	morphologische Methode
Phillips 66	Delphi-Methode
Brainstorming	Ähnlichkeits-Methode
Brainwriting	Analogiebetrachtungen
Methode 6-3-5	Umkehr-Methode
Go and Stop Technik	Strukturierungs-Methode
Bionik	Fragenkatalog nach Osborn
Induzierte Kreativität	
Synetik	
T.R.K-Methode	
6-Hüte-Methode	

3.4.2.1 Brainstorming

Der amerikanischer Werbemanager Alex Faickney Osborn (1888-1966) entwickelte gegen Ende der 30er Jahre die Problemlösungsmethode „Brainstorming“. Dieser Begriff stammt von seinem Hauptgedanken „using the brain to storm a problem“, auf Deutsch „verwende das Gehirn, um ein Problem zu stürmen“. Der Hintergrund ist, dass Probleme jeder Art im Team durch kreatives Denken gelöst werden können. Die Teilnehmerzahl soll ca. 6 – 12 Mitarbeiter beantragen und ein motivierter Moderator muss für Führung sorgen. Durch die Zusammenarbeit der Teammitglieder aus verschiedenen Bereichen ergeben sich neue Anregungen, die zu weiteren Ideen führen. Schließlich führt diese Art der Kettenreaktion zur Lösung des Problems.

Dieser Methode wird angewendet, wenn keine Idee für die Lösung des Problems vorhanden ist, kein brauchbares Lösungskonzept vorliegt, die Lösungsfindung nicht voran geht oder neue Lösungen statt der Konventionellen angestrebt werden. Oft wird das Brainstorming auch im Zusammenspiel mit der morphologischen Methode verwendet.

Osborn unterscheidet zwei Prinzipien bei der Methode: Zurückstellen der Kritik und Quantitätserzielung. Um die Teammitglieder zu ermutigen und deren Kreativität dabei zu fördern müssen Sätze wie „Das geht nicht...“, „Wir haben keine Zeit dafür...“, „Haben schon alles versucht...“, etc. vermieden werden. Alle Vorschläge werden kritiklos akzeptiert und aufgeschrieben. Die Ideen helfen als Denkanstöße bei der Lösungsfindung. Diese sind Fragen wie „Was lässt sich kombinieren?“, „Kann ich die Anordnung ändern?“, „Warum funktioniert das so?“, u.Ä. Die geäußerten Ideen sollen dann kombiniert, verbessert und weiterentwickelt werden. Unter Berücksichtigung dieser Prinzipien wird das Brainstorming in drei Phasen durchgeführt, die Vorbereitungsphase, die intuitive Phase und die Auswertungsphase.

In der Vorbereitungsphase werden die vorhandenen Probleme und Lösungen definiert und über diese diskutiert und analysiert. Hierzu ist es nützlich, die W-Fragen zu verwenden (s.o.).

Der nächste Schritt ist die intuitive Phase, welche die wichtigste Phase der Methode ist. Hier werden neue Ideen geboren und vom Moderator anonym und ohne Kritik auf einem Flipchart notiert. Damit können personenbezogene Konflikte verhindert werden. Die aufgenommenen Vorschläge können anschließend von den anderen Teilnehmern weiterentwickelt werden. Es entsteht eine Assoziationskette. Hierbei steht Quantität vor Qualität, d.h. je mehr Ideen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, eine Lösung zu finden.

In der letzten Phase, der Auswertungsphase, werden die ermittelten Ideen von Fachkräften in einer kleinen Gruppe ausgewertet. Die Vorschläge unterteilt man in drei Kategorien:

1. Heiße Ideen sind solche, die schnell und ohne großen Aufwand realisierbar sind.
2. Interessante Ideen, die weitere Überlegungen und Untersuchungen fordern.
3. Ideen, die technisch offensichtlich nicht brauchbar sind.

Nach der Ausarbeitung der Ideen, i.d.R. nach zwei Wochen, werden die Ergebnisse in einer neuen Sitzung präsentiert. Dies sorgt für die Motivation der Teammitglieder an weitere Sitzungen teilzunehmen. [1] [21]

3.4.2.2 Morphologische Methode

Entwickelt wurde die morphologische Methode von dem Schweizer Astrophysiker Prof. Fritz Zwicky (1898-1974). Die Morphologie ist die Lehre vom „geordneten Denken“. Es gibt drei Morphologie-Methoden:

- Morphologischer Kasten
- Konflikt-Morphologie
- Morphologische Matrix

Die Grundlage dieser Methode beruht auf dem Zerlegen des Problems in Teilproblemen (Parametern). Bei der Produktentwicklung entsprechen diese Parameter Funktionen. Die ermittelten Funktionen werden sortiert und in die morphologischer Kasten eingetragen. Die Konflikt-Morphologie und der morphologischer Matrix sind Sonderformen der Morphologie-Methode.

Der morphologische Kasten ist eine Lösungstabelle mit n-Dimensionen, d.h. alle Lösungen einer Zeile sind mit allen Lösungen einer anderen Zeile kombinierbar (Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3 Morphologischer Kasten

Parameter \ Parameterlösung		1	2	...	m
		1	2	...	m
1	Parameter 1	1.1	2.1		m.1
2	Parameter 2	1.2	2.2		m.2
...					
n	Parameter n	1.n	2.n		m.n

In der Praxis sind morphologische Kasten offen, da während der Entwicklungsphase nicht alle denkbaren Teilproblem-Lösungen gefunden werden können. Mit der Zeit kommen durch Erfahrungen und neue Technologien neue Ideen und Anregungen dazu, welche den Kasten füllen. In diesem Sinne lebt der morphologische Kasten.

Bei der Ermittlung der Parameter wird auf Werkzeuge wie die Funktionsstruktur (Bild 3-2) oder die Mind-Map zurückgegriffen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese voneinander unabhängig sein müssen. Weiterhin sollen sie vollständig sein und auf alle denkbaren Gesamtlösungen zutreffen.

Der morphologische Kasten eignet sich nicht für die Lösungssuche der Teilfunktionen. Die Teilproblemlösungen werden mit Hilfe von anderen Methoden aus der Ideenfindungsverfahren wie das Brainstorming (3.4.2.1), die Datenbankrecherche, etc. ermittelt.

Nachdem die Teillösungen in den Kasten eingetragen sind, werden diese untereinander kombiniert. Dabei wird zu jeder Teilfunktion eine Teillösung ausgewählt und diese miteinander verknüpft. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt, um verschiedene Gesamtlösungen zu erhalten (Tabelle 3-4). In der Theorie würde aus dem Kasten $m \cdot n$ Lösungsvarianten entstehen, was in der Praxis aus zeitlichen Gründen, aber auch durch die Grenze der Teillösungen, nicht denkbar ist. Darum müssen die Lösungskonzepte je nach Projektgröße und -umfang auf eine sinnvolle Anzahl reduziert werden.

Die ermittelten Lösungsvarianten werden skizziert, um die erste grobe Einsicht zu bekommen, welches dieser Konzepte mehr für die Konstruktion geeignet ist. Im Anschluss daran wird die Anzahl durch entsprechende Bewertungsverfahren weiter gesenkt, bis man die bestmögliche Gesamtlösung erhält. [1]

Tabelle 3-4 Lösungskombination des morphologischen Kastens

Teilproblemlösung		Teilfunktion			
		1	2	...	m
1	Teilfunktion 1	●		●	●
2	Teilfunktion 2	●	●		●
...		●	●		
n	Teilfunktion n	●		●	●

LV2

LV1

LV3

3.4.3 Lösungsbewertung

Am Ende der Lösungssuche werden die erarbeiteten Lösungsvarianten bewertet, um daraus das bestgeeignete Konzept herauszufiltern. Der Konstrukteur muss die Auswertung objektiv und nachvollziehbar durchführen, aber auch genau dokumentieren, um später auftretenden Fragen schnell beantworten zu können. Dabei wird nicht das richtige Bewertungsverfahren ausgewählt, sondern die richtigen Bewertungskriterien. Durch die geeignete Auswahl der Kriterien können die Funktionen und Eigenschaften der Lösungen miteinander verglichen werden. Die Lösungsbewertung wird in vier Schritten durchgeführt [1]:

1. Forderungserfüllung prüfen
2. Bewertungskriterien ermitteln
3. Ermittelte Bewertungskriterien gewichten
4. Lösungsbewertung durchführen

3.4.3.1 Prüfen der Forderungserfüllung

Zur Beginn der Bewertung ist es zwingend notwendig, die Lösungsalternativen auf die Erfüllung der Forderungen aus der Anforderungsliste bzw. Pflichtenheft (Kapitel 3.3.2/3.3.3) zu prüfen. Wenn ein Konzept eine Forderung nicht erfüllen kann, ist es für die Gesamtlösung unbrauchbar. Der Auswahlbereich der Lösungen wird durch diesen Vorgang erheblich verkleinert. Die Tabelle 3-5 zeigt eine schematische Darstellung des Überprüfungsformulars.

Tabelle 3-5 Prüfungsformular

Forderungen	Lösungsvarianten						
	LV 1	LV 2	LV 3	LV 4	LV 5	...	LV n
<i>Forderung 1</i>	√	√	√	√	√	√	√
<i>Forderung 2</i>	√	√	√	X	√	√	X
...	√	X	√		X	√	
<i>Forderung n</i>	√		√			√	
Ergebnis	√	X	√	X	X	√	X

3.4.3.2 Ermitteln der Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien können aus der Anforderungsliste oder dem Pflichtenheft entnommen, aber auch aus den firmeninternen Gegebenheiten und andere Einflüsse abgeleitet werden. Die Kriterien müssen voneinander unabhängig und wenn möglich quantitativ sein. Es sollen nur positive Argumente verwendet werden, da die Mischung von positive und negative Formulierungen bei der Bewertung zur Verwirrung führen kann. Um die Auswahl zu vereinfachen, helfen Checklisten wie die von der VDI-Richtlinie 2225 ausgestellt sind. Hierin sind zehn Gruppen von Bewertungskriterien aufgelistet, die für die Anregung bei der Ermittlung sorgt.

3.4.3.3 Wichten der Bewertungskriterien

Sobald die Bewertungskriterien ausgewählt sind, werden sie nach Wichtigkeit gewichtet. Da die Kriterien verschiedene Einflüsse auf die Funktionen eines Produkts haben, ist die Gewichtung für die Bewertung vorteilhaft. Eine der Gewichtungsverfahren ist die Rangfolge-Gewichtung. Sie ist immer einsetzbar und wird dementsprechend häufig angewendet. Ein entsprechendes Formular ist in Tabelle 3-6 beispielhaft dargestellt.

Tabelle 3-6 Rangfolge-Gewichtung

	Gewichtungsmatrix für						gehört zu Auftrag :
Bewertungskriterien	1	2	3	...	n	Summe der "+"	Gewichtungsfaktor g_k
1							
2							
3							
...							
n							
						Gesamtsumme der "+"	Gesamtgewichtungsfaktor $g_i = \sum(g_k)$
	Datum :					Bearbeiter :	

Die Benutzung ist wie folgt:

- Die Kopfspalte und Kopfzeile wird mit den ermittelten Bewertungskriterien ausgefüllt.
- Die Spalten werden mit den Zeilen verglichen. Ist das Argument in der Spalte wichtiger als das der Zeile, so wird ein Plus-Zeichen (+) an der Stelle eingetragen, andernfalls ein Minus-Zeichen (-). Bei gleicher Wichtigkeit wird ein Null (0) eingetragen. Diese ist zu vermeiden, denn Ziel ist es, einen Unterschied zwischen den Lösungsvarianten zu ermitteln. Bei der Bewertung muss beachtet werden, dass die Gewichtungen sich nicht widersprechen.
- Ist die Tabelle ausgefüllt, werden die Plus-Zeichen der Zeilen addiert und daraus die Gesamtsumme der Plus-Zeichen errechnet. Anschließend lassen sich die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien mit der folgenden Gleichung ermitteln. Der Gesamtgewichtungsfaktor muss theoretisch 1 ergeben.

$$g_k = \frac{(+)_k}{\sum_{k=1}^n (+)}$$

Mit diesem Verfahren lässt sich die Gewichtung der einzelnen Kriterien einfach und schnell ermitteln. Es ist auch möglich, diese in einem Team durchzuführen und anschließend über das Ergebnis zu diskutieren. [1]

3.4.3.4 Lösungsbewertung

Mit dem Wertigkeitsverfahren ist es dem Konstrukteur möglich, aus den noch übrig gebliebenen Lösungsmöglichkeiten die Besten auszusuchen. Dabei werden die Teillösungen der jeweiligen Lösungsvarianten mit Punkten bzw. Noten bewertet. Je besser die Erfüllung der Bewertungskriterien, desto höher ist die Punktzahl. Die Zahl null wird dabei als unbefriedigend und die Zahl vier als sehr gut definiert. Nach diesem Muster wird das entsprechende Formular (Tabelle 3-7) ausgefüllt.

Tabelle 3-7 Wertigkeitsverfahren

P _i	0 = unbefriedigend 1 = noch tragbar 2 = ausreichend 3 = gut 4 = sehr gut		Wertigkeitsverfahren für						gehört zu Auftrag :			
	Bewertungs- kriterien	Gewichtung g _k	LV 1		LV 2		LV 3		...		LV n	
			P _{ik}	g _k · P _{ik}	P _{ik}	g _k · P _{ik}	P _{ik}	g _k · P _{ik}	P _{ik}	g _k · P _{ik}	P _{ik}	g _k · P _{ik}
1												
...												
n												
Punktzahlen – Summe												
Rangfolge												
Wertigkeit Gesamtlösung w _g												

Die Wertigkeit ist das Ergebnis der Bewertungsverfahren lässt sich wie folgt errechnen:

$$w_g = \frac{\sum_{k=1}^n (g_k \cdot P_{ik})}{P_{max} \cdot \sum_{k=1}^n g_k}$$

Folgende Wertigkeiten werden nach F. Hansen² für die Gesamtlösung angestrebt. Die Lösungsvariante ist:

- günstig, wenn $w_g > 0,85$
- brauchbar, wenn $0,85 > w_g > 0,7$
- nicht befriedigend, wenn $w_g < 0,7$

Nachdem die Berechnungen abgeschlossen sind, werden die Lösungsmöglichkeiten nach dem Rang sortiert. Die mit der höchsten Wertigkeit bekommt den Rang eins. Daraus ist erkennbar, welcher der Lösungen die beste Eignung für das Problem hat.

² Friedrich Hansen, Konstruktionssystematik, VEB-Verl. Technik, 1968

3.5 Entwerfen

Bei der Entwurfsphase wird aus dem Ergebnis der Lösungsfindung grobmaßstäblichen Skizzen und Schemata erstellt. Dabei muss der Konstrukteur den Entwurf unter Berücksichtigung verschiedener Grundsätze des Gestaltens ausarbeiten. [9]

1. *Funktionsgerechtes Gestalten*

Funktionsgerechtes Gestalten ist der Hauptgrundsatz bei der Konstruktion. Die gestellten Hauptforderungen müssen über die gesamte Lebensdauer erfüllt sein. Damit ist die Vermeidung von Gefahren für Mensch und Maschine durch Überlastungen oder Fehlbedienungen verbunden.

2. *Festigkeits- und beanspruchungsgerechtes Gestalten*

Festigkeits- und beanspruchungsgerechtes Gestalten sagen aus, dass die Kräfte und Momente durch die geeignete Auswahl der Kraftflusswege durch das Bauteil geleitet werden sollen.

Dabei ist zu beachten, dass die Werkstoffbelastungen möglichst homogen sind, um eine gute Werkstoffausnutzung zu erzielen.

Eine besondere Bedeutung kommt der Kerbwirkung zu, weil sie den gleichmäßigen Kraftfluss an einem Bauteil stört. Es entstehen an diesen Stellen Spannungserhöhungen und -spitzen, da die Kraftflusslinien gestaucht und verdichtet werden. Die Kerbwirkung kann durch gestalterische Maßnahmen wie große Übergangsradien im Bereich der Querschnittsänderungen und -übergänge verringert werden. Querbohrungen, Nuten und Rillen werden in Bereich der geringeren Belastungen gesetzt. Auch mit der richtigen Auswahl des Werkstoffes kann die Kerbwirkung reduziert werden. So sind beispielsweise hochfeste kerbempfindliche Werkstoffe durch kerbunempfindlichere und dementsprechend auch kostengünstigere zu ersetzen. Zusätzliche Oberflächenbehandlungen wie das Härten oder Kugelstrahlen entlasten die Kerben und somit können Spannungsspitzen vermindert werden.

Die Verformungen zwischen den Bauteilen sollen bei der Auslegung der Bauteilkomponenten zur Vermeidung von Reibkorrosion möglichst gleichmäßig und gleichgerichtet sein. Auch die passende Wahl der Anordnungen, Formen, Abmessungen und Werkstoffe führen zur Reduzierung der Spitzenspannungen.

3. Werkstoffgerechtes Gestalten

Durch werkstoffgerechtes Gestalten können Konstruktionen günstig beeinflusst werden. Die großen Auswahlkriterien der Werkstoffe wie Festigkeit, Dichte, Elastizität, Härte, Wärmeausdehnung, Wärmebehandlung, Verarbeitbarkeit, Schweißbarkeit, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, etc. ermöglichen dem Konstrukteur das Entwerfen verschiedenster Produkte. Die Masse (Eigengewicht) bei Konstruktionen mit großen Belastungen können durch die Verwendung der Werkstoffe mit hoher Festigkeit verringert werden, da die Querschnittsfläche meist kleiner ausfallen.

4. Fertigungsgerechtes Gestalten

Bei der Konstruktion müssen Bauteile so konstruiert werden, dass sie fertigungsgerecht sind. Dies hängt von der Werkstoffauswahl, den erforderlichen Qualitätsansprüchen (Oberflächengüte), und den geplanten Stückzahlen ab. Es ist bei Einzelfertigungen sinnvoll, vorhandene Fertigungsmöglichkeiten und genormte Teile (Profilstahl, Zahnrad, Feder) zu verwenden. Bei Massenfertigung greift man auf zeitsparende spanlose Fertigungen wie Gießen und Ziehen zurück, obwohl man zusätzliche Modelle und Einrichtungen benötigen. Die dabei entstehenden Kosten werden auf die Bauteile verteilt, welche den ganzen Vorgang wirtschaftlich macht. Weitere Fertigungsverfahren sind Schweißen, Sintern und spanabhebenden Verfahren wie Drehen, Fräsen und Bohren.

Die Herstellungskosten können durch die Auswahl der Bauteiltoleranzen stark beeinflusst werden. So wird eine grob geschruppte Welle kostengünstiger als eine feingeschliffene sein. Aus diesem Grund lautet der Grundsatz der Konstruktion: "So grob wie möglich, so fein wie nötig".

5. Montagegerechtes Gestalten

Beim montagegerechten Gestalten müssen die Komponenten einen einfachen Zusammenbau erlauben. Es sollen möglichst wenige Montageoperationen für die Gesamtkonstruktion ergeben und die Montagereihenfolge ist zu dokumentieren, damit Zeiterparnis und Kostensenkung erzielt werden können. Weiterhin ist auf die Demontierbarkeit zu achten, d.h. Verschleiß- und Ersatzteile müssen leicht zugänglich sein, um ein schnellen Austausch zu ermöglichen.

6. Instandsetzungsgerechtes Gestalten

Konstruktionen werden über ihre gesamte Lebensdauer auf Funktionalität geprüft, gewartet und instandgesetzt. Um diese erfüllen zu können, müssen sie instandhaltungsgerecht gestaltet werden. Die Zugänglichkeit der Prüfpunkte muss gegeben und gekennzeichnet sein. Die Verwendung genormter Schnellverschlüsse, Platz für die Anschlüsse der Prüfgeräte und Verbindungen, die ohne Spezialwerkzeuge demontiert werden können, sind Kriterien bei der Auslegung. Von Vorteil sind auch ausreichend dimensionierte Schaugläser, Klappen und Türen, um z.B. die Prüfung der Ölstand in ein Getriebe durchführen zu können.

7. Recyclinggerechtes Gestalten

Während der Konstruktionsphase muss der Konstrukteur die Wieder- und Weiterverwertbarkeit der Werkstoffe und Bauteile beachten. Die Voraussetzung für den Recyclingkreislauf sind gute Demontierbarkeit und geringe Werkstoffvielfalt bei den Bauteilen. Diese führen zur Reduzierung der Kosten und der Zeit bei der Demontage und Sortierung. Um die Umwelt zu entlasten ist der Einsatz von speziellen Beschichtungen und Verbundwerkstoffe zu minimieren.

8. Formgerechtes Gestalten

In der heutigen Zeit spielt das Design eine große Rolle auf dem Markt. Der Kunde möchte nicht nur ein Auto kaufen, das fährt, sondern es muss auch ästhetisch gestaltet sein. Dementsprechend müssen Produkte formgerecht gestaltet werden. Die Form muss so ausgelegt sein, dass sie die Funktionen erfüllt, der Kraftwirkung, dem Werkstoff und dem Fertigungsverfahren entspricht. Weiterhin sollen durch den Einsatz gezielter Kontraste Bedienelemente und Gefahrenstelle wie bewegliche Teile und Stromquellen deutlich sichtbar sein. Farbliche Markierungen sind hierbei ein sehr hilfreiches Mittel.

Wenn bei der Konstruktion all diese Kriterien berücksichtigt werden, kann festgestellt werden, dass sie voneinander abhängen. Je nach Forderungen kann der eine Gestaltungsaspekt höher gewichtet sein als einer der anderen. Demnach ist dem Ingenieur möglich, das optimale Produkt zu entwerfen und zu konstruieren.

Gemäß dem heutigen Standard ist die Erstellung der Entwurfszeichnungen mit CAD-Programmen üblich. Das Zeichnen komplexer Bauteile und Produkte wird dadurch erheblich erleichtert. Auch das Ändern der Maße in den späteren Entwurfsphasen kann ohne großen Aufwand vorgenommen werden. Die 3D-Modelle geben eine deutlich bessere Verständigung zwischen den Ingenieuren und Mitarbeitern, da die visuelle Aufnahme der Informationen wesentlich einfacher ist. Zum Verdeutlichen nimmt man als Beispiel zwei verschiedene Montageanleitungen eines Fahrrads. Die eine Anleitung ist mit Zeichnungen versehen und die andere mit reinen Beschreibung. Bei dem Zusammenbau kann festgestellt werden, dass derjenige mit den bildlichen Darstellungen schneller und ohne große Nachfragen das Fahrrad montieren kann. Im Gegensatz muss der andere sich viel Zeit für das Verstehen des Textes und das Suchen nach den beschriebenen Bauteilen nehmen.

3.6 Ausarbeiten

Das Ausarbeiten schließt den Konstruktionsprozess ab. Grundlage für diese Phase ist der weitgehend mangelfreie Entwurf bzgl. der Funktionalität, der Gestalt und der Kosten. Die Einzelteile werden hierbei bis Fertigungsfreigabe weiter optimiert und detailliert. Desweiteren beinhaltet die Ausarbeitungsphase die Erstellung der Herstellungsunterlagen wie Zeichnungen (Einzel-, Baugruppen-, Gesamtzeichnung), Stücklisten, Montageanleitungen, Schaltpläne, etc. Bei Serienfertigungen ist das Testen des Produktes empfehlenswert. Die Erstellung von Prototypen oder die Durchführung einer Null-Serie können vorteilhaft sein, um evtl. übersehende Fehler rechtzeitig zu erkennen und zu eliminieren. Nachdem die Kostenprüfung erfolgt ist kann die Fertigung frei gegeben werden. [9]

4 Aufgabenstellung

Das schmelzflüssige Aluminium wird diskontinuierlich aus der Zelle abgesaugt (Bild 4-1). Dabei wird ein Gusseisenrohr durch den Elektrolyt in das Metall getaucht und durch Unterdruck in einen Tiegel (Bild 4-2) gesaugt. Es lässt sich nicht vermeiden, dass etwas Bad³ bei jedem Saugvorgang mit angesaugt wird. Das Rohr setzt sich nach und nach mit Elektrolyt zu, so dass das Saugrohr (Bild 4-3) nach einer gewissen Zeit – meistens ein- bis zweimal in acht Stunden – aufgebohrt werden muss, um den Originaldurchmesser wieder herzustellen.



Bild 4-1 Aluminium-Saugvorgang

³ Elektrolyt

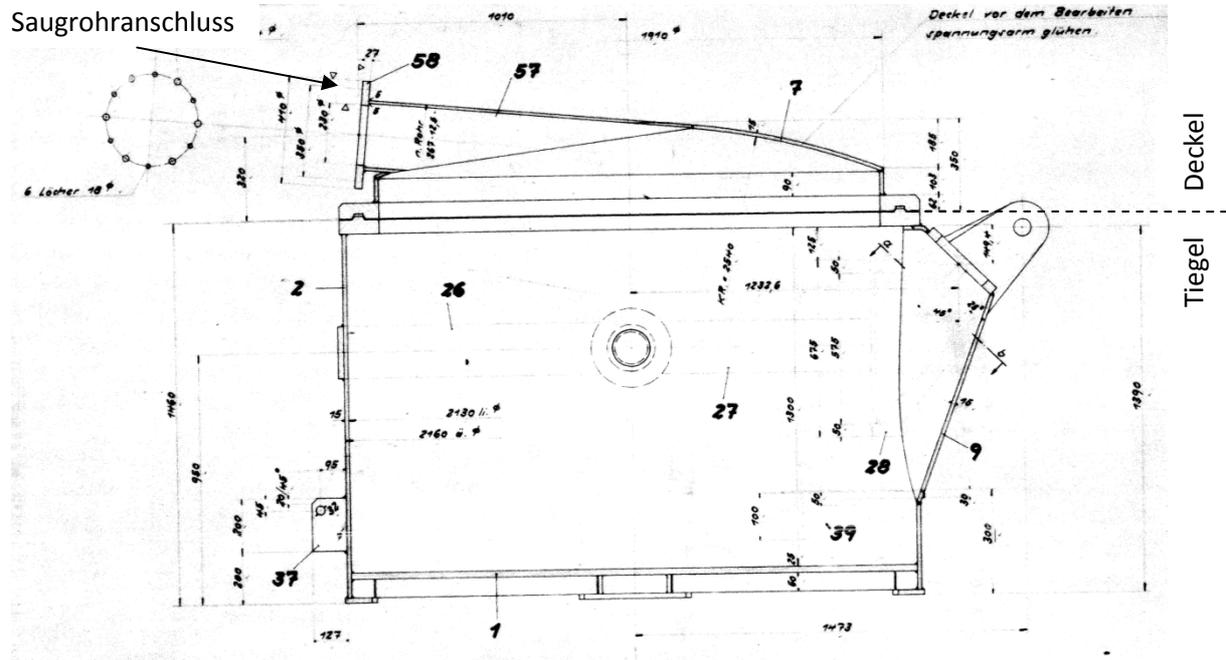


Bild 4-2 Tiegel mit Saugdeckel ohne Saugrohr

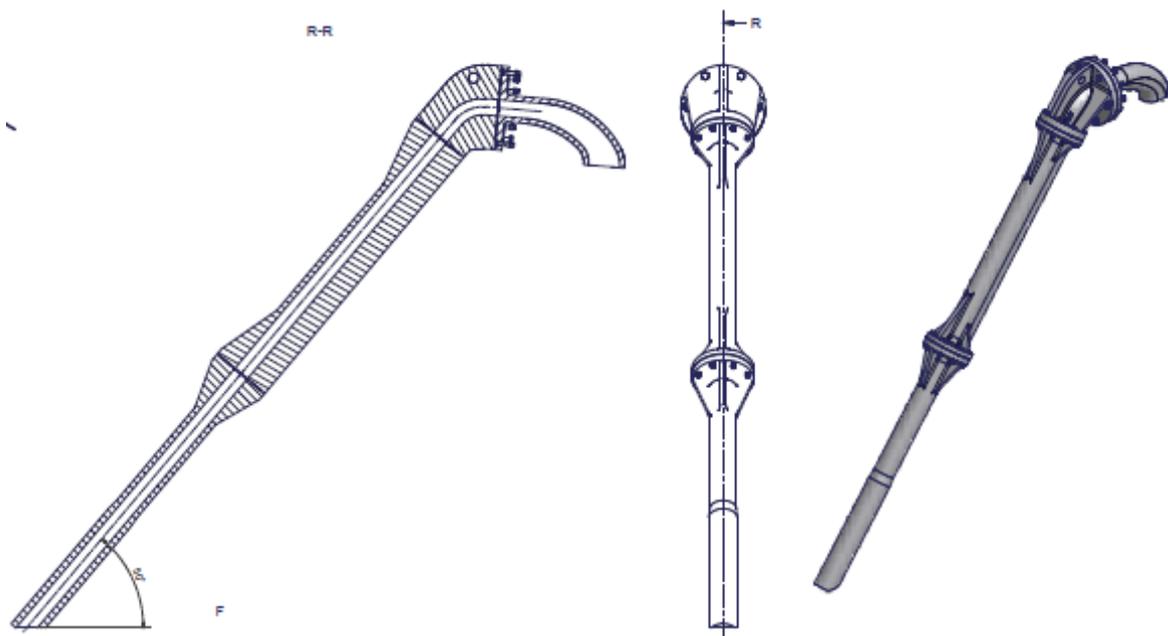


Bild 4-3 Al-Saugrohr

Der Bohrprozess erfolgt an einer manuellen Rohrbohrstation. Hier wird ein druckluftbetriebener Bohrmolch in das Rohr eingeführt und von Hand an das anhaftende Bad gepresst, bis das Rohr wieder frei ist.

Hierbei sind folgende Probleme identifiziert:

1. Es ist ein Mitarbeiter für den ganzen Arbeitsgang gebunden.
2. Der Bohrmolch hat einen hohen Verschleiß.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen folgende Lösungsansätze verfolgt und ausgearbeitet werden:

1. Entwicklung einer mindestens halbautomatischen Einrichtung, die den Vorschub des Bohrmolchs während des Aufbohrens regelt. Das Rohr bleibt an dem Saugdeckel montiert.
2. Projektieren eines Arbeitsplatzes, der das Abwerfen des heißen, blockierten Rohres vorsieht und ein Aufbohren des kalten Rohres vorsieht. Hierfür sind die benötigten Platzverhältnis für die Lagerung der einsatzbereiten Saugrohre, der abkühlenden, blockierten Saugrohre zu ermitteln, sowie eines neuen Bohrwerks zu konstruieren. Darüber hinaus ist der Bohrstand zu entwickeln und zu dimensionieren.

In einem Workshop zu Arbeitsbeginn soll gemeinsam mit den Verantwortlichen der Abteilung, sowie den Mitarbeitern vor Ort abgestimmt werden, welcher der beiden Lösungswege bevorzugt wird.

4.1 Die Entscheidung des Lösungsweges

Ziel des ersten Workshops ist die Entscheidung zu treffen, welcher der beiden Lösungsvarianten für die weitere Konstruktion gefolgt werden soll. Es wurde über die Vor- und Nachteile der beiden Möglichkeiten „flexibler Bohrstand“ und „Demontage der Saugrohre“ besprochen und diskutiert. In der folgenden Tabelle 4-1 wurden diese aufgelistet.

Tabelle 4-1 Vor- und Nachteile der Lösungsvarianten

Flexibler Bohrstand		Demontage der Saugrohre	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> kein weiterer Raum wird benötigt Saugrohre können nach Saugvorgang sofort bearbeitet werden keine Abkühlzeiten De- und Montage nicht notwendig Kostenersparnis der Schrauben und Dichtungen 	<ul style="list-style-type: none"> keine feste Richtung der Bohrachse eine starre Führung ist für den Bohranfang notwendig aufwendiger Konstruktion der Bohrvorrichtung Aluminiumreste im Rohr schmieren beim Bohrvorgang 	<ul style="list-style-type: none"> einfache Positionierung der Saugrohre zur Bohrachse relativ geringe Bohrtiefe durch Trennen des Rohrs in Teilstücken Elektrolyt ist in kaltem Zustand relativ spröde 	<ul style="list-style-type: none"> bei jedem Rohrwechsel müssen neue Dichtungen und Schrauben verwendet werden lange Wartezeit, da die Rohre abgekühlt werden müssen 30-60 min für die De- und Montage pro Saugrohr 2 Mitarbeiter für die De- und Montage des Saugrohrs notwendig Neuer Lagerplatz für die Saugrohre Nachziehen der Schrauben nach jedem Saugvorgang

1. Lösungsweg „Flexibler Bohrstand“

Für den Lösungsweg „Flexible Bohrstand“ bleibt das Saugrohr am Saugdeckel (Tiegeldeckel mit angeschlossenem Saugrohr) montiert. Dadurch entstehen nach dem Abtransport des Saugdeckels vom Tiegel bis zum eigentlichen Bohrvorgang keine weiteren Zeiten. Die Verbindungselemente Schrauben und Dichtungen können weiter verwendet werden. Aus diesem Grund ist auch keine Abkühlzeit für die Saugrohre nötig. Ein weiterer Vorteil dieses Lösungsweges ist der geringe Raumbedarf. Man benötigt keine neue Arbeitsstelle, wo die Rohre vom Deckel abgeworfen und gelagert werden müssen.

Nachteilig ist die schwierige Positionierung der Rohre zur Bohrachse der Bohrvorrichtung. Die Konstruktion ist problematischer, da in diesem Fall eine große Bohrtiefe erreicht werden muss. Außerdem muss man bedenken, dass auch Aluminiumreste an der Innenwand haften bleiben. Durch die heißen Saugrohre sind die Aluminiumreste weich und neigen dazu, beim Bohrvorgang zu schmieren. Die Rohre können nicht einwandfrei durchgebohrt werden. In diesem Fall muss das Saugrohr abgeworfen werden.

2. Lösungsweg „Demontage der Saugrohre“

Damit die Demontage der Saugrohre ermöglicht werden kann, muss der Tiegeldeckel vor der Demontage der Rohre abgekühlt werden. Dieser Schritt ist notwendig, um die Spannungen der Schrauben, die durch die Wärme entstanden sind, zu reduzieren und um das Gefahrenpotential für Verbrennungen zu senken. Für das Lösen der Schrauben muss ein neuer Abstellbock für den Saugdeckel konstruiert werden, damit die demontierten Rohre nicht auf dem Boden fallen. Die De- und Montage sind zeitbehaftete Vorgänge, die nicht wertschöpfend sind. Wertschöpfend ist der Bohrvorgang, weil das Rohr bei diesem Prozess eine Veränderung an sich erfährt und somit auch das eigentliche Ziel erreicht. Für die De- und Montage wird ein weiterer Mitarbeiter benötigt, was ein Nachteil bei der Problemlösung darstellt. Bei jeder Montage werden neue Verbindungselemente und Dichtungen verwendet. Hierbei entstehen zusätzliche Kosten für Ersatzteile. Außerdem müssen die gewarteten Saugrohre am Anfang nach jedem Saugvorgang nachgezogen werden, da die Dichtungen durch die Wärme weich und die Schraubverbindungen dadurch lose werden. Dieser Vorgang ist notwendig, damit die Saugkraft nicht durch die Undichtigkeit zwischen den Rohrstücken negativ beeinflusst wird. Dabei entstehen Wartezeiten.

Der Vorteil bei diesem Lösungsweg ist die leichte Positionierung der Saugrohre zur Bohrstange durch die relativ geringe Masse der Rohrstücke (ca. 150 kg), sowie die freie Beweglichkeit. Das anhaftende Badmaterial (Elektrolyt und Aluminiumreste) sind in Raumtemperatur spröder und lassen sich besser entfernen. Hinzu kommt die geringe Bohrtiefe, welche sich positiv auf die Gesamtkonstruktion wirkt.

Fazit

Am Ende des Workshops wurde die Entscheidung getroffen, dass der „flexibler Bohrstand“ sinnvoller und geeigneter für unser Ziel ist. Grund hierfür ist die kürzere Prozesszeit, aber auch die damit verbundenen geringeren Kosten gegenüber der Demontage der Saugrohre. Wählt man letztere, würde sich an der momentane Situation nicht viel geändert. Die Prozesszeit wird durch die Montagearbeiten und Transportwege nicht kürzer. Es könnte evtl. aufwendiger sein. Je mehr Prozessschritte es gibt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler auftritt und somit der ganze Prozess verlängert wird. Ein weiterer Grund für diese Entscheidung ist das Ziel, den Mitarbeiter spürbar zu entlasten. Die Zeit, die dabei gewonnen wird, kann der Mitarbeiter sinnvoll für andere Tätigkeiten nutzen.

Um es zu verdeutlichen wird realistisch angenommen, dass die Demontage eines geraden Rohrabschnittes ca. 10 Minuten beanspruchen würde (insgesamt 2 Abschnitte, vgl. Bild 4-3). Anschließend werden diese zum Bohrstand transportiert und für den Bohrprozess bereitgestellt (ca. 10 min). Der eigentliche Bohrvorgang inkl. Wechseln der Rohrabschnitte würde 50 Minuten beantragen. Nach diesem Schritt werden die Rohrabschnitte wieder zum Deckel gefahren (10 min) und montiert (15 min). Werden diese Zeiten zusammengerechnet, durchläuft der ganze Prozess 105 Minuten (1. Es ist wesentlich länger als die andere Lösungsvariante. Für diese wird geschätzt 5 Minuten für die Positionierung benötigt und der Bohrvorgang (Ist-Stand: 20 min – 60 min) kann unmittelbar begonnen werden. Insgesamt werden hierbei 55 Minuten verwendet, wenn dieselbe Zeit für den eigentlichen Bohrvorgang angenommen wird. Es ergibt sich eine Zeitersparnis von 50 Minuten. Dies entspricht fast 50%.

5 Produktplanung Ist-Stand-Analyse Rohrbohrstand

Bei der Planung muss die Aufgabe unter den Gesichtspunkten Markt-/Konkurrenz-/Produktanalyse, Trendstudien, Patentlage, etc. ausgewählt werden. Da es sich bei diesem Projekt um eine einmalige Konstruktion für den eigenen Bedarf handelt, entfällt die Markt- und Konkurrenzanalyse. Stattdessen wurde eine Ist-Standanalyse durchgeführt, um die Aufgabe der zu konstruierenden Vorrichtung näher beschreiben zu können.

Das mit Elektrolyt zugesetzte Rohr (Bild 5-1) wird mit Hilfe eines Druckluft-Bohrmolches aufgebohrt, um den Originalinnendurchmesser wieder zu erreichen.

Dies erfolgt in der manuellen Rohrbohrstation, wo ein Mitarbeiter während des gesamten Prozesses die Bohreinheit (Bild 5-2) festhält und diese in das Rohr einführt. Dabei wird der Bohrmolch an den anhaftenden Elektrolyt gepresst, um diese von dem Rohr abzutrennen. Dieser Vorgang wird so lange durchgeführt bis das Rohr wieder frei ist (Bild 5-3).

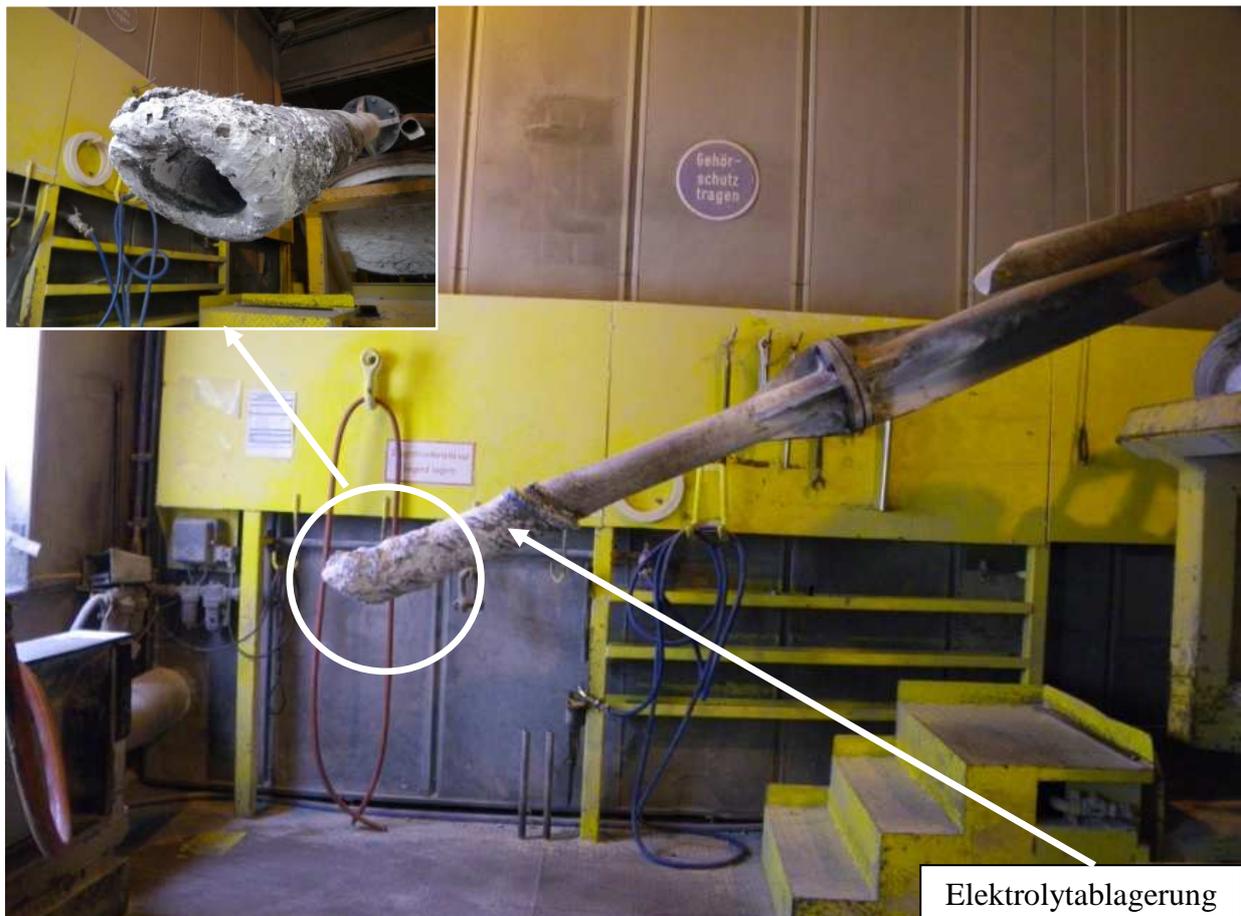


Bild 5-1 Mit Elektrolyt zugesetztes Al-Saugrohr



Bild 5-2 Bohreinheit

Bild 5-3 Ist-Stand bei der Aufbohrprozess

Bild 5-4 auf der nächsten Seite zeigt die Probleme, die beim Bohrprozess entstehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Mitarbeiter während des gesamten Bohrprozesses den Vorgang kontrollieren muss und dabei schwer belastet wird.

Bevor er mit dem eigentlichen Bohrvorgang anfangen kann, muss er die Rohreingänge begutachten, wobei die Gefahr besteht, dass heißes Material herausfallen könnte. Bei den stark zugesetzten Saugrohren müssen die Rohreingänge vorerst mit einem Drucklufthammer freigeschlagen werden, damit der Bohrmolch für den Bohranfang einen Halt in dem Rohr bekommt. Hinzu muss beachtet werden, dass der Zustand des Elektrolyten durch verschiedene Einflüsse wie Temperatur und Zusammensetzung unterschiedlich ausfallen. So kommt es vor, dass der Mitarbeiter für einen Bohrvorgang über eine Stunde braucht, da der Elektrolyt eine sehr hohe Härte hat. Dies passiert im Moment regelmäßig auf jeder Schicht und damit ist der Mitarbeiter hohen Belastungen ausgesetzt.

Der Bohrmolch wird während des gesamten Bohrvorganges mit den Händen gehalten und an die Rohrrinnenwand gedrückt, wo sich die Elektrolytablagerungen befinden. Dabei entstehen durch die Rotation des Bohrmolchs und die unregelmäßige Schläge auf den Elektrolyten starke Vibrationen, die die Hände und Arme des Mitarbeiters aufnehmen müssen. Darüber hinaus entsteht eine erhebliche Lärmbelastung.

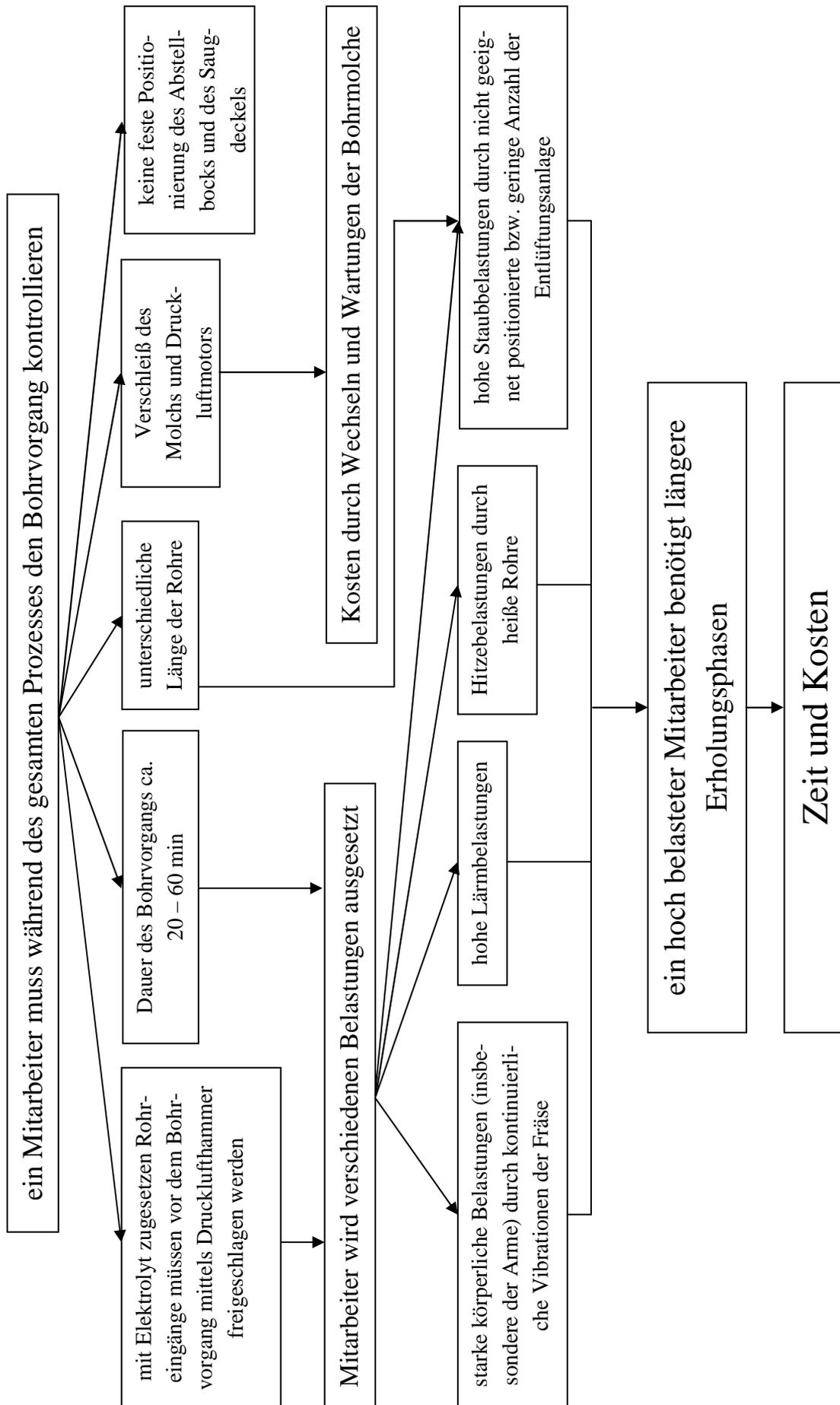


Bild 5-4 Ist-Standanalyse bei der Aufbohrprozess

Die hohe Staubbelastung des abgetragenen Kryoliths entsteht während des Bohrprozesses durch den nicht geeignet positionierten Entlüftungseingang und die niedrige Saugleistung der Entlüftungsanlage. Im Bild 5-1 und Bild 5-3 ist deutlich zu erkennen, dass der Abstand zwischen dem Saugrohr und dem Entlüftungseingang groß ist. Die waagerechte Absaugrichtung ist ungeeignet, da der Staub mit der warmen, aufsteigenden Luft der Umgebung nach oben entweicht.

Ein weiterer Grund für den entweichenden Staub ist die unterschiedliche Länge der Saugrohre, welche sich ebenfalls auf die Entfernung zu Entlüftungsanlage auswirkt. Beim Eintauchen der Saugrohre in das flüssige Aluminium kommt es vor, dass sich das eingetauchte Rohr mit der Aluminiumschmelze und dem Elektrolyt zersetzt. Wenn das Rohr aus diesem Grund stark beschädigt ist, wird ein Stück von dem unteren Rohr abgetrennt, wodurch die verschiedenen Längen der Rohre entstehen.

Eine weitere Belastung, die der Mitarbeiter ausgesetzt ist, ist die Hitze durch nicht abgekühlte Saugrohre. Insgesamt sind fünf Saugdeckel für die Abnahme des Aluminiums aus den Elektrolyseöfen im Einsatz. Drei davon sind kontinuierlich vor Ort verfügbar, da diskontinuierlich Aluminium abgesaugt wird. Ein Saugdeckel wird als Ersatz zur Verfügung gestellt und einer wird im Rohrbohrstand bearbeitet. Da die Rohre mindestens einmal in acht Stunden aufgebohrt werden müssen, kann das Rohr vor dem Bohrvorgang auf Raumtemperatur nicht abkühlen. Oftmals werden die Saugdeckel direkt nach dem Saugvorgang instandgesetzt. Im diesen Fall kann das Rohr eine Oberflächentemperatur bis ca. 800°C haben.

Diese Faktoren der Belastungen bringen nicht nur negative Einflüsse für den Mitarbeiter, sondern auch für die Firma. Wird die Lage des Mitarbeiters betrachtet, dass er den stark vibrierenden Bohrmolch für eine Stunde lang unter lauter, staubiger und warmer Umgebung festhalten und diese mit Kraft in das Rohr drücken muss, ist es verständlich, dass er körperlich stark belastet ist und er nicht dauerhaft auf diesem Arbeitsplatz eingesetzt werden kann.

Kosten und Wartezeiten entstehen durch den hohen Verschleiß der Bohrmolche, da diese unter verschiedenen Winkeln in das Rohr eingeführt und an der Rohrrinnenwand gedrückt wird. Es kommt vor, dass sich die Schlauchverbindung zum Druckluftmotor sich an den Elektrolyt festklemmt. Der Mitarbeiter versucht den Bohrmolch heraus zu ziehen und dabei wird die Bohreinheit beschädigt.

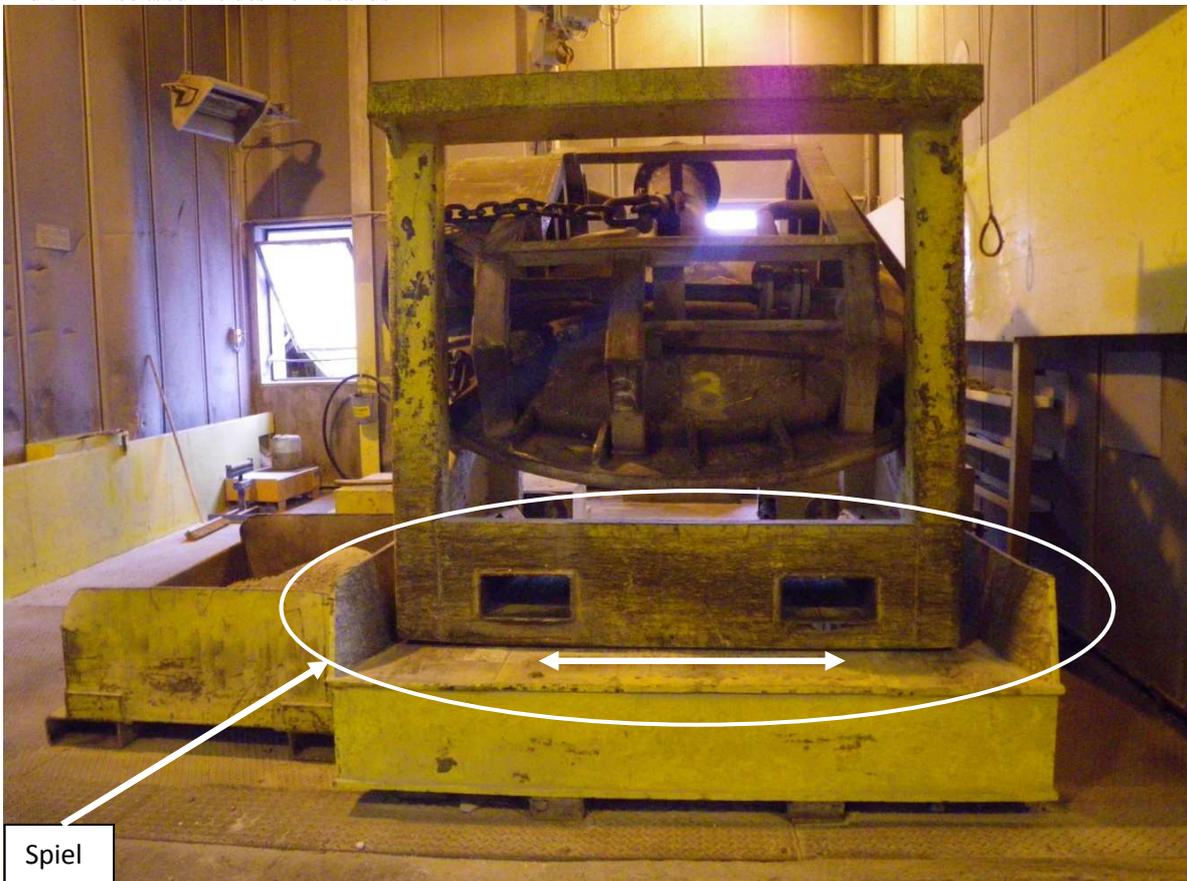
Desweiteren wurde bei der Ist-Standanalyse die freie Positionierung des Tiegeldeckels festgestellt. Mit Hilfe von einem Kran wird der Deckel vom Tiegel abgenommen und ohne eine feste Anschlagstelle auf den dafür vorgesehenen Bock abgelegt (Bild 5-5). Dieser wird dann mit dem Stapler zum Rohrbohrstand gefahren und auf die Arbeitsbühne gehoben (Bild 5-6). Im Bild 5-7 ist erkennbar, dass es für diesen Vorgang ebenfalls keine Anschlagpunkte gibt, an denen der Staplerfahrer den Bock richtig positionieren kann. Diese Bewegungsfreiheit spielt eine große Rolle bei der späteren Konstruktion der Bohrvorrichtung zum Rohrachse.



Bild 5-5 Abstellbock mit Saugdeckel



Bild 5-6 Arbeitsbühne des Bohrstands



Spiel

Bild 5-7 Arbeitsbühne mit Abstellbock und Saugeckel

5.1 Funktionsanalyse Rohrbohrstand

Nachdem die Ist-Standanalyse durchgeführt wurde, ist die Aufgabenstellung definiert. Die Mitarbeiter werden durch eine konstruktive Lösung entlastet. Damit sollen auch unnötige Verschwendungen wie Wartezeiten, Anzahl der Wartungen und somit auch die damit verbundenen Kosten verringert und eliminiert werden. Ziel ist es unter Berücksichtigung des Arbeitsumfeldes und Standorts eine Bohrvorrichtung zu konstruieren, welche die Aufgabe hat, automatisch die Saugrohre aufzubohren. Mit Hilfe der Funktionsanalyse in der Black-Box-Methode beginnt die Produktplanung. Eine ausführliche Ausarbeitung der einzelnen Funktionen und deren Teilfunktionen wirkt sich positiv auf die Lösungsfindung aus.

Bei der Funktionsanalyse wurde der Ist-Stand in der Black-Box-Darstellung aufgenommen, um die Funktionen des Bohrprozesses verständlich zu machen und zu analysieren, an welcher Stelle der Funktionsstruktur Verbesserungen vorgenommen werden können. Anschließend wird die Funktionsstruktur des Soll-Zustandes erstellt, welche sich bei der Ausarbeitung an der Anforderungsliste orientiert.

1. Ist-Stand-Funktionsstruktur:

Die Funktionsstrukturanalyse beginnt mit der Betrachtung des Rohrbohrstandes. Dabei konnte beobachtet werden, welche Umsatzgrößen in diese hinein fließen und welche diese wieder verlassen. Um die Übersichtlichkeit bei der Betrachtung nicht zu verlieren, sind die Umsatzgrößen in Farben aufgeteilt. Die Farbe Blau signalisiert Stoffe, grün Energien und rot Signale.

- a.** Stoffe, die in den Bohrstand eingehen, sind Saugdeckel mit zugesetztem Saugrohr, der auf dem Abstellbock liegt, und Luft (unter anderem auch in Form von Druckluft) (*Anhang A1*). Diese kommen auch wieder aus dem Bohrstand heraus, nur dass das Saugrohr frei von Elektrolyt ist, welches das Ziel des Prozesses ist. Desweiteren gehören Elektrolytstücke, Kryolith-Staub, Kryolith-Pulver und gefilterte Luft zu den Ausgangsstoffen.

Als Energie gehen elektrische Energie (Strom), Strömungsenergie (Druckluft) und mechanische Energie (Muskelkraft der Mitarbeiter), in das System ein. Die Ausgangsenergie ist die Abwärme.

Schließlich werden die Signale betrachtet. Hierbei erkennt man, dass der Bohrvorgang nach Begutachtung des zugesetzten Saugrohres durch das Betätigen der Start-/Aus-Taste (in diesem Fall Fusspedal) gestartet und beendet wird. Dabei entsteht Lärm als Ausgangssignal. Der Mitarbeiter nimmt die Signale auf und führt die entsprechenden Tätigkeiten aus.

- b.** Um den Prozess nachvollziehbar beschreiben zu können, wird als nächstes die Systemgrenze geöffnet (*Anhang A1.1*). Darin sind die einzelnen Funktionsgruppen zu erkennen, aus dem der Rohrbohrstand besteht. Diese sind die Bohrvorrichtung, die Abstellvorrichtung für den Saugdeckel, der Bohrvorgang und die Entlüftungsvorrichtung.

Die Bohrvorrichtung wandelt den Strom (Elektroventil) und die Strömung der Druckluft in Rotationsenergie um, die anschließend mit der Muskelkraft des Mitarbeiters an den Bohrvorgang geleitet wird. Dabei entsteht Abwärme.

Der Saugdeckel, der bereits nach der Demontage von dem Tiegel auf den dafür vorgesehenen Abstellbock gelegt wurde, wird mit dem Stapler auf die Abstellvorrichtung in dem Rohrbohrstand gehoben und aufgebohrt. Die beim Bohrvorgang entstandenen Produkte sind Deckel mit aufgebohrtem Saugrohr, Elektrolytstücke und Kryolith-Staub.

Ein Teil des Staub-Luft-Gemisches hingegen gelangt in die Entlüftungsvorrichtung, wo es gefiltert wird.

- c.** Die Teilfunktionen des Systems „Bohrvorrichtung“ sind detailliert in *Anhang A1.2* beschrieben. Strom und Druckluftenergie werden in das Energiezufuhrsystem gespeist. Der Strom öffnet die Druckluftventile, damit die Druckluft durch den Schlauch in den Bohreranschluss gelangt. An dieser ist ein Druckluftmotor angeschlossen, der die Strömungsenergie in Rotationsenergie umwandelt und diese an den Bohrmolch weiterleitet. Bei der Umwandlung entsteht Lärm als Signal.

- d.* Beim Bohrvorgang wird der rotierende Bohrmolch mit der Muskelkraft des Mitarbeiters in das zugesetzte Rohr eingeführt (*Anhang A1.3*). Dabei nimmt der Mitarbeiter den Druckluftschlauch mit angeschlossenem Motor und Bohrmolch und drückt diesen in Achsrichtung des Rohres in das Rohr (Translationsenergie). Durch den Aufbohrvorgang fallen Elektrolytstücke und Kryolith-Staub aus dem Rohr. Zusätzlich entstehen Lärm und Abwärme. Nach diesem Prozess hat das Rohr wieder seinen Ursprungsinwendurchmesser.
- e.* Ein Teil des Kryolith-Staubes wird durch die Entlüftungsanlage eingesaugt und im Filtersystem in Pulver und Luft getrennt (*Anhang A1.4*). Das resultierende Ausgangssignal ist der Lärm und die resultierende Ausgangsenergie die Abwärme.

2. Soll-Stand Funktionsstruktur

Nachdem die Funktionsstruktur des Ist-Standes erstellt ist, können die Funktionen, die für das Erreichen des Ziels geändert werden müssen, näher betrachtet und durch Soll-Funktionen ersetzt werden.

- a.* Die Black-Box des Rohrbohrstandes im Soll-Zustand ist von den Ein- und Ausgängen der Umsatzgrößen mit dem Rohrbohrstand im Ist-Zustand ähnlich (*vgl. Anhang A1 und Anhang A2*). Statt Druckluft fließen andere Energieträger in das System hinein, um eine höhere Bohrleistung zu erzielen. Es gibt ein zusätzliches Leuchtsignal als Signalausgang, welches aus Sicherheits- und Betriebsgründen für eine automatische Vorrichtung notwendig ist. Durch eine verbesserte Entlüftungsanlage soll kein Staub aus dem System treten bzw. die Staubmenge soll erkennbar reduziert werden.
- b.* Innerhalb der Systemgrenze ist die Funktion F5 Ausrichtung Bohrvorrichtung hinzugefügt wurden (*Anhang A2.1*). Für eine automatische Bohrvorrichtung muss die Bohrvorrichtung entlang der Rohrachse verlaufen. Da der Saugdeckel keine feste Abstellposition hat, muss eine Lösung für dieses Teilproblem gesucht werden. Die anderen Funktionen in dieser Ebene bleiben vorerst gleich wie die des Ist-Standes.

Da das Ziel das Entlasten des Mitarbeiters ist, wird die mechanische Energie (Muskelkraft) durch Translationsenergie ersetzt. Weiterhin gibt F1 die Leuchtsignale wieder.

- c.* Die Bohrvorrichtung enthält eine Vorschubvorrichtung mit einem Überlastungsschutz, die für die Entlastung des Mitarbeiters sorgt (*Anhang A2.2*).
- d.* Beim Bohrvorgang wird der ausgerichtete Saugdeckel auf die Zentrallinie des Saugrohres gesetzt (*Anhang A2.3*). Der rotierende Bohrmolch wird mit der Vorschubvorrichtung zum Aufbohrvorgang des Rohres zusammengefügt. Während des Bohrvorganges entstehen wie beim Ist-Stand Kryolith-Staub, Elektrolytstücke, Abwärme und Lärm.
- e.* Um die Staubbelastung zu senken, wird der Saugeingang in der Ebene F4 sinnvoller positioniert (*Anhang A2.4*).

Durch die Definitionen der Funktionsstrukturen des Soll-Standes können im nächsten Schritt die Forderungen und Wünsche ermittelt und in die Anforderungsliste eingetragen werden.

5.2 Anforderungsliste des Rohrbohrstandes

Im zweiten Workshop wurde die Funktionsstruktur vorgestellt und anschließend über die Forderungen und Wünschen diskutiert. Im *Anhang B* befindet sich die Anforderungsliste zum Rohrbohrstand. Die Strukturierung orientiert sich nach den Funktionsgruppen, um die Übersichtlichkeit beizubehalten, aber auch um die Ziele besser und nachvollziehbarer beschreiben zu können. Außerdem sind die Kriterien nach der Wichtigkeit sortiert.

1. Allgemein

- 1.1. Die Rohrabmessungen sind Forderungen, da diese unveränderlich sind.
- 1.2. Eine weitere Forderung ist die Verwendung von Normteilen und Normwerkzeugen. Dies ist erforderlich, da genormte Produkte einfacher und kostengünstiger beschafft werden können. Jedes Sonderteil, das in geringe Stückzahl produziert wird, kostet durch größeren Aufwand dementsprechend.
- 1.3. Für die Sicherheit der Mitarbeiter und der Maschinen sind Not-Aus-Schalter in erreichbarer Nähe erforderlich.
- 1.4. Die Raumgröße ist variabel, da der Platz in Richtung der Bohrvorrichtung frei ist. Der Bohrstand liegt zwischen der Elektrolyse-Halle 1 und der Tiegelstation (Bild 5-8).



Bild 5-8 Rohrbohrstand (rot)

2. Funktionen

2.1. Bohrvorrichtung

2.1.1. Der Bohrmolch muss ein Durchmesser von 60 mm bis 75 mm haben. Der Grund hierfür ist die Innendurchmesser des Saugrohres. Dieser beträgt 80mm. Um ein Aufbohren zu ermöglichen, muss der Bohrkopfdurchmesser kleiner als der Rohrendurchmesser sein, damit das Rohr nicht beschädigt wird und der Elektrolyt und der beim Bohrvorgang entstandene Kryolith-Staub herabfallen kann.

2.1.2. Die Vorschubgeschwindigkeit des Bohrers soll 50 mm/min bis 120 mm/min betragen. Diese wurde aus dem Ist-Stand hergeleitet. Der Mitarbeiter benötigt für einen Bohrvorgang bis zu einer Stunde. Dies entspricht ca. 50mm/min bei einer Rohrlänge von 3 m (*Anhang H*). Die Vorschubgeschwindigkeit der zu konstruierenden Vorrichtung darf diese nicht unterschreiten. Eine zu hohe Geschwindigkeit ist aus Sicherheitsgründen auch zu vermeiden. Die Grenze wurde auf 120 mm/min für eine Bohrtiefe von 2500 m gelegt, da die Bohrstange nicht um den Rohrbogen zu Deckel hin geführt werden kann. Das entspricht ca. 20 min pro Vorgang.

2.1.3. Das Drehmoment des Bohrmolchs wurde aus den Herstellerdaten des jetzigen Druckluftmotors ermittelt. Für die Auslegung des neuen Bohrstandes muss das Drehmoment größer sein, um eine höhere Abtragkraft für das Entfernen der Elektrolyten zu erzielen.

Laut dem Hersteller Cooper Tools kann der jetzige Motor (Airetool „4000“Series Motor) eine maximale Leistung (Nennleistung) von 1,5 kW bei einer Nenndrehzahl von 4000 1/min erreichen. Die Berechnung des Drehmomentes ist wie folgt:

$$P_n = M_n \cdot \omega_n \quad \text{mit} \quad \omega_n = 2 \cdot \pi \cdot n_n$$

$$M_n = \frac{P_n}{2 \cdot \pi \cdot n_n} \cong 9500 \frac{P_n}{n_n} \frac{kW}{min^{-1}}$$

$$M_n \cong 9500 \frac{1,5 kW}{4000 min^{-1}} = 3,5625 Nm$$

Aus dem o.g. Grund wurde das Drehmoment $M_n > 7 Nm$ gewählt.

- 2.1.4. Leuchtsignale müssen für den Bohrprozess verwendet werden. Diese sind für den sicheren Betrieb einer automatischen Vorrichtung notwendig, um Fehler beim Bohrvorgang rechtzeitig erkennbar zu machen. Dabei signalisiert rot eine Fehlermeldung (Überschreitung des maximale Drehmoments bzw. der maximale Vorschubkraft), gelb den Bohrvorgang und grün das Ende des Prozesses.
- 2.1.5. Schutzsysteme gegen Überlast müssen für die Sicherheit des Mitarbeiters und zum Schutz des Saugrohres und der Maschine bei der Konstruktion berücksichtigt werden.
- 2.1.6. Um die Sicherheit der Mitarbeiter zu gewährleisten, muss die Bohrvorrichtung im Betrieb abgesperrt werden. Die Absperrung ist deutlich zu kennzeichnen.
- 2.1.7. Das Kryolith, das die Ablagerungen im Rohr bildet, wird als Mineral klassifiziert. Die Härte von Mineralen werden nach Mohs⁴ geprüft. Der Grundgedanke dieses Messverfahrens beruht auf das Prinzip „Harte Stoffe ritzen weiche“. Kryolith hat die Mohshärte von 2,5 und liegt damit zwischen Gips (2 Mohs) und Calcit (3 Mohs). Da die Härte der Referenzmineralen (Vickershärte⁵) auf der Mohs-Skala nicht linear ist, muss man anwendungsbezogen den nächst höheren oder niedrigeren auswählen. Die Werkstoffhärte des Bohrers muss aus dem genannten Grund größer als 3 Mohs (entspricht 109 HV) betragen, da Kryolith das abzutragende Material ist.
- 2.1.8. Die Bohrvorrichtung muss die Schutzklasse IP56 nach DIN EN 60529 erfüllen, da am Einsatzort eine hohe Staubbelastung herrscht. [1]

Die erste Kennzahl 5 ist der Schutz gegen Staubablagerungen. Es handelt sich hierbei um den vollständigen Schutz gegen das Berühren unter Spannung stehender oder innerer bewegter Teile. Der Schutz gegen schädliche Staubablagerungen muss gegeben sein. Zwar wird das Eindringen des Staubes nicht vollkommen verhindert, aber die Menge des eingedrungenen Staubes darf die Arbeitsweise der Maschine nicht beeinträchtigen.

⁴ Friedrich Mohs (1773-1839), ein deutsch-österreichischer Mineraloge, ist der Entwickler der Härteskala für Mineralen. [18] [21]

⁵ Härteprüfverfahren nach Vickers DIN EN ISO 6507-1:2005 bis 4:2005, entwickelt von Smith und Sandland im Jahre 1925, benannt nach der britischen Flugzeugbaufirma [15] [21]

Die zweite Kennzahl 6 wird als Schutz gegen die Überflutung deklariert. Wasser darf bei vorübergehender Überflutung nicht in schädigender Menge in die Maschine eindringen.

2.1.9. Als ein wichtiger Wunsch soll der Bohrer-Werkstoff verschleißfester als den der jetzigen Bohrmolche sein, um die Anzahl der Instandsetzung zu verringern, damit eine Kostensenkung erzielt werden kann.

2.2. *Abstellvorrichtung für Saugdeckel*

2.2.1. Der Abstellbock für den Saugdeckel hat ein Abmaß von 1800 x 1670 x 1240 mm.

2.2.2. Der Werkstoff des Abstellbockes ist S235JR (St37).

2.3. *Abstellvorrichtung für Saugdeckel*

2.3.1. Bei stark zugeseztem Rohr muss die Elektrolytablagerung am Ende des Rohres mit einem Schlaghammer abgetrennt werden, da es sonst nicht möglich ist, den Bohrer in das Rohr zu führen. Durch eine starre Führung zur Saugrohrachse ist dieser Schritt nicht notwendig.

2.3.2. Es ist wünschenswert, dass es für die Positionierung der Bohrvorrichtung und des Saugrohres feste Anschlagpunkte gibt.

2.4. *Bohrvorgang*

2.4.1. Das Saugrohr und die Bohrvorrichtung müssen so ausgelegt sein, dass die Bohrlinie mit der Rohrachse fluchten.

2.5. *Entlüftungssystem*

2.5.1. Die Position des Entlüftungssystems muss optimiert werden, damit möglichst wenig Staub in die Umgebung entweichen kann.

2.5.2. Es ist ein Wunsch die Leistung der Entlüftungsanlage zu prüfen.

3. *Wartung*⁶

- 3.1. Die Bohrvorrichtung muss montagegerecht gestaltet werden. Der Zusammenbau muss einfach und verständlich sein. Verschleißteile werden so eingeplant, dass sie leicht zugänglich und auswechselbar sind.
- 3.2. Für den kontinuierlichen Betrieb der Anlage soll eine Wartung einmal die Woche ausreichend sein.

4. *Instandsetzung*⁷

- 4.1. Ersatzteile müssen kostengünstig sein. Dies kann durch die Verwendung der Normteile erreicht werden.
- 4.2. Die Anzahl der Inspektion darf nicht mehr als einmal die Woche betragen.

5.3 Pflichtenheft des Rohrbohrstandes

Die Punkte, die im *Kapitel 3.3.3* für ein Pflichtenheft aufgelistet sind, können im Rahmen der Bachelorthesis nicht alle berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Herstellungs-, Kapazitäts- und Entwicklungskosten werden ausgelassen. Die Anforderungsliste des Projekts ist damit der Hauptinhalt des Pflichtenheftes (*Anhang C/C1*).

Es ist wichtig, eine Ablaufplanung zu erstellen, welche in das Pflichtenheft eingebunden wird. Diese entspricht während des gesamten Konstruktionsprozesses den roten Leitfaden (*Anhang C2-C4*).

Der Ablaufkalender wurde während der Ausarbeitung der Bachelorthesis immer berücksichtigt. Damit konnten die vorgenommenen Tätigkeiten in der vorgegebenen Zeit erledigt werden, welches ein großer Vorteil für die Zielerreichung ist.

⁶ Gemäß DIN 31051: Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates

⁷ Der Vorgang, bei dem ein defektes Objekt in den ursprünglichen, funktionsfähigen Zustand zurückgesetzt wird.

6 Konzipierungsphase

6.1 Morphologischer Kasten Rohrbohrstand

Bei der Konzipierungsphase wurde der morphologische Kasten anhand der Funktionsstruktur erstellt (*Anhang D*). Es wird nach den folgenden Funktionsgruppen gegliedert:

- die Bohrvorrichtung
- die Ausrichtung der Bohrvorrichtung zum Saugrohr
- die Entlüftungsvorrichtung

Anschließend werden die dazugehörigen Teilfunktionen aufgelistet. Die Lösungssuche der Teilprobleme erfolgt im Zusammenspiel mit einer Datenbankrecherche und Brainstorming (*Kapitel 3.4.1 und 3.4.2.1*). Letzteres wurde in einer kleinen Gruppe in einem Workshop durchgeführt.

F1 Bohrvorrichtung

Die Bohrvorrichtung besteht aus einem Energiezufuhrsystem, an dem das Bohrsystem, das Überlastungssystem und die Vorschubvorrichtung angeschlossen sind. Die Bohreinheit und die Vorschubeinheit können elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch mit dem dazugehörigen Motor angetrieben werden.

Die Verbindung zwischen dem Bohrmolch und dem Antrieb kann starr, z.B. durch einen Rundstahl, oder flexibel durch einen Schlauch sein. Bei Schläuchen wird der Vorschub mit Vorschubrollen realisiert. Anders ist es bei den starren Verbindungen. Hierbei können verschiedenen Methoden angewendet werden. Spindelhubgetriebe oder Hubzylinder sind Beispiele dafür.

Es gibt eine große Auswahl an Bohrmolchen aus verschiedenen Bearbeitungsbereichen. Die Frästulpe wird ursprünglich bei der Rohrreinigung angewendet. Es ist möglich diese sowie einen anderen Bohrer, z.B. einen Bohrkopf aus dem Gesteinsbearbeitungsbereich, für die Bohrvorrichtung zu verwenden.

Es gibt unterschiedliche Schutzsysteme gegen Überlast in axiale und radiale Richtung. Der Status des Bohrvorganges wird mit Lampen wie Ampelmelder signalisiert.

F4 Entlüftungsvorrichtung

Die Saugereinheit, bestehend aus einem Schlauch oder einem Rohr mit angeschlossenem Sauger, für die Entlüftungsanlage kann mit geeigneter Positionierung und Saugeingangsformen optimiert werden.

F5 Ausrichtung der Bohrvorrichtung zum Saugrohr

Die Ausrichtung des Saugrohrs kann auf zwei Varianten erfolgt werden. Das Rohr wird auf eine Auflage gelegt. Hierfür werden keine äußeren Kräfte eingesetzt, das Rohr richtet sich durch die Schwerkraft und Form der Auflage aus. Anders ist es bei einer Führung. Dabei wird das Rohr mit Kraft in die Ausrichtungslage gedrückt.

Nachdem die möglichen Teillösungen der Teilprobleme erarbeitet und in den morphologischen Kasten eingetragen wurden, können die Lösungen kombiniert werden. Insgesamt wurde im Rahmen der Bachelorthesis sechs Lösungsvarianten ermittelt (*Kapitel 3.4.2.2*). Um die Übersichtlichkeit beim Kombinieren zu behalten, wurden die Teillösungen bildlich dargestellt und die Lösungsvarianten farbig gekennzeichnet (*Anhang D1*). Bei der Suche und dem Zusammenfügen der Teillösungen wurden Skizzen erstellt, die für ein besseres Verständnis bei der Bewertungssitzung sorgen (*Anhang D1.1*).

6.2 Lösungsbewertung Rohrbohrstand

6.2.1 Forderungsüberprüfung

Um eine Lösungsbewertung für die ermittelten Lösungsvarianten durchführen zu können, müssen diese vorerst auf die Erfüllungen der Forderungen geprüft werden (*Kapitel 3.4.3.1*). Hierfür wird auf die Tabelle 3-5 zurückgegriffen. Die Forderungen aus der Anforderungsliste stellen dabei die Basis der Prüfkriterien dar. Insgesamt gibt es 20 Forderungen, die die Lösungskonzepte erfüllen müssen. Ist eine der Forderungen von der LV⁸ nicht erfüllbar, wird sie nicht mehr für die weitere Bewertungsphase verwendet. Im *Anhang 0* befindet sich die Prüfungstabelle für den Rohrbohrstand.

Die Lösungsvariante LV1, LV2 und LV4 erfüllen alle Forderungen und werden in die weitere Bewertungsphasen einbezogen.

Die LV3 kann die Forderung Nr. 17 nicht erfüllen. Unter einfachem Aufbau der Gesamtvorrichtung wird die gute De- und Montierbarkeit verstanden, welche bei der Wartung und Instandsetzung Vorteile bringt. Da Nietverbindungen nicht lösbare Verbindungselemente sind, kann das Gehäuse bei diesen LV nur mit großem Aufwand geöffnet werden.

Die LV 5 ist nur mit einer Alarmleuchte ausgestattet. Um die Prozessschritte zu verdeutlichen ist es gefordert, ein Leuchtsignal mit den Farben rot, gelb, grün zu verwenden. Aus diesem Grund ist diese Lösung nicht geeignet.

Die LV 6 benutzt Profilstahl als Bohrwelle. Profilstähle sind bei der Herstellung aufwendiger und damit kostenintensiver. Die Forderung für kostengünstige Ersatzteile kann somit nicht erfüllt werden.

6.2.2 Ermittlung der Bewertungskriterien

Die Forderungen aus der Forderungsüberprüfung stellen die Bewertungskriterien dar. Diese sind die wichtigsten Kriterien, mit denen die LV verglichen und gewichtet werden können (*Kapitel 3.4.3.2*).

⁸ Lösungsvariante

6.2.3 Gewichtung der Bewertungskriterien

Wie im *Kapitel 3.4.3.3* beschrieben ist, werden die Bewertungskriterien mittels der Rangfolge-Gewichtung verglichen und ausgewertet. Hierbei dient die Tabelle 3-6 als Formular für die Gewichtung.

Die ausgewertete Rangfolge-Gewichtung befindet sich im *Anhang E2*. Aus der Gewichtungsmatrix ist die Reihenfolge der Kriterien deutlich zu erkennen. Das Kriterium mit der höchsten Anzahl an “+“-Zeichen hat die höchste Priorität.

Das Kriterium Nr. 19 mit 19 “+“-Zeichen stellt somit das wichtigste Kriterium für die Konstruktion dar. Die Firma TRIMET legt sehr viel Wert auf die Sicherheit der Mitarbeiter, deshalb wird die Unfall- und Betriebssicherheit in den Vordergrund gestellt.

Bei der Konstruktion spielt das Gehäusedesign eine kleinere Rolle. Es ist mit null “+“-Zeichen das am niedrigsten bewertete Kriterium.

6.2.4 Auswertung mittels Wertigkeitsverfahren

Für die Auswertung der Lösungsvarianten (LV1, LV2, LV4) wird das Wertigkeitsverfahren angewendet (*Kapitel 3.4.3.4*). Aus den ermittelten Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien können die Lösungskonzepte miteinander verglichen werden.

Alle drei Lösungsalternativen haben dieselbe Gewichtung für die Kriterien-Nr. 1, 9 und 13.

Nr. 1: Der Außendurchmesser der Bohrmolche kann ohne Probleme zwischen 65 mm und 75 mm ausgewählt werden.

Nr. 9: Die Positionierung des Absaugeingangs mit Schlauch als Saugrüssel ist bei allen drei Varianten sehr gut realisierbar, da dieser flexibel und somit jede Position annehmen kann.

Nr. 13: Die Bohrmolchhärte der drei Bohrer kann sehr gut über den Forderungswert 109HV gebracht werden.

Die Gewichtung der restlichen Bewertungskriterien kann aus dem *Anhang E3* entnommen werden. Im Folgenden werden die wesentlichen Kriterien der LV erläutert.

Nr.2: Der Vorschub der LV 1 wird durch einen Hydraulikzylinder realisiert. Durch die Verwendung der Drosselventile können die Geschwindigkeiten sehr gut reguliert werden. Die Punktzahl ist damit 4.

Die LV2 verwendet Rollen als Vorschubelement. Dabei wird die Vorschubkraft durch die Reibung zwischen den Rollen und der Welle (in diesem Fall Druckluftschlauch) übertragen. Die Regulierbarkeit der Geschwindigkeit ist nicht optimal, da es keine reinen Kontaktflächen durch die Betriebsumgebung, insbesondere die Staubbelastung, gibt. Das Resultat ist ein erhöhtes Risiko für das Durchrutschen der Vorschubrollen. Durch die Erhöhung und das Konstanthalten der Druckkraft der Rollen auf die Reibfläche ist es möglich, das Durchdrehen zu verhindern. Da es sich hierbei um einen Schlauch handelt, der vorgeschoben wird, ist es schwierig, die Druckkraft ohne Beschädigung des Schlauches und ohne Verengung der Strömungsdurchmesser zu erhöhen und konstant zu halten. Aus diesem Grund bekommt diese Variante 2 Punkte.

Ein Pneumatikzylinder wird in der LV4 verwendet. Die Regulierung der Vorschubgeschwindigkeit in der Pneumatik ist nur unter Verwendung besonderer Dichtungs- und Drosselungstechnik möglich, welche zur Erhöhung der Kosten führt. Deshalb wird diese Lösung mit 3 Punkten bewertet.

Nr. 3: Ein konstantes Drehmoment des Bohrers wird bei LV1 und LV4 mittels Elektromotor sehr gut erreicht.

Im Gegensatz hierzu verwendet die LV2 einen Druckluftmotor, welcher den Nachteil hat, unterschiedliche Drehmomente im Betrieb anzunehmen. Der Grund hierfür ist die Änderung der Betriebsdrehzahl durch die dynamische, schlagartige Belastung während des Bohrvorganges. Dementsprechend liegt die Punktzahl bei 1.

Nr. 5: Der Schutz gegen Überlast in axialer Richtung in Fluidsystemen wird mit dem Einsatz von Druckregelungsventilen erreicht. Da die Vorschubeinheit der LV1 und LV4 aus Zylindern (Hydraulik/Pneumatik) besteht, kann ein Ausknicken der Bohrwelle durch Überlastung mittels des genannten Ventils problemlos verhindert werden. Auch die Radialkraft (Drehmoment des Bohrers) ist gut begrenzt, da ein Elektromotor eingesetzt wird. Für den Überlastungsschutz wird ein Drehmomentregler an dem Motor angeschlossen (4 Punkte).

Der Schutz der LV2 beruht auf dem Prinzip der Reibung in Abhängigkeit von der Normalkraft⁹. Durch die Einstellung der Normalkraft (hier: Druckkraft) zwischen dem Schlauch und den Vorschubrollen kann die Überlast geregelt werden. Je größer die Normalkraft, desto größer ist die Vorschubkraft. Durch die Einflussfaktoren, die in Nr. 3 erwähnt wurden, kann die Sicherheit nicht optimal erreicht werden. Der Druckluftmotor, welcher für den Bohrprozess verwendet wird, ist gegen eine Überlastung des Drehmoments sehr sicher, da er ohne Schaden bis zum Stillstand belastet werden kann. Auf Grund des ersten Arguments liegt die Bewertung für die Gesamtsicherheit bei 3 Punkten.

Nr. 8: Mit der Verwendung von Rundstahl als Bohrwelle kann durch deren Steifigkeit eine sehr genaue Vorschubrichtung erzielt werden. Diese Richtungsgenauigkeit ist wichtig, damit der Bohrvorgang auch bei zu stark zugesetzten Rohren unmittelbar begonnen werden kann. Die LV 1 und 4 werden aus diesem Grund mit 4 Punkten bewertet.

Durch die Anwendung eines Druckluftschlauches bei der LV2 kann die Genauigkeit der Bohrrichtung nicht erreicht werden. Hierbei müssen stark zugesetzte Rohrenden vor dem eigentlichen Bohrvorgang mit einem Schlaghammer geöffnet werden, damit der Bohrmolch eingeführt werden kann. Dies ist zeitaufwendig und spiegelt den Ist-Zustand wieder, den es zu verbessern gilt. Somit bekommt diese Variante nur 1 Punkt.

⁹ Die Normalkraft ist die Kraft, die senkrecht auf eine Ebene wirkt.

Gemäß der Definition der Wertigkeit von F. Hansen sind die LV1 ($w_g = 0,9484$) und die LV4 ($w_g = 0,9198$) günstig für die Konstruktion. Die LV4 mit der Wertigkeit von 0,5666 ist nicht befriedigend. Demnach erhält die LV1 den Rang 1, gefolgt von der LV4 mit dem Rang 2 und die LV2 mit dem Rang 3.

Nach der Lösungsbewertung wurden die Ergebnisse in einem weiteren Workshop präsentiert. Aus den LV1 und LV4 wurde die Erste ausgewählt, da in der Firma ein nicht gebrauchtes Hydraulikaggregat zur Verfügung steht. Dadurch liegen die Betriebskosten im Vergleich zur LV4 niedriger, welche die Druckluft nutzt. Außerdem kann bei Hydrauliksystemen eine höhere Leistung und ein besser regulierbarer Vorschub erzielt werden (*Anhang E4*).

7 Konstruktionsphase

In der Konstruktionsphase (Entwurfsphase), wird das ausgewählte Lösungskonzept gestaltet. Es besteht hauptsächlich aus folgenden Elementen:

- Bohrvorrichtung
 - ein Elektromotor als Antrieb für die Bohrvorrichtung
 - ein Rundstahl als Welle für die Kraftübertragung (Drehmoment und Druckkraft beim Bohrvorgang)
 - ein Bohrmolch
 - Elemente für die Wellenführung
- Bohrvorschubvorrichtung
 - ein Hydraulikzylinder mit angeschlossenem Aggregat als Vorschubantrieb
 - eine Laufschiene
 - Stützen zur Befestigung der Vorrichtung
- Ausrichtung der Bohrachse zur Rohrachse
 - Ablageeinheit für das Saugrohr
- Entlüftungsanlage mit verbesserter Positionierung

Um den ersten Entwurf gestalten zu können, müssen technische Daten wie das benötigte Drehmoment ermittelt und festgelegt werden. Es gibt für die Konstruktion keine festen Werte. Aus diesem Grund dient der Ist-Stand als Basis für die Auslegung der technischen Werte des zu entwickelnde Bohrstandes.

7.1 Bohrvorrichtung

7.1.1 Motorauswahl

Aus den ermittelten Leistungsdaten des Druckluftmotors (s. Kapitel 5.2, Unterpunkt 2.1.3) kann ein Elektromotor für die Konstruktion ausgewählt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Motor sowohl Radialkraft als auch Axialkraft aufnehmen kann. Viele E-Motoren sind nicht für die Übertragung von Axialkräften ausgelegt, deshalb wurden Recherchen durchgeführt und bei unterschiedlichen Herstellern nachgefragt. Die Firma Getriebe Nord stellt Getriebemotoren her, die diese Anforderungen erfüllen. Für die Auswahl wurde die Leistung des Druckluftmotors von 1,5 kW konstant gesetzt. Aus dem Katalog [23] konnte ein Motor mit den folgenden Daten ausgewählt werden *Anhang G1*:

- Block Stirnradtriebemotor SK 12 – 90 L/4
 - $P_1 = 1,5 \text{ kW}$
 - $n_2 = 471 \text{ min}^{-1}$
 - $M_2 = 30 \text{ Nm}$
 - $i_{ges} = 2,96$
 - $f_B^{10} = 2,7$
 - $m = 24 \text{ kg}$
 - $F_{RVL} = 5,1 \text{ kN}$
 - $F_{AVL} = 3,9 \text{ kN}$

Die Arbeitssicherheit der Firma Trimet schreibt vor, dass die Auslegung, Montage und Demontage von elektrischen Geräten ausschließlich durch qualifizierte Elektriker erfolgt.

Die o.g. Daten werden für die Berechnung der Bohrwellenfestigkeit verwendet.

¹⁰ Der Betriebsfaktor f_B entspricht den Betriebsfaktor K_a in Roloff-Matek.

7.1.2 Bohrmolchenauswahl

Da der Bohrmolch ein Verschleißteil ist und er somit in bestimmten Zeitabständen ausgetauscht werden muss ist es sinnvoll, diese auf dem Markt als Kaufteil zu erwerben. Die Entwicklung und Konstruktion eines neuen Bohrmolchs ist zeitaufwendig. Als Spezialbauteil wird er mit höheren Kosten belastet.

Es gibt eine Vielzahl an Bohrwerkzeugen, die für das Abtragen der anhaftenden Elektrolyten in Frage kommen können. Bei der Auswahl des Werkzeuges wurde auf die Gesteinsbearbeitungsbereich konzentriert, da diese Firmen sich auf Werkzeuge spezialisiert haben, welche zum Aufbohren harter Materialien (Stein, Erz, etc.) ausgelegt sind. Im *Anhang G2* sind Daten und Bilder einiger Bohrmolche aufgelistet, die eine Anwendung für den Bohrstand finden könnte.

Die Entscheidung für einen geeigneten Bohrmolch wird in einer weiterführenden Analyse des Bohrprozesses getroffen. Für die Zeichnung wird ein einfaches Bohrmolchmodell zur Veranschaulichung verwendet.

7.1.3 Ermittlung des Bohrwellendurchmessers

Die Hauptfunktion der Welle ist die Übertragung vom Drehmoment, die unter anderem durch Zahnräder, Kupplungen und Riemenscheiben ein- und weitergeleitet werden. Torsion und Biegung durch Querkräfte sind die Belastungen, die der Welle ausgesetzt sind. Unter bestimmten Anwendungen werden Wellen auch axial belastet.

Die Bohrwelle stellt die Verbindung zwischen dem Bohrwerkzeug und dem Motor her. Sie soll für den Bohrprozess das Drehmoment des Motors und die Vorschubkraft des Zylinders an den Bohrmolch weiterleiten.

7.1.3.1 Ermittlung des Entwurfsdurchmessers

Bevor der Entwurfsdurchmesser errechnet werden kann, muss der Werkstoff ausgewählt und die Spannungen ermittelt werden.

7.1.3.1.1 Werkstoffauswahl

Der verwendete Werkstoff muss eine hohe Hitzebeständigkeit aufweisen, da die Betriebstemperatur im Bereich von 200-500°C liegt. Die aufzubohrenden Saugrohre können nach dem Saugvorgang eine Oberflächentemperatur von ca. 800°C annehmen. Sie werden vor dem Bohrvorgang in der Luft abgekühlt. Die Betriebstemperatur des Bohrprozesses liegt bei 500°C und niedriger. Es ist aber nicht auszuschließen, dass die Betriebstemperatur auch höher liegen kann. Aus diesem Grund wurde für die Welle dem Duplex-Stahl X20CrNiSi25-4 mit der Werkstoffnummer 1.4821 (nach DIN EN 10095), ein hitzebeständiger Stahl ausgewählt wurde. Duplex-Stähle weisen ein zweiphasiges Gefüge aus Austenit und Ferrit mit gleichem Volumenanteil aus. Dabei werden positiven Eigenschaften des Austenits und Ferrits vereint. Der Ferritanteil trägt zur hohen Festigkeit bei. Der austenitische Anteil besitzt gute Korrosionsbeständigkeit und Zähigkeit (*Anhang G3*). [15] [22] [7]

Die Ermittlung der Werkstoffkennwerte erfolgt nach Roloff-Matek. [9] [10]

Tabelle 7-1 Werkstoffkennwerte

Probestab Duplex- stahl	X15CrNiSi25-4 (1.4821) ¹¹	Bauteildurchmesser in mm		30
		K_t		
R_{mN}	600	1	R_m	600
R_{eN}	400	1	R_e	400
σ_{dWN}		1	σ_{dW}	240
σ_{bWN}		1	σ_{bW}	300
τ_{tWN}		1	τ_{tW}	180
E	210000			
Festigkeitswerte gegen Fließ (Statische Bauteilfestigkeit)		$\sigma_{bF} \approx 1,2 \cdot R_e$		426
		$\tau_{tF} \approx 1,2 \cdot R_e / 3^{1/2}$		245,95

Da die Normschwingfestigkeitswerte (σ_{dWN} , σ_{bWN} , τ_{tWN}) nicht ermittelt werden können, werden diese nach TB¹² 1-1 S.1-4 nach DIN 743-3 wie folgt mit hinreichender Genauigkeit errechnet:

$$\sigma_{bW} \approx 0,5 \cdot R_m$$

$$\sigma_{zdW} \approx 0,4 \cdot R_m$$

$$\tau_{tW} \approx 0,3 \cdot R_m$$

$$R_m = K_t \cdot R_{mN}$$

K_t ist der technologische Größeneinflussfaktor für die Zugfestigkeit bzw. die Streckgrenze (TB 3-11). Da es sich hierbei um nicht rostender Stahl handelt, wird dieser Faktor vernachlässigt, d.h. $K_t = 1$ (TB-1.1, S. 4).

Die Berechnung der statischen Bauteilfestigkeit erfolgt nach DIN 743 für duktilen Rundstahl (R-M¹³, S. 45, Bild 3-14).

In der Tabelle 7-1 sind die mechanischen Daten und errechneten Werkstoffkennwerte aufgelistet.

¹¹ Die Werkstoffkennwerte R_{mN} und R_{eN} stammen aus der Internetseite www.werkstoffe.de

¹² TB sind Tabellen und Diagrammen im Roloff-Matek Tabellenbuch gemeint.

¹³ R-M ist die Abkürzung für das Buch Roloff-Matek.

7.1.3.1.2 Ermittlung der Beanspruchungen

Die Ermittlung von Lagerkräften und Biegemomenten stellt die Grundlage für den Anfang der Wellenberechnung dar. Hierbei wird festgelegt, an welcher Stelle die Welle beansprucht wird.

Bild 7-1 zeigt die Lagerung der Welle. Da der Bohrvorgang ein dynamischer Prozess ist, werden zwei Endlagen betrachtet, der eingefahrene Zustand (Initialposition) und der ausgefahrene Zustand. Es werden für beide Positionen die Lagerkräfte und Biegemomente berechnet.

Die Verbindung zum Antrieb (Elektromotor) wird als feste Einspannung definiert (A). Für die Lagerung der Wellen werden Linearführungen (Kugelhülsen) verwendet. Sie werden an zwei Stellen auf der Welle als Loslager angebracht. Dabei behält das Lager B den Abstand a zum Antrieb. Das Lager C hingegen wird am Ende der Führungsschiene befestigt. Beim Bohrvorgang verkleinert sich dementsprechend der Abstand zwischen B und C.

Auf dem Wellenende sitzt der Bohrmolch mit der Gewichtskraft G . Die Welle erfährt ein Torsionsmoment T an der Antriebsseite A und leitet diese bis zum Bohrmolch weiter. Durch die Vorschubkraft des Zylinders wird die Welle beim Bohrvorgang auf Druck F belastet.

Für die Berechnung wird das Eigengewicht der Welle vernachlässigt.

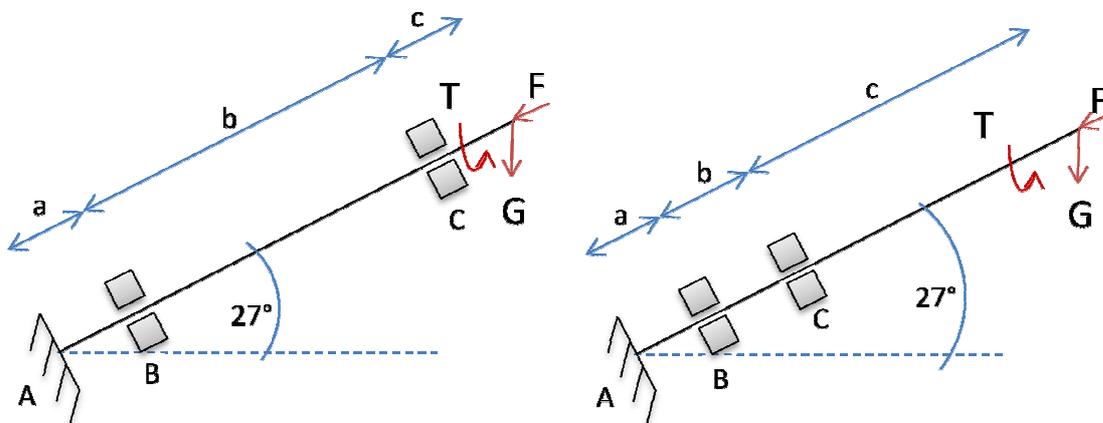


Bild 7-1 Wellenbeanspruchung (links: eingefahren, rechts: ausgefahren)

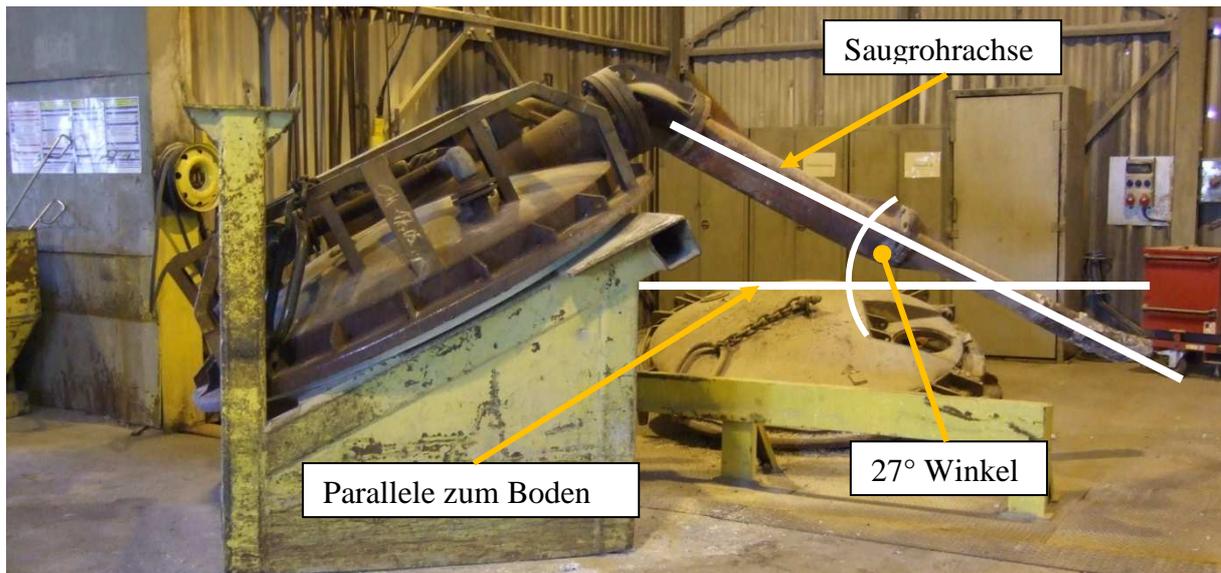


Bild 7-2 Winkel des Saugrohrs zum Boden

Vom Boden aus weist diese Vorrichtung ein Winkel von 27° auf. Dieser Winkel wurde durch Nachmessungen des Saugrohres am Bohrstand gemittelt festgelegt (vgl. Bild 7-2). Die Saugrohrachse entspricht der Bohrachse.

Nach der Festlegung der auftretenden Belastungen werden die Kräfte, Momente und Abstände definiert.

- Für die Auslegung der Vorschubkraft wurde der Ist-Stand in Betracht gezogen. Die Kraft, die der Mitarbeiter für das Aufbohren verwendet, wird als Vergleichskraft angenommen. Da ein durchschnittlich trainierter Mann sein eigenes Gewicht tragen kann (Klimmzüge), ist es für ihn auch möglich, diese als Druckkraft auszuüben. Ausgegangen von einem Durchschnittsgewicht der Mitarbeiter von 80 kg, muss die Vorschubkraft der Hydraulikzylinder größer als 785 N sein. Gewählt wurde hierfür $F = 1000 \text{ N}$.
- Je nach Bohrmolchabmessungen und -werkstoffen unterscheiden sich die Massen. Für die Berechnung wird das Bohrmolchgewicht auf 3 kg gelegt. Daraus folgt die Gewichtskraft $G = 29,43 \text{ N}$ aus:

$$G = g \cdot m$$

7-1

mit $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und $m = 3 \text{ kg}$

- Mit der Auswahl des Motors beträgt der Betriebsfaktor $K_a = 2,7$ und das Torsionsmoment $T = 30 \text{ Nm}$ (Kapitel 7.1.1).

- Der Abstand a ist konstant. Während des Bohrvorganges verändern sich die Länge b und c. Für die Betrachtung des eingefahrenen und ausgefahrenen Zustands sind diese Werte antiproportional (Tabelle 7-2).

Tabelle 7-2 Lagerabstände

	Initialzustand	Endzustand
a	60 mm	50 mm
b	2610 mm	110 mm
c	60 mm	2560 mm

Ermittlung der Lagerkräfte und Biegemomente

Durch die eingesetzten Wellenführungen (Loslager) hat das System 5 Lagerreaktionen und 3 Gleichgewichtsbedingungen. Somit ist es zweifach statisch unbestimmt. Mit Hilfe der Elastostatik (Festigkeitslehre) ist es möglich, diese Systeme aufzulösen. Hierzu gibt es verschiedene Berechnungsverfahren und -methoden. Benutzt wurde hierfür das Prinzip der virtuellen Kräfte, welches zu den Energiemethoden gehört. Je nach Grad der Unbestimmtheit wird das System in ein „0“-System (mit äußerem Last und Verformung w^0) und „n“-Systeme (mit virtueller Kraft $X_n = 1$ und Verschiebung w^n) zerlegt. [2]

Die resultierende Kraft F_{res} wirkt senkrecht auf die Bohrwelle.

$$F_{res} = G \cdot \sin(\alpha)$$

7-2

$$F_{res} = 29,43N \cdot \sin(27^\circ) = 13,36N$$

Die Verschiebung w_{ik} , wird mit Hilfe der Biegelinie errechnet. Die Gleichungen für die verschiedenen Lastfälle werden der Biegelinientabelle entnommen. Dabei ist die Größe δ_{ik} die Einflusszahl bzw. Verschiebungseinflusszahl. Der Index i ist die Stelle der Verschiebung, die durch die Last (Index k) hervorgerufen wird.

$$w_{ik} = \delta_{ik} F_k$$

7-3

Aus der Tabelle der Biegelinien¹⁴ (Belastungsfall 1) lautet die Verschiebung:

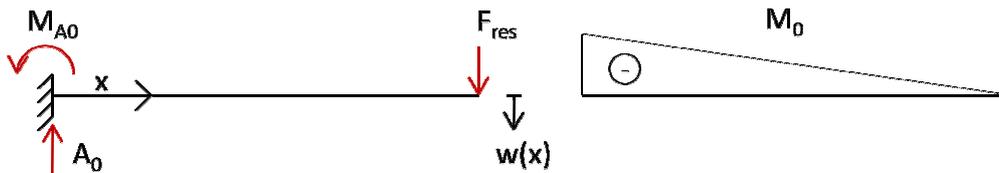
$$w(x) = \frac{Fl}{3EI} \left[1 - \frac{3x}{2l} + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$$

7-4

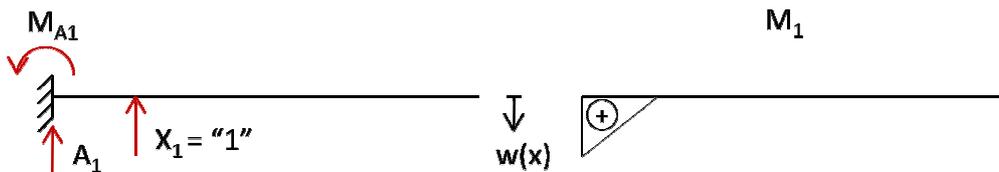
¹⁴ [2] [10] [13]

Für die Bohrvorrichtung nach Bild 7-1 ergeben sich folgende Systeme:

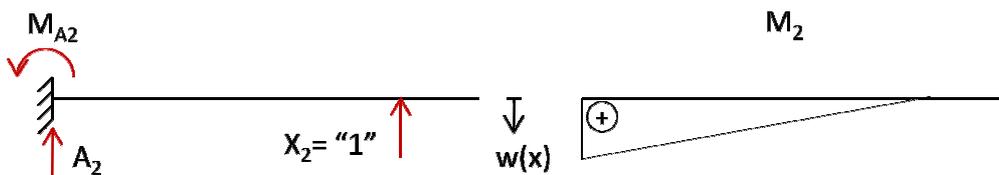
- eingefahrener Zustand
 - „0“-System mit F_{res} und f^0



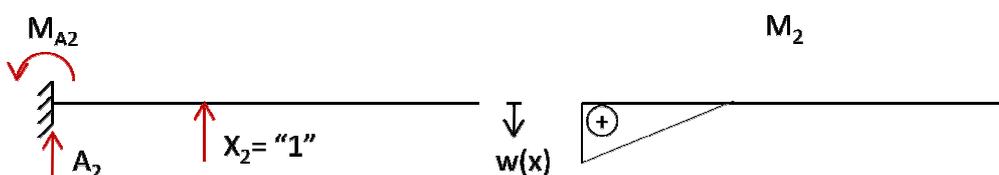
- „1“-System mit $X_1 = 1$ und w^1



- „2“-System mit $X_2 = 1$ und w^2



- ausgefahrener Zustand
 - „0“-System und „1“-System wie beim eingefahrenen Zustand
 - „2“-System mit $X_2 = 1$ und w^2



Die Verträglichkeitsbedingungen lauten:

$$- w_1 = w_{10} + w_{11} + w_{12} = \delta_{10} F_{res} + \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2$$

7-5

$$- w_2 = w_{20} + w_{21} + w_{22} = \delta_{20} F_{res} + \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2$$

7-6

Die Auflösung der Gleichungen 7-5 und 7-6 nach den unbekanntem X_1 und X_2 ergibt:

$$X_1 = \frac{\delta_{20} \delta_{12} - \delta_{10} \delta_{22}}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{21} \delta_{12}} \quad X_2 = -\frac{\delta_{11}}{\delta_{12}} X_1 - \frac{\delta_{10}}{\delta_{12}}$$

7-7

Durch Einsetzen der Einflusszahlen aus der Gleichung 7-4 in die Gleichung 7-7 können die Unbekannten berechnet werden.

Die Lagerkraft A ergibt sich aus der Gleichung 7-8:

$$A = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2$$

7-8

Die konstante Biegesteifigkeit EI kann vernachlässigt werden, da diese in der Gleichung 7-7 gekürzt wird.

Die Berechnung erfolgt mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel (*Anhang F1*). Es ist zu erkennen, dass die Lagerkräfte und Biegemomente mit der ausgefahrenen Bohrwelle erheblich größer sind als im Initialposition. Grund hierfür ist der lange Hebelarm von ca. 2500mm. Für die weiteren Berechnungen und Auslegungen wird sinngemäß der Zustand mit den größten Belastungen betrachtet.

- Lagerkräfte¹⁵
 - $A = 276,70 \text{ N}$
 - $B = -724,70 \text{ N}$
 - $C = 434,64 \text{ N}$
- Biegemomente
 - $M_A = -6,07 \text{ Nm}$
 - $M_B = 45,54 \text{ Nm}$
 - $M_C = -34,204 \text{ Nm}$

¹⁵ Negative Kräfte wirken den Annahmerichtung entgegengesetzt.

7.1.3.1.3 Ermittlung der Wellendurchmesser

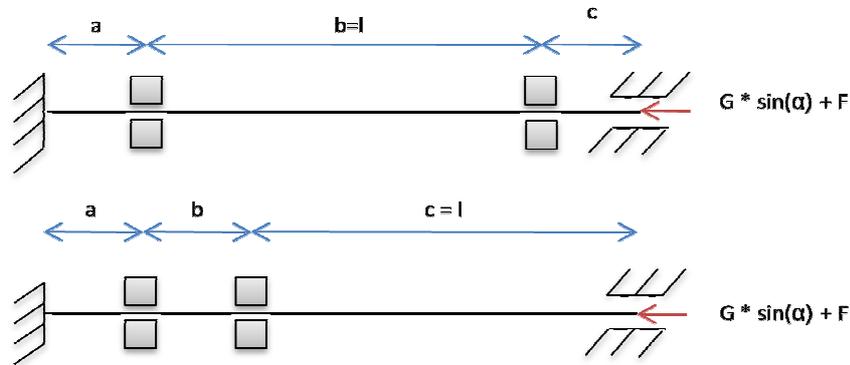


Bild 7-3 Lastfälle Knicken (oben: Euler Fall 4, unten: Euler Fall 3)

Die Berechnung des Entwurfsdurchmessers erfolgt durch die Prüfung gegen das Ausknicken. Da die Bohrwelle ein schlankes Bauteil ist, welche beim Bohrprozess mit Druck belastet wird, ist es erforderlich, sie auf Knickung zu berechnen. [2] [8]

Wegen des variierenden Belastungsfalls werden die Endlagen der Welle für die Berechnung betrachtet (Bild 2-1). Mit guter Näherung kann der eingefahrene Zustand als Euler-Fall 4 und der ausgefahrene Zustand als Euler-Fall 3 angenommen werden.

Die Gleichung der kritischen Knickkraft F_k bzw. F_{krit} , bei der die Welle ausknickt, lautet folgendermaßen (Euler-Gleichung, nur gültig bei elastischer Knickung):

$$F_k = F_{krit} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} \quad \boxed{7-9}$$

- Euler-Fall 3

- $l_k = 0,7 \cdot l$ $\boxed{7-10}$

- $F_{krit} = 2 \frac{\pi^2 EI}{l^2}$ $\boxed{7-11}$

- Euler-Fall 4

- $l_k = 0,5 \cdot l$ $\boxed{7-12}$

- $F_{krit} = 4 \frac{\pi^2 EI}{l^2}$ $\boxed{7-13}$

Die vorhandene Kraft F_{vorh} muss kleiner als die Knickkraft sein, um ein Ausknicken zu vermeiden. Aus folgenden Gründen wird eine verhältnismäßig hohe Sicherheitszahl v gewählt:

3. Es tritt ein Biegemoment auf, da die Welle nicht senkrecht zur Erdoberfläche ausgerichtet ist. Außerdem erfolgt der Kranftangriff schräg und nicht mittig, wodurch zusätzliche Biegemomente entstehen. Darüber hinaus erzeugt das Eigengewicht der Welle ebenfalls ein Biegemoment.
4. Durch stoßartige dynamische Belastungen beim Bohrvorgang können die Kräfte nicht genau ermittelt werden.

Allgemein wird im Maschinenbau bei elastischer Knickung eine Sicherheitszahl von $v = 4 \dots 8$ angenommen. Gewählt wurde hierfür $v = 4$. Es gilt somit für F_{vorh} die folgende Beziehung:

$$G \cdot \sin(\alpha) + F = F_{vorh} \leq \frac{F_{krit}}{v} = F_{zul} \quad \boxed{7-14}$$

Die kritische Knickspannung ist die Druckspannung beim Ausknicken der Welle. Sie wird mit der Formel 7-15 beschrieben, wobei A die Querschnittsfläche der Welle ist.

$$\sigma_k = \sigma_{krit} = \frac{F_{krit}}{A} = \frac{\pi^2 E I}{l_k^2 \cdot A} \quad \boxed{7-15}$$

Für einen Stab mit einem Kreisquerschnitt wird der Schlankheitsgrad λ wie folgt definiert:

$$\lambda = l_k \sqrt{\frac{A}{I}} = \frac{l_k}{i} \quad \boxed{7-16}$$

Dabei ist i der Trägheitsradius, der aus der Kinematik abgeleitet wird.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \boxed{7-17}$$

Durch Einsetzen der Gleichung 7-16 in 7-15 resultiert die Knickspannung:

$$\sigma_{krit} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \boxed{7-18}$$

Da die Euler-Gleichung nur für die Hooksche¹⁶ Gerade im Spannungs-Dehnungs-Diagramm gilt, muss die Welle auf den Grenzschlankheitsgrad λ_g geprüft werden.

$$\lambda > \lambda_g \quad \boxed{7-19}$$

Wenn der Schlankheitsgrad der Welle größer als der Grenzschlankheitsgrad ist, handelt es sich um eine elastische Knickung und somit ist die Euler-Gleichung gültig.

λ_g ist eine werkstoffabhängige Größe aus der folgenden Beziehung:

$$\sigma_{krit} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{dP} \quad \boxed{7-20}$$

$$\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{dP}}} \quad \boxed{7-21}$$

σ_{dP} ist die Druck-Proportionalitätsgrenze des jeweiligen Werkstoffes. Bei Werkstoffen ohne diese Angabe, kann sie wie folgt hinreichend genau errechnet werden:

$$\sigma_{dP} \approx 0,8 \cdot R_e$$

Die Sicherheitsprüfung auf die vorhandenen Spannungen der Bauteile erfolgt wie die Gleichung 7-14.

$$\sigma_{vorh} \leq \frac{\sigma_{krit}}{\nu} = \sigma_{zul} \quad \boxed{7-22}$$

Die Berechnung erfolgt mit Excel. Hierin werden verschiedene Durchmesser miteinander verglichen. Es stellt sich heraus, dass für beide Zustände die Grenze zu kritischer Knickkraft zwischen den Durchmessern 20mm und 25mm liegt. Wegen der hohen Betriebstemperatur, die nicht genau ermittelt werden kann, wurde der Entwurfsdurchmesser mit einer erhöhten Sicherheit auf 40mm gewählt (*Anhang F2*). Ein weiterer Grund für die Auswahl sind die noch nicht bekannten Querschnittsänderungen wie Passfedernuten, Wellenabsätze, etc.

- $D = 40mm$

¹⁶ Das Hooksche Gesetz besagt, dass das Verhältnis von Spannung zu Dehnung eine Konstante ist (E-Modul).

7.1.3.1.4 Gestaltung der Bohrwelle

Nachdem der Wellendurchmesser unter Berücksichtigung der Materialschwächung durch die hohen Betriebstemperaturen und der evtl. vorhandenen Querschnittsschwächungen ausgewählt worden ist, kann die Welle konstruktiv gestaltet werden. Auf dem Wellenende Richtung Motor (Antriebsseite) wurde ein Absatz mit Passfedernut und Freistich nach DIN 509 eingefügt, um diese mit der Abtriebswelle des Getriebemotors zu kuppeln. Für das andere Wellenende wird ein Gewindeabsatz zum Verbinden des Bohrmolchs eingesetzt (*Anhang H, Bohrwelle*)

7.1.3.2 Kontrollrechnung Festigkeitsnachweis

Bei der Gestaltung der Welle wurde der Durchmesser an den Enden verkleinert. Dadurch treten in diesen Stellen höhere Spannungen auf, welche überprüft werden müssen, um die Sicherheit zu gewährleisten.

Der kleinste und damit auch kritische Querschnitt muss nach der Festigkeit berechnet werden. Mit Hilfe des Ablaufplanes (Bild 7-4) kann die Sicherheit der gestalteten Welle geprüft werden.

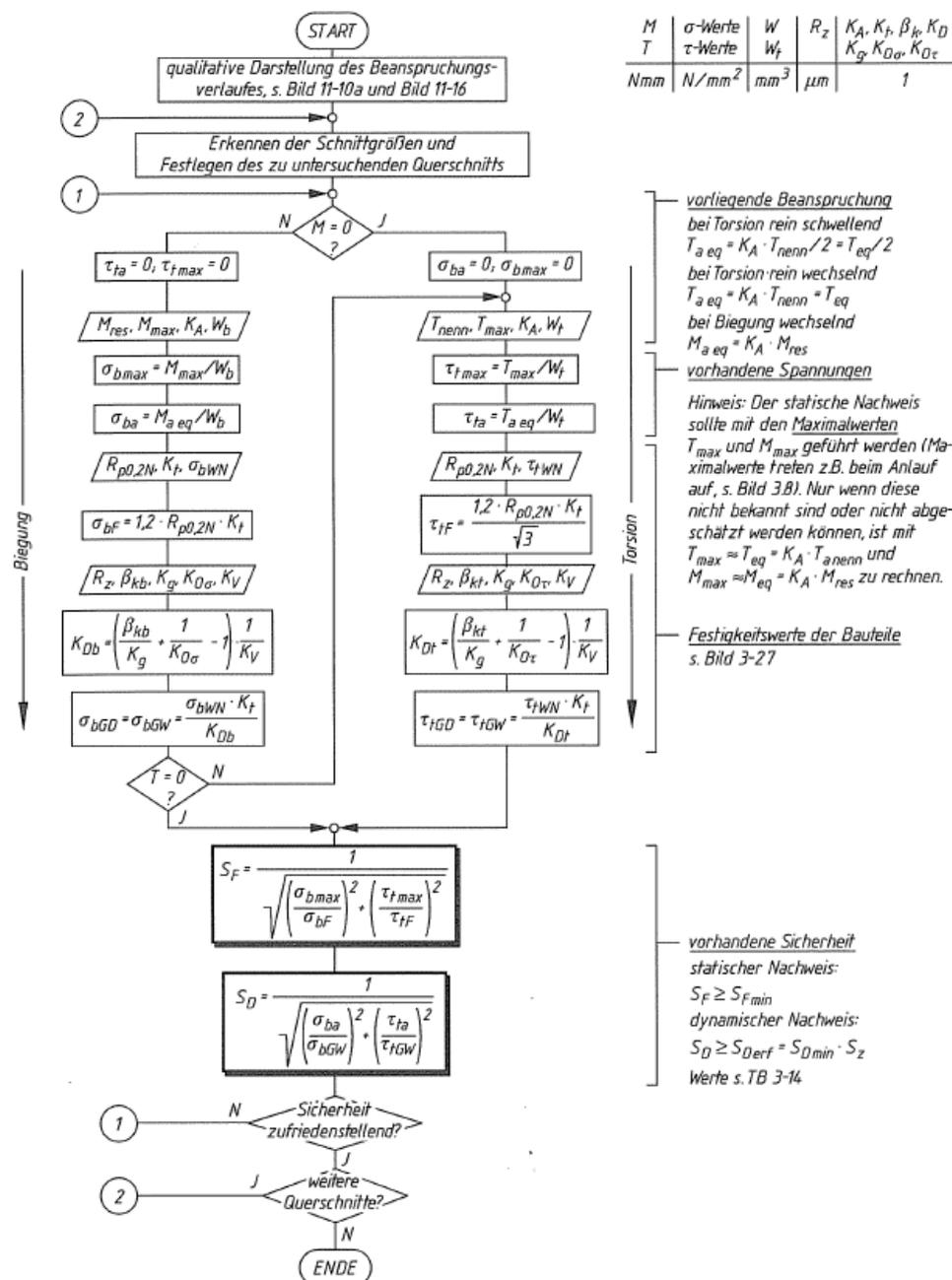


Bild 7-4 Ablaufplan für einen vereinfachten statischen und dynamischen Festigkeitsnachweis (aus R-M, S.357)

Auch wenn es sich beim Bohrvorgang um einen dynamischen Prozess handelt ist es erforderlich, sowohl den dynamischen als auch den statischen Festigkeitsnachweis durchzuführen.

7.1.3.2.1 Statischer Festigkeitsnachweis

Zur Vermeidung von bleibenden Verformungen, Anrissen und Gewaltbrüchen, hervorgerufen durch ein maximales Spitzenmoment T_{max} (z.B. Anfahrmoment) oder maximale Spitzenkraft F_{max} , dient der statische Nachweis als Sicherheitsnachweis für das beanspruchte Bauteil. Dieser ist als Grundnachweis zu betrachten und ist somit immer durchzuführen. Für die Bohrvorrichtung sind die Spitzenwerte nicht bekannt, deshalb wird der Nachweis mit den äquivalenten Größen M_{eq} und T_{eq} berechnet.

$$M_{max} \approx M_{eq} = K_a \cdot M_{res}$$

7-23

$$T_{max} \approx T_{eq} = K_a \cdot T_{nenn}$$

7-24

Die Berechnung des Sicherheitsfaktors erfolgt mit der Fließgrenze des Werkstoffes. Das Bauteil wird beim statischen Festigkeitsnachweis gegen das Fließen berechnet. Die vorhandene Sicherheit lautet wie folgt:

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zd\ max} + \frac{\sigma_b\ max}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_t\ max}{\tau_{tF}}\right)^2}}$$

7-25

Dabei muss S_F größer sein als die Mindestsicherheit $S_{f\ min}$, damit das Bauteil gegen Fließen sicher ist.

$$S_F \geq S_{f\ min}$$

7-26

Der Wert für $S_{f\ min}$ kann aus der R-M Tabelle TB 3-14 entnommen werden. Die Auswertung befindet sich im *Anhang F3.1*.

7.1.3.2.2 Dynamischer Festigkeitsnachweis

Der dynamische Nachweis prüft die Sicherheit des Bauteils gegen die Ermüdung, die durch die wechselseitige Beanspruchung entsteht. Je nach Beanspruchungsart wird zwischen dynamisch schwellend und dynamisch wechselnd unterschieden. Da die Welle nur in eine Richtung mit stoßartiger Belastung (Abschlagen der Elektrolyte) dreht, entspricht die Torsionsbelastung dynamisch schwellend. Die Biegebeanspruchung der Welle ist durch die Drehbewegung dynamisch wechselnd.

Konstruktionskennwerte werden bei diesem Festigkeitsnachweis eingesetzt, um das Bauteil gegen die nicht ermittelbare Spannungsfaktoren durch Querschnittsänderungen und innere Kerbstellen wie Lunker und Schlackeneinschlüsse zu sichern. Folgende Kennwerte, entnommen aus dem Tabellenbuch Roloff-Matek, werden für die Berechnung angewendet. [9] [10]

1. Kerbwirkungszahl β_k (R-M TB 3-9)
2. Kerbformzahl α_k (R-M TB 3-7 a, c)
3. Stützzahl n (R-M TB 3-7 a, c)
4. Geometrischer Größeneinflussfaktor K_g (R-M TB 3-11 c)
5. Oberflächeneinflussfaktor $K_{O\sigma}$, $K_{O\tau}$ (R-M TB 3-10)
6. Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_V (R-M TB 3-12)

Aus diesen Einflussfaktoren folgt der Konstruktionsfaktor K_D , auch als Gesamteinflussfaktor bekannt.

- Zug/Druck $K_{Dzd} = \left(\frac{\beta_{kdz}}{K_g} + \frac{1}{K_{O\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$ 7-27

- Biegung $K_{Db} = \left(\frac{\beta_{kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{O\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$ 7-28

- Torsion $K_{Dt} = \left(\frac{\beta_{kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{O\tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$ 7-29

Mit dem Konstruktionsfaktor kann die Gestaltwechselfestigkeit (Bauteilfestigkeit) für den Sicherheitsnachweis S_F berechnet werden.

- Zug/Druck $\sigma_{zdGW} = \frac{\sigma_{zdW}}{K_{Dzd}}$

7-30

- Biegung $\sigma_{bGW} = \frac{\sigma_W}{K_{Db}}$

7-31

- Torsion $\sigma_{tGW} = \frac{\tau_{tW}}{K_{Dt}}$

7-32

Zur Berechnung der vorhandenen Sicherheit im Bauteil gegen Dauerbruch wird die Gestaltänderungsenergiehypothese GEH benutzt.

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zdGW}} + \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}}\right)^2}}$$

7-33

Zu prüfen ist, ob die vorhandene Sicherheit größer als die erforderliche Sicherheit ist.

$$S_D \geq S_{D\ erf} = S_{D\ min} \cdot S_Z$$

7-34

Im *Anhang F3.2* sind die Ergebnisse der dynamische Festigkeitsnachweis in einer Tabelle aufgeführt.

7.1.3.2.3 Ergebnisse der Nachweise

Der gestaltete Wellenabsatz konnte sowohl beim statischen als auch beim dynamischen Festigkeitsnachweis die Sicherheitsforderungen gegen das Fließen und den Dauerbruch erfüllen.

$$S_F = 8,42 \geq S_{F\ min} = 1,5$$

$$S_D = 3,56 \geq S_{D\ erf} = 1,8$$

7.1.4 Lagerauswahl

Für die Lagerung der Bohrwelle werden Kugelhülsen verwendet. Diese haben die Aufgabe nur die Radialkräfte aufzunehmen, da die Welle beim Bohrvorgang in axialer Richtung verschiebbar sein und dabei um die eigene Achse drehen muss. [9] [10]

Die Vorauswahl der Lager erfolgt mit der Berechnung der erforderlichen dynamischen Tragzahl C_{erf} .

$$C_{erf} \geq P \frac{f_L}{f_n} \quad \boxed{7-35}$$

Da dieses Lager keine Axialkräfte aufnehmen kann, wird die dynamische Lagerbelastung P der Radialkraft gleichgesetzt. Es wird das Lager mit der größeren Belastung betrachtet, das Lager B mit der ausgefahrenen Bohrwelle (Kapitel 7.1.3.1.2).

Der Drehzahlfaktor f_n errechnet sich aus der Gleichung nach R-M TB 14-4.

$$f_n = \sqrt{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}} \quad \boxed{7-36}$$

Für den Lebensdauerfaktor f_L wird zunächst ein Richtwert aus R-M Bild 14-35 gewählt. Es handelt sich bei der Bohrvorrichtung um einen Aussetzbetrieb (diskontinuierlichen Betrieb). Der Betriebsablauf wird durch den Lagerwechsel weniger gestört und daher wird der Wert auf 2 gesetzt. Aus diesen Annahmen ergibt sich eine C_{erf} von 9461 N.

Gewählt wurde die Linear-Kugellager-Einheit KGSNG40-PP-AS der Firma INA Schaeffler Gruppe mit $C_0 = 9600$ N und $C = 10200$ N.

Mit der Gleichung 7-37 beträgt die dynamische Tragsicherheit der Lager $S = 5,2$.

$$S = \frac{C}{P} \quad \boxed{7-37}$$

Die tatsächliche, nominelle Lebensdauer L_{10h} erreicht 5012,5 Stunden.

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} \quad \boxed{7-38}$$

- Berechnung: s. *Anhang F4*
- Lagerdaten: s. *Anhang G3*

7.1.5 Kupplungsauswahl

Die Verbindung von der Bohrwelle zur Motorabtriebswelle wird mit dem Einsatz einer Kupplung realisiert. Kupplungen sind Elemente, die der Kraftübertragung dienen. Dabei werden Drehmomenten und Drehbewegungen weitergeleitet. Für die Bohrvorrichtung muss die Vorschubkraft des Zylinders von dem Motor zur Welle hin in Bohrrichtung übertragen werden. Dafür muss eine Kupplung ausgewählt werden, welche sowohl das Drehmoment als auch die Axialkraft aufnehmen kann.

Nach Recherchen wurde eine geeignete Kupplung von der Firma Schmidt-Kupplung GmbH gefunden. Die Loewe[®] Gelenkkupplung Baureihe Torque dieser Firma erfüllt die Anforderungen der Bohrvorrichtung. Sie ist eine axialsteife Ausgleichkupplung zur Übertragung von Drehmomenten mit Axialbelastungen (Zug- und Druckkräfte) ohne Längenänderungen.

Das Datenblatt und der Auswahlablauf befinden sich im *Anhang G5*.

Ausgewählt ist die Kupplung GK 56 Ø25N Ø30N mit

- einem Spitzendrehmoment $T_{K \max}$ von 95 Nm
- einer Maximaldrehzahl n_{\max} von 2500 min^{-1}
- einem maximal zulässigen Radialversatz ΔK_r von 2 mm
- einem maximal zulässigen Winkelversatz ΔK_w von 3°

Diese Werte der Kupplung sind größer als die benötigten Betriebswerte der Bohrvorrichtung (*Kapitel 7.1.1/7.1.3.1.2*) und die Kupplung ist somit für den Einsatz geeignet. Die Drehmomentübertragung erfolgt mit Passfedern. Eine Zeichnung wurde zur Veranschaulichung des gesamt Systems erstellt (*Anhang H, Kupplung*).

7.2 Bohrvorschubvorrichtung

7.2.1 Auswahl der Profilschienenführung

Zum Realisieren der Vorschubvorrichtung mit einer genauen Bohrachse muss der Motor mit der Bohrwelle auf eine Schiene gesetzt werden. Für diesen Fall wird eine Profilschienenführung eingesetzt. Die Firma INA Schaeffler Gruppe bietet ein umfangreiches Programm von Lineareinheiten. Die vierreihige Kugelumlaufeinheit mit breiten Schienen und Wagen eignet sich für die Führung des Motors. Diese Ausführung erlaubt große Momentaufnahmen um alle Achsen und Kraftaufnahme aus allen Richtungen (außer in Vorschubrichtung). [24]

Desweiteren kann eine hohe Steifigkeit durch die Wahl der Vorspannungsklassen erreicht werden.

Der Schutz der Kugelumlaufeinheit gegen die hohe Staubbelastung im Betrieb wird mit Frontabstreifern an den Kopfstücken der Führungswagen und Längsdichtleisten realisiert. Diese schiebt den Staub beim Vorschub nach vorne und verhindert dessen Eindringen in die Kugellager.

Für den Einsatz wurde die Schiene TKVD35-W mit dem Führungswagen KUVE35-WL gewählt. Die Bestellbezeichnung lautet nach Katalog [24] „1 x KUVE35-WL-W1-G1-V2-RB/2960-40/40“. Weitere Daten und Abmessungen sind im *Anhang G6*.

Die Profilschiene wird an zwei Stützen geschraubt, welche eine Befestigung zum Boden herstellt (*Anhang H, Schienenstütze*). Die Länge des Rundstahls ist variabel und kann bei der Montage ausgewählt werden

7.2.2 Auswahl der Hydraulikzylinder

Der Vorschub der Bohrvorrichtung wird mit einem Hydraulikzylinder verwirklicht. Diese soll den Führungswagen mit dem montierten Motor in Bohrrichtung vor- und zurückbewegen (doppeltwirkend). Da ein Hubweg bis zu 3000 mm erreicht werden soll, ist ein Teleskopzylinder vom Vorteil. Er besteht aus mehreren ineinander gebauten Zylindern und kann somit bei kleinen Einbaulängen große Hübe erzeugen.

Für die Verbindung des Teleskopzylinders mit der Bohrvorrichtung wird statt der runden Kugelpfanne eine Vierkant-Kugelpfanne mit Bohrungen verwendet. Die Lagerung des Teleskopzylinders erfolgt mittels Lagerböcke.

Ausgewählt ist ein doppeltwirkender Teleskopzylinder der Firma Kramp. Dieser hat ein Gesamthub von 3000mm in 5 Ausfahrstufen. Die Bestellnummer lautet TC 4062 mit dem dazugehörigen Dichtsatz TC 94059, den Lagerböcke TC 9-050 und der Kugelpfanne TC 9-65B (*Anhang G7*). Zeichnungen wurden erstellt, da keine 3D-Zeichnungen zur Verfügung steht (*Anhang H, Teleskopzylinder*).

Die Sicherheit gegen zu hohe Vorschubkräfte wird mit Druckregelventilen erreicht. Diese treten auf, wenn der Elektrolyt zu hart ist und nicht abgetragen werden kann.

Da in der Firma ein Hydraulikaggregat (Bild 7-5) vorhanden ist, muss dieses nur Instandgesetzt und für den Bohrstand umgerüstet werden. Es diente früher zu HAW-Zeiten zum Kippen der Gießpfanne, um die Schmelze in die Filterpfanne zu vergießen. Dieser Prozess dient der Lebensdauererlängerung der Schmelzöfen in der werkseigenen Gießerei. Seit Übernahme der Fa. HAW von TRIMET wurde dieser Prozess stillgelegt, da nur die Elektrolyse übernommen wurde und die Gießerei die Kosten der Filterung ablehnt. Im *Kapitel 8.1* befindet sich der Schaltplan.



Bild 7-5 Hydraulikaggregat

7.3 Ablageeinheit für das Saugrohr

Um die Ausrichtung des Saugrohres mit der Bohrachse zu erreichen, wird eine Ablageeinheit erstellt. Diese besteht aus zwei Stahlblechen mit V-Ausschnitt, welche die Führung des Rohres übernimmt. Die Bleche haben einen bestimmten Abstand zueinander, um die Bohrachse zu erhalten. Die Höhe der V-Ausschnitte hängt von dem Abstand der Bleche und dem Winkel der Bohrachse ab (*Anhang H, Rohrblageeinheit*).

Beim Abstellen des Bocks mit dem Saugdeckel auf der Arbeitsbühne wird das Rohr in die Ablageeinheit gelegt. Durch die Schwerkraft rutscht das Rohr in die V-Ausschnitte und erhält somit die Ausrichtung zur Bohrachse.

Die Festigkeit der Verbindung vom Saugrohr zum Deckel ist ausreichend, da beim Absetzen in die Führung nur die Schwerkraft wirkt. Zum Vergleich: Diese Verbindung hält auch die hohe Belastung stand, die beim Ablegen des Saugdeckels mittels eines Krans auf den Abstellbock vorhanden ist. Dabei stößt das Rohr zunächst auf den Boden, anschließend wird er zum Bock hin gezogen und abgelassen.

7.4 Entlüftungsanlage

Die Position der Saugeingänge der Entlüftungsanlage wird mit Saugrüsseln verbessert. Diese kann flexibel am Saugrohrende platziert werden, damit so viel Staub wie möglich während des Bohrvorganges erfasst wird. Diese Optimierung wird in einem weiteren Projekt ausgearbeitet.

8 Ausarbeitungsphase

In der Ausarbeitungsphase werden die bei der Entwicklungsphase ermittelten und ausgewählten Elementen miteinander zu dem Gesamtprodukt, der Bohrstand, verknüpft. Dabei erstellt man Elemente zum Verbinden der Bauteile wie die Verbindungsplatte zwischen dem Motor und dem Führungswagen.

Der Zusammenbau erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird die Ablageeinheit erstellt, dann werden die Elemente der Bohrvorrichtung zusammengefügt und anschließend wird die Vorschubvorrichtung ausgelegt. Nach diesen Schritten verbindet man alle Baugruppen und erhält somit die Gesamtvorrichtung Bohrstand. Die Zeichnungen und der Zusammenbau können im *Anhang H* entnommen werden. Im Rahmen der Bachelorthesis wurden die Zeichnungen als Konzeptzeichnungen erstellt. Aus diesem Grund konnte z.B. die Oberflächengüte und Lagetoleranzen vernachlässigt werden.

Die endgültige Lage der Bohrvorrichtung kann bei der Montage ausgewählt und eingestellt werden, da die Längen der Schienenstützen veränderlich sind. Je nach Initialposition des Führungswagens wird die Lage des Hydraulikzylinders festgelegt. Im Anschluss werden Kabel- und Hydraulikanschlüsse von Elektrikern und Instandhalter ausgelegt.

Desweiteren wird in dieser Phase ein schematischer Schaltplan des Hydrauliksystems und die dazugehörige Steuerung erstellt. Eine detaillierte und optimierte Ausführung dieses Systems kann in einem folgenden Projekt erzielt werden.

8.1 Hydraulik-Schaltplan

In der Fluidtechnik werden Schaltpläne erstellt, um die Verständigung der Systeme und Schaltungen zu erleichtern. Dabei verwendet man normierte Symbole (nach DIN ISO 1219) für die jeweiligen Elemente wie z.B. Druckbegrenzungsventil, Drosselventil, Wege-Ventile, Pumpe etc. Die Funktionen der Komponenten können aus den Symbolen abgelesen werden. Der Schaltplan zeigt nur die Anordnung der Komponenten, wie diese miteinander verbunden sind. [5] [6]

Bild 8-1 zeigt den Schaltplan der ehemaligen Kippstation für die Schmelzfilterung.

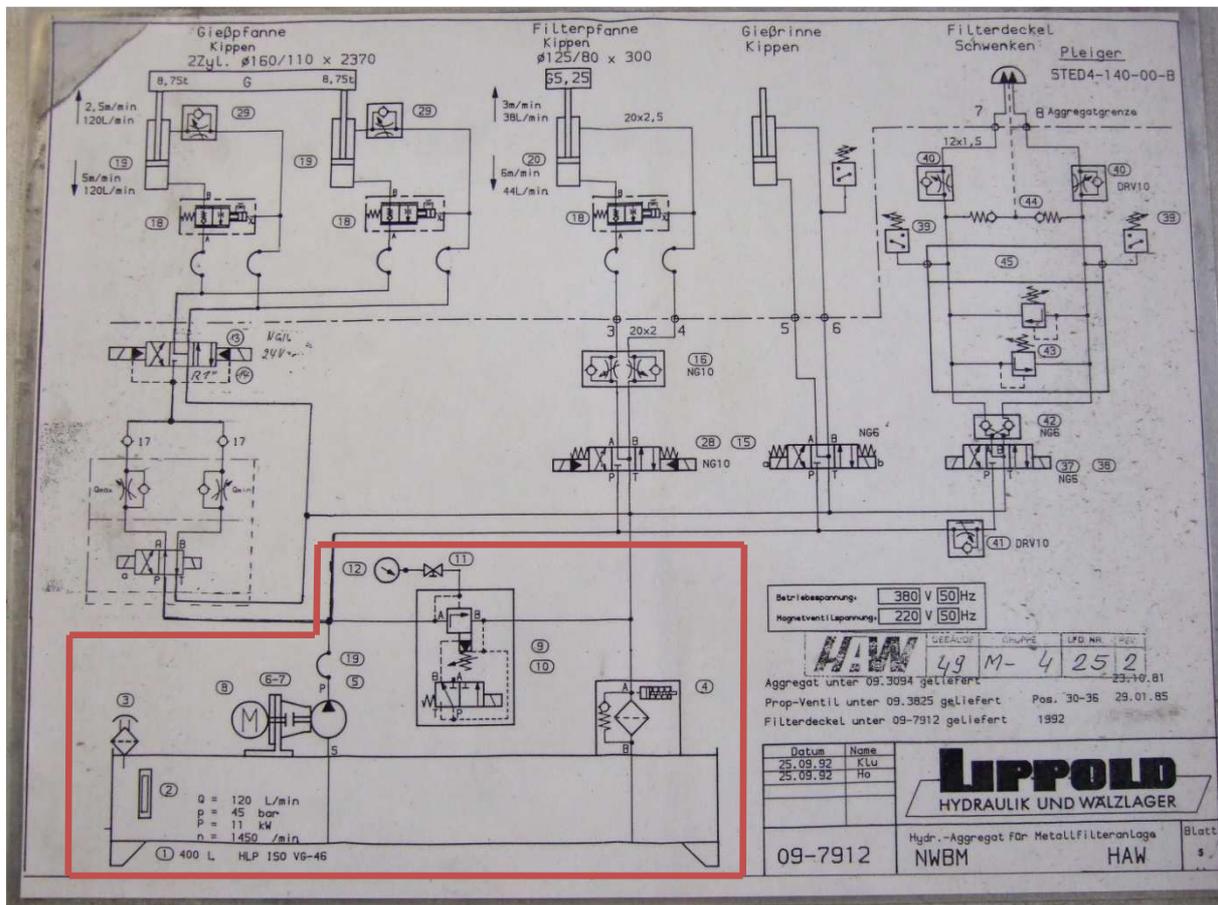


Bild 8-1 Schaltplan Filterstation (rot kennzeichnet die zu verwendende Komponenten)

Für den Bohrstand wird die Pumpe mit dem vorgesteuerten und einstellbaren Druckbegrenzungsventil verwendet. An dieser wird ein elektrisch betätigtes 4/2-Wegeventil angeschossen (Bild 8-2).

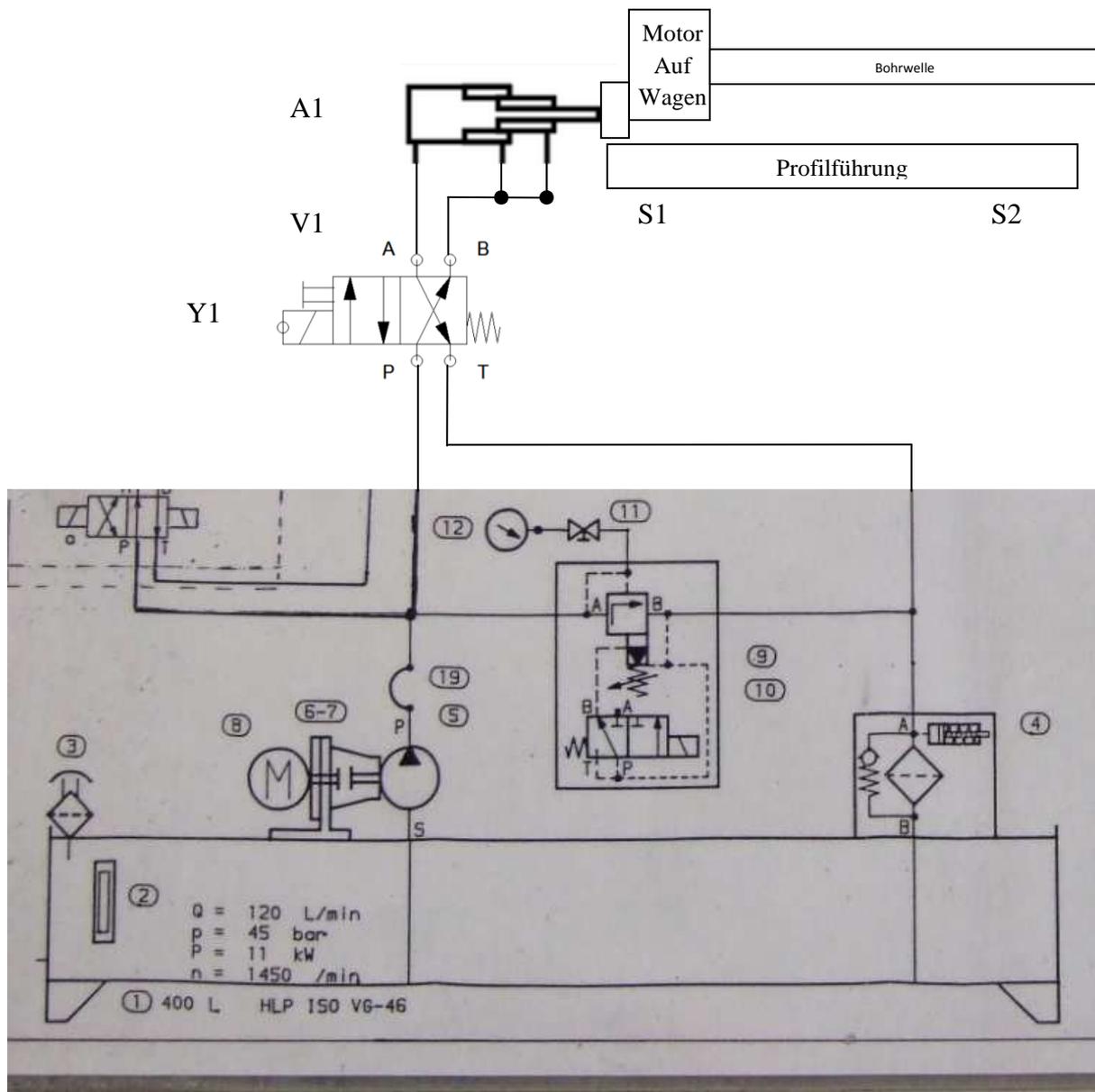


Bild 8-2 Schematische Darstellung des Vorschubsystems

8.2 SPS Speicherprogrammierbare Steuerung

Für die Verarbeitung der Signale kommt die Steuerungstechnik zum Einsatz. Ein sehr hilfreiches Werkzeug ist die SPS. Diese besteht aus aufeinander folgende Steuerungsanweisungen.[3] [4] [5] [6] [12]

An der Führungsschiene werden Sensoren angebaut um die Endlagen zu signalisieren. Dadurch kann die Sicherheit gegen ein Entgleisen sichergestellt werden, da der Zylinder nicht weiter ausfährt. Außerdem kann der Prozesszustand abgefragt und dementsprechend als Leuchtsignal (Ampelleuchte) wiedergegeben werden.

Beim Initialschritt muss der Sensor S1 betätigt werden, d.h. der Teleskopzylinder ist eingefahren und der Führungswagen steht auf der Position S1. Wenn die Starttaste S0 gedrückt wird, starten Bohrmotor und Hydropumpe. Dabei fährt das Teleskopzylinder aus und die Lampe leuchtet gelb. Sobald der Führungswagen den Sensor S2 erreicht, zieht ihn der Zylinder in die Initialposition zurück und schaltet den Motor und die Pumpe ab. Danach leuchtet die Lampe grün um das Prozessende zu signalisieren. Falls Störungen wie Drehmomentüberschreitung während des Bohrprozesses auftreten, ändert sich die Anzeige auf rot, ein Alarm wird ausgelöst und das System abgeschaltet. Bild 8-2 zeigt die schematische Darstellung des Vorschubprozesses. Dabei stehen die Buchstaben für die Komponenten, A = Aktoren, S = Sensor/Schalter und V = Ventil.

Nach diesen Kriterien kann ein SPS-Plan erstellt werden. Zunächst wird eine Belegungsliste erstellt, worin die Ein- und Ausgänge der SPS definiert werden (Tabelle 8-1). Anschließend kann die Ablaufkette nach Siemens S7 erstellt werden (Bild 8-3).

Tabelle 8-1 Belegungsliste SPS

Bezeichnung	Signalglieder/ Magnetventile	Ein-/ Ausgänge
Starttaster S0	S0	E1.0
Sensor S1, Zylinder A1 eingefahren	S1	E1.1
Sensor S2, Zylinder A1 ausgefahren	S2	E1.2
Notastaster S3	S3	E1.3
Magnetventil Y1, Zylinder A1 ausfahren	Y1	A1.1
Ampelleuchte Rot, Fehler	Y2	A1.2
Ampelleuchte Gelb, Bohrprozess	Y3	A1.3
Ampelleuchte Grün, Ende des Bohrprozesses	Y4	A1.4
Alarm	Y5	A1.5

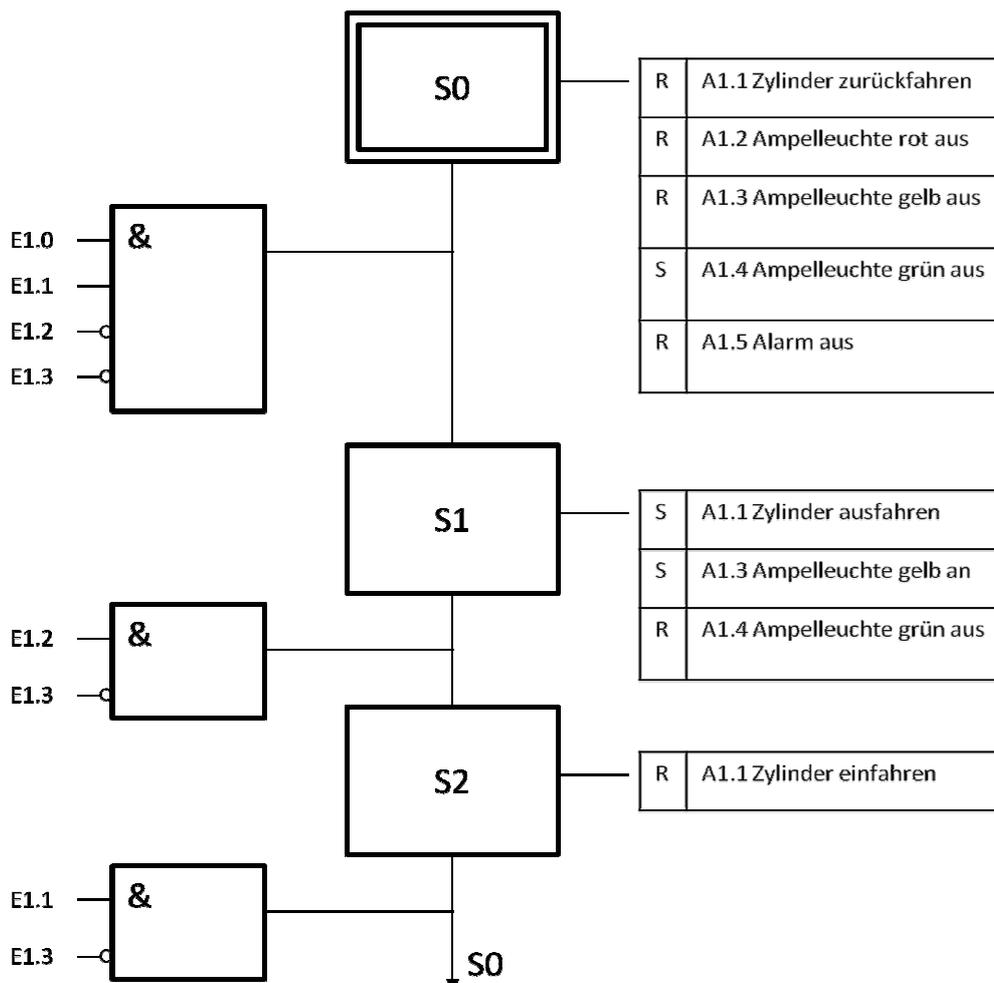


Bild 8-3 Ablaufkette nach S7 Graph der Firma Siemens

9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorthesis wurde ein Konzept für die Entlastung und die Sicherheit der Mitarbeiter am Rohrbohrstand, aber auch um den Bohrprozess zu beschleunigen, entwickelt. Für die Entwicklung wurde die Konstruktionsmethodik angewendet, welche das systematische Angehen verfolgt und somit die Konstruktion erleichtert.

Mittels der Ist-Stand-Analyse konnten die derzeitigen Probleme ermittelt werden. Diese Probleme wurden mit der Funktionsanalyse näher betrachtet, um die Problemursachen zu ermitteln und die Anforderungen an die zu entwickelnde Vorrichtung zu bestimmen.

Nach der Erstellung der Anforderungsliste und des Pflichtenhefts wurden in der Konzipierungsphase Lösungen und Teillösungen erarbeitet. Dabei dient der morphologische Kasten als Grundlage für die Lösungsfindung. Die entstandenen Lösungsvarianten wurden mit Hilfe der ermittelten Bewertungskriterien miteinander verglichen und bewertet. Die Auswertung erfolgte anschließend mit dem Wertigkeitsverfahren.

Bei der Entwicklungsphase für die ermittelte Lösungsvariante wurden Elemente wie Bohrwelle und Ablageeinheit gestaltet. Bauteile, die auf dem Markt erwerblich sind, wurden ausgewählt, um Kosten durch Neukonstruktionen zu sparen. Schließlich wurden die Elemente in der Ausarbeitungsphase optimiert und miteinander verknüpft. Desweiteren wurden Zeichnungen und Stücklisten erstellt.

Das Ergebnis der Thesis ist eine Bohrvorrichtung mit einer Bohrwelle, die mit einem Elektro-Getriebemotor angetrieben wird. Mit dieser Vorrichtung ist das unmittelbare Aufbohren stark zugesetzter Saugrohre möglich. Der Motor erzielt ein konstantes Drehmoment beim Bohrprozess. Der Vorschub erfolgt mit einem Hydraulik-Teleskopzylinder. Er bewegt die auf der Profilführung verbundene Bohrvorrichtung in Richtung der Bohrachse. Die Ausrichtung und Führung des Rohrs zur Bohrachse wurde mit zwei in Abstand gesetzten Blechen mit V-Ausschnitte realisiert. Darin wird das Rohr abgelegt und für den Bohrprozess bereitgestellt. Bei der Entwicklung wurde sehr deutlich, dass die Konstruktionsmethodik der Leitfaden zum Erfolg ist.

Die Bauteile Elektromotor, Profilschiene, Lager, Kupplung, Bohrkopf und Zylinder können ohne großen Aufwand gegen vergleichbare Elemente ausgetauscht werden. Auch die Werkstoffauswahl kann geändert werden. Der Festigkeitsnachweis und die Knickprüfung kann unter Verwendung der erstellten Excel-Tabelle ermittelt werden.

Das Erstellen einer Stütze für den Teleskopzylinder, eine Optimierung des Bohrmolchs und der Ausrichtung zwischen dem Saugrohr und der Bohrachse kann in einer weiterführenden Bachelorthesis erzielt werden.

10 Literaturverzeichnis

Skripte

- [1] Hoder Hilmar
Methodisches Konstruieren Teil 1-4
6. Auflage, Hamburg, Frühjahr 2005
- [2] Schramm Jürgen
Technische Mechanik 2 Elastostatik (Festigkeitslehre)
Hamburg
- [3] Schulz Wolfgang
Automatisierungstechnik
Hamburg, Sommer 2010
- [4] Schulz Wolfgang
Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
Hamburg, Sommer 2010
- [5] Watter Holger
Fluidtechnik Hydraulik & Pneumatik
Tarp, Sommer 2007

Bücher

- [6] Bauer Gerhard
Ölhydraulik Grundlagen, Bauelemente, Anwendungen
9. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009
- [7] Bürgel Ralf
Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik
3. Auflage Vieweg Verlag, Wiesbaden, Dezember 2006
- [8] Mayer Hans-Georg, Schwarz Wolfgang & Stanger Werner
Technische Mechanik und Festigkeitslehre
5. Auflage, Handwerk und Technik, Hamburg, 2003

- [9] Muhs Dieter, Wittel Herbert, Jannasch Dieter & Voßiek Joachim
Roloff/Matek Maschinenelemente, Normung, Berechnung, Gestaltung
18. Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2007
- [10] Muhs Dieter, Wittel Herbert, Jannasch Dieter & Voßiek Joachim
Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellen
18. Auflage, ViewegVerlag, Wiesbaden, 2007
- [11] Reek Till
Optimierung der Steuerstrategie von Aluminiumelektrolysezellen durch Mes-
sung der Superheat
Aachen und Neuss, 30. September 2003

Formelsammlung

- [12] Heinzler Max, Kilgus Roland, Näher Friedrich, Oestele Stefan, Paetzold Heinz,
Röhler Werner, Stephan Andreas, Winkow Ralf
Tabellenbuch Metall
42. Auflage, Europa-Lehrmittel Verlag, Haan-Gruiten, 2002
- [13] K. & R.Gieck
Technische Formelsammlung
31. Auflage, Gieck Verlag, Germering, 2005
- [14] Paland Ernst-Günter
Technisches Taschenbuch
7. veränderter Nachdruck, INA, Mai 2002

Internet

- [15] Bozena Arnold
B102 Hochtemperaturwerkstoffe
Werkzeugprüfung
www.materialmagazin.de
- [16] www.bohr-bug.de
- [17] www.karotechnik.de

- [18] www.mineralienatlas.de
- [19] www.miningandconstruction.sandvik.com
- [20] TRIMET Aluminium AG
www.trimet.de
- [21] www.wikipedia.de
- [22] www.werkstoffe.de

Kataloge

- [23] Getriebebau NORD
Feste Drehzahlen G1000 DE GB FR
- [24] INA
Profilschienenführungen Rollenumlaufeinheiten, Kugelumlaufeinheiten Line-
arführungen mit Kugelumlaufschuhen, Zubehör
1. veränderter Nachdruck, Schaeffler KG, August 2008
- [25] Kramp
3 Antriebstechnik und Hydraulik
01/2005

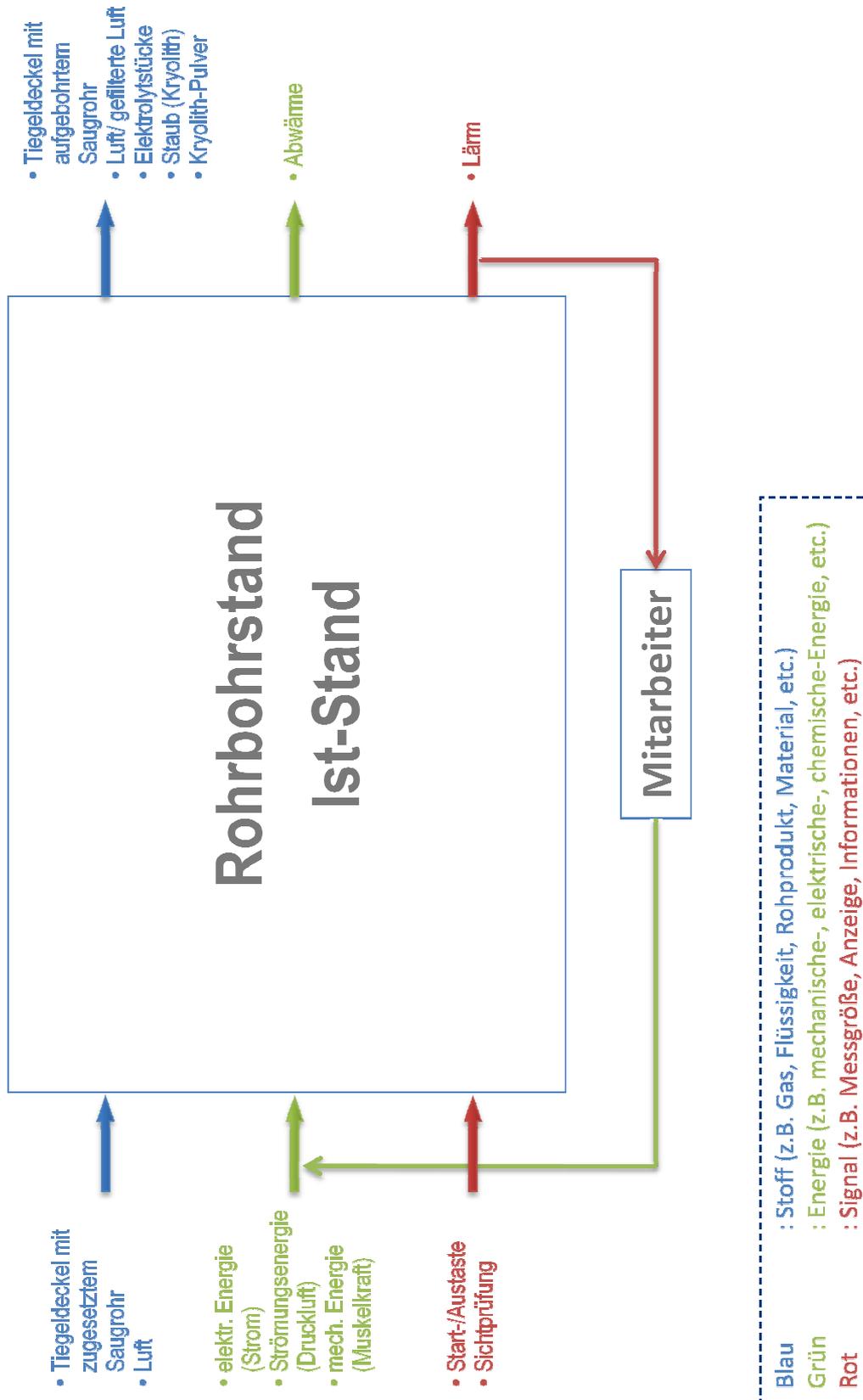
11 Anhang

A	Funktionsstruktur/ -analyse.....	A1
A1	Ist-Stand Black-Box Rohrbohrstand	A1
A1.1	Ist-Stand Funktionsstruktur Ebene Rohrbohrstand	A2
A1.2	Ist-Stand Ebene F1 Bohrvorrichtung.....	A3
A1.3	Ist-Stand Ebene F3 Bohrvorgang	A4
A1.4	Ist-Stand Ebene F4 Entlüftungsvorrichtung.....	A5
A2	Soll-Stand Black-Box Rohrbohrstand	A6
A2.1	Soll-Stand Funktionsstruktur Ebene Rohrbohrstand.....	A7
A2.2	Soll-Stand Ebene F1 Bohrvorrichtung	A8
A2.3	Soll-Stand Ebene F3 Bohrvorgang.....	A9
A2.4	Soll-Zustand Ebene F4 Entlüftungsvorrichtung.....	A10
B	Anforderungsliste Rohrbohrstand	B1
C	Pflichtenheft Rohrbohrstand	C1
C1	Anforderungen	C2
C2	Ablaufplan Rohrbohrstation.....	C3
C3	Zeitplan.....	C4
C4	Ablaufkalender	C5
D	Morphologischer Kasten	D1
D1	Morphologischer Kasten mit LV in bildliche Darstellung.....	D2
D1.1	Skizzen der Lösungsvarianten.....	D3
E	Lösungsbewertung	E1
E1	Forderungsüberprüfung.....	E1
E2	Rangfolge-Gewichtung	E2
E3	Wertigkeitsverfahren	E3
E4	Lösungskonzept.....	E4
F	Berechnungen	F1
F1	Lagerkräfte und Biegemomente	F1
F2	Knickprüfung	F2
F3	Festigkeitsnachweis.....	F4
F3.1	Statischer Nachweis	F4
F3.2	Dynamischer Nachweis.....	F5
F4	Lagerberechnung.....	F6

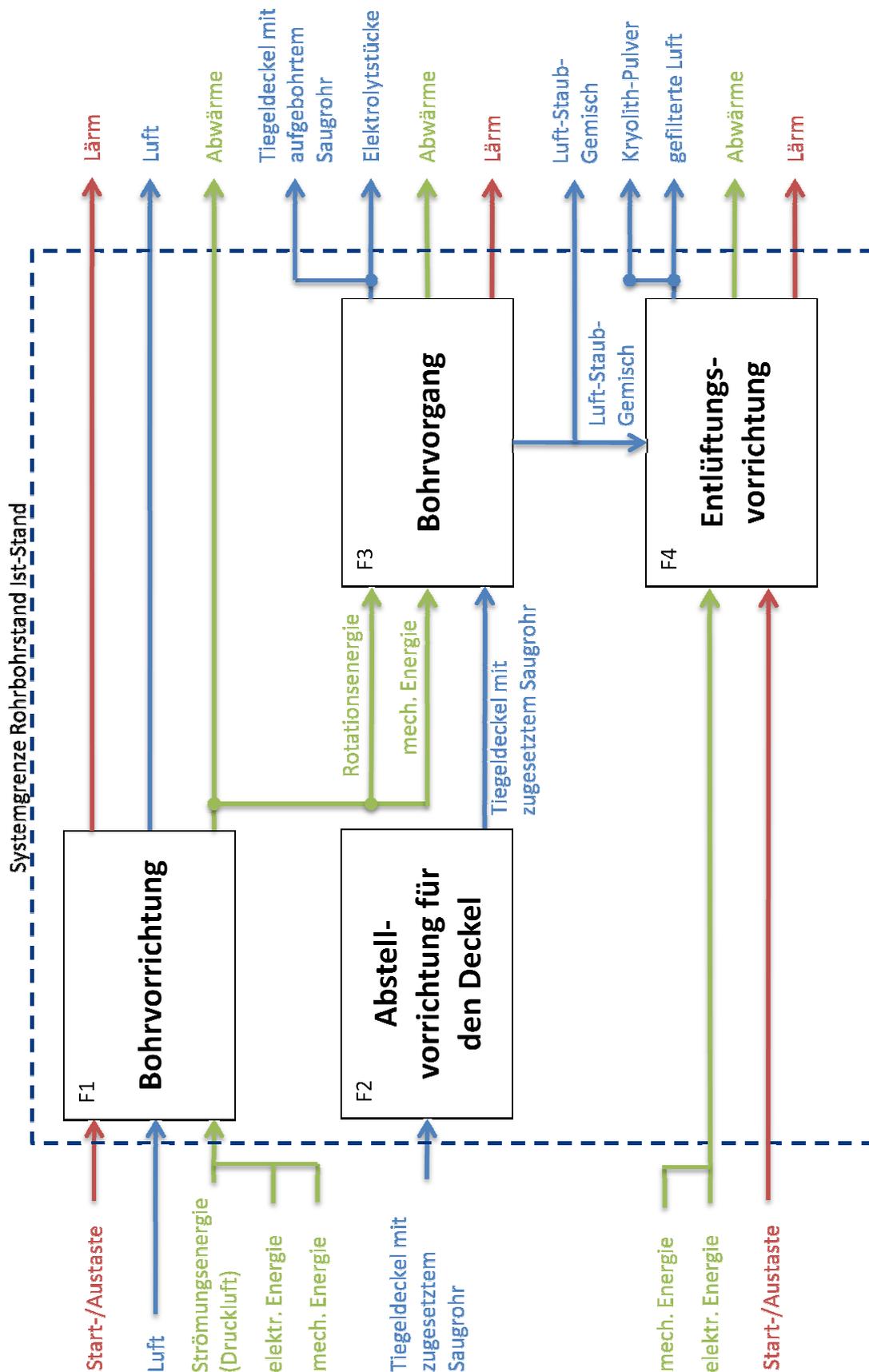
G	Datenblätter	G1
G1	Getriebemotor	G1
G2	Bohrmolchalternativen	G5
G3	Werkstoffdaten	G7
G4	Linear-Kugellager-Einheit	G9
G5	Axialkupplung	G12
G6	Profilschienenführungen	G15
G7	Hydraulik-Teleskopzylinder	G19
H	Zeichnungen	H1

A Funktionsstruktur/ -analyse

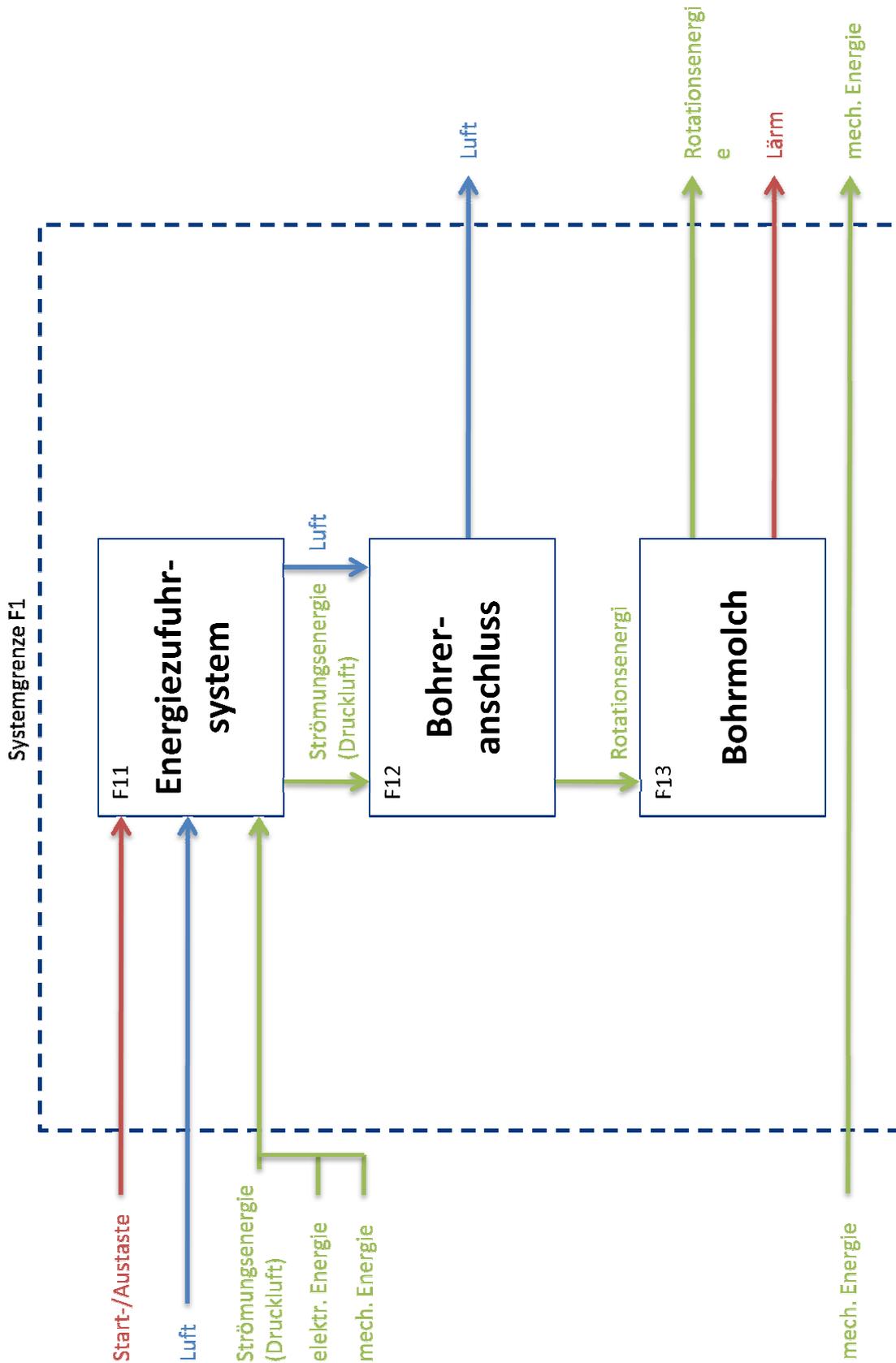
A1 Ist-Stand Black-Box Rohrbohrstand



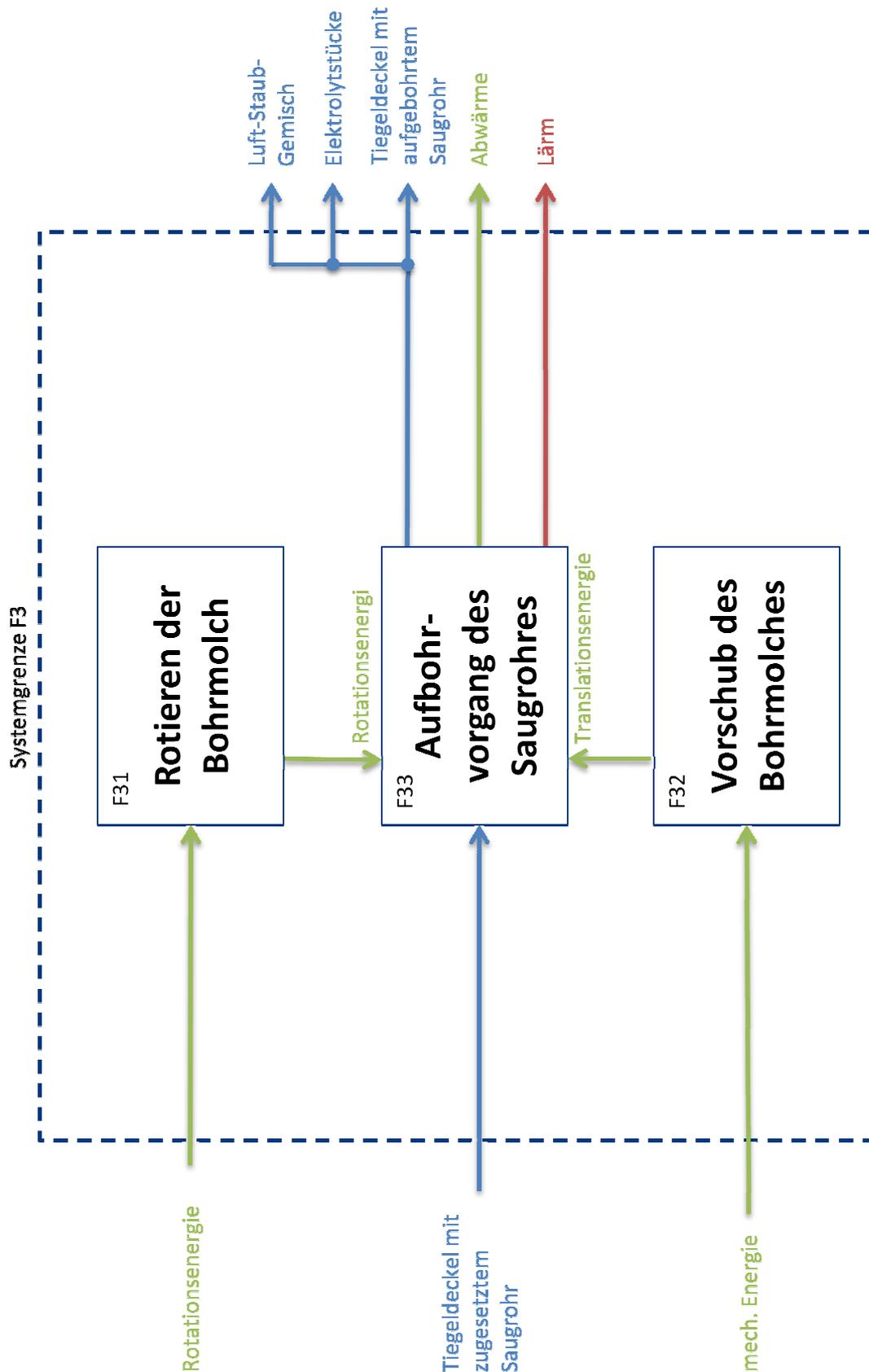
A1.1 Ist-Stand Funktionsstruktur Ebene Rohrbohrstand



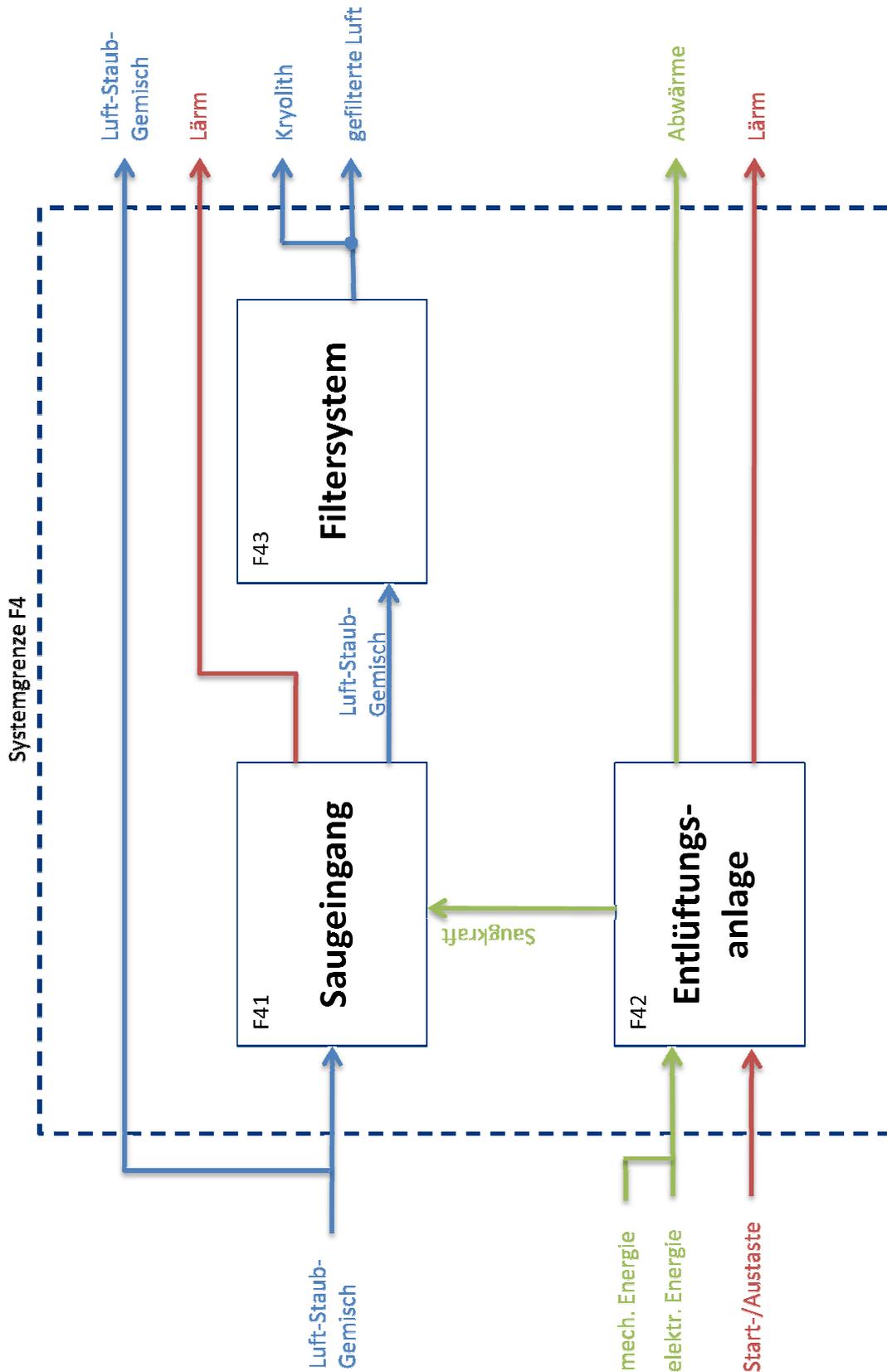
A1.2 Ist-Stand Ebene F1 Bohrvorrichtung



A1.3 Ist-Stand Ebene F3 Bohrvorgang



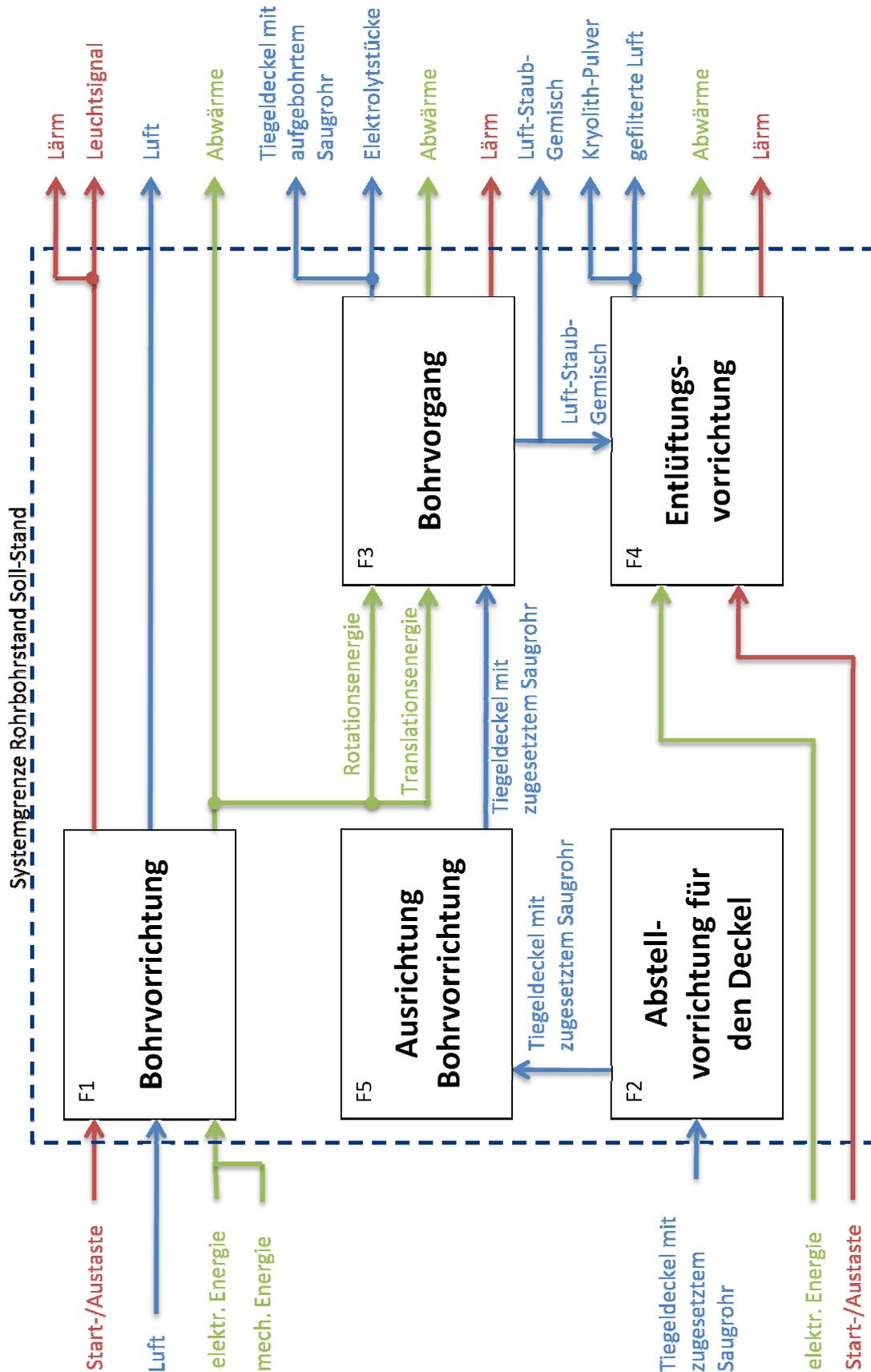
A1.4 Ist-Stand Ebene F4 Entlüftungsvorrichtung



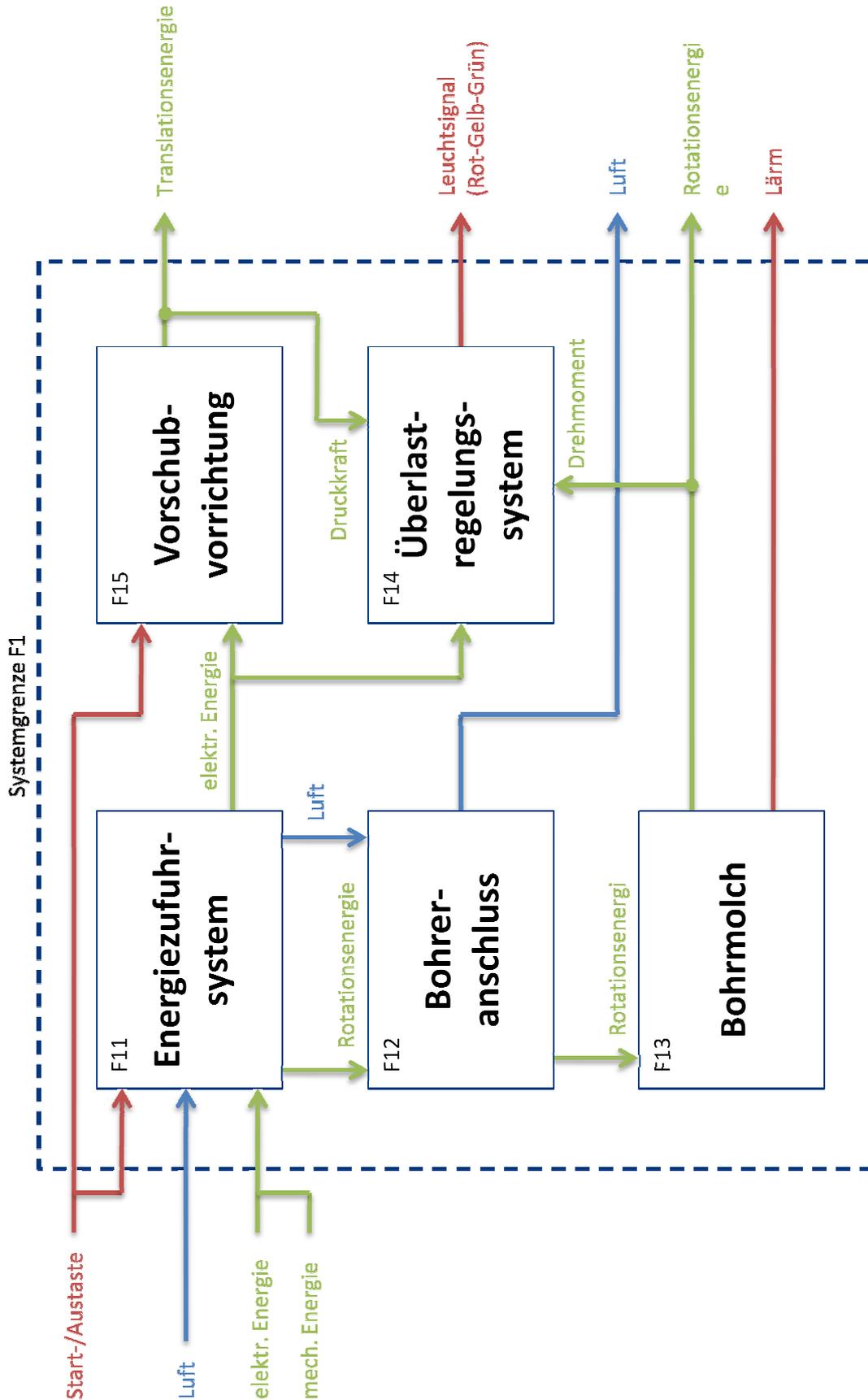
A2 Soll-Stand Black-Box Rohrbohrstand



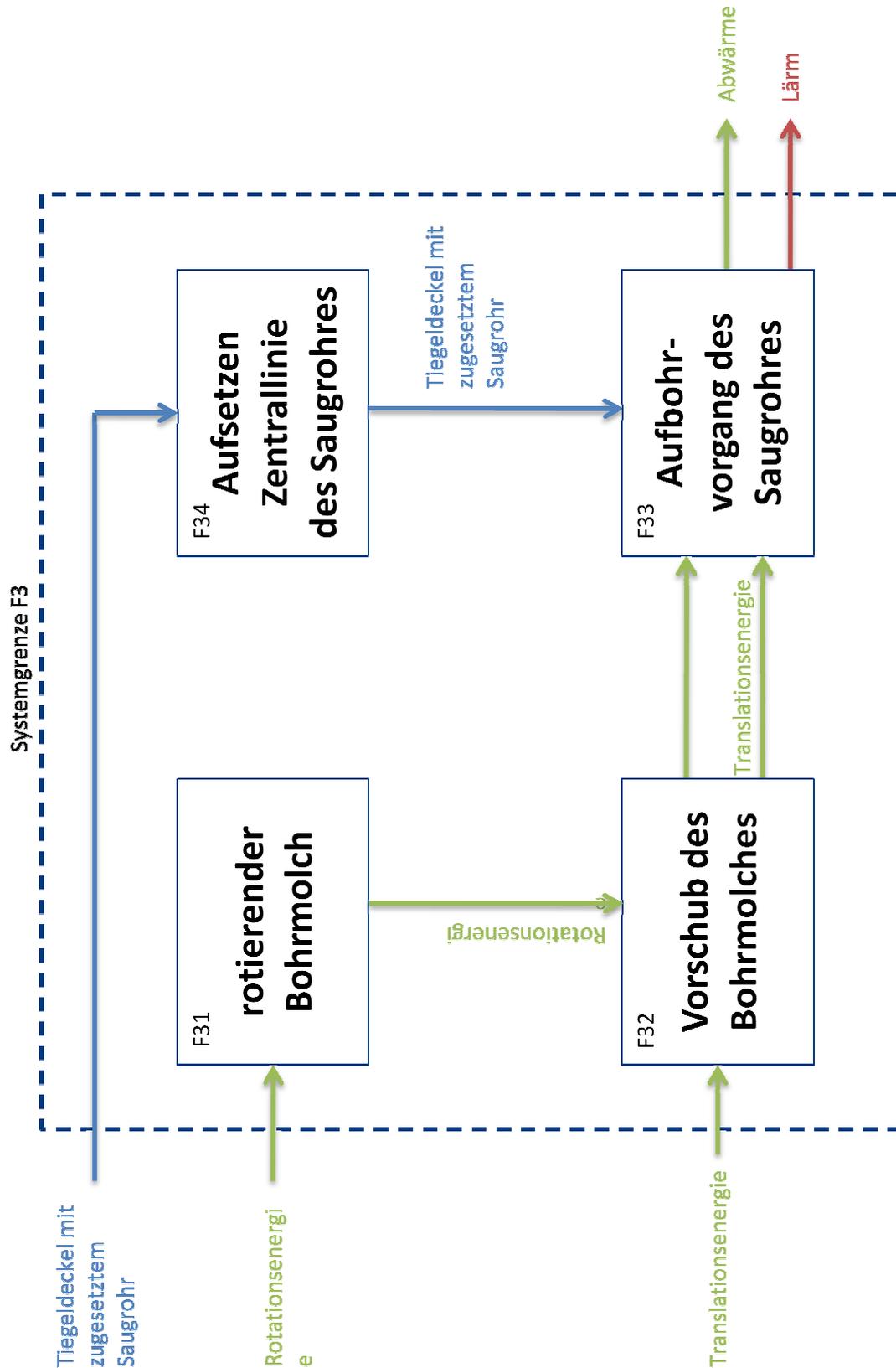
A2.1 Soll-Stand Funktionsstruktur Ebene Rohrbohrstand



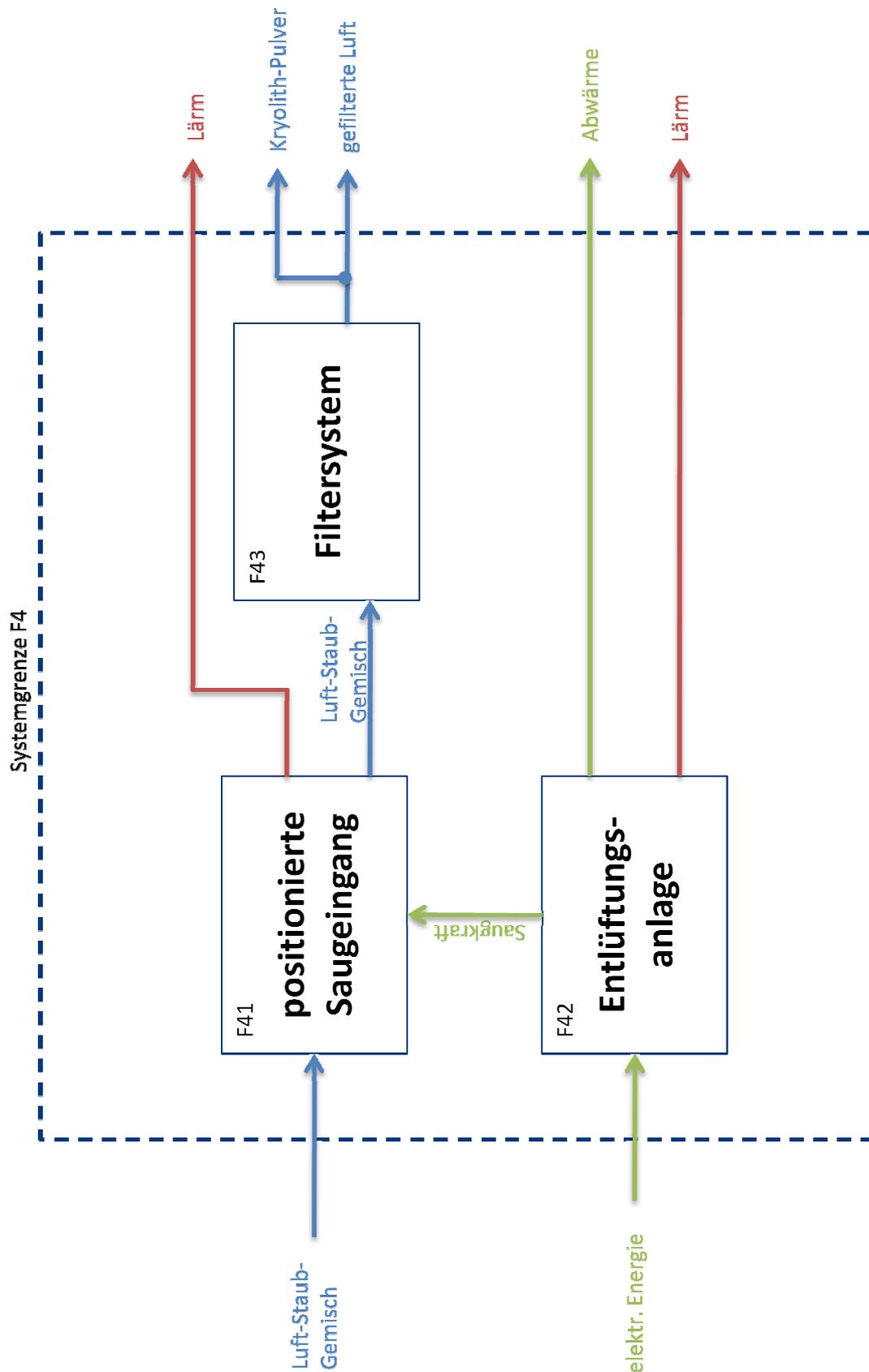
A2.2 Soll-Stand Ebene F1 Bohrvorrichtung



A2.3 Soll-Stand Ebene F3 Bohrvorgang



A2.4 Soll-Zustand Ebene F4 Entlüftungsvorrichtung



B Anforderungsliste Rohrbohrstand

W4=sehr wichtig W3= wichtig W2= interessant W1= wenn mög- lich		Anforderungsliste Rohrbohr- stand		 TRIMET ALUMINUM AG Hamburg Erstellt am: 20.06.2011 von Felix Chan Blatt 1 von 1	
Lfd.	F / W	Anforderung	Änderung	Verant- wortlich	
1. Allgemein					
1	F	Rohrabmessungen: $A\varnothing = 140\text{mm}$, $I\varnothing = 80\text{ mm}$, $l = 3125\text{ mm}$			
2	F	Verwendung der Normteile, z.B. Schrauben, Lager, etc.			
3	F	Verwendung der Normwerkzeuge für die De- und Montage			
4	F	Notausknopf in erreichbare Nähe			
5	W2	Raumgröße aktuell: $b = 5796\text{ mm}$, $h = 2000\text{ mm}$			
2. Funktionen					
2.1 Bohrvorrichtung					
1	F	Bohrmolch Abmessungen $\varnothing 60\text{ mm} - 75\text{ mm}$			
2	F	Translationsbewegung des Bohrmolches in Richtung der Rohrachse mit einer Vorschubgeschwindigkeit von $50\text{ mm/min} - 120\text{ mm/min}$			
3	F	Drehmoment des Bohrmolches $> 7\text{ Nm}$			
4	F	Leuchtsignal Rot-Gelb-Grün für Fehler, Bohrvorgang und Ende des Prozesses			
5	F	Schutzsystem gegen Überlast			
6	F	Absperrung für die Bohrvorrichtung um die Sicherheit der Mitarbeitern während des Vorganges sicherzustellen			
7	F	Härte des Bohrmolchwerkstoffs $> 3\text{ Mohs}$ ($\approx 109\text{ HV}$)			
8	F	Schutz vor feinkörnigen Staub IP56			
9	W3	verschleißfeste Werkstoff für den Bohrmolch			
2.2 Abstellvorrichtung für Saugdeckel					
1	F	Abmaß $1800 \times 1670 \times 1240\text{ mm}$			
2	F	Werkstoff St37			
2.3 Ausrichtung Bohrvorrichtung zu Saugrohr					
1	W4	starre Führung für das Rohrende um den Prozessanfang zu erleichtern			
2	W4	feste Positionierung Saugrohr und Bohrvorrichtung			
2.4 Bohrvorgang					
1	F	Aufsetzen Zentrallinie des Saugrohres sicherstellen			
2.5 Entlüftungssystem					
1	F	Optimierung der Absaugposition			
2	W2	Prüfen der Leistung			
3. Wartung					
1	F	Montagefreundlichkeit der Bohrvorrichtung			
2	W2	Anzahl der Wartungen max. 1-mal pro Woche			
4. Instandhaltung					
1	F	niedrige Kosten der Ersatzteile			
2	W1	Anzahl der Inspektion 1-mal pro Woche			

C Pflichtenheft Rohrbohrstand

Pflichtenheft

Entwicklung eines Bohrstandes für Al-Saugrohre

Projekt-Leiter: Till Reek

Autor: Felix Chan

Abteilung: Elektrolyse Rohrbohrstand

Pflichtenheftnummer: 01

Datum des letzten Version: 21.06.2011

Genehmigt und Gegengezeichnet (Datum, Name):

.....
Projekt-Leiter

C1 Anforderungen

W4=sehr wichtig W3= wichtig W2= interessant W1= wenn mög- lich		Anforderungsliste Rohrbohr- stand		 TRIMET ALUMINUM AG Hamburg Erstellt am: 20.06.2011 von Felix Chan Blatt 1 von 1	
Lfd.	F / W	Anforderung	Änderung	Verant- wortlich	
1. Allgemein					
1	F	Rohrabmessungen: $A\varnothing = 140\text{mm}$, $I\varnothing = 80\text{mm}$, $l = 3125\text{mm}$			
2	F	Verwendung der Normteile, z.B. Schrauben, Lager, etc.			
3	F	Verwendung der Normwerkzeuge für die De- und Montage			
4	F	Notausknopf in erreichbare Nähe			
5	W2	Raumgröße aktuell: $b = 5796\text{mm}$, $h = 2000\text{mm}$			
2. Funktionen					
2.1 Bohrvorrichtung					
1	F	Bohrmolch Abmessungen $\varnothing 60\text{mm} - 75\text{mm}$			
2	F	Translationsbewegung des Bohrmolches in Richtung der Rohrachse mit einer Vorschubgeschwindigkeit von $50\text{mm/min} - 120\text{mm/min}$			
3	F	Drehmoment des Bohrmolches $> 7\text{Nm}$			
4	F	Leuchtsignal Rot-Gelb-Grün für Fehler, Bohrvorgang und Ende des Prozesses			
5	F	Schutzsystem gegen Überlast			
6	F	Absperrung für die Bohrvorrichtung um die Sicherheit der Mitarbeitern während des Vorganges sicherzustellen			
7	F	Härte des Bohrmolchwerkstoffs $> 3\text{Mohs}$ ($\approx 109\text{HV}$)			
8	F	Schutz vor feinkörnigen Staub IP56			
9	W3	verschleißfeste Werkstoff für den Bohrmolch			
2.2 Abstellvorrichtung für Saugdeckel					
1	F	Abmaß $1800 \times 1670 \times 1240\text{mm}$			
2	F	Werkstoff St37			
2.3 Ausrichtung Bohrvorrichtung zu Saugrohr					
1	W4	starre Führung für das Rohrende um den Prozessanfang zu erleichtern			
2	W4	fest Positionierung Saugrohr und Bohrvorrichtung			
2.4 Bohrvorgang					
1	F	Aufsetzen Zentrallinie des Saugrohres sicherstellen			
2.5 Entlüftungssystem					
1	F	Optimierung der Absaugposition			
2	W2	Prüfen der Leistung			
3 Wartung					
1	F	Montagefreundlichkeit der Bohrvorrichtung			
2	W2	Anzahl der Wartungen max. 1-mal pro Woche			
4. Instandhaltung					
1	F	niedrige Kosten der Ersatzteile			
2	W1	Anzahl der Inspektion 1-mal pro Woche			

C2 Ablaufplan Rohrbohrstation

Zielfunktionen:

Starttermin:	10. Juni 2011
Durchlaufzeit:	3 Monate
Abgabetermin:	9. September 2011
Projektbearbeiter:	Felix Chan
Projektbetreuer:	Till Reek
Betreuender Prof.:	Prof. Dr.-Ing. Hoder

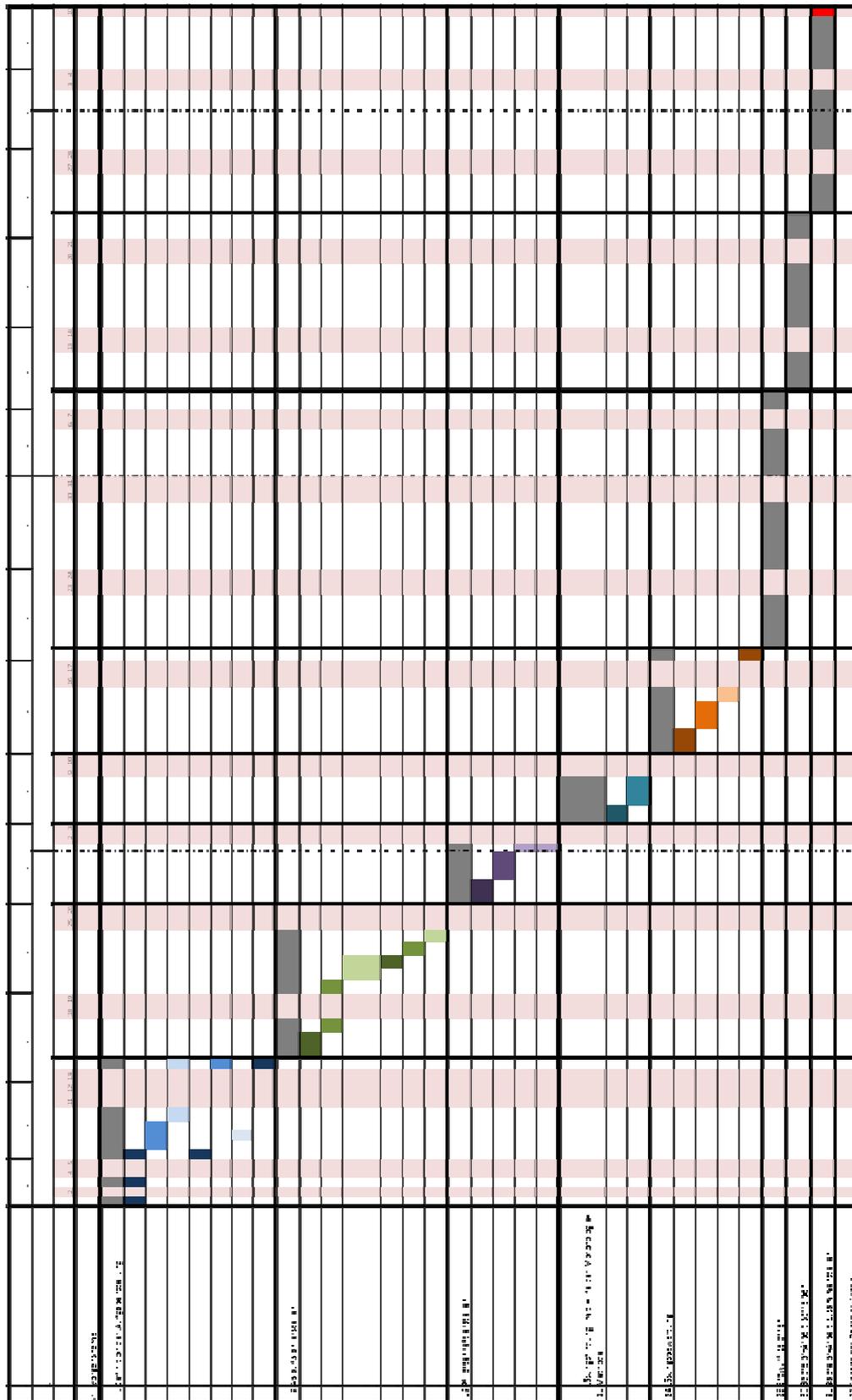
Projektstruktur:

- 1) Projektbesprechung
 - a) Funktionsdefinition und Problemdarstellung
 - b) Produktideen und -vorschläge
 - c) Entscheidung des Lösungsweges
- 2) Bachelorarbeit anmelden
- 3) Zielfunktionen herausarbeiten
- 4) Abhängigkeiten der Strukturen ermitteln
- 5) Planzeit ermitteln
 - a) Exel-Tabelle erstellen
 - i) Zeiten und Dauer für jeweilige Aufgabe schätzungsweise angeben
 - ii) Fristen setzen
- 6) Ist-Stand-Analyse
- 7) Funktionsstruktur und Funktionsanalyse
 - a) Blackbox-Methode (Stoff, Energie, Signal)
- 8) Anforderungsliste erstellen
 - a) Forderungen definieren
 - b) Wünsche äußern
- 9) Pflichtenheft erstellen
- 10) Lösungsfindung
 - a) Systematische Verfahren → Morphologie Methode → Morphologischer Kasten
- 11) Lösungsbewertung → Wertigkeitsverfahren
- 12) Entwurf zeichnen
- 13) Bachelor-Arbeit schreiben und zusammenstellen
- 14) Gespräch mit Herrn Prof. Dr.-Ing. Hoder und Herrn Reek
- 15) Abgabe der Bachelor-Arbeit
- 16) Kolloquium

C3 Zeitplan

Nr.	Vorgangsname	Dauer [Tag]	Anfang	Ende	%Abg.	Arbeits [Std]
1	Definition der Aufgabenstellung	7,00	Mittwoch, 1. Juni 2011	Dienstag, 14. Juni 2011	0,30%	52,50
2	Funktionsdefiniton und Problemlösstellung	3,00	Mittwoch, 1. Juni 2011	Montag, 6. Juni 2011	0,00%	22,50
3	Produktideen und -vorschläge	3,00	Montag, 6. Juni 2011	Mittwoch, 8. Juni 2011	0,00%	22,50
4	Arbeitsstrukturen	2,00	Freitag, 3. Juni 2011	Freitag, 3. Juni 2011	0,00%	15,00
5	Einschulung des Lösungsweges	0,13	Montag, 6. Juni 2011	Montag, 6. Juni 2011	0,00%	1,00
6	Take-Off Gespräch	0,13	Mittwoch, 8. Juni 2011	Mittwoch, 8. Juni 2011	0,00%	1,00
7	Gespräch mit Prof. und Firma	0,13	Mittwoch, 8. Juni 2011	Mittwoch, 8. Juni 2011	0,00%	1,00
8	Anmeldung der Arbeit	0,13	Dienstag, 14. Juni 2011	Dienstag, 14. Juni 2011	0,00%	1,00
9	Ablaufplan erstellen	8,00	Mittwoch, 15. Juni 2011	Freitag, 24. Juni 2011	0,30%	60,00
10	Zielfunktionen herausarbeiten	2,00	Mittwoch, 15. Juni 2011	Donnerstag, 16. Juni 2011	0,00%	15,00
11	Planzeit ermitteln (Excel-Tabelle erstellen) Zeiten und Dauer für jeweilige Aufgabe schätzungsweise	2,00	Freitag, 17. Juni 2011	Montag, 20. Juni 2011	0,00%	15,00
12	Angaben	1,50	Dienstag, 21. Juni 2011	Mittwoch, 22. Juni 2011	0,00%	11,25
13	Prüfen setzen	0,50	Mittwoch, 22. Juni 2011	Mittwoch, 22. Juni 2011	0,00%	3,75
14	Kapazitäten benennen	1,00	Donnerstag, 23. Juni 2011	Donnerstag, 23. Juni 2011	0,00%	7,50
15	Stundenslosten ermitteln	1,00	Freitag, 24. Juni 2011	Freitag, 24. Juni 2011	0,00%	7,50
16	Pflichtenheft erstellen	5,00	Montag, 27. Juni 2011	Freitag, 1. Juli 2011	0,30%	37,50
17	Funktionsstruktur und Funktionsanalyse	2,00	Montag, 27. Juni 2011	Dienstag, 28. Juni 2011	0,00%	15,00
18	Anforderungsliste erstellen	2,00	Mittwoch, 29. Juni 2011	Donnerstag, 30. Juni 2011	0,00%	15,00
19	Leistungsstruktur erstellen	1,00	Freitag, 1. Juli 2011	Freitag, 1. Juli 2011	0,00%	7,50
20	Pflichtenheft absegnen	0,40	Freitag, 1. Juli 2011	Freitag, 1. Juli 2011	0,00%	3,00
21	Lösungsfindung mit Hilfe der Morphologie-Methode	5,00	Montag, 4. Juli 2011	Freitag, 8. Juli 2011	0,30%	37,50
22	Aufgabe klären und präzisieren	2,00	Montag, 4. Juli 2011	Dienstag, 5. Juli 2011	0,00%	15,00
23	Lösungsuche	3,00	Mittwoch, 6. Juli 2011	Freitag, 8. Juli 2011	0,00%	22,50
24	Lösungsbewertung	6,00	Montag, 11. Juli 2011	Montag, 18. Juli 2011	0,30%	45,00
25	Überprüfung der Erfüllung aller Forderungen	2,00	Montag, 11. Juli 2011	Dienstag, 12. Juli 2011	0,00%	15,00
26	Ermittlung der Bearbeitungsarten	2,00	Mittwoch, 13. Juli 2011	Donnerstag, 14. Juli 2011	0,00%	15,00
27	Schichtung der Bearbeitungsarten	1,00	Freitag, 15. Juli 2011	Freitag, 15. Juli 2011	0,00%	7,50
28	Bewertung durchführen	1,00	Montag, 18. Juli 2011	Montag, 18. Juli 2011	0,00%	7,50
29	Entwurf zeichnen	16,00	Dienstag, 19. Juli 2011	Dienstag, 9. August 2011	0,30%	120,00
30	Bachelor-Arbeit schreiben	10,00	Mittwoch, 10. August 2011	Dienstag, 23. August 2011	0,30%	75,00
31	Bachelor-Arbeit zusammenstellen	5,00	Mittwoch, 24. August 2011	Dienstag, 30. August 2011	0,30%	37,50
32	Abgabe der Bachelor-Arbeit	0,13	Mittwoch, 31. August 2011	Mittwoch, 31. August 2011	0,30%	1,00
	Summe der Arbeit	62,13	Mittwoch, 1. Juni 2011	Mittwoch, 31. August 2011		466,00

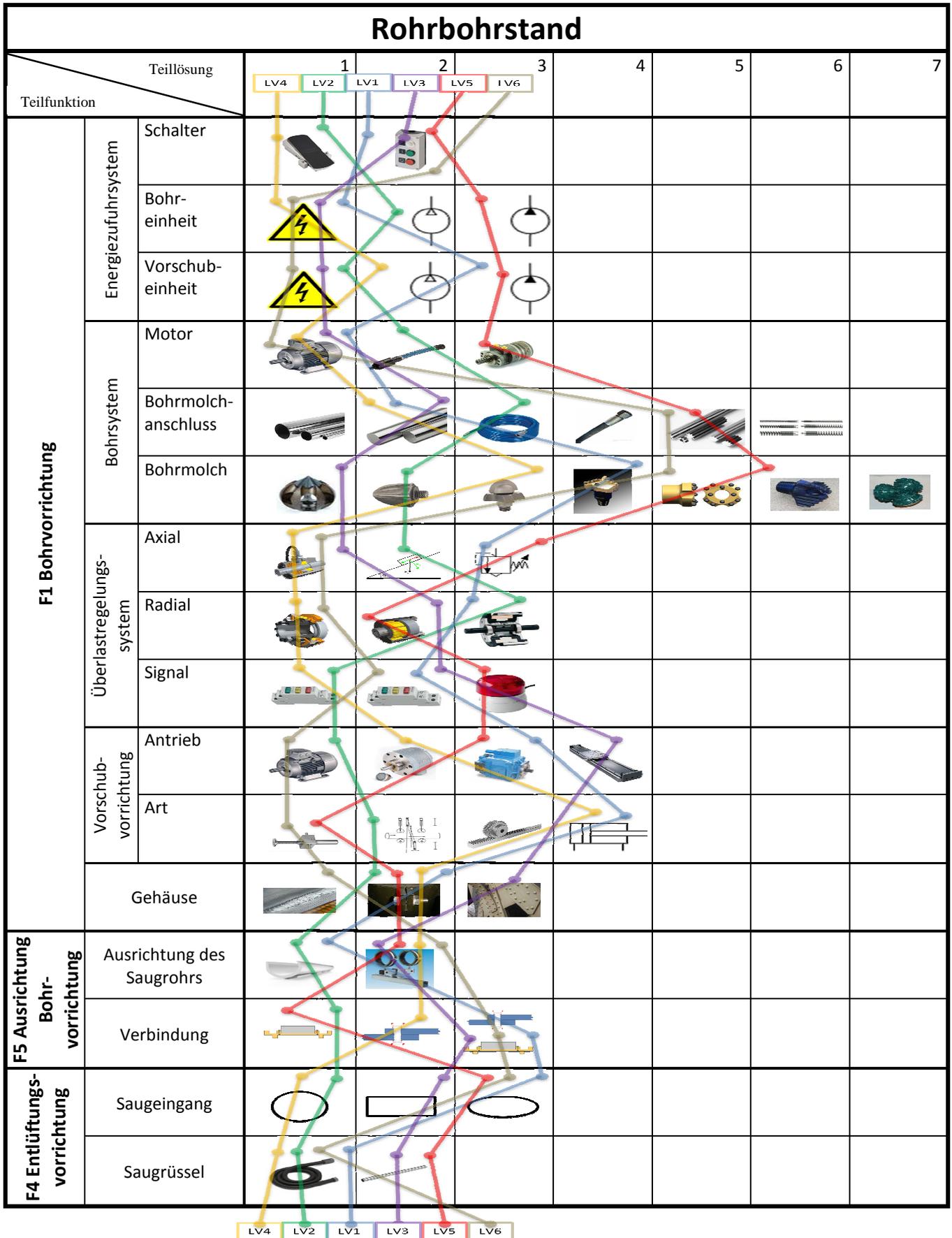
C4 Ablaufkalender



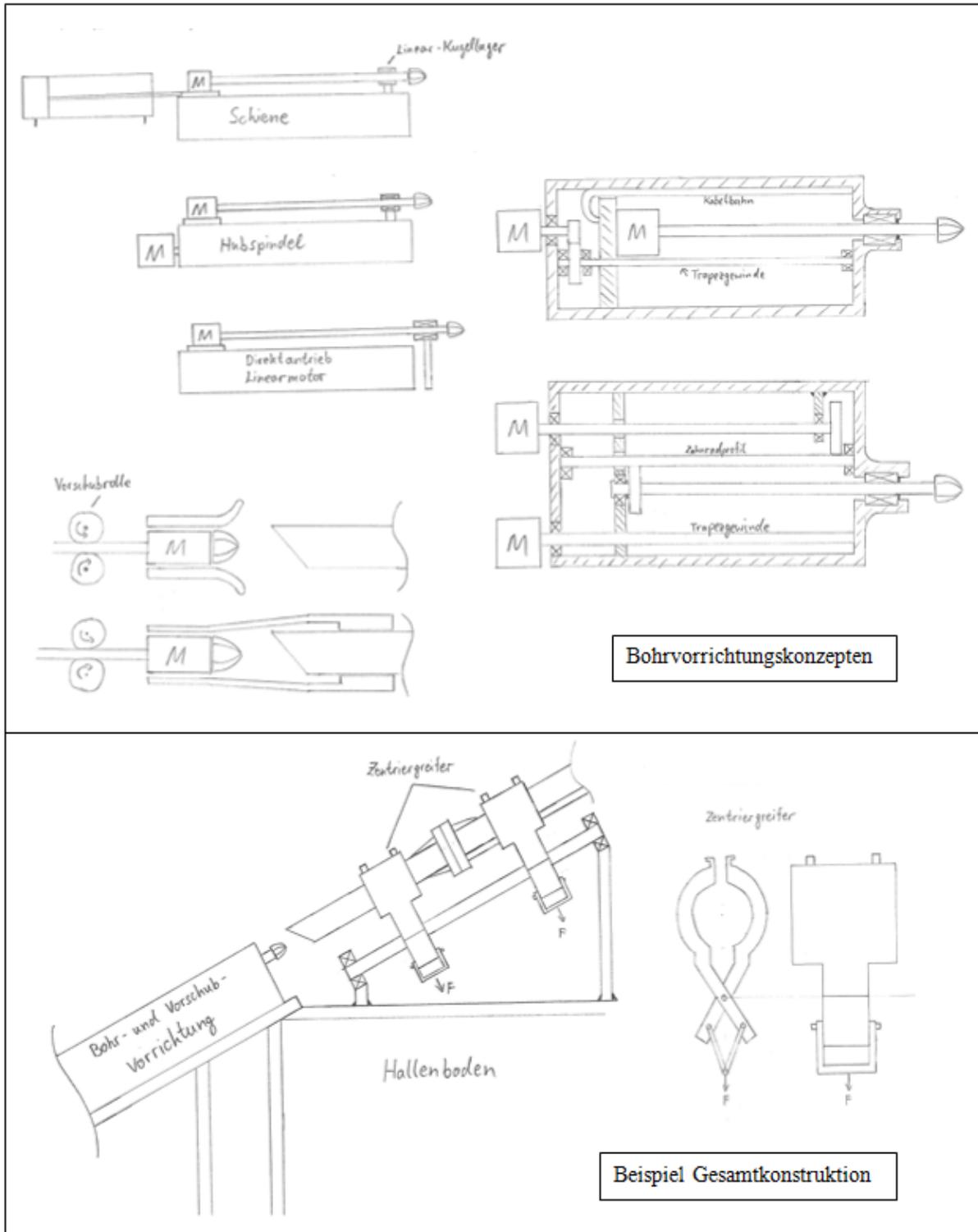
D Morphologischer Kasten

			Rohrbohrstand						
		Teillösung	1	2	3	4	5	6	7
Teilfunktion									
F1 Bohrvorrichtung	Energiezufuhrsystem	Schalter	Fusspedal	Druckknopf					
		Bohr-einheit	elektr. Energie	Druckluft	Hydraulik				
		Vorschub-einheit	elektr. Energie	Druckluft	Hydraulik				
	Bohrsystem	Motor	Elektro-motor	Druckluft-motor	Hydraulik-motor				
		Bohrmolch-anschluss	Stahlrohr	Rundstahl	Druckluft-schlauch	Hydraulik-schlauch	Zahnrad-profil	Spirale	
		Bohrmolch	Frästütze	Bohrer	Kombina-tionsbohrer	Bohrkrone	Bohrkopf	Flügel-meißel	Rollen-meißel
	Überlastregelungs-system	Axial	Kraft-begrenzer	Reibung	Druck-begren-zungsventil				
		Radial	Sicherheits-kupplung	Schlupf-kupplung	Dreh-moment-begrenzer				
		Signal	Ampel-melder	Ampel-melder mit Ton	Alarm-blinker				
	Vorschub-vorrichtung	Antrieb	Elektro-motor	Druckluft-motor	Hydraulik-motor	Linear-antrieb			
		Art	Spindel-hubgetriebe	Vorschub-rollen	Zahnrad und Zahn-stange	Hubzylinder			
		Gehäuse	Schweiß-konstruk-tion	Geschraubt	Genietet				
	F5 Ausrichtung-Bohr-vorrichtung	Führung	Rohr-auflage	Rohr-führung					
Verbindung		Formschluss	Kraftschluss	Kraft- und Formschluss					
F4 Entlüftungs-vorrichtung	Saugeingang	Rund	Rechteck	Oval					
	Saugrüssel	Saug-schlauch	Saugrohr						

D1 Morphologischer Kasten mit LV in bildliche Darstellung



D1.1 Skizzen der Lösungsvarianten



E Lösungsbewertung

E1 Forderungsüberprüfung

Forderungsüberprüfung							
Nr.	Forderung	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	LV6
1	Bohrmolchabmessung \varnothing 65 – 75 mm	√	√	√	√	√	√
2	Vorschubgeschwindigkeit des Bohrers 30 mm/min - 110mm/min	√	√	√	√	√	√
3	Drehmoment des Bohrers min. 7 Nm	√	√	√	√	√	√
4	Leuchtsignal Rot-Gelb-Grün	√	√	√	√	X	√
5	Schutzsystem gegen Überlast	√	√	√	√		√
6	Gehäuse für die Bohrvorrichtung	√	√	√	√		√
7	Schutz IP56	√	√	√	√		√
8	Aufsetzen Zentrallinie des Saugrohres sicherstellen	√	√	√	√		√
9	Optimierung der Absaugposition	√	√	√	√		√
10	einfache De- und Montage des Bohrmolchs	√	√	√	√		√
11	niedrige Betriebskosten	√	√	√	√		√
12	Verwendung der Normteile, z.B. Schrauben, Lager, etc.	√	√	√	√		√
13	Bohrmolchhärte > 109 HV	√	√	√	√		√
14	Montagefreundlichkeit der Vorschubvorrichtung	√	√	√	√		√
15	kostengünstige Ersatzteile	√	√	√	√		X
16	Anzahl der Wartungen max. 1-mal pro Woche	√	√	√	√		
17	einfache Aufbau der Gesamtvorrichtung	√	√	X	√		
18	hohe Lebensdauer	√	√		√		
19	hohe Unfall- und Betriebssicherheit	√	√		√		
20	hohe Zuverlässigkeit	√	√		√		
	Ergebnis	√	√	X	√	X	X

E2 Rangfolge-Gewichtung

		Rangfolge-Gewichtungsmatrix für Rohrbohrvorrichtung																			gehört zu Projekt: Rohrbohrstand		
Lfd.	Bewertungskriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Anzahl der "+"	Gew.-Faktor gk
		1	Bohrmolchabmessung Ø 65 - 75 mm	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-		
2	regulierbare Vorschub 30 - 110 mm/min	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	13	0,066667
3	konstante Drehmoment 7 Nm	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	14	0,071795
4	Leuchtsignal Rot-Gelb-Grün	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,010256
5	Schutzsystem gegen Überlast	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	16	0,082051
6	Gehäusedesign	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
7	Schutz gegen Staub	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	7	0,035897
8	genaue Vorschubrichtung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	17	0,087179
9	Optimierung der Absaugposition	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,005128
10	einfache De- und Montage des Bohrers	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	9	0,046154
11	geringe Energieverbrauch	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	0	-	+	-	-	-	6	0,030769
12	Verwendung der Normteile	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	5	0,025641
13	Bohrmolchhärte > 109 HV	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	11	0,05641
14	einfache Montage der Vorschubvorrichtung	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	0	-	-	-	4	0,020513
15	kostengünstige Ersatzteile	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	0	+	-	+	+	+	-	+	-	-	8	0,041026
16	möglichst Wartungsfrei	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	16	0,082051
17	einfache Aufbau der Gesamtvorrichtung	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	0	-	-	+	-	-	-	3	0,015385
18	hohe Lebensdauer	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	15	0,076923
19	hohe Unfall- und Betriebssicherheit	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	19	0,097436
20	hohe Zuverlässigkeit	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	18	0,092308
		Summe der "+"										g _i = "+" / Σ"+										195	1
		30.06.2011										Bearbeiter: Felix Chan											

E3 Wertigkeitsverfahren

0 = unbefriedigend 1 = noch tragbar 2 = ausreichend 3 = gut 4 = sehr gut		Wertigkeitsverfahren für Rohrbohrvorrichtung						gehört zu Projekt: Rohrbohrstand	
Lfd.	Bewertungskriterien	Gew.- Faktor g_k	Lösungsalternative I		Lösungsalternative II		Lösungsalternative IV		
			P_i	$g_k * P_i$	P_i	$g_k * P_i$	P_i	$g_k * P_i$	
1	Bohrmolchabmessung Ø 65 – 75 mm	0,056	4	0,2256	4	0,2256	4	0,2256	
2	regulierbare Vorschub 30 - 110 mm/min	0,067	4	0,2667	2	0,1333	3	0,2000	
3	konstante Drehmoment 7 Nm	0,072	4	0,2872	1	0,0718	4	0,2872	
4	Leuchtsignal Rot-Gelb-Grün	0,010	4	0,0410	3	0,0308	3	0,0308	
5	Schutzsystem gegen Überlast	0,082	4	0,3282	3	0,2462	4	0,3282	
6	Gehäusedesign	0,000	3	0,0000	2	0,0000	3	0,0000	
7	Schutz gegen Staub	0,036	3	0,1077	2	0,0718	3	0,1077	
8	genaue Vorschubrichtung	0,087	4	0,3487	1	0,0872	4	0,3487	
9	Optimierung der Absaugposition	0,005	4	0,0205	4	0,0205	4	0,0205	
10	einfache De- und Montage des Bohrers	0,046	4	0,1846	3	0,1385	4	0,1846	
11	geringe Energieverbrauch	0,031	4	0,1231	3	0,0923	3	0,0923	
12	Verwendung der Normteile	0,026	4	0,1026	3	0,0769	4	0,1026	
13	Bohrmolchhärte >109 HV	0,056	4	0,2256	4	0,2256	4	0,2256	
14	einfache Montage der Vorschubvorrichtung	0,021	3	0,0615	4	0,0821	3	0,0615	
15	kostengünstige Ersatzteile	0,041	3	0,1231	3	0,1231	3	0,1231	
16	möglichst Wartungsfrei	0,082	3	0,2462	2	0,1641	3	0,2462	
17	einfache Aufbau der Gesamtvorrichtung	0,015	3	0,0462	4	0,0615	3	0,0462	
18	hohe Lebensdauer	0,077	4	0,3077	3	0,2308	4	0,3077	
19	hohe Unfall- und Betriebssicherheit	0,097	4	0,3897	1	0,0974	4	0,3897	
20	hohe Zuverlässigkeit	0,092	4	0,3692	2	0,1846	4	0,3692	
Punktzahlen - Summe			$\sum g_k * P_i$	3,5795	$\sum g_k * P_i$	2,1385	$\sum g_k * P_i$	3,4718	
Rangfolge			Rang	1	Rang	3	Rang	2	
Wertigkeit w_g			w_g	0,9484	w_g	0,5666	w_g	0,9198	
Wertigkeit nach F. Hansen									
Lösungsbewertung			günstig		brauchbar		nicht befriedigend		
Wertigkeit w_g			> 0,85		> 0,70		< 0,60		
08.07.2011					Bearbeiter: Felix Chan				

E4 Lösungskonzept

			Rohrbohrstand							
Teilfunktion			1	2	3	4	5	6	7	
F1 Bohrvorrichtung	Energiezufuhrsystem	Schalter								
		Bohr-einheit								
		Vorschub-einheit								
	Bohrsystem	Motor								
		Bohrmolch-anschluss								
		Bohrmolch								
	Überlastregelungs-system	Axial								
		Radial								
		Signal								
	Vorschub-vorrichtung	Antrieb								
		Art								
	Gehäuse									
F5 Ausrichtung-Bohr-vorrichtung	Führung									
	Verbindung									
F4 Entlüftungs-vorrichtung	Saugeingang									
	Saugrüssel									

F Berechnungen

F1 Lagerkräfte und Biegemomente

	eingefahrener Zustand	ausgefahrener Zustand
m	3	3
G	29,43	29,43
F	1000	1000
$\alpha(^{\circ})$	27	27
α (rad)	0,47	0,47
F_{res}	13,36	13,36
a (mm)	60	60
b (mm)	2610	110
c (mm)	60	2560
I_{ges}	2730	2730
x_1 (mm)	60	60
x_2 (mm)	2670	170
D	50	50
r	25	25
E	210000	210000
I	306796,16	306796,16
EI	306796,16	64427193091
Systeme		
A_0	-13,36	-13,36
M_0	-36475,37	-36475,37
A_1	-1	-1
M_1	60	60
A_2	-1	-1
M_2	2670	170
Einflussfaktoren		
δ_{10}	1,01E-03	1,01E-03
δ_{11}	-1,12E-06	-1,12E-06
δ_{12}	-7,40E-05	-4,19E-06
δ_{20}	1,36E+00	8,01E-03
δ_{21}	-7,40E-05	-4,19E-06
δ_{22}	-9,85E-02	-2,54E-05
Ergebnisse		
A	-16,87	276,70
B	-10,31	-724,70
C	13,82	434,64
M_A	-197,02	-6068,45
M_A	-0,20	-6,07
M_B	394,03	45539,26
M_C	-801,66	-34204,01
ΣA	0	0
ΣM	0	0

F2 Knickprüfung

Euler Fall 4 bei eingefahrenem Zustand						
D	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	50,00
K_a	2,70					
l	2610,00					
$l_k = l$	1305,00					
r	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	25,00
E	210000,00					
G	29,43					
F	1000,00					
α (°)	27,00					
α (Rad)	0,47					
$G_x = G \cdot \cos(\alpha)$	26,22					
$F_{eq} = K_a \cdot (G_x + F)$	2770,80					
I	7853,98	19174,76	39760,78	73661,76	125663,71	306796,16
EI	1649336143	4026699568	8349764225	15468969061	26389378290	64427193091
A	314,16	490,87	706,86	962,11	1256,64	1963,50
Euler-Gleichung						
i	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	12,50
λ	261,00	208,80	174,00	149,14	130,50	104,40
F_{krit}	9558,46	23336,08	48389,70	89647,89	152935,35	373377,32
v	4,00					
F_{zul}	2389,61	5834,02	12097,43	22411,97	38233,84	93344,33
F_{vorh}	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80
$F < F_{zul}$	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Prüfung des Schlankheitsgrad						
Werkstoff	X15CrNiSi25-4 (1.4821)					
σ_{dP}	320,00					
σ_{krit}	30,43	47,54	68,46	93,18	121,70	190,16
$\sigma_{krit} < \sigma_{dP}$	ja	ja	ja	ja	ja	ja
λ_g	80,48					
$\lambda_g \leq \lambda$	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch
Prüfung der Spannung						
v	4,00					
σ_{zul}	7,61	11,88	17,11	23,29	30,43	47,54
σ_{vorh}	8,82	5,64	3,92	2,88	2,20	1,41
$\sigma_{vorh} < \sigma_{zul}$	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Der Wellendurchmesser wird 40mm gewählt						

Euler Fall 2 bei ausgefahrenem Zustand						
D	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	50,00
K_a	2,70					
l	2610,00					
$l_k = l$	1827,00					
r	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	25,00
E	210000,00					
G	29,43					
F	1000,00					
$\alpha(^{\circ})$	27,00					
$\alpha(\text{Rad})$	0,47					
$G_x = G \cdot \cos(\alpha)$	26,22					
$F_{eq} = K_a \cdot (G_x + F)$	2770,80					
I	7853,98	19174,76	39760,78	73661,76	125663,71	306796,16
EI	1649336143	4026699568	8349764225	15468969061	26389378290	64427193091
A	314,16	490,87	706,86	962,11	1256,64	1963,50
Euler-Gleichung						
i	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	12,50
λ	365,40	292,32	243,60	208,80	182,70	146,16
F_{krit}	4876,76	11906,16	24688,62	45738,72	78028,24	190498,63
v	4,00					
F_{zul}	1219,19	2976,54	6172,16	11434,68	19507,06	47624,66
F_{vorh}	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80	2770,80
$F < F_{zul}$	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Prüfung des Schlankheitsgrad						
Werkstoff	X15CrNiSi25-4 (1.4821)					
σ_{dP}	320,00					
σ_{krit}	15,52	24,26	34,93	47,54	62,09	97,02
$\sigma_{krit} < \sigma_{dP}$	ja	ja	ja	ja	ja	ja
λ_g	80,48					
$\lambda_g \leq \lambda$	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch	ja, elastisch
Prüfung der Spannung						
v	4,00					
σ_{zul}	3,88	6,06	8,73	11,88	15,52	24,26
σ_{vorh}	8,82	5,64	3,92	2,88	2,20	1,41
$\sigma_{vorh} < \sigma_{zul}$	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Der Entwurfsdurchmesser wird 40mm gewählt						

F3 Festigkeitsnachweis

F3.1 Statischer Nachweis

statischer Nachweis					
Biegung		Druck		Torsion	
W_b	2650,72	A	706,86	W_t	5301,44
M_{nenn}	45539,26	$F_{max} = K_a \cdot (F + G \cdot \cos(\alpha))$	2770,80	P (kW)	1,5
$M_{max} = K_a \cdot M_{nenn}$	122955,99	$\sigma_{dmax} = F_{max}/A$	3,92	n	471
$\sigma_{bmax} = M_{max}/W_b$	46,39			T_{nenn}	30,41
				$T_{max} = K_a \cdot T_{nenn} \cdot 1000$	82117,83
$\sigma_{ges} = \sigma_{bmax} + \sigma_{dmax}$		50,31		$\tau_{tmax} = T_{max}/W_t$	15,49
$\sigma_F \approx 1,2 \cdot R_e$		480		$\tau_{tF} \approx 1,2 \cdot R_e / 3^{(1/2)}$	277,13
$S_F = 1 / [(\sigma_{ges}/\sigma_F)^2 + (\tau_{tmax}/\tau_{tF})^2]^{(1/2)}$					
8,42					
S_{Fmin}	1,5				
$S_F \geq S_{Fmin}$	Ja				
Die Sicherheit gegen das Fließen ist entsprechend der Forderung $S_{Fmin} = 1,5$ nach TB 3-14 erfüllt.					

F3.2 Dynamischer Nachweis

dynamischer Nachweis					
Biegung		Torsion		Druck	
$M_{aeq} = K_a * M_{nenn}$	122955,9 9	$T_{aeq} = K_a * T_{nenn} * 1000$	82117,8 3	F	2770, 80
$\sigma_{ba} = M_{aeq} / W_b$ [N/mm ²]	46,39	$\tau_{ta} = T_{aeq} / W_t$	15,49	$\sigma_{dmax} = (F + G * \sin(\alpha)) / A$	3,92
D			40,00		
d			30,00		
R			4,00		
D/d			1,33		
R/d			0,13		
c_b	0,50	c_t	0,87	α_k	1,70
$\beta_k(0,2)$	1,50	$\beta_k(1,4)$	1,20	(D-d)/d	0,33
$\beta_{kb} = 1 + c_b * (\beta_k(0,2) - 1)$	1,25	$\beta_{kt} = 1 + c_t * (\beta_k(1,4) - 1)$	1,17	wenn (D-d)/d > 0,5 → $\phi = 0$	
$K_g \approx 1 - 0,2 * (\lg(d/7,5) / \lg(20))$			0,91	$\phi = 1 / ((8 * (D-d) / r)^{(1/2) + 2})$	0,15
R_z [μm]			6,30	$G' = 2,3 / r * (1 + \phi)$	0,66
$K_{o\sigma} \approx 1 - 0,22 * \lg(R_z / \mu m) * (\lg(R_m / (20N/mm^2)) - 1)$	0,92	$K_{o\tau} \approx 0,575 * K_{o\sigma} + 0,425$	0,95	$n_\sigma = 1 + (G' * mm)^{(1/2)} * 10^{-(0,33 + R_e / (712 N/mm^2))}$	1,10
$K_v = 1$ da $d > 40mm$			1,00	$\beta_{kzd} = \alpha_k / n_\sigma$	1,54
$K_{Db} = (\beta_{kb} / K_g + 1 / K_{o\sigma} - 1) * 1 / K_v$	1,47	$K_{Dt} = (\beta_{kt} / K_g + 1 / K_{o\tau} - 1) * 1 / K_v$	1,34		
$\sigma_{bGW} = \sigma_{bw} / K_{Db}$	204,21	$\tau_{tGW} = \tau_{tw} / K_{Dt}$	133,89	$K_{Dzd} = (\beta_{kzd} / K_g + 1 / K_{o\sigma} - 1) * 1 / K_v$	1,79
				$\sigma_{zdGW} = \sigma_{zdW} / K_{Dzd}$	134,2 5
$S_D = 1 / [(\sigma_{ba} / \sigma_{bGW} + \sigma_{zda} / \sigma_{zdGW})^2 + (\tau_{ta} / \tau_{tGW})^2]^{(1/2)}$					
3,56					
S_z (Biegung wechselnd, Torsion schwellend)	1,2				
S_{Dmin}	1,5				
$S_{Derf} = S_{Dmin} * S_z$	1,8				
$S_D \geq S_{Derf}$	Ja				
Die Sicherheit gegen Dauerbruch ist entsprechend der Forderung $S_{Derf} = 1,5$ nach TB 3-14 erfüllt.					

F4 Lagerberechnung

Linear-Kugellager-Einheit	KGSNG40-PP-AS	
	Lager B	Lager C
F_{a0}	0,0	
F_{r0}	724,7	434,6
n	471,0	
$P_0 = F_{r0}$	724,7	434,6
$P = F_{r0} * K_a$	1956,7	1173,5
f_L (Aussetzbetrieb)	2	
$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$	0,413636905	
$C_{erf} = P * f_L / f_n$	9461	5674,2
C_0	9600,0	9600,0
C	10200,0	10200,0
Tragsicherheit		
$S_0 = C_0 / P_0$	13,25	22,01
$S = C / P$	5,2	8,7
Nominelle Lebensdauer		
$L_{10} = (C/P)^3$	141,7	656,6
$L_{10h} = 10^6 * L_{10} / (60 * n)$	5012,5	23235,0

G Datenblätter

G1 Getriebemotor



Technische Erläuterungen

Hinweise für Getriebe und Getriebemotoren

Vertikale Einbaulage bei Getrieben und Getriebemotoren

Bei Getrieben und Getriebemotoren sind Bauformen mit vertikalen Wellen möglich. (Ausnahme: IEC-Adapter bei bestimmten Größen) Bei diesen Bauformen erhalten die Getriebe besondere Ölfüllmengen und bei bestimmten Typen fettgeschmierte, speziell abgedichtete Lager. Es treten bei diesen Bauformen erhöhte Ölplanschverluste auf, wodurch sich die Getriebe stärker erwärmen (themische Grenzleistung beachten - siehe Seite A6). Bei senkrecht nach oben stehenden Motoren (Einbaulage M4) und Übersetzungen < 20 empfehlen wir dringend Ölausgleichsbehälter, um Ölaustritt aus dem Entlüfter zu vermeiden. Wir bitten um Anfrage, um Ihnen eine auf den jeweiligen Antriebsfall abgestimmte Lösung vorschlagen zu können.

Außenaufstellung, Einsatz in Tropen

Bei der Außenaufstellung, Aufstellung in feuchten Räumen oder Einsatz in Tropen sind besondere Abdichtungen und Maßnahmen gegen Korrosion erforderlich. Bitte diesen Einsatzfall bei der Bestellung angeben.

Besondere Umgebungsbedingungen

Besondere Umgebungsbedingungen sind z.B.:

- aggressive oder korrosive Stoffe (kontaminierte Luft, Gase, Säuren, Laugen, Salze, etc.) in der Umgebung
- sehr hohe relative Luftfeuchtigkeit oder Kontakt des Getriebemotors mit Flüssigkeit
- starker Schmutz-, Staub-, oder Sandbefall des Getriebemotors
- stärkere Luftdruckschwankungen
- Strahlungen
- extrem hohe oder tiefe Umgebungstemperaturen oder Temperaturwechsel
- Schwingungen, Beschleunigungen, Erschütterungen, Stöße oder andere anormale Umgebungsbedingungen

Liegen besondere Umgebungsbedingungen vor, auch während des Transportes oder der Lagerung vor Inbetriebnahme, sind diese schon in der Phase der Projektierung zu berücksichtigen. Wir bitten um Anfrage.

Lagerung vor Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme sind Getriebe und Getriebemotoren nur in trockenen Räumen zu lagern. Bei längerer Lagerung sind Sondermaßnahmen erforderlich. Bei Bedarf bitte „Betriebs- und Montageanleitung B1000“ anfordern, oder im Internet unter www.nord.com herunterladen.

Entlüftungen

Die Getriebe (außer SK 0182NB, SK 0282NB und SK 1382NB) haben standardmäßig eine Entlüftung,

die schädliche Luftdruckunterschiede zwischen Getriebeinnenraum und Umgebung ausgleichen. Diese Entlüftung ist bei Auslieferung verschlossen, um Ölleckagen beim Transport zu vermeiden. Vor Inbetriebnahme ist der Entlüfter durch Entfernen des Verschlussstopfens zu aktivieren. Optional sind Druckentlüftungen lieferbar.

Doppelgetriebe

Bei vier-, fünf- und sechsstufigen Doppelgetrieben gibt es aufgrund der vielen sich drehenden Teile und der relativ kleinen Antriebsleistungen relevante Leerlaufverluste. Daher wird hier bei 4-poligen Motoren bis 0,75 kW eine Leerlaufverlustleistung von ca. 40 Watt in den Tabellen berücksichtigt.

Antriebe für Belüfter, Rührwerke, Mischer und Ventilatoren

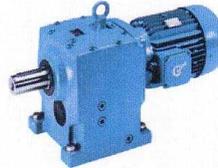
Bei Antrieben für Belüfter, Rührwerke und Mischer in Kläranlagen, in Biogasanlagen und in der Verfahrenstechnik, sowie bei Ventilatorantrieben, z.B. in Kühltürmen liegen in der Regel besonders harte Einsatzbedingungen vor:

- 24-Stunden Dauerbetrieb bei Nennabtriebsmoment bzw. Nennleistung
- große Massenträgheit am Abtrieb bei kleiner Getriebeübersetzung
- Schwingungen im Antriebsstrang sowie bei direkter Lagerung der Mischer- bzw. Ventilatorwelle im Getriebe hohe schwingende Biegemomente und Kräfte an der Abtriebswelle
- senkrechte Anordnung
- Außenaufstellung, d.h. Feuchtigkeit und aggressive Medien sowie starke Temperaturwechsel mit Kondenswasserbildung
- Hoher Umweltschutz ist gefordert, das heißt, absolute Dichtigkeit, sichere Ölwartung und geringes Geräuschniveau.

NORD hat aus Erfahrung ein Paket von Sondermaßnahmen entwickelt, um den besonderen Einsatzbedingungen gerecht zu werden. NORD empfiehlt daher dringend diese Sondermaßnahmen vorzusehen, wir bitten um Anfrage.

Bei Antrieben für Rührwerke und Mischer ist aufgrund der hohen Belastung der Betriebsfaktor f_B nicht unter 1,7 auszuwählen. Ein Betriebsfaktor f_B von über 2,0 wird empfohlen. Bei Antrieben, die mit Frequenzumformern arbeiten, ist Sorge zu tragen, dass keine regelungsbedingten Schwingungen angeregt werden, z.B. durch eine Schlupfkompensation. Außerdem ist bei Frequenzumrichtern zu beachten, dass sich bei einer möglichen Drehzahlerhöhung die durchgesetzte Leistung mit der dritten Potenz erhöht. Der Betriebsfaktor f_B ist daher immer auf die maximale Drehzahl zu beziehen.

Technische Erläuterungen



Baugrößen

1-stufig	2-stufig	3-stufig	4-stufig	5-stufig Doppelgetriebe	6-stufig
	SK 02	SK 03			
SK 11 E	SK 12	SK 13	SK 12/02		
SK 21 E	SK 22	SK 23	SK 22/02		
SK 31 E	SK 32	SK 33 N	SK 32/12		
SK 41 E	SK 42	SK 43	SK 42/12		
SK 51 E	SK 52	SK 53	SK 52/12		
	SK 62	SK 63		SK 63/22	SK 63/23
	SK 72	SK 73		SK 73/22, SK 73/32	SK 73/23
	SK 82	SK 83		SK 83/32, SK 83/42	SK 83/33 N
	SK 92	SK 93		SK 93/42, SK 93/52	SK 93/43
	SK 102	SK 103		SK 103/52	SK 103/53

Bestellbeispiele:

SK 31 E - 71 S/4

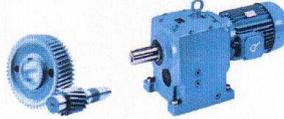
4-polig
Drehstrommotor 71S
Stirnradgetriebe, 1-stufig

SK 52 F - W

freie Antriebswelle
Gehäuse in Flanschausführung B5
Stirnradgetriebe, 2-stufig

SK 93/42 VL - IEC 100

IEC-Adapter für Motorbaugröße 100
verstärkte Abtriebswellenlagerung
Stirnradgetriebe, 5-stufig



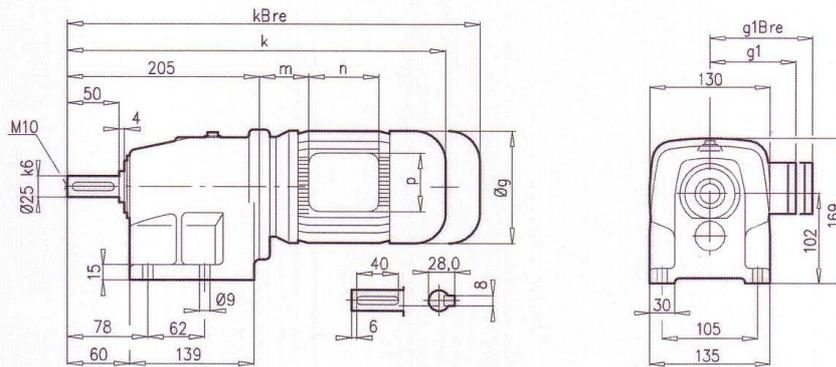
1,50 kW
2,20 kW

P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	F _R [kN]	F _A [kN]	F _{R VL} [kN]	F _{A VL} [kN]		kg	mm				
1,50	66	217	0,8	21,28	-	-	4,6	5,5	SK 12 - 90L/4	24	B68				
	74	194	0,8	18,79	-	-	4,7	5,5							
	83	173	0,9	16,73	-	-	4,8	5,4							
	104	138	1,1	13,39	0,5	3,9	4,9	5,3							
	130	110	1,2	10,70	1,5	3,9	5,0	5,2							
	145	99	1,4	9,65	1,6	3,8	5,0	5,0							
	178	80	1,6	7,85	1,9	3,6	5,0	4,8							
	192	75	1,7	7,28	2,1	3,5	5,0	4,8							
	214	67	1,9	6,53	2,0	3,4	5,1	4,6							
	241	59	2,1	5,79	1,9	3,3	5,1	4,5							
	283	51	2,3	4,93	1,9	3,2	5,1	4,4							
	311	46	2,4	4,49	1,8	3,0	5,1	4,2							
	323	44	2,5	4,32	1,8	3,1	5,1	4,3							
	351	41	2,5	3,98	1,8	2,9	5,1	4,1							
	412	35	2,6	3,39	1,7	2,8	5,1	4,0							
	471	30	2,7	2,96	1,6	2,7	5,1	3,9							
	2,20	179	80	0,8	7,80	0,4	2,8	2,4				3,3	SK 02 - 90L/4	22	B66
		202	71	0,9	6,89	0,8	2,8	2,4				3,3			
		250	57	1,0	5,57	1,3	2,7	2,3				3,2			
289		50	1,1	4,82	1,2	2,5	2,2	3,1							
359		40	1,3	3,89	1,5	2,4	2,1	3,0							
413		35	1,5	3,38	1,5	2,4	2,1	2,9							
473		30	1,5	2,95	1,4	2,3	2,0	2,8							
515		28	2,3	2,71	-	4,1	-	-	SK 21E - 90L/4	26	B62				
576		25	2,4	2,42	-	3,9	-	-							
493		29	1,9	2,83	-	3,0	-	-	SK 11E - 90L/4	20	B61				
601		24	2,0	2,32	-	2,8	-	-							
684		21	2,4	2,04	-	2,7	-	-							
771		19	2,5	1,81	-	2,6	-	-							
2,20		1,0	21010	1,0	1412,72	89,4	120,0	120,0	120,0	SK 103/52 - 100L/4	807	B89			
		1,3	16162	1,2	1148,61	94,9	120,0	120,0	120,0						
		1,5	14007	1,4	943,57	96,9	120,0	120,0	120,0						
		1,8	11672	1,7	816,55	98,6	120,0	120,0	120,0						
		2,2	9550	2,1	642,31	99,9	120,0	120,0	120,0						
		3,1	6777	3,0	467,81	101,2	120,0	120,0	120,0						
	1,3	16162	0,8	1091,47	51,0	80,0	82,9	80,0	SK 93/42 - 100L/4				559	B89	
	1,8	11672	1,0	813,46	59,1	80,0	88,1	80,0							
	1,9	11058	1,1	756,82	59,9	80,0	88,7	80,0							
	2,6	8081	1,5	548,76	63,2	80,0	91,0	80,0							
	3,1	6777	1,8	457,30	64,3	80,0	91,7	80,0							
	4,3	4886	2,5	333,02	65,5	80,0	92,6	80,0							
	5,0	4202	2,9	287,83	65,8	79,8	92,8	80,0							
	2,0	10505	0,8	724,73	30,1	51,1	53,3	65,0							SK 83/32 - 100L/4
	2,7	7781	1,0	525,40	37,8	50,6	58,0	65,0							
	3,3	6367	1,3	437,84	40,5	49,6	59,8	65,0							
	3,8	5529	1,4	374,99	41,7	48,7	60,6	65,0							
	5,2	4040	2,0	275,58	43,5	46,4	61,9	65,0							
	6,1	3444	2,3	235,92	44,0	45,1	62,2	65,0							
7,2	2918	2,7	200,37	44,4	43,6	62,5	65,0								
6,6	3183	2,8	216,61	44,2	44,4	62,4	65,0	SK 83 - 100L/4	335	B83					
4,2	5002	1,0	345,90	22,1	23,6	36,0	50,0								
5,2	4040	1,2	279,33	24,4	23,7	37,5	50,0	SK 73/22 - 100L/4	247	B88					
6,4	3283	1,5	226,73	25,8	23,4	38,4	50,0								
6,4	3283	1,5	226,73	25,8	23,4	38,4	50,0	SK 73/32 - 100L/4	258	B88					

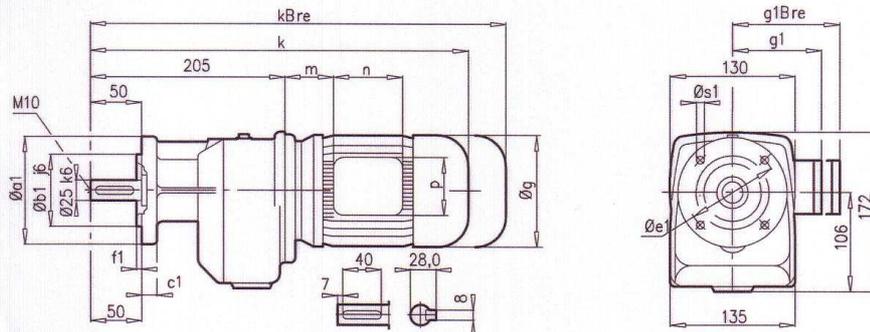
SK 12
SK 12F



SK12



SK12F



a1	b1	c1	e1	f1	s1
120	80	10	100	3,0	7
140	95	10	115	3,0	9
160	110	10	130	3,5	9

± A45	63 S/L	71 S/L	80 S/L	90 S/L	100 L	112 M	
g	130	145	165	183	201	228	
g1 / g1Bre	115 / 123	124 / 133	142 / 142	147 / 147	169 / 172	179 / 182	
k / kBre	401 / 457	441 / 499	466 / 530	507 / 582	537 / 628	560 / 653	
m / mBre	16 / 23	42 / 44	47 / 51	52 / 56	58 / 62	74 / 78	
n / nBre	100 / 134	100 / 134	114 / 153	114 / 153	114 / 153	114 / 153	
p / pBre	100 / 89	100 / 89	114 / 108	144 / 108	144 / 108	144 / 108	



G2 Bohrmolchalternativen

- **B.u.G. Bohr- und Gesteinswerkzeuge GmbH [16]**



Abbildung 1 Bohrkronen mit Gewindeanschluss besetzt mit HM-Flachzähnen oder Rundschaftmeißeln, Ausführung mit oder ohne Pilotspitze



Abbildung 2 Dreiflügelmeißel mit verschiedenen Anschlüssen

- **KaRo Rohrreinigungstechnik [17]**

KaRo Frästulpe



Anwendung:

Beseitigung von Verstopfungen allgemein, Entfernung von Inkrustierungen (wie gehärteten Fetten, Kalk, Urinstein) und Fremdkörpern; zum Fräsen

Einsatzbereich:

für KaRo-Trommelspiralen mit Stärke 13+16 mm und eckiger Kupplung; für Leitungen von NW 50 bis 125 in Haus (Küche, Bad, Dusche, WC, Haustechnik) und Industrie.

- **Sandvik [19]**

Small hole drilling

H22 Reaming tools

Pilot rod, Hex 22, 6° taper	Dimensions D					Part No.
	L	D				
	mm	ft	in	mm	in	
800	2'	7 1/2"	26	1 1/32"	7922-6108-11	
1200	3'	11 3/4"	26	1 1/32"	7922-6112-11	
2000	6'	6 3/4"	26	1 1/32"	7922-6120-11	
2500	8'	2 1/2"	26	1 1/32"	7922-6124-11	

H22 Reaming

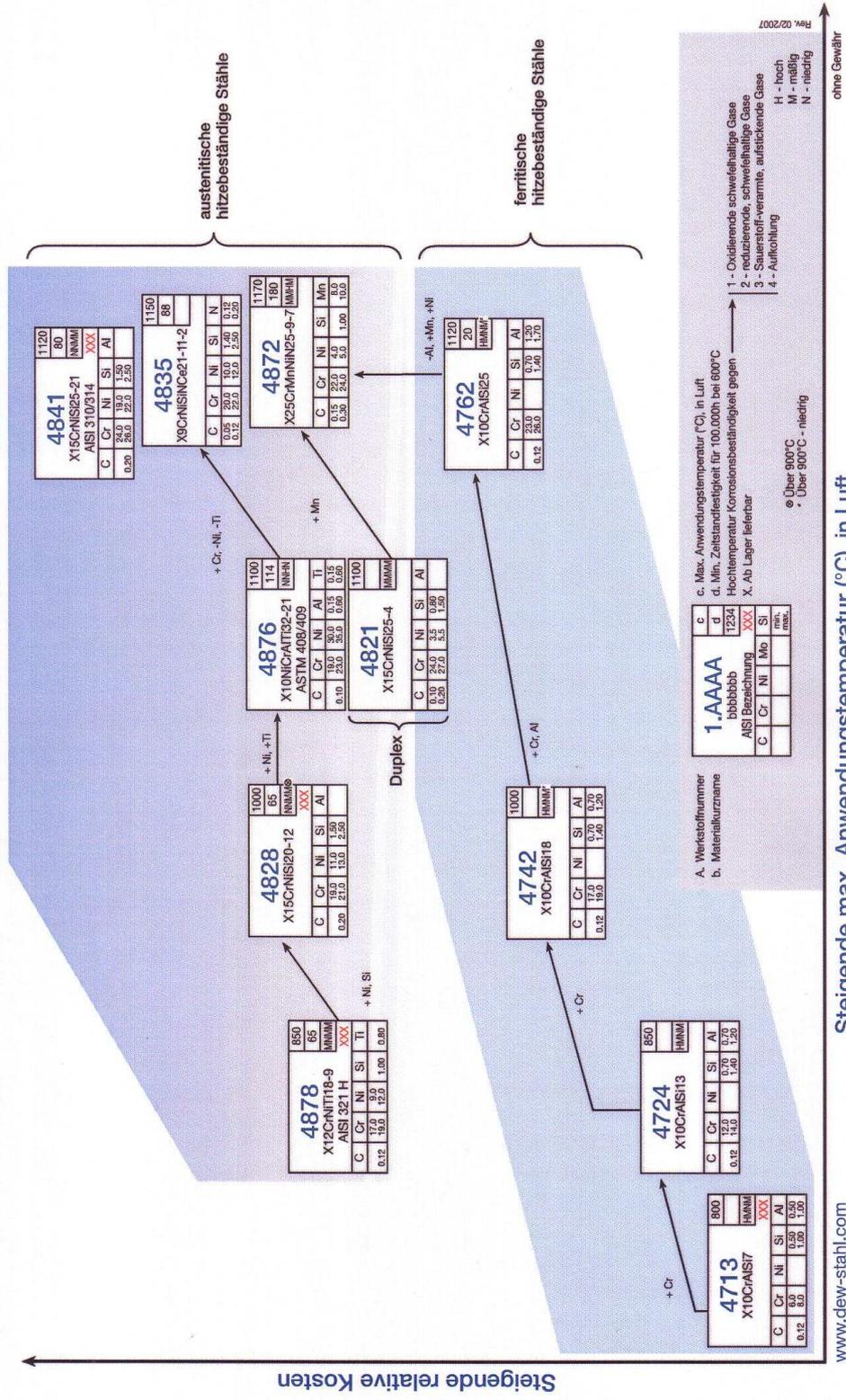
Reaming tools for cut holes / Reaming bit, 6° taper	Buttons, mm		Angle	Dimensions D		Part No.
	Front No Size	Gauge No Size		mm	in	
	4x8	8x9	25°	64	2 1/2"	7722-4864-S45
	4x10	8x10	30°	76	3"	7722-4876-S45
	6x10	8x10	30°	89	3 1/2"	7722-4889-S45

G3 Werkstoffdaten



DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions

Schematischer „Stammbaum“
der hitzebeständigen Stähle





SCHENK STAHL GmbH

1.4821

Werkstoff-Nr.	AISI	DIN / DIN EN	UNS	SS	AFNOR	BS	PN
1.4821	TP 327	X15CrNiSi25-4	S 44600	2322	Z 20 CNS 25.04	-	H26N4

Chemische Analyse

C %	Si %	Mn ≤ %	P ≤ %	S ≤ %	N %	Cr %	Ni %
0,1-0,2	0,8-1,5	2,0	0,04	0,03	-	24,0-27,0	3,5-5,5

Zunderbeständigkeit in Luft:

1.100° C

Beschreibung

Der Werkstoff 1.4821 ist ein hitzebeständiger ferritisch-austenitischer Stahl, der in oxidierenden schwefelhaltigen, insbesondere aber in reduzierenden schwefelhaltigen Gasen, bessere Beständigkeit aufweist, als die hitzebeständigen austenitischen Chrom-Nickel-Stähle.

Unser Lieferumfang in 1.4821 umfasst Rohre, Stabstahl, Bleche, Fittings und Flanschen.

Anwendungsgebiete

Distanzrohre in der Gipsindustrie, Anlagen- und Apparatebau, Öfen und Brennkammern

(Alle Angaben dienen der Orientierung und sind entsprechend des Einsatzgebietes zu überprüfen.)

Bei weiterem Informationsbedarf kontaktieren

Sie bitte unsere technische Beratung unter:

Tel: +49 2131 23037

Fax: +49 2131 23035

E-Mail: info@schenk-stahl.de

G4 Linear-Kugellager-Einheit



Linear-Kugellager-Einheiten KGSNG40-PP-AS (Baureihe KGSNG..-PP-AS)

mit selbsteinstellendem Linear-Kugellager, abgedichtet,
befettet, nachschmierbar

Das vorliegende Datenblatt ist nur eine Übersicht über Maße und Tragzahlen zum gewählten Produkt. Bitte beachten Sie unbedingt alle Hinweise in diesen Übersichtsseiten. Weiterführende Informationen finden Sie für viele Produkte unter dem Menüpunkt "Beschreibung". Außerdem können Sie umfangreiches Informationsmaterial auch über die Katalogbestellung (<http://www.ina.de/content.ina.de/de/services/mediathek/library/library.jsp>) oder Telefon +49 (91 32) 82 - 28 97 bestellen.

Fw	40 mm
B	108 mm
L	80 mm
H	90 mm
	8 Anzahl der Kugelreihen
1)	Hauptlastrichtung
A5	54 mm Toleranz: +/-0,01
B1	76 mm
G2	M12
H2	45 mm Toleranz: +0,008 / -0,016
H4	57,6 mm
H5	11,7 mm
H6	44 mm
JB	86 mm Toleranz: +/-0,15
JL	58 mm Toleranz: +/-0,15 Maß JL symmetrisch zur Lagerlänge L.
K5	M10 für Befestigungsschrauben ISO 4762-8.8 Schrauben sichern, besonders wenn Vorspannungsverluste auftreten können.
K8	NIP5MZ Schmiernippel Schmierbohrung symmetrisch zur Lagerlänge L.
N1	10,5 mm
N3	18 mm
N4	8 mm Zentrierung für Stiftbohrung

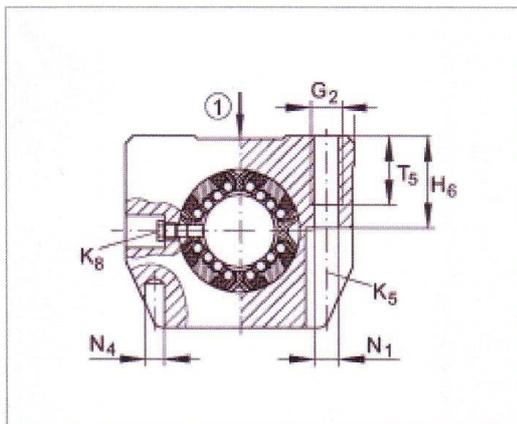
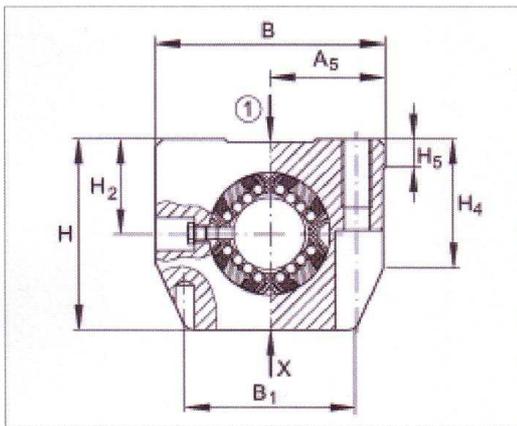
2011-07-13 15:30

1

SCHAEFFLER GRUPPE



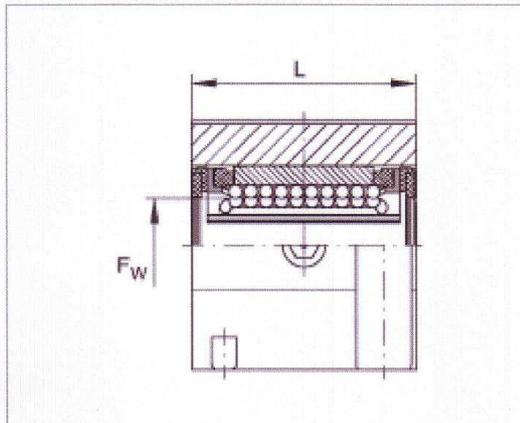
T ₅	26 mm
m	1300 g Masse
	Tragzahlen in Haupttastrichtung Die Tragzahlen gelten nur bei gehärteten (670+170 HV) und geschliffenen Wellenlaufbahnen.
C _{max}	10200 N dynamische Tragzahl
C ₀ max	9600 N statische Tragzahl



2011-07-13 15:30

2

SCHAEFFLER GRUPPE



G5 Axialkupplung

L_T_1/06

► **Loewe® GK** ► **Torque**
Die axial belastbare
Ausgleichskupplung



Baureihen der Loewe® GK



Torque
Die axial belastbare
Ausgleichskupplung
Bis Wellendurchmesser 50 mm
Nenn Drehmoment bis 220 Nm



Linear
Zur Übertragung reiner
Axialkräfte
Bis Wellendurchmesser 50 mm
Bis Gewindegröße M27
Maximalhubkräfte 13.000 N

Loewe® GK

Loewe® Gelenkkupplung: winkliger und radialer
Verlagerungsausgleich verbunden mit axialer Steifigkeit.
Die kompakte Kupplung kombiniert Winkel- und
Radialverlagerungen mit gleichzeitiger Aufnahme hoher
axialer Zug- und Druckkräfte ohne Längenänderung.
Ebenfalls prädestiniert zur präzisen Weitergabe linearer
Stellbewegungen.

Torque

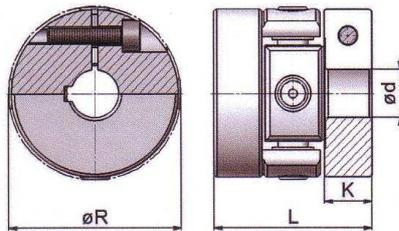
Die Kupplungsbaureihe für Anwendungen, bei denen
die Kupplung einerseits ein Drehmoment übertragen
muss, zusätzlich aber noch von axialen Zug- und
Druckkräften belastet werden kann oder gar zusätzlich
axiale Führungsaufgaben übernehmen muss. Auf
Grund ihrer kinematischen Eigenschaften bietet sie eine
großzügige Winkel- und Radialverlagerungskapazität.

SCHMIDT-KUPPLUNG 
GmbH

Fon +49 5331 9552-500 · Fax +49 5331 9552-552
www.schmidt-kupplung.com · info@schmidt-kupplung.com

L_T_1/06

► Loewe® GK ► Torque
Die axial belastbare
Ausgleichskupplung



	ØR (mm)	L (mm)	Ød _{max} (mm)	K (mm)	m (kg)	T _{rot} (Nm)	TK _{max} (Nm)	ΔK _c (mm)	ΔK _v (°)	n _{max} (1/min)
GK 27	33	36	11	10,5	0,05	4	9	1	3	4.000
GK 35	41	37	16	12,5	0,09	7	15	1,5	3	3.500
GK 56	61	53	30	15	0,3	33	95	2	3	2.500
GK 75	84	83	40	25	0,8	90	240	2	3	2.500
GK 100	109	97	50	27,5	1,8	220	550	2,5	3	1.500

Bestellbeispiel 1: GK 27 Ø6 Ø8 Bestellbeispiel 2: GK 56 Ø20 Ø20N

GK 56	Ø20 Ø20N
Typ Loewe® GK Torque GK 56	Bohrungsdurchmesser

Zum genauen Auswahlablauf und korrekten Dimensionierung der Loewe® GK benutzen Sie bitte den Auswahlablauf/Legende unter www.schmidt-kupplung.com unter der Rubrik Loewe® GK oder laden Sie sich bitte unter dem Punkt „Auswahlablauf/Legende downloaden“ das entsprechende Datenblatt herunter.

SCHMIDT-KUPPLUNG 
GmbH

Fon +49 5331 9552-500 · Fax +49 5331 9552-552
www.schmidt-kupplung.com · info@schmidt-kupplung.com

L_AL_1/06

► **Loewe® GK**
Auswahl Ablauf und Legende

Die Lebensdauer der Kupplung wird durch die vorhandenen Belastungen und Verlagerungen bestimmt. Die Einflüsse von Drehmoment und Verlagerung werden im Folgenden beschrieben.

1. Das Spitzenmoment $T_{K\max}$ darf im Betrieb nicht überschritten werden. Das Dimensionierungsmoment ergibt sich aus dem Nenndrehmoment an der Kupplung unter Berücksichtigung der Höhe der Verlagerungswerte. Das übertragbare Drehmoment verringert sich bei steigender Drehzahl oder steigendem Versatz.
2. Der Radialversatz K_r darf in keinem Fall überschritten werden. Bei gleichbleibendem Drehmoment führen ansteigende Versatzwerte zu einer erhöhten Linearbewegung in den Lagern und folglich zu vergrößertem Verschleiß. Wählen Sie gegebenfalls eine größere Kupplung mit einer höheren Drehmomentübertragungskapazität aus.
3. Der Winkelversatz K_w darf in keinem Fall überschritten werden. Bei gleichbleibendem Drehmoment führen ansteigende Versatzwerte zu einer erhöhten Schwenkbewegung in den Lagern und folglich zu vergrößertem Verschleiß. Wählen Sie gegebenenfalls eine größere Kupplung mit einer höheren Drehmomentübertragungskapazität aus.

Legende

Leistung

T_{KN}	Nenndrehmoment (Nm)
$T_{K\max}$	Spitzenmoment (Nm)
F_a	maximale Axiallast (N)
n_{\max}	maximal zulässige Drehzahl (1/min)
ΔK_r	maximal zulässiger Radialversatz (mm)
ΔK_s	maximal zulässiger Axialversatz (mm)
ΔK_w	maximal zulässiger Winkelversatz (°)

Abmessungen

$\varnothing R$	Raumbedarf der Kupplung (mm)
L	Kupplungslänge (mm)
K	Klemmnabenlänge (mm)
$\varnothing d_{\max}$	maximale Bohrung (mm)
$\varnothing d_{\min}$	minimale Bohrung (mm)
m	Gewicht (kg)

SCHMIDT-KUPPLUNG 
GmbH

Fon +49 5331 9552-500 · Fax +49 5331 9552-552
www.schmidt-kupplung.com · info@schmidt-kupplung.com

G6 Profilschienenführungen



Kugelumlaufeinheiten KUVE35-WL (Baureihe KUVE..-WL)

breiter, langer Führungswagen, vierreihig; rostgeschützte Ausführung möglich

Das vorliegende Datenblatt ist nur eine Übersicht über Maße und Tragzahlen zum gewählten Produkt. Bitte beachten Sie unbedingt alle Hinweise in diesen Übersichtsseiten. Weiterführende Informationen finden Sie für viele Produkte unter dem Menüpunkt "Beschreibung". Außerdem können Sie umfangreiches Informationsmaterial auch über die Katalogbestellung (<http://www.ina.de/content/ina.de/de/services/mediathek/library/library.jsp>) oder Telefon +49 (91 32) 82 - 28 97 bestellen.

H	50 mm
B	162 mm
L	140,2 mm
1)	Anschlagseite
2)	Beschriftung
3)	Schmiemoppel mit Kegelpfopf nach DIN 71 412-B M6 liegt lose bei
A ₁	36 mm
A ₂	9 mm
A ₃	14,3 mm
a _s	15 mm
AL ₁	19 mm
aL _{max}	71 mm a L und a R sind von der Länge l max der Führungsschiene abhängig
aL _{min}	20 mm a L und a R sind von der Länge l max der Führungsschiene abhängig
aR _{max}	71 mm a L und a R sind von der Länge l max der Führungsschiene abhängig
aR _{min}	20 mm a L und a R sind von der Länge l max der Führungsschiene abhängig
b	90 mm Toleranz: -0,005 / -0,03
G ₂	M10 für Schrauben DIN ISO 4762-12.9 Anziehdrehmoment max. Nm: M5 = 5,8 M6 = 10 M8 = 24 M10 = 41 M12 = 83

2011-09-02 13:22

1

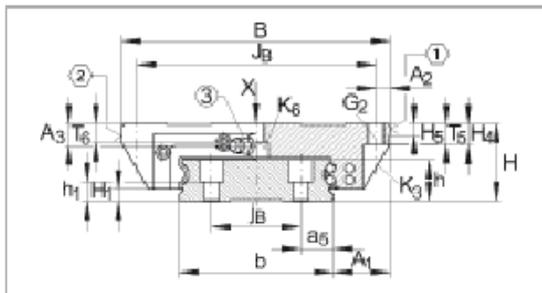
SCHAEFFLER GRUPPE

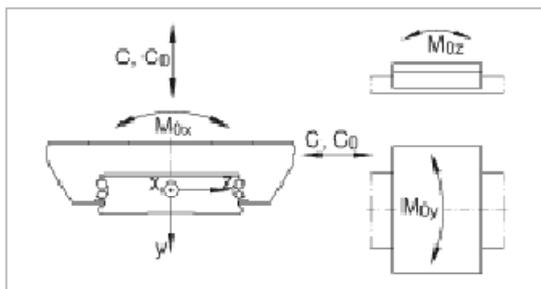
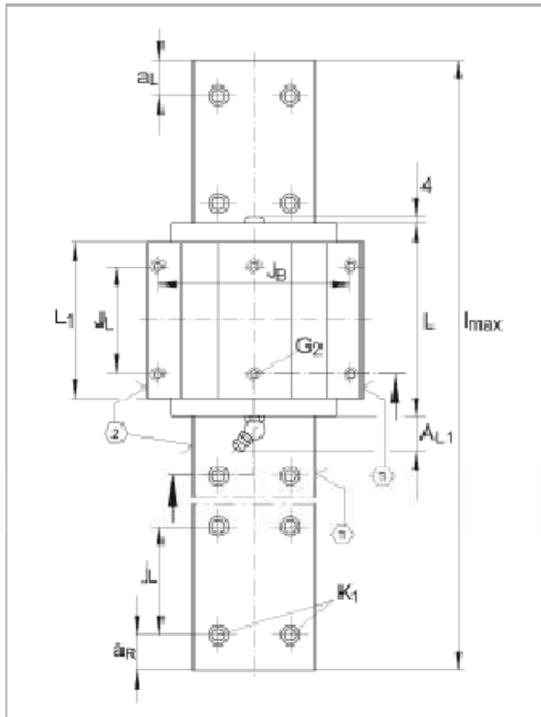


	M14 = 140
	Schrauben sichern, besonders wenn Vorspannungsverluste durch Setzen auftreten können.
h	27 mm
H1	6,8 mm
h1	15 mm
H4	16,3 mm
H6	6,5 mm
J8	144 mm
j8	60 mm
JL	80 mm
jL	80 mm
K1	M8 für Schrauben DIN ISO 4762-12.9 Anziehdrehmoment max. Nm: M3 = 2,5 M4 = 5 M5 = 10 M6 = 17 M8 = 41 M10 = 83 M12 = 140 M14 = 220 M16 = 340 Schrauben sichern, besonders wenn Vorspannungsverluste durch Setzen auftreten können
K3	M8 für Schrauben DIN ISO 4762-12.9 Anziehdrehmoment max. Nm: M3 = 2,5 M4 = 5 M5 = 10 M6 = 17 M8 = 41 M10 = 83 M12 = 140 M14 = 220 M16 = 340 Schrauben sichern, besonders wenn Vorspannungsverluste durch Setzen auftreten können
K6	M8 für Schrauben DIN ISO 4762-12.9 Anziehdrehmoment max. Nm: M3 = 2,5 M4 = 5 M5 = 10 M6 = 17 M8 = 41 M10 = 83 M12 = 140 M14 = 220



	M16 = 340	Schrauben sichern, besonders wenn Vorspannungsverluste durch Setzen auftreten können
L1	109,8 mm	
l _{max}	2960 mm	Maximale Länge einteiliger Führungsschienen; längere Schienen werden mehrteilig geliefert und entsprechend gekennzeichnet. Max. einteilige Schienenlänge von 6 m auf Anfrage.
T ₅	13 mm	
T ₆	13 mm	bei Befestigung von oben: max. Einschraubtiefe für mittige Gewindebohrungen T ₆ + 2,5 mm
mw	4,11 kg	Masse des Führungswagens
ms	17,4 kg/m	Masse der Führungsschiene Berechnung der Tragzahl nach DIN 636, Erhöhung der dynamischen Tragzahl aus praktischer Erfahrung möglich.
C	47500 N	dynamische Tragzahl
C ₀	100000 N	statische Tragzahl
M _{0x}	5550 Nm	statisches Moment um X-Achse
M _{0y}	1890 Nm	statisches Moment um Y-Achse
M _{0z}	1890 Nm	statisches Moment um Z-Achse





G7 Hydraulik-Teleskopzylinder

HYDRAULIKZYLINDER

Teleskopzylinder

TYP TC
Teleskopzylinder 5/6-stufig

ORDER CODE : TC908
FROM TC4050: TC912

Technische Information Diese Teleskopzylinder werden seit 1970 nach erprobtem Konzept gefertigt. Ein besonderes Nitrilverfahren garantiert hervorragende Laufeigenschaften und Korrosionsbeständigkeit.

Abdichtung Dichtungen und Abstreifer aus Polyurethan, für Druckspitzen bis 400 bar und Laufgeschwindigkeiten bis max. 0,5 m/s

Material Basismaterial ST52, nach DIN 1629, nahtlos gezogen, Kugelpfanne und Zylinderboden aus ST52, geschmiedet, Stufen mit Tenifer (TF1) behandelt, Oberflächenhärte HV5/12 = 500/550, Oberflächenrauheit der Stufen 0,10 - 0,25 µm

Anschluss Der Standard Gewindeanschluss (G = 1/2") kann durch folgende Verschraubungen ersetzt werden:
 Best.-Nr.:TC9M1812L auf 12L Außengewinde
 Best.-Nr.:TC9M1815L auf 15L Außengewinde
 Best.-Nr.:TC9M1818L auf 18L Außengewinde
 Der Standard Gewindeanschluss (G = 3/4") kann durch folgende Verschraubungen ersetzt werden:
 Best.-Nr.:TC9M2215L auf 15L Außengewinde
 Best.-Nr.:TC9M2218L auf 18L Außengewinde

Leichte Serie

Hub (mm)	46	61	76	91	107	126	A (mm)	B (mm)	C (mm)	C1 (mm)	D (mm)	F (mm)	G (BSP) (mm)	H (mm)	100 bar to (bar)	P max. (bar)	Best. Nr. Kardanring	Inhalt (l) Netto	Best. Nr. Dichtsatz	Best. Nr.
700							150	40	40	150	124	151	1/2"	45	5	160	TC9-3-124	3,5	TC93050	TC 3050
1000							175	45	45	165	152	207	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	7,5	TC93051	TC 3051
1250							175	45	45	165	152	257	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	9,0	TC93051	TC 3052
1500							175	45	45	165	152	307	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	11,0	TC93051	TC 3053
1850							175	45	45	165	152	382	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	13,5	TC93051	TC 3054
2150							175	45	45	165	152	437	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	15,5	TC93051	TC 3055
2500							175	45	45	165	152	507	1/2"	55	9	160	TC9-4-152	18,0	TC93051	TC 3056

Schwere Serie

Hub (mm)	68	88	107	126	145	165	A (mm)	B (mm)	C (mm)	C1 (mm)	D (mm)	F (mm)	G (BSP) (mm)	H (mm)	100 bar to (bar)	P max. (bar)	Best. Nr. Kardanring	Inhalt (l) Netto	Best. Nr. Dichtsatz	Best. Nr.
1900							210	45	50	245	170	315	3/4"	65	12	180	TC9-5-170	18,2	TC94050	TC 4050
2150							210	45	50	245	170	365	3/4"	65	12	180	TC9-5-170	20,6	TC94050	TC 4051
2500							210	45	50	245	170	435	3/4"	65	12	180	TC9-5-170	24,0	TC94050	TC 5002
2150							230	45	50	245	190	370	3/4"	65	12	180	TC9-6-190	28,2	TC95010	TC 4052
2450							230	45	50	245	190	440	3/4"	65	12	180	TC9-6-190	32,8	TC95010	TC 4053
3500							230	45	50	245	190	637	3/4"	65	14	180	TC9-6-190	46,0	TC95010	TC 5010
1860							230	45	50	248	190	247	3/4"	65	14	180	TC9-6-190	21,5	TC94059	TC 4059
2250							230	45	50	248	190	317	3/4"	65	14	180	TC9-6-190	25,9	TC94059	TC 4060
2560							230	45	50	248	190	367	3/4"	65	14	180	TC9-6-190	29,4	TC94059	TC 4061
3000							230	45	50	248	190	437	3/4"	65	14	180	TC9-6-190	34,6	TC94059	TC 4062

Aufgeführte Original-Ersatzteilnummern dienen ausschließlich zu Vergleichszwecken!

988

www.kramp.com

01/2005

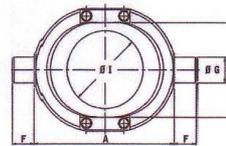
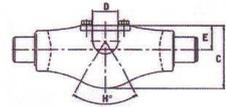
HYDRAULIKZYLINDER



Teleskopzylinder

TYP TC9

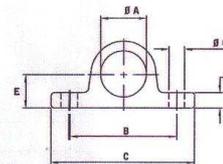
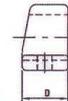
Kardanringe für Teleskopzylinder



A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H	I (mm)	Gewicht (kg)	Bestellnummer
200	120	77	35	25	35	35	65°	95	5	TC 9-195
230	135	97	35	28	40	40	75°	112	8	TC 9-2112
230	155	107	40	31	40	40	65°	124	8	TC 9-3124
280	185	120	45	48	40	50	60°	150	13,5	TC 9-4152
310	215	165	50	55	50	50	60°	170	18,5	TC 9-5170
400	240	205	50	70	50	50	72°	190	28	TC 9-6190

TYP TC9

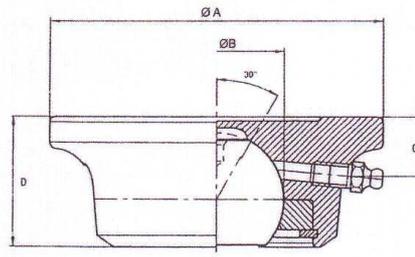
Lagerböcke für Teleskopzylinder



Typ	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	Gewicht (kg)	Bestellnummer
ø 35	35,5	95	130	45	30	12	13	1	TC 9-035
ø 40	40,5	105	140	45	33	15	15	1,2	TC 9-040
ø 45	45,5	105	140	45	33	15	15	1,2	TC 9-045
ø 50	50,5	120	155	50	37	17	15	1,5	TC 9-050

TYP TC9..A

Kugelpfanne, rund ohne Kugel



Material: Geschmiedet aus ST-52

Typ	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	max. Belastbarkeit	Bestellnummer
ø 45	ø 112	ø 45	20	44	11 to	TC 9-45A
ø 55	ø 95	ø 55	24,5	55	15 to	TC 9-55A
ø 65	ø 108	ø 65	28	58	23 to	TC 9-65A

01/2005

Aufgeführte Original-Ersatzteilnummern dienen ausschließlich zu Vergleichszwecken!

989

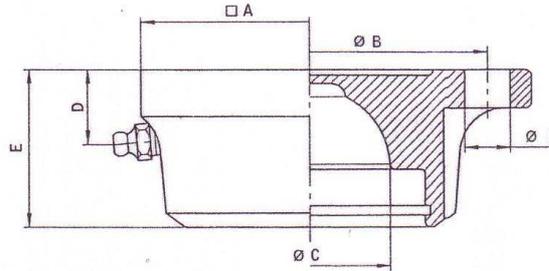
www.kramp.com

K HYDRAULIKZYLINDER

Teleskopzylinder

TYP TC9..B

Kugelfanne, vierkant ohne Kugel

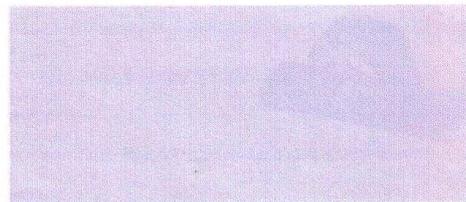


Material Geschmiedet aus ST-52

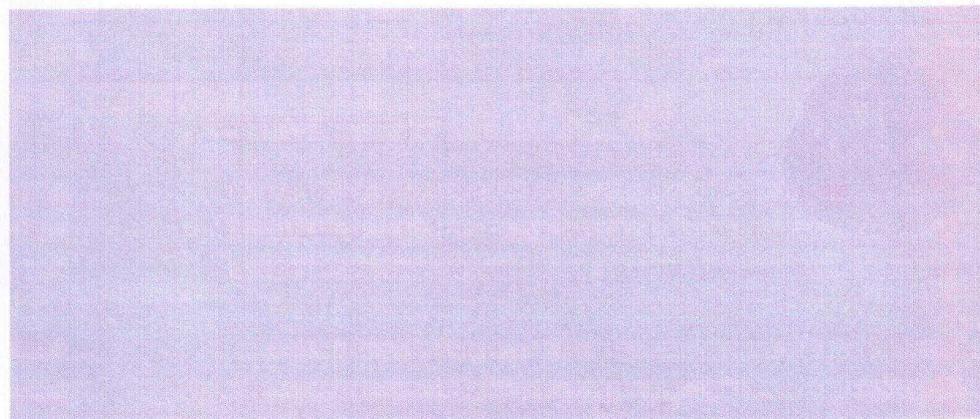
Typ	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	max. Belastbarkeit	Bestellnummer
ø 45	95 x 95	ø 100	ø 45	21	44	13	11 to	TC 9-45B
ø 55	125 x 125	ø 125	ø 55	26	55	14,5	15 to	TC 9-55B
ø 65	140 x 140	ø 150	ø 65	29	58	14,5	23 to	TC 9-65B

TYP TC9

Kugel für Kugelfanne



Katalog Umschreibung	Bestellnummer
Kugelkopf 45mm	TC 9-45
Kugelkopf 55mm	TC 9-55
Kugelkopf 65mm	TC 9-65



Aufgeführte Original-Ersatzteilnummern dienen ausschließlich zu Vergleichszwecken!

01/2005

990

www.kramp.com

H Zeichnungen