

# Konzeptplanung einer Schachtförderanlage mit 175 t Nutzlast

**BGE TEC 2025-25**

# Konzeptplanung einer Schachtförderanlage mit 175 t Nutzlast

## **BGE TEC 2025-25**

Autor(en) David Seidel  
Niklas Bertrams

Datum 05.12.2025

Auftraggeber Bundesgesellschaft für Endlagerung

DOI 10.61046/BGE2026TECKP1

---

**Inhaltsverzeichnis**

Tabellenverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	viii
Verzeichnis der Formelzeichen und Einheiten	ix
1 Einleitung	1
2 Auslegungsgrundlage der Nutzlast	3
3 Anforderungen an die Schachtfördertechnik	4
3.1 Sicherheitsanforderungen an Schächte	4
3.2 Regulatorische Anforderungen als Auslegungsgrundlage	5
4 Konzept der Schachtförderanlage für eine Nutzlast von 175 t	6
4.1 Überblick	6
4.2 Fördermittel und Gegengewicht	8
4.2.1 Förderkorb	8
4.2.2 Gegengewicht	10
4.3 Spurlatten	11
4.4 Förder- und Unterseile	11
4.5 Fördermaschine	12
4.5.1 Treibscheibe	13
4.5.2 Förderantrieb und Lager	14
4.5.3 Brems-, Steuer- und Sicherheitssysteme	16
4.6 Förderturm und Führungsgerüst	19
4.7 Rasenhängebank	23
4.8 Füllort	26
4.9 Übertreibsicherung	28
4.10 Hilfsfahranlage	30
4.11 Schachtscheibe	31
5 Zusammenfassung des Förderablaufs	32
6 Betriebliche Sicherheitsanalysen	35

---

6.1	DEAB-Demonstrationstest	35
6.2	Sicherheitsanalyse und Schlussfolgerung	36
6.2.1	Beladevorgang des Förderkorbs an den Schachtstationen	36
6.2.2	Schachttransport	37
7	Literaturverzeichnis	40
	Anhang 1: Vorläufige Sicherheitsbetrachtung des Einlagerungsablaufes	41
	Anhang 2: Auslegungsrechnung	50
	Anhang 3: Datenblatt Förderseile	63
	Anhang 4: Datenblatt Motor	65
	Anhang 5: Getriebe (Datenblattauszug)	67
	Anhang 6: Datenblatt Bremsen	71

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Auslegungsparameter des Fördersystem	13
Tabelle 2:	Betriebsgeschwindigkeit der Komponenten	34
Tabelle 3:	Zeitabschätzung für einen vollständigen Förderzyklus	34
Tabelle 4:	Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten auf Basis von Unfallstatistiken bestehender Fördersysteme (GRS 1989; DBE 1993)	39

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	CASTOR® V/19 (Gesellschaft für Nuklear-Service mbH 2023)	3
Abbildung 2:	Prinzipielle Konstruktion von Treibscheiben- und Trommelförderern	7
Abbildung 3:	3D Darstellung des Förderkorbs	9
Abbildung 4:	Tiger Dyform® 6R 6x36(W.S)	12
Abbildung 5:	Modell des Förderantriebs	15
Abbildung 6:	Bremszange – Typ SIEMAG BE 200 (s. Anhang 6)	18
Abbildung 7:	Konzeptionelles Design des Bremssystems (links) und Aufbau der Bremszange (rechts)	18
Abbildung 8:	Modell des Förderturms im DIREGT-Konzept	21
Abbildung 9:	Absetzriegel und Brandschutzklappen an der Rasenhängebank	24
Abbildung 10:	Schachtquerschnitt mit verschlossenen Brandschutzklappen	24
Abbildung 11:	Konfiguration der Sicherheitseinrichtungen an der Rasenhängebank	25
Abbildung 12:	Schachtstation mit Absetzriegel zur Sicherung der Transportplattform mit STW	26
Abbildung 13:	Modell der Schachtstation auf der Endlagersohle	28
Abbildung 14:	Beispielhafte Darstellung einer Fangvorrichtung (Reliance Barker Davies)	30
Abbildung 15:	Schematische Darstellung des Schachtquerschnittes (Hinweis: Das Gegengewicht befindet sich im oberen Bereich der Darstellung. Der beladene Förderkorb ist in der Mitte. Der Hilfsfahrkorb ist im unteren Bereich der Darstellung positioniert.)	31

## Abkürzungsverzeichnis

### Abkürzung Bedeutung

<b>BVOS</b>	Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen
<b>BGE</b>	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
<b>BGE TEC</b>	BGE TECHNOLOGY GmbH
<b>DEAB</b>	Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DIN EN</b>	Europäische Norm des Deutschen Instituts für Normung
<b>DIREGT</b>	Direkte Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern
<b>GNS</b>	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
<b>PSA</b>	Probabilistische Sicherheitsanalyse
<b>SELDA</b>	Strain Energy Linear Ductile Arrestor
<b>STW</b>	Schachttransportwagen
<b>TAS</b>	Technische Anforderungen für Schacht- und Schrägförderanlagen
<b>TLB</b>	Transport- und Lagerbehälter
<b>VSG</b>	Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben

## Verzeichnis der Formelzeichen und Einheiten

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
<b>Allgemeine Lasten &amp; Gewichte</b>		
$N_{SF}$	t	Nutzlast Personenbeförderung
$N_{MAX}$	t	Maximale Nutzlast (Endlagergebinde + Abfallwagen)
$G_F$	t	Eigenlast Förderkorb (ohne Zwischenboden)
$G_R$	t	Gewicht Zwischenboden
$H_K$	t	Gewicht Schleppkabel am Fördermittel
$G_G$	t	Gewicht Gegengewicht (inkl. Geschirre)
$G_U$	t	Gewicht Unterseil (Führungskonstruktion/Spanngewichte)
$\ddot{U}_A$	t	Überlast Fall A (Personenfahrt)
$\ddot{U}_B$	t	Überlast Fall B (Maximaler Materialtransport)
$\ddot{U}_C$	t	Überlast Fall C (Leerfahrt)
<b>Seile &amp; Seilgewichte</b>		
$d$	mm	Nenndurchmesser des Förderseils
$q_{s1}$	kg/m	Gewicht des Förderseils pro Meter
$q_{s2}$	kg/m	Gewicht des Unterseils pro Meter
$Z_1$	-	Seilanzahl (Förderkorbseite)
$Z_2$	-	Seilanzahl (Unterseil)
$L_1, L_2$	m	Seillängen Korbseite (Trum, Korb)
$L_3, L_4$	m	Seillängen Gegengewichtsseite
$G_{S1}$	t	Korbseitiges Seilgewicht
$G_{S2}$	t	Gegengewichtseitiges Seilgewicht
$G_{S\ddot{U}}$	t	Seilüberlast (Differenz $G_{S1}-G_{S2}$ )
<b>Treibscheibe &amp; Reibung</b>		
$D$ (auch $dT$ )	mm / m	Treibscheibendurchmesser
$G_Z$	t	Maximales Seilgewicht auf der Förderkorbseite (für Druckberechnung)
$p$	N/cm <sup>2</sup>	Seildruck (Pressung in der Rille)
$\mu$	-	Reibungskoeffizient (Treibscheibenfutter)
$\alpha$	° / rad	Umschlingungswinkel
$\varphi_a$	-	Beschleunigungsfaktor (Treibfähigkeit)
$T_1, T_2$	-	Seilspannungen (Verhältnisrechnung Treibfähigkeit)
<b>Antrieb &amp; Motor</b>		
$v$	m/s	Fördergeschwindigkeit
$n$	min <sup>-1</sup>	Drehzahl der Treibscheibe
$M_d$	kNm	Lastmoment aus maximaler Überlast

$M_n$	kNm	Gewähltes Nenndrehmoment (Anlage)
$\eta_1$	-	Wirkungsgrad der Fördermaschine
$\eta_2$	-	Mechanischer Wirkungsgrad
$P_{\text{erf}}$	kW	Erforderliche Leistung pro Motor
$A$	$\text{m/s}^2$	Beschleunigung
$T$	s	Beschleunigungszeit
$G_1$	t	Gesamtgewicht Förderkorbtrum (dyn. Berechnung)
$G_2$	t	Gesamtgewicht Gegengewichtstrum (dyn. Berechnung)
$F_{S_o}$	kN	Erforderliche Seilspannung oben (Korbseite)
$F_{S_u}$	kN	Erforderliche Seilspannung unten (Gegengewichtsseite)
$M$	kNm	Drehmoment an der Treibscheibenwelle
$I$	-	Übersetzungsverhältnis des Getriebes (160:1)
$M_M$	Nm	Drehmoment an der Motorwelle (Gesamt)
$M_B$	Nm	Erforderliches Drehmoment pro Einzelmotor
$M_{\text{Nenn}}$	kNm	Nenndrehmoment des Getriebes
$F$	-	Sicherheitsfaktor des Getriebes

### **Bremssystem & Seilrutschen**

$Z_3$	-	Anzahl der Bremszangenpaare
$S_{\text{min}}, S_{\text{max}}$	mm	Minimaler/Maximaler Luftspalt Bremse
$F_A$	kN	Bremskraft einer Zange
$d_B$	m	Bremsscheibendurchmesser
$\mu_2$	-	Reibwert der Bremsbeläge
$\eta_3$	-	Gesamtwirkungsgrad Bremse
$i$ (Bremse)	-	Übersetzungsverhältnis bezogen auf Seilmittelachse
$F_H$	kN	Gesamtbremskraft (Haltewirkung)
$v_H$	-	Bremssicherheit (Verhältnis Bremskraft zu Überlast)
$G_{\text{Sch}}$	t	Masse der Umlenkrolle
$a_1, a_2, a_3$	$\text{m/s}^2$	Beschleunigungen beim Seilrutschen (Grenzwerte)

## 1 Einleitung

Die Bundgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat die BGE TECHNOLOGY GmbH (BGE TEC) mit der Konzeptplanung eines Schachtfördersystems beauftragt, das für den Transport von Nutzlasten bis zu 175 t geeignet ist. Die Einlagerungssohle, die der Auslegung zugrunde liegt, soll sich in 870 m Teufe befinden.

In der Vergangenheit wurde erhebliche Entwicklungsarbeit in die Technologie für den Schachttransport solcher Nutzlasten investiert. Der vorliegende Bericht fasst die bisher geleisteten Arbeiten zur Auslegung der erforderlichen Fördersysteme zusammen. Im Besonderen werden die Ergebnisse des DIREGT-Projekts (Graf et al. 2012) dargestellt. Die Abschlussberichte von DIREGT wurden nicht veröffentlicht. Ziel von DIREGT war u.a. die Entwicklung eines Fördersystems für den Schachttransport von Nutzlasten bis zu 175 t, d. h. die Förderung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) zur Einlagerung in geologische Endlager. Das inzwischen abgeschlossene DIREGT-Projekt war ein Forschungsvorhaben zur Bewertung der Machbarkeit der direkten Endlagerung bestrahlter Brennelemente in CASTOR-Typ-TLB mit einem Einzelgewicht von bis zu 160 t. Zusätzlich zum Behältergewicht wurde im Rahmen der DIREGT-Auslegung auch das Gewicht eines Schachttransportwagens (STW) von 15 t in die Gesamtlast einbezogen. Als Zielstandort wurde ein potenzielles Endlager im Salzstock Gorleben in ca. 870 m Teufe unter Geländeoberkante betrachtet. Das Projekt wurde unter der Federführung der GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) durchgeführt.

Das DIREGT-Projekt stellte eine Weiterentwicklung des früheren DEAB-Projekts dar, in dem die erforderliche Technologie und ingenieurtechnische Lösungen für den Schachttransport speziell ausgelegter Endlagerbehälter des Typs POLLUX mit einem Maximalgewicht von 65 t entwickelt wurden (Engelmann & Filbert 1994). Zusätzlich zur POLLUX-Nutzlast wurde eine weitere Last von 20 t für den DEAB-STW berücksichtigt, der für den Transport der Behälter vom Zwischenlager zum Endlager vorgesehen war.

DIREGT wurde in drei Phasen (DIREGT I, DIREGT II und DIREGT III) zwischen 2006 und 2014 durchgeführt.

- **DIREGT I** untersuchte die grundsätzliche Machbarkeit der direkten Endlagerung von TLB in einem Salzbergwerk, die grundlegenden Anforderungen an das Endlagerlayout sowie Langzeiteffekte auf die Endlagersicherheit, einschließlich Kritikalitäts- und thermomechanischer Analysen.
- **DIREGT II** konzentrierte sich auf die Identifikation und Bewertung der erforderlichen Technologien sowie die Weiterentwicklung der grundlegenden Auslegungsaspekte für die direkte Endlagerung von TLB, einschließlich Anforderungen an die Schachtfördertechnik, betriebliche Aspekte wie Betriebssicherheitsanalysen sowie die Verfeinerung der Kritikalitäts- und thermomechanischen Berechnungen.
- **DIREGT III** entwickelte ein detailliertes konzeptionelles Design der erforderlichen technischen Systeme und Technologien sowie die Bestätigung der

Genehmigungsfähigkeit der Auslegung. Betrachtet wurden vor allem das Transportsystem mit besonderem Fokus auf der Auslegung einer genehmigungsfähigen Schachtförderanlage, das Einlagerungssystem sowie die Bestätigung thermomechanischer und kritikalitätsbezogener Aspekte im Hinblick auf die Genehmigung eines potenziellen Endlagers für die direkte Endlagerung von TLB.

Der vorliegende Bericht fasst das konzeptionelle Design des im Rahmen von DIREGT entwickelten Schachtfördersystems zusammen. Das 175 t-Fördersystem stellt eine Weiterentwicklung eines etablierten 85 t-Systems dar, das im Rahmen des DEAB-Projekts Mitte der 1990er Jahre für ein potenzielles Endlager in Gorleben entwickelt und pilotiert wurde. Sowohl das DIREGT- als auch das DEAB-Konzept dienten als Grundlage für die Auslegung der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (Bollingerfehr et al. 2012; Bollingerfehr et al. 2011) integriert, die 2013 abgeschlossen wurde. Darüber hinaus wurde das DEAB-Design für eine Förderlast von 80 t im belgischen Endlagerprogramm unter Vertrag von ONDRAF/NIRAS angepasst. Diese Arbeiten wurden nicht veröffentlicht.

Insbesondere die Berechnungen in Anlage 2 beruhen auf technischen Daten, die während der Projektlaufzeit von DIREGT durch Hersteller zur Verfügung gestellt wurden. Teilweise sind die Produkte nicht mehr am Markt erhältlich. Zum Zeitpunkt dieses Berichtes werden teilweise gleichnamige Produkte mit leicht geänderten technischen Daten angeboten. Zur Nachverfolgbarkeit wurden die in DIREGT verwendeten Datenblätter in den Anhängen 3 ff. zu diesem Bericht hinzugefügt.

## 2 Auslegungsgrundlage der Nutzlast

In Deutschland werden hochradioaktive Abfälle, einschließlich bestrahlter Brennelemente, in den Zwischenlagern überwiegend in Transport- und Lagerbehältern (TLB) des Typs CASTOR gelagert, die von der GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH entwickelt und instandgehalten werden. Je nach Abfallart sind verschiedene Varianten des CASTOR-Behältersystems im Einsatz. Für die Bemessung des Fördersystems wurde zur Festlegung der maximalen Randbedingungen die größte dieser Varianten, der CASTOR® V/19, zugrunde gelegt – sowohl für die Dimensionierung des Förderkorbs und damit des Schachtdurchmessers als auch zur Ermittlung der erforderlichen Gesamtförderlast. Der CASTOR® V/19 ist in Abbildung 1 dargestellt.

Für die Auslegung wurde ein maximales Behältergewicht von 160 t angenommen. Dieses Gewicht berücksichtigt zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen im Hinblick auf die Kritikalität, die für die direkte Endlagerung von TLB erforderlich sind – insbesondere die Verfüllung von Hohlräumen, die bei der Zwischenlagerung nicht notwendig ist, jedoch für die Endlagerung angenommen wird. Zur Gesamtlast wird das Gewicht des STW mit einem angenommenen Wert von 15 t hinzugerechnet. Somit ergibt sich eine Auslegungsgrundlage für die Nutzlast von insgesamt 175 t.

Der Behälter hat laut Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (2023) eine Gesamthöhe von 594 cm (stehend) und einen Außendurchmesser von 244 cm.



Abbildung 1: CASTOR® V/19 (Gesellschaft für Nuklear-Service mbH 2023)

### 3 Anforderungen an die Schachtfördertechnik

In Gewinnungsbergwerken werden Schächte für den Transport von Rohstoffen aus dem Untergrund zur Oberfläche genutzt. Schachtfördersysteme mit einer Förderkapazität von bis zu 50 t sind im Bergbau weit verbreitet. Diese Systeme sind so ausgelegt, dass sie die verschiedenen Randbedingungen erfüllen, die sich aus den Anforderungen an die Nutzlast, den Förderweg und die Fördergeschwindigkeit ergeben. Darüber hinaus werden Aspekte wie Beschaffung, Installation und Wartung der Fördertechnik sowie betriebliche Sicherheit und Zuverlässigkeit berücksichtigt.

Ähnliche Randbedingungen gelten auch für Fördersysteme in Endlagern, jedoch mit wesentlichen Unterschieden. Endlager-Fördersysteme sind für den Transport schwerer Nutzlasten von der Oberfläche in den Untergrund konzipiert, also für den umgekehrten Betriebsmodus im Vergleich zu typischen Bergwerksförderanlagen. Die zu fördernden Nutzlasten im Endlagerkontext können zudem deutlich höher sein als die im Bergbau üblichen Lasten.

Obwohl Sicherheit auch im Gewinnungsbergbau ein zentraler Aspekt ist, sind die potenziellen sicherheitstechnischen Folgen eines Störfalls im Endlagerbetrieb besonders kritisch zu bewerten. Ein Unfall kann radiologische Auswirkungen haben, die über den eigentlichen Betriebsbereich hinausreichen – etwa durch eine unkontrollierte Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt. Daher müssen die Fördersysteme nicht nur die strengen bergbaulichen Regelwerke erfüllen, sondern voraussichtlich zusätzlichen Anforderungen aus dem Bereich der radiologischen Sicherheit genügen.

#### 3.1 Sicherheitsanforderungen an Schächte

Schächte stellen als vertikale Verbindung zwischen der Oberfläche und den untertägigen Einrichtungen zentrale Komponenten für die Betriebssicherheit eines Endlagers dar. Schäden am Schacht oder Störungen im Fördersystem können sich unmittelbar auf den gesamten Endlagerbetrieb auswirken. Schächte müssen daher im Rahmen der Endlagerauslegung besonders hohen Sicherheitsanforderungen genügen, und zwar sowohl im Hinblick auf die bergbauliche Sicherheit als auch auf die radiologische Sicherheit. Diese Sicherheitsaspekte sind maßgebliche Auslegungskriterien für die Schachtplanung im Endlagerkontext.

Die spezifischen Sicherheitsanforderungen für Schächte in einem Endlager für radioaktive Abfälle, umfassen insbesondere:

- **Brandschutz**, mit besonderem Fokus auf tragende Bauteile der statischen Konstruktion, elektrische Installationen sowie die Endlagergebäude
- **Verhinderung eines Absturzes** von Endlagergebäuden in den Schacht oder auf schachttechnische Einrichtungen
- **Verhinderung unbefugten Schachtzugangs** durch beladene oder unbeladene STW
- **Vermeidung von Kollisionen** zwischen dem Förderkorb und anderen Schachtkomponenten
- **Verhinderung von Übertreibereignissen** (d. h. ein Bewegen des Förderkorbs über die vorgesehenen Betriebsgrenzen hinaus)

### 3.2 Regulatorische Anforderungen als Auslegungsgrundlage

Aufgrund der zahlreichen Parallelen zwischen Tätigkeiten im untertägigen Bergbau und der tiefengeologischen Endlagerung radioaktiver Abfälle lassen sich viele Erfahrungen aus Betrieb, Planung, Auslegung sowie aus der Anwendung und Umsetzung bergbaulicher Regelwerke sinnvoll auf die Konzeption, Errichtung und den Betrieb eines Endlagers übertragen.

Das in diesem Bericht vorgestellte generische konzeptionelle Design des Schachtfördersystems, basiert im Wesentlichen auf einschlägigen deutschen Regelwerken. Der zugrunde gelegte regulatorische Rahmen hat sich für die Anwendung auf Endlagerkonzepte als geeignet erwiesen, wie das konzeptionelle Design des Schachtfördersystems Gorleben 2 gezeigt hat. Im Einzelnen stützt sich die Auslegung auf folgende deutsche Regelwerke:

- **BVOS – Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen** vom 15.10.2003 (BVOS), nachfolgend als BVOS bezeichnet
- **TAS – Technische Anforderungen für Schacht- und Schrägförderanlagen** vom Dezember 2005 (TAS), nachfolgend als TAS bezeichnet

Die BVOS enthält allgemeine Vorgaben für die Genehmigung, Inbetriebnahme, Überwachung und den Betrieb von Fördersystemen im Bergbau. Die TAS definiert hingegen die detaillierten Anforderungen an die konstruktive Auslegung von Fördersystemen. Darüber hinaus legt die TAS-Berechnungsverfahren fest und verweist auf Normen zur Seilkonstruktion, z. B. DIN EN 12385-1 („Stahldrahtseile – Sicherheit – Teil 1: Allgemeine Anforderungen“). Weitere Regelwerke, wie z. B. DIN 4118 („Fördergerüste und Fördermaschinenhäuser im Bergbau; Lastannahmen, Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsprinzipien“), regeln die Auslegung relevanter oberirdischer Anlagen. Die TAS ist mit den europäischen Normen und Standards, insbesondere den Eurocodes, abgestimmt. Aufgrund ihres Alters wurden jedoch teilweise Normen, auf die sie verweist, durch andere ersetzt. Im Rahmen dieser Konzeptplanung sind resultierende Änderungen jedoch nicht relevant.

Neben BVOS und TAS wird insbesondere in den Auslegungsrechnungen zum Vergleich auch auf Normen aus dem Aufzugsbau verwiesen. Zur Zeit des DIREGT Projekts waren diese einschlägig. Mittlerweile wurden einige davon zurückgezogen. Eine Darstellung der aktuellen Anforderungen aus dem Aufzugsbau erfolgt in diesem Bericht nicht. Die vergleichenden Rechnungen wurden jedoch zur Anschauung beibehalten.

## 4 Konzept der Schachtförderanlage für eine Nutzlast von 175 t

### 4.1 Überblick

Das Konzept der Schachtförderanlage in DIREGT basierte auf den Erfahrungen aus dem vorangegangenen DEAB-Projekt (Engelmann & Filbert 1994). Die DEAB-Studie und das zugehörige Testprogramm haben ergeben, dass sich ein Schwerlast-Schachtfördersystem mit handelsüblichen Komponenten aus dem Bergbaurealisieren lässt. Die erforderlichen Systeme und Bauteile entsprechen im Wesentlichen denen, die weltweit in zahlreichen Bergwerken eingesetzt werden. In DIREGT wurde das Schachtfördersystem konzeptionell übernommen. Die einzige offene Fragestellung bestand in der Anpassung dieser Komponenten an die erhöhten Nutzlastanforderungen. Dementsprechend wurden in DIREGT Auslegungsrechnungen für eine Schachtförderanlage mit erhöhter Nutzlast durchgeführt, um zu prüfen, ob die Anforderungen des technischen Regelwerks erfüllt werden können.

Im Hinblick auf die Skalierung des DEAB-Fördersystems auf die DIREGT-Auslegung für eine Nutzlast von 175 t blieb damit das Grundkonzept unverändert. Im Rahmen von DIREGT wurde eine detaillierte Auslegung erstellt, die eine dreidimensionale Modellierung sowie ingenieurtechnische Berechnungen nahezu aller Komponenten umfasst. Die Auslegung erfolgte unter Berücksichtigung der einschlägigen Anforderungen gemäß den geltenden deutschen Regelwerken.

Die im Rahmen von DIREGT erarbeitete Planung umfasst folgende Komponenten:

- Fördermittel und Gegengewicht
- Spurlatten
- Förder- und Unterseile
- Fördermaschine
  - Treibscheibe
  - Förderantrieb und Lager
  - Brems-, Steuer- und Sicherheitssysteme
- Förderturm und Führungsgerüst
- Rasenhängebank
- Füllort
- Übertreibsicherung
- Hilfsseilfahrtanlage
- Schachtscheibe

Die Auslegung des Fördersystems ergab folgende zentrale Parameter:

- |                        |       |
|------------------------|-------|
| • Schachtdurchmesser   | 7,5 m |
| • Förderteufe          | 870 m |
| • Nutzlast (TLB + STW) | 175 t |
| • Förderkorb           | 48 t  |
| • Gegengewicht         | 133 t |

Die Auslegung des Schachtfördersystems für eine Gesamtlast von 175 t beruht auf einer Turmförderanlage mit Treibscheibe als Hauptfördereinrichtung sowie einer Hilfsfahranlage für Notfallsituationen.

Das Hauptfördersystem verwendet ein Sechsseil-Treibscheibenförderer-System zur Förderung der Gesamtlast von 175 t. Im Gegensatz zu Trommelförderern nutzt der Treibscheibenförderer eine „endlose“ Seilkonfiguration, bei der die Seile über ein großes Antriebsrad (Treibscheibe) geführt werden. Die Seile werden über die Treibscheibe am Schachtkopf angetrieben und im Schachtumpf, etwa 40 m unterhalb der Schachtstation auf -870 m, zurückgeführt (siehe Abbildung 2).

Der Förderkorb und das zugehörige Gegengewicht sind fest mit den Seilen verbunden, sodass beim Aufwärtsfahren des einen das andere entsprechend abwärts bewegt wird. Diese Anordnung erzeugt die erforderliche Reibung zwischen Treibscheibe und Seilen. Die Verwendung eines Gegengewichtssystems führt zu einem deutlich geringeren Anfahrtdrehmoment im Vergleich zum Trommelförderer, wodurch kleinere Antriebsmotoren eingesetzt werden können. Der Einsatz mehrerer Seile reduziert die erforderlichen Durchmesser der einzelnen Seile, der Treib- und Umlenkscheiben sowie die Seilzugbeanspruchung.

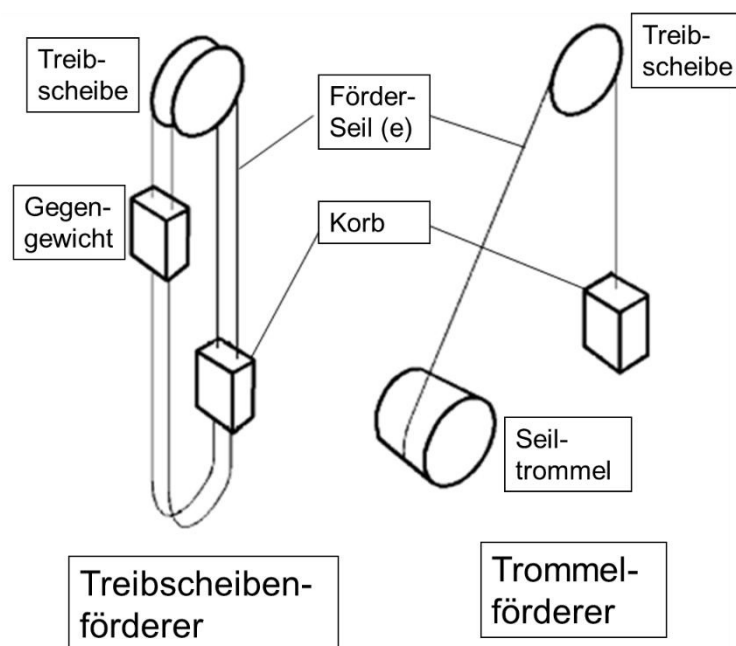


Abbildung 2: Prinzipielle Konstruktion von Treibscheiben- und Trommelförderern

Die Be- und Entladeeinrichtungen an der Rasenhängebank und am Füllort wurden gemäß dem DEAB-Design ausgelegt.

Die Fördergeschwindigkeit ist auf 1 m/s festgelegt. Eine geringe Fördergeschwindigkeit reduziert das Drehmoment, den Energiebedarf sowie die Anforderungen an die Bremsanlagen und erhöht die Betriebssicherheit. Da nur eine geringe Anzahl von Transportvorgängen pro Tag erwartet wird, wurde die Fördergeschwindigkeit ausschließlich unter dem Gesichtspunkt

der Sicherheit optimiert. Zur Beherrschung potenzieller Übertreibereignisse wird an beiden Schachtstationen SELDA-Bremssysteme vorgesehen.

Die Auslegung des DIREGT-Schachtfördersystems für den Transport von TLB wird durch Berechnungen im Anhang 2 gestützt. Neben den Auslegungsrechnungen zum Antriebsstrang sind die wesentlichen sicherheitsrelevanten Berechnungen für eine Treibscheibenförderanlage die zur Seilsicherheit, zur Treibfähigkeit, zu den Bremssicherheiten und den Seilrutschgrenzen. Der Anhang enthält:

- Ermittlung der Lasten in den Schachttürmen und daraus resultierende Lastdifferenzen (Überlasten)
- Auslegung der Förderseile (Nachweis der Seilsicherheit)
- Auslegung der Treibscheibe
- Auslegung der Fördermaschine
- Nachweis der Treibfähigkeit
- Nachweis der Bremssicherheiten
- Nachweis der Seilrutschgrenzen

## **4.2 Fördermittel und Gegengewicht**

### **4.2.1 Förderkorb**

Der Förderkorb besteht aus drei Hauptkomponenten: dem Rahmen, den Seilgeschirren und dem Zwischenboden. Der Zwischenboden kann sich innerhalb des Förderkorbrahmens vertikal frei bewegen. Er ist für die Aufnahme der vollständigen Nutzlast ausgelegt. Während des Schachttransports liegt er auf den Stahlträgern des Tragbodens im Förderkorb auf.

Der Rahmen des Förderkorbs besteht aus verschraubten und verschweißten Stahlprofilen. Die äußeren und inneren Abmessungen des Korbs ergeben sich aus den Dimensionen des TLB, den Schachtabmessungen sowie dem erforderlichen Sicherheitsabstand zwischen Korb und Schachtwand. Auf beiden Stirnseiten der Transportplattform sind Aufnahmen für Absetzriegel installiert. Zur Führung im Schacht sind vier Rollenführungen an einer Längsseite des Förderkorbs angebracht. Diese verbinden den Korb mit den Spurlatten und halten ihn während des Fördervorgangs in korrekter Position. Der Korbboden ist über acht vertikale Hängestreben strukturell mit dem oberen Rahmen verbunden. Die sechs Zwischengeschirre, die den Förderkorb mit den Förderseilen verbinden, sind auf zwei Querträgern verankert. Diese sind integraler Bestandteil des oberen Korbrahmens, auch Kopfrahmens genannt. Das gesamte Fördersystem, bestehend aus Förderkorb und Zwischengeschirren, hat eine Gesamthöhe von ca. 12,5 m (siehe Abbildung 3).

Die Zwischengeschirre für die Förderseile sind am oberen Ende des Korbrahmens befestigt. Sie sind über ein Kardangelenk mit dem Förderkorb verbunden. Jede Baugruppe ist ca. 4,9 m hoch und wiegt etwa 1.100 kg und ist im Gesamtgewicht des Korbs enthalten. Die einzelnen Baugruppen verwenden Seilklemmen zur Fixierung und Sicherung der Seile. Jede Seilklemme ist mit einer Feineinstellvorrichtung („Passstück-Versteckvorrichtung“) verbunden, die geringfügige Längenunterschiede der Seile ausgleicht und eine gleichmäßige

Spannungsverteilung zwischen den Seilen sicherstellt. Da die Seillängen Anpassung am Förderkorb erfolgt, sind keine Feineinsteller für das Gegengewicht erforderlich. Die eingesetzten Zwischengeschirre entsprechen dem Stand der Technik und finden breite Anwendung in modernen Bergwerksfördersystemen. Zur Befestigung der Unterseile an Förderkorb und Gegengewichtseinheit werden Seilklemmen verwendet.

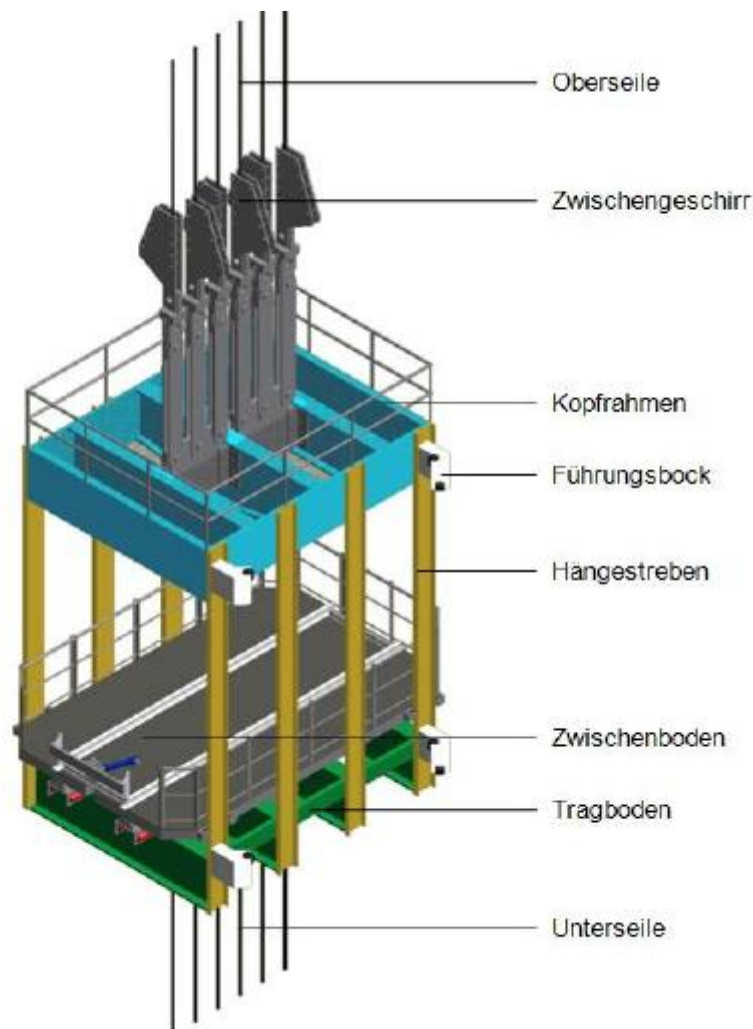


Abbildung 3: 3D Darstellung des Förderkorbs

Der Zwischenboden hat eine Länge von 6,2 m und eine Breite von 4,2 m. Er trägt die Nutzlast während des Fördervorgangs und ist mit genuteten Schienen ausgestattet, die den STW aufnehmen. Während des Aufsetzens der Nutzlast wird der Zwischenboden durch die Absetzriegel der Schachtstation fixiert. Der Zwischenraum zwischen dem Förderkorb und der Sohle der Schachtstation wird durch eine hydraulisch ausfahrbare Plattform überbrückt.

Sobald der Zwischenboden durch die Absetzriegel gesichert ist, wird der Förderkorbrahmen abgesenkt, um die Seilspannung zu lösen und die Sicherungsbolzen zu entriegeln, welche den Zwischenboden und den STW während des Fördervorgangs fixieren. Anschließend wird die Nutzlast auf den Zwischenboden überführt. Danach wird der Förderkorbrahmen langsam wieder in seine Ausgangsposition angehoben. Die Gummidichtungen zwischen

Zwischenboden und Tragboden dämpfen mögliche Stoßwirkungen. Die Seile werden gespannt, um das kombinierte Gewicht von Förderkorb und Nutzlast aufzunehmen.

Sobald die Seile auf diese Weise gespannt sind, werden die Absetzriegel gelöst und der Förderkorb ist zur Förderung bereit. Dieses Verfahren stellt sicher, dass durch das Aufsetzen der Nutzlast keine plötzlichen dynamischen Lastwechsel auf die Seile übertragen werden. Solche Lastwechsel würden sich nachteilig auf die Lebensdauer der Seile auswirken.

#### 4.2.2 Gegengewicht

Das Gegengewicht dient dem Ausgleich der Förderkorblast und stellt somit die erforderliche Reibung zwischen den Seilen und der Treibscheibe sicher. Es besteht aus einem tragenden Stahlrahmen, der mit Stahlblockgewichten befüllt wird, um die spezifizierte Gegengewichtsmasse zu erreichen. Durch dieses modulare System kann das Gesamtgewicht der Einheit durch Hinzufügen oder Entfernen von Stahlblöcken flexibel angepasst werden – abhängig vom jeweils zu transportierenden Endlagergebindetyt.

Die vorgesehenen Abmessungen des Tragrahmens des Gegengewichts sind:

- Länge: 3.300 mm
- Breite: 900 mm
- Höhe: 11.500 mm

Die erforderliche Masse des Gegengewichts ergibt sich aus der Summe des Förderkorbgewichts und der Hälfte der Nutzlast. Für den Transport eines CASTOR-Behälters wurde in DIREGT folgende Berechnung durchgeführt:

- Förderkorb: 42 t
- 0,5 × STW: 7,5 t
- 0,5 × Zwischenboden: 3 t
- 0,5 × CASTOR-Behälter: 80 t
- Gesamtgewicht Gegengewichtseinheit: ≈ 133 t (aufgerundet)

### 4.3 Spurlatten

Die Spurlatten für den Förderkorb und das Gegengewicht sind für die Verwendung von X-Profil-Schienen ausgelegt. In Kombination mit den Rollenführungen gewährleisten die Spurlatten eine kontrollierte vertikale Bewegung im Schacht. Zur Führung des Hilfsförderkorbs werden rechteckige Hohlprofil-Stahlschienen verwendet.

Die Spurlatten sind mittels Konsolen an den Schachtseitenwänden befestigt. Im Bereich der Rasenhängebank sind sie mit dem Führungsgerüst verbunden, während sie an der -870 m-Schachtstation am Stahlgerüst des Schachtstuhls befestigt sind.

### 4.4 Förder- und Unterseile

Das Fördersystem verwendet eine Treibscheibenfördermaschine mit sechs Drahtseilen. Aufgrund der räumlichen Möglichkeiten auf dem Gegengewicht wurde die Anzahl der Seile auf sechs begrenzt. Die Auswahl des Seiltyps hängt vom Durchmesser und Gewicht der einzelnen Seile ab. Der Durchmesser wiederum wird durch die Materialzusammensetzung des Seils sowie weitere Parameter bestimmt, darunter:

- Auslegung der Treibscheibe
- Seilführung auf der Treibscheibe
- Massenverteilung der Nutzlast im Förderkorb
- geplante Fördergeschwindigkeit und Förderweg
- erwartete Umgebungsbedingungen im Schacht

Die Seile erfüllen die wichtigste Sicherheitsfunktion aller Komponenten des Fördersystems. Sie müssen gewährleisten, dass der Förderkorb mit der Nutzlast während des Transports nicht in den Schacht stürzt. Zu diesem Zweck schließen die Sicherheitsfaktoren moderner Seilfördersysteme ein Versagen der Seile aus – in Verbindung mit strengen Prüf- und Wartungsvorgaben gemäß BVOS.

Die TAS (Teil 6.8.1) legt für Förderseile im Materialtransport einen minimalen Sicherheitsfaktor (S) in Abhängigkeit von der Seillänge (L) in Metern wie folgt fest:

$$S \geq 7,2 - 0.0005 \times L \quad (4.1)$$

Die Berechnung berücksichtigt die Drahtseillänge (L) mit einer maximalen Oberseillänge von 896 m. Für die DIREGT-Auslegung ergibt sich gemäß TAS ein erforderlicher Sicherheitsfaktor von  $S = 6,75$ , während der berechnete Wert im DIREGT-Design  $S = 7$  (Minimum) beträgt (siehe Anhang 2).

Die im DIREGT-Design eingesetzten Förderseile gehören zur Klasse Tiger Dyform® 6R 6x36(W) mit einem Durchmesser von 66 mm. Sie sind wie in Abbildung 4 dargestellt gefertigt. Ihre technischen Daten sind Anhang 3 zu entnehmen. Die Nennzugfestigkeit beträgt  $1.960 \text{ N/mm}^2$ , die berechnete Mindestbruchkraft  $3.760 \text{ kN}$ , und das spezifische Gewicht  $18,1 \text{ kg/m}$ . Die Auslegungslänge eines einzelnen Seils beträgt ca. 896 m, basierend auf der

Förderteufe (870 m in Gorleben) sowie dem zusätzlichen Seilbedarf für die Umlenkung über die Treibscheibe und die Befestigung am Gegengewicht.

Das ausgewählte Seil weist eine hohe Druckstabilität auf. Die glatte und homogene Seiloberfläche sorgt für gleichmäßige Flächenpressung und damit für eine längere Lebensdauer. Zudem zeigen Langs-Lay-Seile eine geringere Verschleißrate im Vergleich zu regulären Seiltypen.

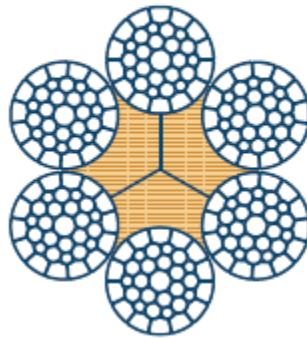


Abbildung 4: Tiger Dyform® 6R 6x36(WS)

Die gleichen Seile werden auch als Unterseile verwendet. Da der Sicherheitsnachweis für ihren Einsatz als Förderseile erfolgreich erbracht wurde, ist kein weiterer Nachweis erforderlich.

#### 4.5 Fördermaschine

Die Fördermaschine ist im Förderturm installiert und treibt das Fördersystem an. Sie besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Treibscheibe
- Antriebsmotor
- Brems-, Steuer- und Sicherheitssysteme

Die Auslegung der Fördermaschine erfolgt gemäß den Anforderungen der TAS und ist durch die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter charakterisiert.

Tabelle 1: Auslegungsparameter des Fördersystem

Parameter	Einheit	Wert
Förderweg	T [m]	870
Erforderliche Seilnuten	Z [Anzahl]	6
Seildurchmesser	d [mm]	66
Nenn-Drehmoment	Md [kNm]	2.200
Maximale Überlast	Ü [t]	91,1
Durchmesser der Treibscheibe	D [mm]	4.800
Abstand der Seilnuten	L [mm]	500
Motorleistung	P [kW]	2 × 610
Motordrehzahl	n [min <sup>-1</sup> ]	670
Seilgeschwindigkeit	v [m/s]	1,0
Gesamtübersetzungsverhältnis	i [-]	160 : 1

#### 4.5.1 Treibscheibe

Die Treibscheibe ist die zentrale Komponente des Fördersystems und wird im Förderturm direkt oberhalb des Schachts installiert. Ihre Position richtet sich nach dem Schachtdurchmesser sowie dem Abstand zwischen Förderkorb und Gegengewicht. Der Durchmesser der Treibscheibe beträgt 4.800 mm. Eine Umlenkscheibe sorgt dafür, dass der vertikale Seilabstand von dem durch die Treibscheibe vorgegebenen Abstand auf den für die Förderseile erforderlichen Abstand reduziert wird – basierend auf dem Abstand der Fördermittel im Schachtquerschnitt (von 2,8 m; s. Kapitel 4.11). Der Umschlingungswinkel der Förderseile auf der Treibscheibe beträgt daher mehr als 180°.

Die Treibscheibe ist mit zwei seitlich angeordneten Scheibenbremsen ausgestattet, die jeweils für den Antrieb und die Notbremsung zuständig sind. Sie ist fest verschraubt und mit der Antriebswelle mittels Schrauben gekoppelt. Der seitliche Abstand zwischen benachbarten Förderseilen auf der Treibscheibe beträgt 500 mm. Die Antriebswelle des Förderers wird als einteiliges Schmiedestahlbauteil gefertigt und verfügt über geschmiedete Flansche zur Befestigung der Treibscheibe. Um Spannungen möglichst gering zu halten, werden große Übergangsradien bei der Ausformung der Schulterbereiche der Antriebswelle verwendet.

Die Treibscheiben-Ausführung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Ein wesentlicher Leistungsparameter der Treibscheibe ist der Reibwert zwischen Seil und Scheibe. Gemäß Abschnitt 3.10.2 der TAS muss der Reibwert zwischen Treibscheibe und Einzelseil mehr als 0,25 betragen. Da der Reibwert bei Stahl-auf-Stahl-Kontakt nur etwa 0,15

beträgt, ist ein anderes Material als Stahl als Auskleidung der Seilnuten erforderlich, um den geforderten Reibwert zu erreichen. Die Auswahl des Auskleidungsmaterials, das als Treibscheibenfutter bezeichnet wird, hängt vom Seildesign sowie von den technischen und umgebungsbedingten Anforderungen im Schacht ab. Parameter wie das Profil der Seilnut, das Treibscheibenfutter und dessen Befestigung an der Treibscheibe müssen im Systemdesign berücksichtigt werden, um den erforderlichen Reibwert sicherzustellen.

Im Gegensatz zu den Vorteilen eines Treibscheibenförderers gegenüber einem Trommelförderer ist ein wesentlicher Nachteil des Treibscheibenförderers zu beachten: das Risiko des Seilrutschens. Dieses Risiko wird durch konstruktive Maßnahmen gezielt reduziert. Zur Vermeidung von Seilrutschereignissen sind im Fördersystem mehrere technische Maßnahmen integriert. Die Steuerungs- und Überwachungssysteme sind dabei auf verschiedene Komponenten verteilt. Wichtige Maßnahmen zur Minimierung des Seilrutschrisikos sind:

- Auswahl eines geeigneten Lastverhältnisses zwischen den beiden Schachttürmen
- Überwachung des Seillastverhältnisses
- Begrenzung und Überwachung der Beschleunigung des Förderers
- Festlegung und Überwachung von Bremsraten, Bremskräften und Bremsdrücken
- Sicherstellung ausreichender Reibwerte
- Förderkorbdesign zur Vermeidung unerwarteter Lastumlagerungen

Im Rahmen von DIREGT wurden die entsprechenden Berechnungen durchgeführt (siehe Anhang 2). Sie zeigen, dass das Fördersystem in der vorliegenden Auslegung Seilrutschereignisse mit ausreichender Sicherheitsmarge vermeidet.

Bei einem Treibscheibendurchmesser  $D = 4.800$  mm und einem Seildurchmesser  $d = 66$  mm ergibt sich ein Verhältnis  $D/d = 72,7$ , womit die Anforderung gemäß Abschnitt 3.3.1 der TAS ( $D/d > 40$  bei Fördergeschwindigkeiten  $\leq 4$  m/s) erfüllt ist.

Zusätzlich zu den technischen Anforderungen der TAS beschreibt die BVOS mehrere Überwachungsvorgaben für die Förderauslegung. Das Sicherheitskonzept der deutschen Regelwerke basiert sowohl auf der technischen Auslegung als auch auf einem strengen Überwachungsprogramm für die Fördertechnik und die Seile zur frühzeitigen Erkennung möglicher Ausfälle.

#### **4.5.2 Förderantrieb und Lager**

Aufgrund des hohen Drehmoments, das sich aus dem Einsatz einer großdimensionierten Treibscheibe mit 4,8 m Durchmesser ergibt, sind gemäß Auslegung zwei Antriebsmotoren erforderlich, um das erhöhte Drehmoment zu kompensieren. Der Förderantrieb ist daher als Zweimotorensystem konzipiert, bestehend aus zwei identischen Gleichstrommotoren mit je 610 kW, die beidseitig der Treibscheibe installiert sind (siehe Abbildung 6). Die beiden Motoren, jeweils auf einer Seite der Antriebswelle, treiben das Fördersystem direkt an. Die für den Fördervorgang erforderliche Leistung wird gleichmäßig auf beide Motoren verteilt.

Die Aufteilung der Antriebsleistung auf zwei Motoren ermöglicht den Einsatz bewährter Standardkomponenten. Dies ist sowohl aus Zuverlässigkeits- als auch aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft. Darüber hinaus reduziert die Zweimotorenkonfiguration die statischen und dynamischen Lasten auf die Antriebswelle, die Lager und weitere Komponenten des Fördersystems. Im Fall eines Motorausfalls kann der Fördervorgang mit reduzierter Geschwindigkeit abgeschlossen werden. Die Verwendung von zwei Motoren erfordert jedoch eine erhöhte ingenieurtechnische Kontrolle zur Synchronisierung der Antriebe.

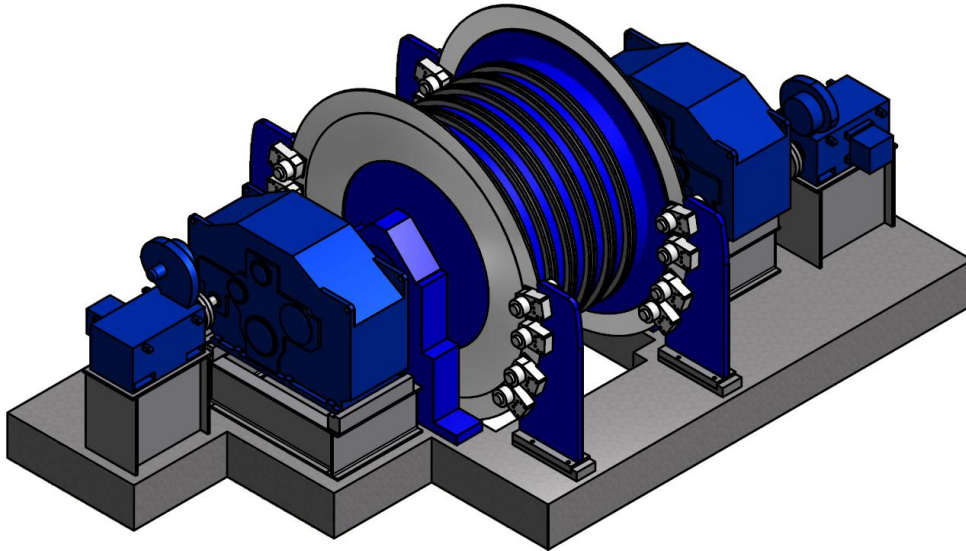


Abbildung 5: Modell des Förderantriebs

Für die Lagerung werden hydrodynamische Gleitlager eingesetzt, die mit einer zweiteiligen Lagerschale ausgestattet sind und somit eine einfache Montage und einen unkomplizierten Austausch ermöglichen. Die Lagergehäuse sind mit Öldichtungen versehen. Beide Lager sind mit Temperaturfühlern mit Kontaktmessung ausgestattet, um thermische Veränderungen während des Betriebs zu überwachen. Zur Sicherstellung einer konstanten Schmierölversorgung sind entsprechende Vorrichtungen installiert. Öldruck und Durchflussmenge werden kontinuierlich überwacht.

Die Lager sind mit hydrostatischen Regelungssystemen ausgestattet, um den Verschleiß insbesondere nach längeren Stillstandszeiten zu minimieren. Vor der Inbetriebnahme wird Öl unter hohem Druck in das Lagergehäuse gepumpt, um alle Ölkammern zu füllen und einen ausreichenden Schmierfilm zwischen Antriebswelle und Lager zu erzeugen. Nach Sicherstellung der Schmierung kehren die hydrostatischen Regler in den Normalbetrieb zurück.

Die beiden Antriebsmotoren sind direkt neben dem Lagerrahmen angeordnet. Das Getriebe ist über eine elastische Kupplung mit dem Motor verbunden. Diese Kupplung ist mit einer Trägheitsbremse ausgestattet. Die Kraftübertragung erfolgt über eine Zahnkupplung am Ende der Antriebswelle.

Die Bremsbacken für die Haupt- und Notbremssysteme (Scheibenbremsen) sind auf Stahlrahmen montiert, die wiederum fest auf einem Betonsockel verankert sind.

### 4.5.3 Brems-, Steuer- und Sicherheitssysteme

Das Bremssystem ist grundsätzlich so ausgelegt, dass es mit kontrollierter Bremskraft arbeitet. Dadurch wird in allen Betriebssituationen eine konstante Verzögerung sichergestellt – unabhängig von Fahrtrichtung, Geschwindigkeit, Last oder anderen Einflussgrößen. Dies verbessert die Betriebssicherheit des Schachtförderers erheblich und reduziert gleichzeitig die mechanische Belastung der Komponenten.

Das System verfügt über zwei Betriebsmodi: Normalbremsung und Sicherheitsbremsung. Die Bremsen sind als elektrohydraulisches Scheibenbremssystem gemäß den Anforderungen von TAS Abschnitt 3.9 ausgeführt.

Im Normalbetrieb wird die Fördergeschwindigkeit zunächst durch das Antriebssystem reduziert. Sobald der Förderkorb auf Kriechgeschwindigkeit von 1 cm/s verlangsamt ist und sich etwa 1 m vor der Station befindet, wird der hydraulische Bremsvorgang durch Druckabsenkung in den Bremsenheiten eingeleitet, um einen sanften Kontakt mit den Bremscheiben herzustellen. Der Druck wird anschließend auf null reduziert, um den vollständigen Stillstand zu erreichen.

Im Notfall erfolgt die Bremsung ausschließlich über das hydraulische Scheibenbremssystem. Alle Funktionen des Förderers, die ein Sicherheitsrisiko darstellen könnten, werden durch Sensoren überwacht, die mit dem elektrohydraulischen System verbunden sind. Sobald ein Sensor ein potenzielles Risiko meldet, wird die Sicherheitsbremsung automatisch ausgelöst. Mögliche Auslösebedingungen für eine Sicherheitsbremsung werden durch die aufgeführten Sensoren überwacht:

- Kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung
- Punktweise Geschwindigkeitsüberwachung
- Gegenseitige Überwachung von Drehzahlgeber und Winkelschrittgeber
- Gegenseitige Überwachung der Ständerwicklung
- Motortemperaturüberwachung
- Stromflussüberwachung der Thyristoranlage im Ständerkreis
- Auslösung Sicherheitskreis „Ungeregelte Sicherheitsbremsung“
- Einsatzüberwachung Hüllkurve
- Gegenseitige Überwachung Drehzahlgeber-Regelung/-Überwachung
- Schachtschalterüberwachung
- Ständer-Erdschlussüberwachung
- Elektronische Rücklaufsperr
- Schachtzähler-/Sprungüberwachung
- Soll-/Ist-Wertüberwachung von Drehzahl, Ständer- und Erregerstrom

Typische Fehlerzustände, die eine Sicherheitsbremung auslösen können, sind unter anderem:

- Überschreitung der zulässigen Fördergeschwindigkeit
- Überhöhte Motortemperaturen
- Überlastung des Antriebs
- Elektrische Fehler im Motor
- Fehler in der Stromversorgung

Zusätzlich zu den automatischen Sicherheitsfunktionen kann das Bremssystem auch manuell aktiviert werden.

Weitere Auslösebedingungen sind mit dem Lösen des Förderkorbs von den Schachtstationen verbunden. Die Sicherheitsbremse darf nicht an den Anschlägen freigegeben werden, wenn beispielsweise die Motortemperatur zu hoch ist, elektrische Störungen vorliegen oder die Nutzlast nicht vollständig aufgesetzt wurde.

Das Bremssystem besteht aus hydraulisch gesteuerten Bremszangen, die beidseitig der Treibscheibe um die Bremsscheiben angeordnet sind. Grundsätzlich funktioniert das System analog zu hydraulischen Scheibenbremsen im Fahrzeugbau, mit dem Unterschied, dass hier Hydraulikdruck zum Lösen der Bremse erforderlich ist.

Gemäß TAS muss das Bremssystem einen Sicherheitsfaktor von mindestens drei gegenüber der maximal erwarteten Last aufweisen. Im vorliegenden DIREGT-Konzept ist das Bremssystem mit 16 Bremszangen ausgelegt (Abbildung 6), wobei jede Scheibe mit acht Zangen ausgestattet ist, verteilt auf zwei Bremsständer. Dies führt zu einem Sicherheitsfaktor, der den TAS-Mindestwert deutlich übersteigt (s. Anhang 2). Die Anordnung der Bremszangen ist in Abbildung 7 dargestellt.



BE 200 during test series

Abbildung 6: Bremszange – Typ SIEMAG BE 200 (s. Anhang 6)

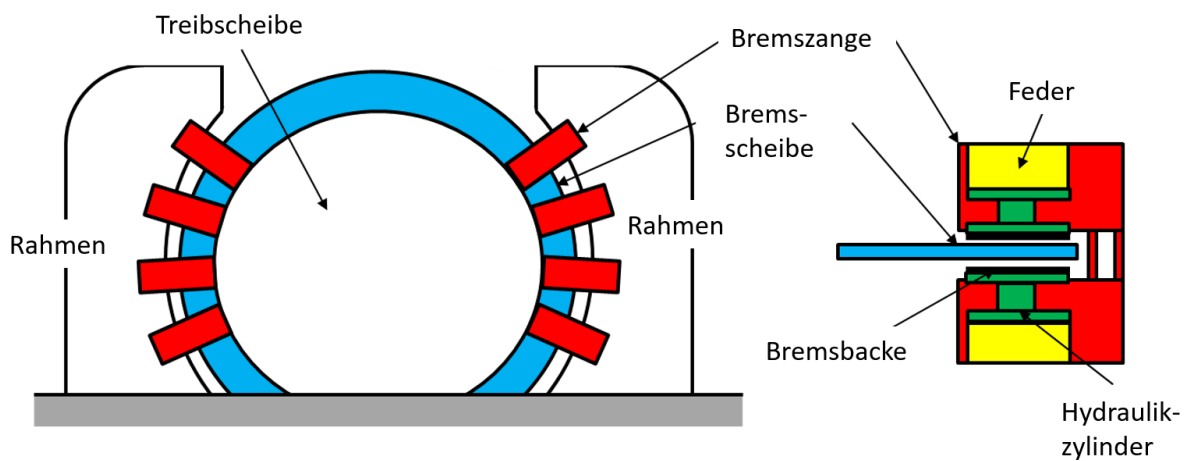


Abbildung 7: Konzeptionelles Design des Bremssystems (links) und Aufbau der Bremszange (rechts)

Die Bremszangen sind TAS-zertifiziert, und die Bremsbeläge sind asbestfrei. Vier geschweißte Stahlrahmen, die in einem Betonfundament verankert sind, dienen zur Aufnahme der Bremszangen und zur Ableitung der auftretenden Kräfte.

Die Bremszangen werden hydraulisch über Tellerfedern betätigt, die über ein Entlüftungsventil aktiviert werden. Sowohl die Betriebs- als auch die Sicherheitsbremsung werden durch eine Hydraulikeinheit gesteuert. Diese Einheit aktiviert die Bremszangen, regelt den Bremsvorgang und sichert die Förderanlage in einer sicheren Position.

Ein separates mechanisches Motorbremssystem dient zur Verzögerung der Schwungmasse beider Antriebsmotoren. Diese Bremsen werden parallel zu den Haupt- und Sicherheitsbremsen aktiviert. Die Motorbremsen sind als Scheibenbremsen ausgeführt, die auf die Motorkupplung wirken. Sie sind als federbelastete Scheibenbremsen mit elektromechanisch betätigten Bremszangen konfiguriert.

Das gesamte Bremssystem wird durch eine Hydraulikeinheit gesteuert, die den kompletten Bremskreis der Förderanlage regelt.

Die Bremszangen sind hydraulisch betätigt. Der Hydraulikzylinder innerhalb der Bremszange wird hydraulisch angehoben, wodurch die Tellerfeder komprimiert wird. Der Zylinder ist mit den Bremsbelägen verbunden und hebt diese beim Anheben an. Fehlt der Hydraulikdruck entspannen sich die Federn, die Bremsbeläge schließen, und die Treibscheibe wird blockiert.

Im Falle einer Sicherheitsbremsung wird der Druck automatisch auf einen definierten Wert reduziert, um eine schrittweise Aktivierung des Systems zu ermöglichen und ein Seilrutschen zu vermeiden. Ohne diesen Restdruck würden die Tellerfedern schlagartig schließen, was zu einem abrupten Stopp und möglichem Seilrutschen führen könnte.

Dieses System wird durch das zuvor beschriebene elektrohydraulische Steuerungssystem geregelt und bei Stromausfall, Übertreiben oder anderen schwerwiegenden Ereignissen im Schacht automatisch aktiviert. Alle sicherheitsrelevanten Komponenten sind in redundanter Ausführung installiert. Die Steuerung des Bremssystems erfolgt elektronisch.

#### **4.6 Förderturm und Führungsgerüst**

Die zentralen mechanischen und elektrischen Komponenten des Fördersystems sind im Förderturm installiert. Die unterstützenden Betriebsfunktionen sind im Führungsgerüst untergebracht, das im Förderturm aufgehängt ist.

Der Förderturm übernimmt die tragende Funktion für das Fördersystem unter statischen und dynamischen Lastbedingungen. Dies umfasst Führungsgerüst, Treibscheibe, Umlenkscheibe, Förderkorb und Gegengewicht, Förderseile sowie die Nutzlast. Darüber hinaus ist der Förderturm so auszulegen, dass er einen ausreichenden Brandschutz für tragende Bauteile und Betriebseinrichtungen gewährleistet.

Die in DIREGT erarbeitete Ausführung sieht einen Stahlfachwerkbau mit ausreichender Tragfähigkeit vor, um die strukturelle Integrität und Betriebssicherheit sowohl unter Normalbedingungen als auch bei niedrigwahrscheinlichen seismischen Ereignissen sicherzustellen. Die Konstruktion erfolgt aus Stahlträgern in Baustahlqualität und wird mit einer trapezförmigen Blechverkleidung abgeschlossen.

Die für den Förderbetrieb relevanten Hauptkomponenten des Förderturms und des Führungsgerüsts sind in Abbildung 8 dargestellt. Weitere Details werden in den folgenden Unterabschnitten erläutert.

Die folgenden Komponenten des Fördersystems sind im Förderturm enthalten:

- Maschinenbühne
- Elektrobühne
- Hilfsfahranlage
- Umlenkscheibe
- Klemm- und Hubvorrichtung für Wartungsarbeiten
- Aufzug und Treppenanlage
- Führungsgerüst mit SELDA-System (Strain Energy Linear Ductile Arrestor)
- Prellträger
- Fangvorrichtung und Fangklinkenbühne
- Schachtbeschickungsanlage mit Absetzriegeln

Die sogenannte Schachtschleuse gehört zwar nicht direkt zum Fördersystem, ist aber in den Förderturm und den Förderablauf integriert. Im Rahmen von DIREGT wurde davon ausgegangen, dass das zugehörige Endlagerbergwerk über zwei Schächte bewettert wird. Einer dieser Schächte leitet frische Wetter ins Bergwerk, der andere leitet die Abwetter in die Atmosphäre. Dabei ist der Schacht mit dem 175-t-Fördersystem der Abwetterschacht.

Zur Gewährleistung des Strahlenschutzes leitet der Abwetterschacht die Abwetter nicht direkt in die Atmosphäre, sondern über einen Kanal, der unterhalb oder innerhalb des Schachtkellers an den Schacht anschließt. Die Abwetter strömen dann durch das Abwetterbauwerk, in dem sich auch der Hauptgrubenlüfter befindet (saugende Bewetterung). Hier werden die Abwetter auf Kontamination geprüft, und gegebenenfalls gefiltert, bevor sie in die Atmosphäre entlassen werden. Um das Einströmen der Abwetter in den Förderturm zu verhindern, umschließt eine Schachtschleuse den Teil des Fördersystems zwischen Rasenhängebank und Unterkante der ersten vollflächigen Förderturbühne. Zum Beladen oder Betreten des Förderkorbs muss somit stets die Schachtschleuse durchquert werden, die aus einem äußeren und einem inneren Tor besteht. Dementsprechend wird im Zusammenhang mit den Sicherheitseinrichtungen und dem Förderablauf im Folgenden auch von der Schachtschleuse gesprochen.

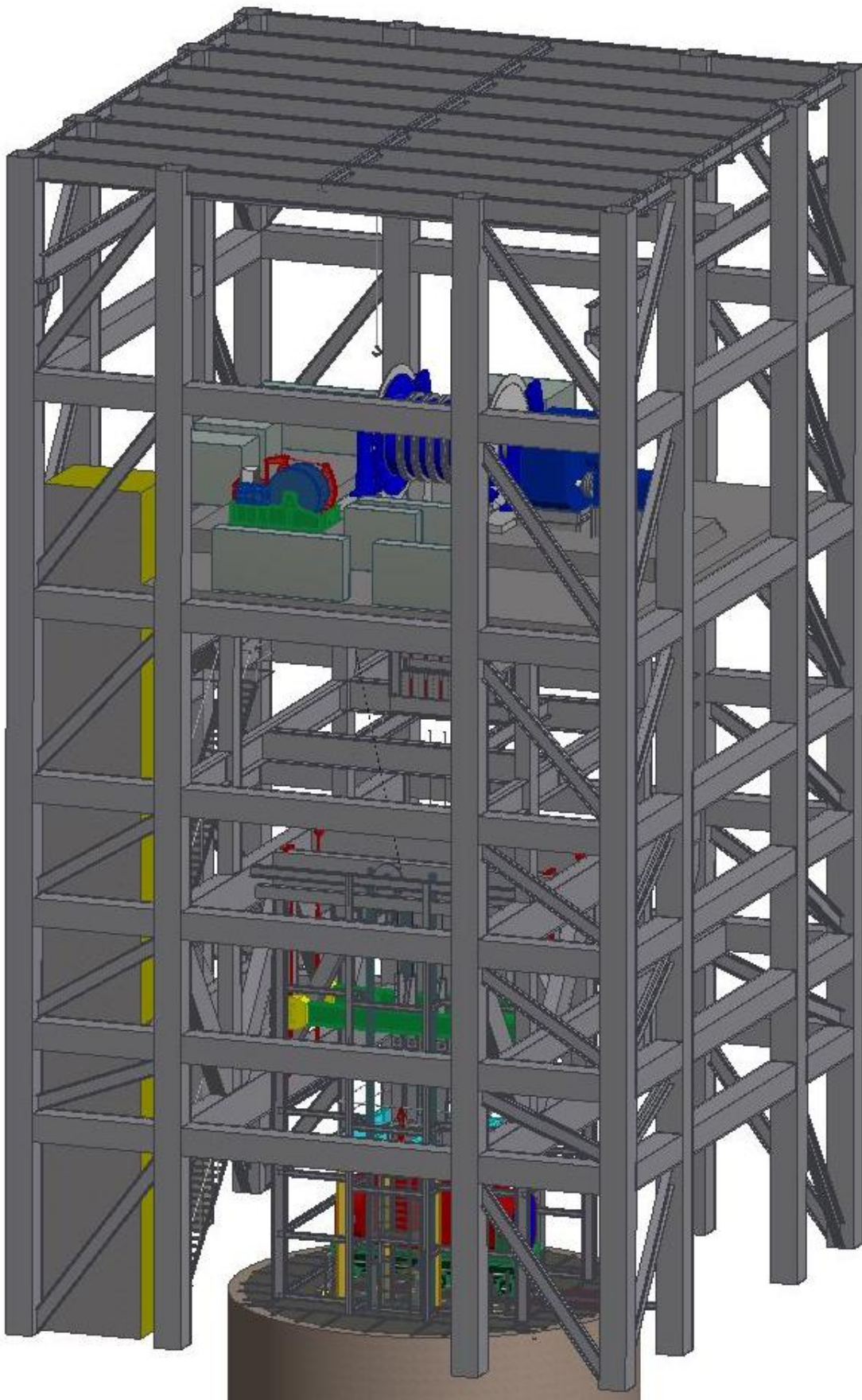


Abbildung 8: Modell des Förderturms im DIREGT-Konzept

Die Treibscheibenfördermaschine und die Fördermaschine der Hilfsfahranlage befinden sich auf der obersten Ebene des Förderturms, die als Maschinenbühne bezeichnet wird. Diese liegt in einer Höhe von ca. 44 m über Geländeoberkante und ist mit einem Deckenkran ausgestattet, um Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an der Fördermaschine zu erleichtern.

Aufgrund der Größe der Treibscheibe ist eine Umlenkscheibe erforderlich, die auf einer Zwischenebene zwischen der Maschinenbühne und der Ebene der Klemm- und Hubvorrichtung installiert ist.

Die Klemm- und Hubvorrichtung befindet sich in einer Höhe von ca. 24 m über Geländeoberkante, also unterhalb der Umlenkscheibenebene.. Dieses System dient dazu, die Seile während Wartung, Instandsetzung oder Seilwechsel sicher zu fixieren. Darüber hinaus kann das System die Seile unter Spannung heben und senken.

Die Rasenhängebank, einschließlich des Zugangs zur Hilfsfahranlage, befindet sich auf der Geländesohle. Ein Treppenhaus und ein Aufzug ermöglichen den Zugang zu den verschiedenen Ebenen des Förderturms.

Das Führungsgerüst ist als Stahlrahmenkonstruktion ausgeführt und ermöglicht die oberirdische Verlängerung der Führungen für den Förderkorb und das Gegengewicht, insbesondere für das Beladen und den Betrieb des Förderkorbs.

Zur Minimierung der Risiken bei Übertreibereignissen sind mehrere Sicherheitssysteme vorgesehen, darunter:

- Prellträger
- SELDA-Systeme (Strain Energy Linear Ductile Arrestor)
- Fangvorrichtungen

(Hinweis: Vergleichbare Systeme sind auch unter Tage vorgesehen.)

Die Prellträger sind am oberen Ende des Führungsgerüsts installiert und dienen als Schachtbarriere zum Schutz der Umlenkscheibe. Im Normalbetrieb befindet sich die höchste Position des Förderkorbs 12 m unterhalb der Prellträger.

Das SELDA-System ist unterhalb der Prellträger installiert und arbeitet in Kombination mit Fangvorrichtungen, die in den oberen Bereich des Führungsgerüsts integriert sind. Diese sollen den Förderkorb im Falle des Übertreibens auffangen, nachdem das Fördermittel in das SELDA-System hineingefahren ist und zurückfällt. Weitere Details zum SELDA-System sind in Abschnitt 4.9 zu finden.

## 4.7 Rasenhängebank

Die Rasenhängebank befindet sich am Fuß des Förderturms. Ihre Funktion besteht darin, den Übergang der Nutzlast vom horizontalen Oberflächentransport zum vertikalen Schachttransport zu ermöglichen.

Die Be- und Entladebühne der Rasenhängebank ist mit einem Positionierungssystem für den Förderkorb ausgestattet, das ausfahrbare Absetzriegel verwendet. Darüber hinaus sind mehrere Sicherheitseinrichtungen installiert zur Verhinderung eines Absturzes in den Schacht sowie Brandschutzklappen.

Im sogenannten „Schachtkeller“ des Förderturms sind am Schachtrand vier Brandschutzklappen (zwei große, zwei kleinere seitlich) installiert, um den Schacht im Brandfall unter Tage vollständig verschließen zu können. Die Auslegung sieht die Ausführung der Klappen als Stahlkonstruktionen vor. Sie sind in einem Stahlrahmen montiert, der fest im Betonfundament des Schachtkellers verankert ist. Die Brandschutzklappen bestehen aus einer Kombination aus Stahlträgern und geprägten Blechpaneelen (siehe Abbildung 9). Im Normalzustand werden sie senkrecht im Schachtkeller gelagert. Im Falle eines Brandes im Schacht verschließen sie die Schachtöffnung vollständig (siehe Abbildung 10).

Die einziehbaren Absetzriegel dienen der Sicherung des Förderkorbs in der Be- und Entladeposition. Sie sind oberhalb der Brandschutzklappen beidseitig des Schachts im Schachtkeller installiert (siehe Abbildung 9). Die Absetzriegel gewährleisten die exakte Positionierung und Fixierung des Förderkorbs und sind in der Lage, das volle Gewicht von Zwischenboden und Nutzlast aufzunehmen. Sie sind auf einem Querträgerrahmen montiert, der ebenfalls fest im Betonfundament des Schachtkellers verankert ist.

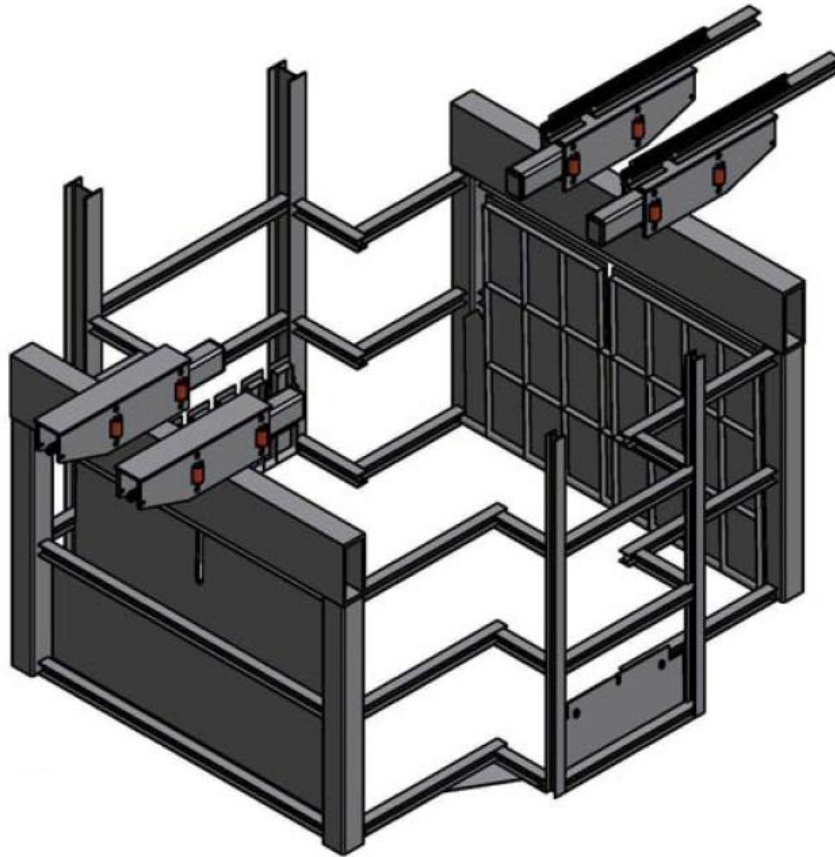


Abbildung 9: Absetzriegel und Brandschutzklappen an der Rasenhängebank

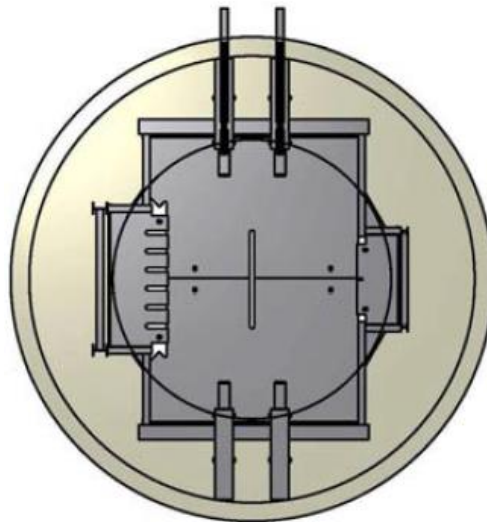


Abbildung 10: Schachtquerschnitt mit verschlossenen Brandschutzklappen

Um einen Absturz von Endlagergebinden oder Fahrzeugen in den Schacht auszuschließen, sind keine direkten Gleisverbindungen zum Schacht vorgesehen. Stattdessen wird ein Querverschub installiert, der die direkte Gleisanbindung unterbricht. Diese Sicherheitsmaßnahme verhindert das Risiko eines kombinierten Absturzes von schiebendem Fahrzeug und Nutzlast in den Schacht.

Zusätzlich ist unmittelbar vor dem Schacht eine Schachtbarriere installiert, um einen Absturz der Nutzlast zu verhindern. Für den Materialumschlag an diesen Übergabepunkten kommen Aufsetzeinrichtungen zum Einsatz. Diese sind in der Lage, die Nutzlast in den Förderkorb hineinzuziehen („aufzusetzen“).

Zusammenfassend gewährleisten die folgenden Komponenten die Betriebssicherheit an der Rasenhängebank (siehe Abbildung 11):

- Querverschub
- Schachtbarriere
- Aufsetzeinrichtung
- Absetzriegel / Korbarretierung mit Gleisbrücke (siehe Abbildung 12)
- Schachtschleuse

Die Funktionsweise dieser Einrichtungen wird in Abschnitt 5 erläutert.

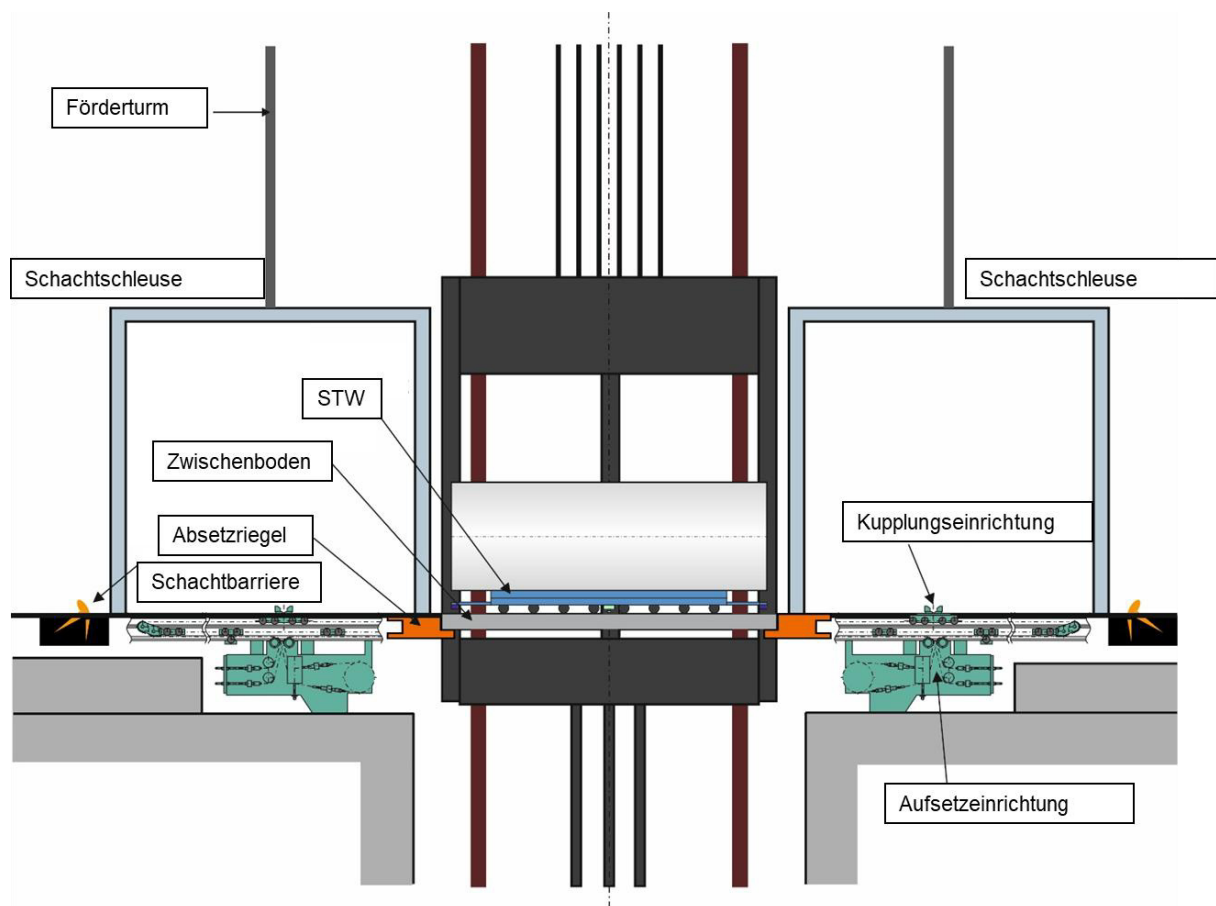


Abbildung 11: Konfiguration der Sicherheitseinrichtungen an der Rasenhängebank

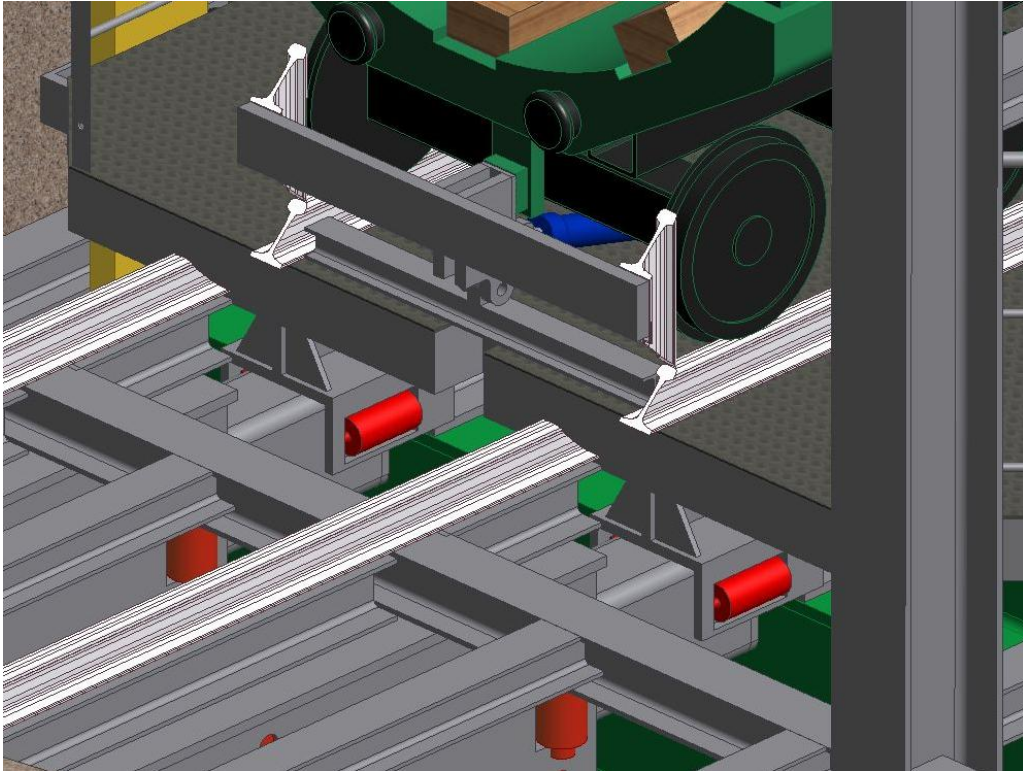


Abbildung 12: Schachtstation mit Absetzriegel zur Sicherung der Transportplattform mit STW

Die technische Machbarkeit eines vergleichbaren Konzepts wurde im Rahmen des DEAB-Demonstrationsprojekts für einen simulierten Abfalltransport mit 85 t erfolgreich bestätigt. Der Demonstrationstest wird in Kapitel 6.1 kurz beschrieben.

Zur Überwachung aller sicherheitsrelevanten Funktionen im Be- und Entladeprozess wird ein Sicherheitskreis eingesetzt. Dieser stellt sicher, dass jeder einzelne Prozessschritt nur dann ausgeführt werden kann, wenn sämtliche erforderlichen Vorbedingungen erfüllt sind. Dadurch wird eine sequenzielle und fehlersichere Prozesssteuerung gewährleistet, die insbesondere bei kritischen Übergabevorgängen (z. B. Aufsetzen, Arretierung, Schachtschleuse) eine hohe Betriebssicherheit garantiert.

#### 4.8 Füllort

Die Schachtstation auf der Endlagersohle („Füllort“) in 870 m Teufe dient als Übergang für die eintreffenden Transporte von der vertikalen Förderung im Schacht zur horizontalen Förderung in die untertägigen Strecken. Die Station ist mit Absetzriegel, den erforderlichen Entladeeinrichtungen sowie verschiedenen Sicherheitskomponenten und -systemen ausgestattet.

Einziehbare Absetzriegel werden analog zur Rasenhängebank eingesetzt, um den Förderkorb und die Nutzlast in der korrekten Position für das Be- und Entladen zu fixieren. Die Absetzriegel befinden sich im Boden der Schachtstation beidseitig des Schachts. Sie sind auf einem Querträgerrahmen montiert, der die volle Last des Förderkorbs aufnehmen kann. Die Stahl-Bremsleisten des SELDA-Systems sind ebenfalls am Querträgerrahmen befestigt.

Die Prellträger befinden sich im Schachtbereich unterhalb der Schachtstation. Sie können über eine Wartungsbühne erreicht werden, die über schachtinterne Einrichtungen zugänglich ist. Die Prellträger bestehen aus Stahlträgern zur Energieaufnahme und geprägten Blechpaneelen. Die Träger sind in den Schachtseitenwänden verankert.

Oberhalb der Be- und Entladeebene ist eine weitere Wartungsplattform installiert, die über eine Treppe erreichbar ist. Von der Wartungsebene aus sind die Förderseile und deren Befestigungen einschließlich Feinjustiereinrichtungen zugänglich, sofern sich der Förderkorb in Ladeposition befindet. Die Wartungsebene selbst besteht aus einem Stahlträgerrahmen mit geprägter Blechverkleidung. Die Träger sind in den Schachtseitenwänden verankert.

Oberhalb der Wartungsebene befindet sich die Überkopfschutzplattform. Sie besteht aus geprägten Blechpaneelen, getragen von Stahlträgern, die ebenfalls in den Schachtseitenwänden verankert sind. Eine Übersichtsdarstellung der Schachtstation auf – 870 m ist in Abbildung 13 enthalten.

Spanngewichte im Seilbühnenbereich des Schachtsumpfs dienen der korrekten Positionierung der unteren Seile. Sechs Führungsrollen – je eine pro Seil – arbeiten in Kombination mit den Spanngewichten. Die Führungsrollen sind über eine Achse verbunden, welche ihren Abstand definiert. Diese Achse ist in einem Rahmen gelagert, der eine vertikale Bewegung der Achse mit den Führungsrollen ermöglicht und so eine konstante Seilspannung gewährleistet.

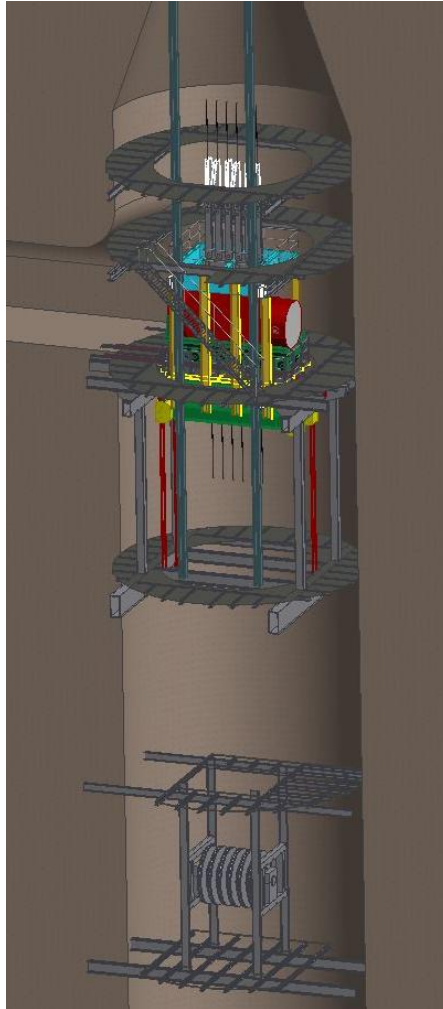


Abbildung 13: Modell der Schachstation auf der Endlagersohle

#### 4.9 Übertreibsicherung

Das Übertreibsicherung setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die jeweils zur Gesamtfunktion beitragen:

- **Förderturm**
  - SELDA-System
  - Prellträger
  - Fangvorrichtungen
- **Schachtsumpf**
  - SELDA-System
  - Prellträger

Das SELDA-System wandelt die Energie einer auftreffenden Masse im Führungsgerüst in Verformungsenergie um, indem Stahlleisten durch eine SELDA-Rollenbox geführt werden. Es ist darauf ausgelegt, die kinetische Energie der Gesamtmasse aller im Schacht bewegten Komponenten aufzunehmen. Dabei werden auch Zusatzlasten durch die Trägheit der Fördermaschine und ihrer rotierenden Komponenten berücksichtigt.

Zur Vermeidung von Übertreiben – also einem unkontrollierten Fördern des Förderkorbs über die definierten Lade- und Entladepositionen an den Schachtstationen (Ober- und Endlagersohle) – kommen verschiedene Sicherheitssysteme zum Einsatz. Wie bereits beschrieben, sind die Schachtstationen sowohl am oberen als auch am unteren Schachtende mit SELDA-Systemen und Prellträgern ausgestattet. Zusätzlich werden im Bereich des Führungsgerüsts Fangvorrichtungen eingesetzt.

Die SELDA-Bremseinrichtungen dienen dazu, den Förderkorb im Notfall mit definierter Verzögerung abzubremsen, ohne dabei Anlagenkomponenten oder Stationseinrichtungen zu beschädigen. Das System wurde von Fairport Engineering Ltd. entwickelt und wird außerhalb des Vereinigten Königreichs durch SIEMAG TECBERG GmbH vertrieben.

Das SELDA-System wurde im Rahmen der DEAB-Demonstrationstests durch die DBE erfolgreich für Schwerlasten geprüft – sowohl für den Förderkorb als auch für das Gegengewicht des Schwerlastfördersystems Gorleben 2. Der Einsatz von SELDA-Systemen in Verbindung mit Gegengewichten reduziert signifikant die Gefahr eines Seilrisses infolge des Übertreibens.

Ein SELDA-System besteht aus mehreren Stahlleisten, die an einem Führungsrahmen befestigt sind. Jede Stahlleiste ist mit einer SELDA-Rollenbox verbunden, die wiederum an einem Bremsrahmen montiert ist. Im Falle eines Übertreibens wird die Verformung der Stahlleisten zur Energieaufnahme und Abbremsung des Förderkorbs genutzt. Die maximale Bremsstrecke kann präzise anhand der Materialeigenschaften der Stahlleisten und der Gesamtmasse des Förderkorbs inklusive maximaler Nutzlast eingestellt werden.

Nach Abbremsen durch das SELDA-System ist zu erwarten, dass das Fördermittel zurückfällt. Durch die vorherige Entlastung und die nun plötzliche und dynamische Beanspruchung der Förderseile besteht das Risiko eines Seilrisses. Um dem entgegenzuwirken, ist unterhalb der SELDA Anlage eine Fangvorrichtung installiert, die den Förderkorb auffängt (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung einer Fangvorrichtung (Reliance Barker Davies)

#### 4.10 Hilfsfahranlage

Zusätzlich zur Hauptförderanlage für den Transport der Endlagergebinde ist eine Hilfsseilfahranlage vorgesehen. Diese dient in erster Linie der Inspektion und Wartung des Schachts sowie der Notfallbergung von Personal aus dem untertägigen Bereich.

Das System besteht aus einem einzelnen Personenkorb mit einer maximalen Nutzlast von 1,3 t. Für die zu erwartenden Lasten ist eine einseitige Trommelfördermaschine ausreichend. Die Trommel wird über einen externen Gleichstrommotor und eine unabhängige Energieversorgung betrieben. Die Anlage ist auf der Maschinenbühne des Förderturms installiert. Die Hilfsfahranlage ist mit Scheibenbremsen und Bremszangen ausgestattet.

Gemäß TAS muss für diese Art von Förderanlage ein Mindest-Sicherheitsfaktor von 7,5 für das Seil nachgewiesen werden. Der Sicherheitsfaktor des Seils ergibt sich aus dem Verhältnis der Bruchkraft des Seils zur maximal zu erwartenden Last.

Der Förderkorb der Hilfsseilfahranlage ist im Schacht gegenüber dem Gegengewicht montiert. Er wird durch zwei Stahl-Spurlatten in Position gehalten. Zwei Paare von Führungsblöcken mit Führungsrollen, die beidseitig am Förderkorb angebracht sind, gewährleisten dessen korrekte Positionierung. Die maximale Fördergeschwindigkeit beträgt 4 m/s.

#### 4.11 Schachtscheibe

Basierend auf den Mindestanforderungen für einen Schacht gemäß der in diesem Bericht beschriebenen Ausstattung wird in Abbildung 15 ein Querschnitt einer möglichen Schachtkonfiguration dargestellt.

Die Abbildung zeigt einen Schachtquerschnitt („Schachtscheibe“), der ausreichend Raum für den Förderkorb mit Gegengewicht sowie für den Korb der Hilfsfahranlage bietet. Zusätzlich steht genügend Platz zur Verfügung, um bei Bedarf Lüftungskanäle zu integrieren sowie verschiedene Versorgungsleitungen für Energie, Kommunikation, Wasser, Druckluft, Rohrleitungen usw. unterzubringen.

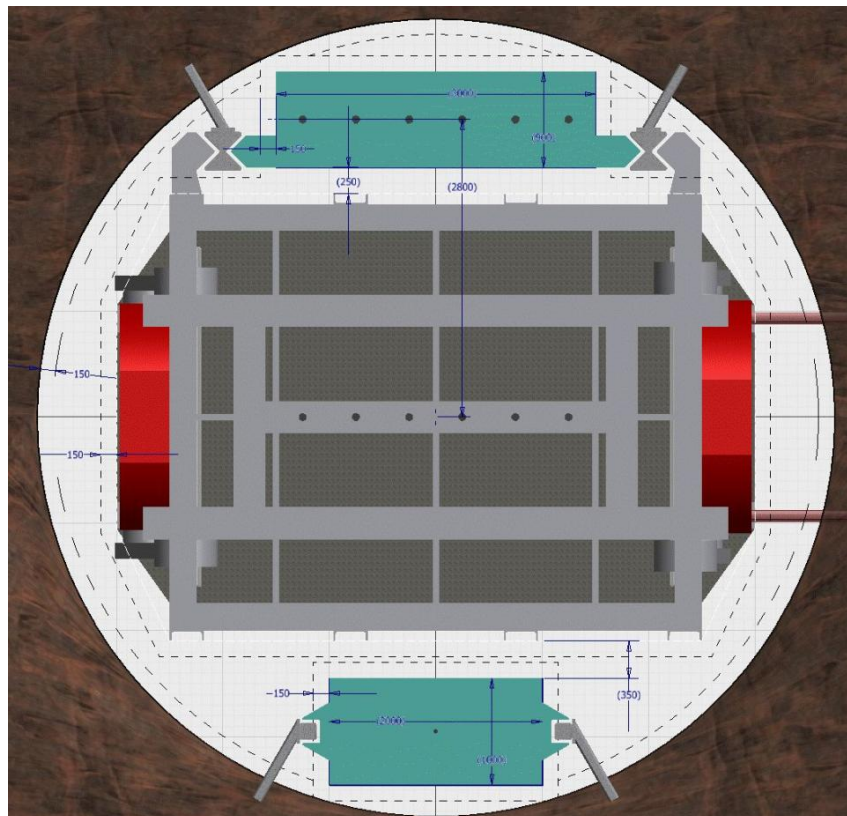


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Schachtquerschnittes (Hinweis: Das Gegengewicht befindet sich im oberen Bereich der Darstellung. Der beladene Förderkorb ist in der Mitte. Der Hilfsfahrkorb ist im unteren Bereich der Darstellung positioniert.)

## 5 Zusammenfassung des Förderablaufs

Die Schachtförderung umfasst die vertikale Bewegung des Förderkorbs sowie die horizontale Förderung an der Rasenhängebank und am Füllort auf der Endlagersohle.

Die TLB werden per Bahn oder Lkw über Tage angeliefert. Nach der Eingangskontrolle werden die beim Oberflächentransport verwendeten Stoßdämpfer vom TLB entfernt.

Zur Vorbereitung der Einlagerung wird jeder TLB in einer Handhabungseinrichtung auf einen speziell konstruierten, schienengebundenen STW für die Schachtförderung gesetzt. Der beladene STW wird vor den Schacht gefahren.

Der aus dem Untergrund kommende Förderkorb wird zunächst auf die maximale Geschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde beschleunigt und fährt dann mit konstanter Geschwindigkeit bis wenige Meter vor die Halteposition an der Oberfläche. Dort wird der Korb abgebremst und kommt oberhalb der Halteposition zum Stillstand. Die Absetzriegel werden ausgefahren und der Korb wird mit Kriechgeschwindigkeit abgesenkt, bis der Zwischenboden auf den Absetzriegeln aufliegt. Um Seilzugspannungen beim Beladen zu vermeiden, wird der Korbrahmen weiter abgesenkt und vom Zwischenboden entkoppelt. Sobald der Förderkorb korrekt positioniert ist, beginnt die Beladung des Förderkorbs mit TLB. Mehrere Schachtbarrieren verhindern einen unbeabsichtigten Absturz von Komponenten in den Schacht.

Vor Einleitung der Beladung des Förderkorbs stellen Sicherheitsverriegelungen sicher, dass der Förderkorb korrekt positioniert ist und der Zwischenboden durch die Absetzriegel gesichert ist. Mechanische und verfahrenstechnische Kontrollen gewährleisten, dass die Förderkorbbeladung erst gestartet wird, wenn alle Sicherheitsbedingungen eingehalten werden.

Zwischen den Gleisen der Tagesanlagen und denen der Rasenhängebank besteht keine direkte Verbindung. Ein Querverschub vor der Rasenhängebank unterbricht die Transportstrecke. Nach der Ankunft wird der STW auf dem Querverschub positioniert und vom Lokfahrzeug entkoppelt. Sicherungsbolzen fixieren den STW für das Verschieben. Der Querverschub verschiebt den STW anschließend in eine Warteposition vor der Schachtschleuse. Dort ergreift eine in den Querverschub integrierte Aufsetzeinrichtung den STW und bewegt ihn in Richtung Schachtschleuse.

Die Schachtbarriere kann nur abgesenkt werden, wenn der Förderkorb verriegelt und gesichert in Ladeposition steht und die Schachtschleuse geschlossen ist.

Zum Öffnen des äußeren Schachtschleusentores muss die Schachtbarriere zunächst abgesenkt werden. Anschließend, kann die Aufsetzeinrichtung innerhalb der Schachtschleuse aktiviert werden, die den STW in die Schachtschleuse zieht.

Sobald der STW korrekt in der Schachtschleuse positioniert ist, wird das äußere Tor geschlossen und die Schachtbarriere wieder angehoben. Nur wenn das äußere Tor geschlossen, die Barriere angehoben und der Förderkorb gesichert ist, kann das innere

Schachtschleusentor geöffnet werden. Erst dann kann die Aufsetzeinrichtung aktiviert und der STW in den Förderkorb überführt werden.

Wenn der STW korrekt im Förderkorb positioniert ist, wird der Förderkorbrahmen angehoben. Dabei werden die Arretierbolzen im unteren Rahmenbereich mitgeführt. Öffnungen im Zwischenboden ermöglichen das Durchführen der Bolzen in die Arretierbuchsen des STW. Die Bolzen sichern den STW für die Schachtfahrt.

Sobald der STW mit TLB korrekt positioniert und gesichert ist, werden die Förderseile langsam gespannt, bis diese das volle Gewicht des Förderkorbs tragen. Anschließend werden die Absetzriegel eingefahren und die Förderung in den Schacht kann beginnen.

Beim Erreichen des Füllorts auf Endlagersohle wird der Förderkorb durch das Bremssystem langsam bis knapp oberhalb der Endposition abgebremst. Die Absetzriegel werden ausgefahren und der Korb wird mit Kriechgeschwindigkeit abgesenkt, bis der Zwischenboden auf den Verriegelungen aufliegt. Um Seilspannungen zu vermeiden, wird der Korb in eine Warteposition abgesenkt, bis der Zwischenboden vom Korbrahmen entkoppelt ist und die Arretierbolzen aus dem STW gezogen wurden.

Zur Entladung des Förderkorbs wird eine im Boden der Schachtstation installierte Abzieheinrichtung verwendet.

Ist der Förderkorb korrekt positioniert, kann das Schachttor geöffnet werden. Erst dann wird die Abzieheinrichtung aktiviert und der STW aus dem Förderkorb gezogen. Die Schachtbarriere bleibt zunächst angehoben. Sobald der STW auf der Aufsetzeinrichtung außerhalb des Schachts positioniert ist, wird das Schachttor geschlossen. Danach kann die Barriere abgesenkt und der STW in den untertägigen Bereich überführt werden.

Im Endlagerkonzept nach DIREGT wird unter Tage ein separater STW für die TLB verwendet. Ein Umladegerät hebt den TLB vom STW und setzt ihn auf eine Transport- und Einlagerungsvorrichtung um. Diese wird im vorliegenden Bericht nicht weiter beschrieben.

Nach der Entladung des TLB vom STW wird der Förderprozess für den leeren STW in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt.

In Tabelle 2 und Tabelle 3 werden Betriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Komponenten sowie die ungefähre Dauer der einzelnen Prozessschritte angegeben.

Tabelle 2: Betriebsgeschwindigkeit der Komponenten

Einrichtung	Geschwindigkeit
Aufsetz- /Abzugeinrichtung	0,3 m/s
Querverschub	0,3 m/s
Förderkorb (maximal)	1 m/s
Förderkorb (Kriechfahrt)	1 cm/s

Tabelle 3: Zeitabschätzung für einen vollständigen Förderzyklus

Nr.	Vorgang / Zustand	Zeit [min]
1	Beladung des STW mit TLB in den Förderkorb ü.T.	7
2	Förderung zu Füllort auf Endlagersohle	22
3	Entladung des STW mit TLB aus dem Förderkorb	4
4	Beladung des leeren STW in den Förderkorb u.T.	4
5	Rückförderung zur Rasenhängebank	22
6	Entladung des leeren STW aus dem Förderkorb	7
	<b>Gesamtzeit pro Zyklus</b>	<b>66 min</b>

## 6 Betriebliche Sicherheitsanalysen

Ein Schachtfördersystem für den Transport von radioaktiven Endlagergebinden in die Einlagerungstiefe eines Endlagers erfüllt eine zentrale Funktion im Rahmen der Abfalllogistik und besitzt daher eine wesentliche sicherheitstechnische Bedeutung. Nutzlasten von über 50 t sind dabei außergewöhnlich. Deutlich höhere Gesamtlasten werden vor allem in sehr tiefen Schächten aufgrund des hohen Seilgewichts erreicht – allerdings im Produktionsbetrieb mit deutlich geringeren Nutzlasten.

Das zentrale sicherheitstechnische Risiko beim Schachttransport von radioaktiven Abfällen besteht in einem Versagen des Fördersystems, das zu einem unkontrollierten Absturz der Nutzlast im Schacht führen könnte – mit der potenziellen Folge einer Freisetzung radioaktiver Stoffe. Die Zuverlässigkeit eines Fördersystems für Nutzlasten bis 85 t in Endlagertiefe wurde im Rahmen des DEAB-Projekts durch die DBE nachgewiesen. Ziel des DEAB-Projekts war die technische Machbarkeitsprüfung und konstruktive Bewertung eines Schwerlastfördersystems sowie die Sicherheitsbewertung unter Berücksichtigung der einschlägigen berg- und atomrechtlichen Anforderungen in Deutschland.

Das DEAB-Projekt bestand aus zwei Hauptkomponenten:

- Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA)
- Demonstrationstests

In den folgenden Kapiteln werden der DEAB-Demonstrationstest und vor allem eine deterministische betriebliche Sicherheitsbewertung aus dem DIREGT-Projekt dargestellt. Die Bewertung basiert auf dem Transport eines abgeschirmten Endlagergebindes. Aufgrund der betrieblichen Ähnlichkeit zwischen den Konzepten der DBE für 85 t (DBE 08.2013) und dem DIREGT-Projekt sind die Sicherheitsanalysen inhaltlich weitgehend vergleichbar. Im Rahmen des DIREGT-Projekts wurde keine probabilistische Sicherheitsanalyse durchgeführt.

### 6.1 DEAB-Demonstrationstest

Der Demonstrationstest des Fördersystems wurde unter Berücksichtigung der relevanten bergrechtlichen Vorschriften sowie der nuklearen Sicherheitsanforderungen in Deutschland konzipiert. Vorangegangene Studien dienten der Ermittlung geeigneter Sicherheitsanforderungen für den konventionellen und radiologischen Transport.

Die theoretische Sicherheitsbewertung wurde durch vollmaßstäbliche Demonstrationstests ergänzt, um die Zuverlässigkeit der betrachteten Sicherheitsfunktionen zu verifizieren und Nachweise zur Systemzuverlässigkeit zu erbringen. Ziel des Tests war die Bewertung der Funktionalität und Zuverlässigkeit aller Systemkomponenten.

Die Schachtstationen an Oberfläche und Endlagersole wurden dabei so ausgeführt, wie sie für den Endlagerbetrieb vorgesehen sind. Somit war der Demonstrationstest geeignet, die Abläufe für die Be- und Entladung des Förderkorbs realitätsnah zu prüfen.

Im Rahmen des Demonstrationstests (Engelmann et al. 1994) konnte die Leistungsfähigkeit folgender Komponenten des Fördersystems bestätigt werden:

- Schachtbarriere
- Aufsetzeinrichtung
- Schachtschleuse
- Beweglicher Zwischenboden
- SELDA-System
- Sicherheitskreis

## **6.2 Sicherheitsanalyse und Schlussfolgerung**

Eine detaillierte deterministische Sicherheitsanalyse in Tabellenform ist im Anhang 1 dargestellt. Im Folgenden werden die wesentlichen Risiken und ihr Umgang damit vorgestellt.

### **6.2.1 Beladevorgang des Förderkorbs an den Schachtstationen**

Die Aufsetzeinrichtungen an der Rasenhängebank und am Füllort sind nahezu identisch ausgeführt. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Systemen besteht in der Einbindung einer Schachtschleuse an der Oberfläche als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme, um einen Absturz in den Schacht zu vermeiden. Im untertägigen Bereich ist keine Schachtschleuse vorgesehen.

Im Folgenden wird der Beladevorgang des beladenen STW an der Oberfläche sicherheitstechnisch betrachtet. Auf konzeptioneller Ebene umfasst diese Betrachtung auch die untertägigen Abläufe, da die identifizierten Fehlfunktionen an beiden Stationen sowohl beim Be- als auch beim Entladen auftreten können.

Die wesentlichen Fehlfunktionen der Aufsetzeinrichtung wurden wie folgt identifiziert:

- Absturz des Behälters in den offenen Schacht
- Kollision des STW mit Komponenten der Aufsetzeinrichtung
- Herabfallen von Lasten auf den TLB
- Brandereignis im Bereich der Aufsetzeinrichtung
- Ausfall der Energieversorgung

Ein unbeabsichtigter Zugang zum Schacht, insbesondere ein versehentliches Einfahren des STW in den offenen Schacht, wird durch mehrere redundante Schachtbarrieren verhindert. Das Öffnen einzelner Barrieren ist jeweils nur über eine separate Steuersequenz möglich. An der Oberfläche wird der Schachtzugang durch die Schachtschleuse und die Schachtbarriere gesichert. An der untertägigen Schachtstation verhindern ein Schachttor und die Schachtbarriere den unbeabsichtigten Zugang.

Wie in Abschnitt 5 beschrieben, kann das innere Schachtschleusentor nur geöffnet werden, wenn die Absetzriegel ausgefahren sind und sich der Zwischenboden in Ladeposition befindet.

Zwischen den Transportgleisen über Tage und der Schachtstation besteht keine direkte Gleisverbindung. Stattdessen kommt ein Querverschub zum Einsatz, um die ankommende Ladung seitlich vor die Schachtstation zu verschieben. Dadurch wird verhindert, dass der STW durch das Schubfahrzeug versehentlich in die Schachtschleuse oder das Schachttor geschoben wird und infolgedessen in den Schacht stürzt. Eine zusätzliche Barriere – die Schachtbarriere – blockiert die Gleise vor der Schachtschleuse und dient als weitere Schutzmaßnahme. Das Öffnen der Schachtbarriere ist nur möglich, wenn der STW mit der Aufsetzeinrichtung verbunden ist und die Schachtschleusentore geschlossen sind. Der Einsatz mehrerer Barrieren stellt sicher, dass ein unbeabsichtigtes Einfahren des STW in den offenen Schacht nur bei sequenziellem Versagen aller Sperreinrichtungen möglich wäre. Ein Absturz des Behälters in den offenen Schacht kann daher im Rahmen des Beladevorgangs praktisch ausgeschlossen werden.

Eine Kollision des beladenen STW mit anderen Einrichtungen während des Beladevorgangs führt nicht zu Schäden an den betroffenen Komponenten. Die Schachtschleusentore und die Schachtbarriere sind so ausgelegt, dass sie eine Kollision mit einem beladenen STW mechanisch auffangen können. Darüber hinaus ist die Geschwindigkeit der Aufsetzeinrichtung auf 0,3 m/s begrenzt. Der TLB ist ebenfalls so konstruiert, dass er die mechanischen Belastungen eines Aufpralls aufnehmen kann. Im Extremfall könnte eine Kollision am Anschlag über Tage zu einer Entgleisung des STW führen. In diesem Fall müsste der STW mit TLB wieder aufgegleist werden. Der Wiederaufgleisvorgang wurde im Rahmen des DIREGT-Projekts sicherheitstechnisch bewertet, einschließlich einer Abschätzung der potenziellen Strahlenexposition des Personals. Es konnte gezeigt werden, dass der Wiederaufgleisvorgang durchführbar ist und innerhalb der gesetzlich zulässigen Dosisgrenzwerte gemäß deutschem Strahlenschutzrecht liegt.

Ein Brandereignis im Bereich der Aufsetzeinrichtung könnte eine thermische Einwirkung auf den Behälter verursachen. Im DIREGT-Design sind aktive und passive Brandschutzmaßnahmen vorgesehen, um potenzielle Brandquellen zu minimieren und thermische Auswirkungen zu begrenzen. Dennoch ist es nicht möglich, sämtliche potenziellen Brandlasten – wie Kabel, Kunststoffe, Schmierstoffe und Diesel – vollständig aus der Anlage zu entfernen.

### **6.2.2 Schachttransport**

Beim Schachttransport wurden drei wesentliche Fehlfunktionen identifiziert:

- Absturz des beladenen Förderkorbs
- Herabfallen von Lasten auf den beladenen Förderkorb
- Übertreiben an einer der Schachtstationen

Ein Absturz des beladenen Förderkorbs kann durch das Versagen aller Förderseile oder deren Befestigungen verursacht werden. Die in der TAS definierten Auslegungsanforderungen für Förderseile sowie die in der BVOS festgelegten Überwachungsanforderungen wirken zusammen, um ein vollständiges Seilversagen und damit einen Absturz auszuschließen. Neben der täglichen Sichtprüfung durch das Betriebspersonal erfolgt eine regelmäßige

Inspektion durch unabhängige Sachverständige. Die Prüffristen und Prüfanforderungen sind in den einschlägigen deutschen Regelwerken festgelegt. Das umgesetzte Sicherheitskonzept für Seile hat sich über Jahrzehnte hinweg bewährt– ein Absturz infolge eines Seilversagens ist in Deutschland nicht dokumentiert.

Ein Herabfallen schwerer Lasten auf den Förderkorb während der Schachtförderung kann durch Montage- oder Wartungsfehler verursacht werden. So könnten beispielsweise Teile der Spurlatten infolge eines nicht erkannten Material- oder Befestigungsfehlers in den Schacht stürzen. Dadurch könnten der Förderkorb, die Seile und/oder die Zwischengeschirre beschädigt werden. Eine Beschädigung des sich im Korb befindlichen Behälters ist jedoch sehr unwahrscheinlich. Die in TAS und BVOS definierten Anforderungen an Konstruktion und Wartung gewährleisten ausreichende Sicherheitsreserven, um potenzielle Schäden frühzeitig zu erkennen und darauf zu reagieren.

Ein Übertreiben tritt auf, wenn der Förderkorb an der Schachtstation nicht wie vorgesehen stoppt, sondern mit regulärer Fördergeschwindigkeit weiterfährt. In diesem Fall wird der Korb durch das SELDA-System abgebremst und bei Bedarf am Prellträger gestoppt. Ein Übertreiben kann durch ein Versagen der Steuerung oder der Bremseinrichtung ausgelöst werden. Beide Systeme sind daher redundant ausgelegt. Die Auslegung des SELDA-Systems berücksichtigt ein Übertreiben bei maximaler Fördergeschwindigkeit. Im Ereignisfall werden die Stahlleisten des SELDA-Systems plastisch verformt. Diese Komponenten sind nach Sicherung des Förderkorbs und Abschaltung des Systems leicht austauschbar.

Das Versagen einzelner Komponenten des Fördersystems – auch bei redundanter Auslegung – z. B. infolge eines Brandes oder Stromausfalls, führt zur Abschaltung des Gesamtsystems. Die Anlage ist so konzipiert, dass unabhängig von der Position des Förderkorbs im Schacht ein Sicherheitskreis aktiviert werden kann, um den Fördervorgang abzubremsen und zu stoppen. Je nach Schwere des Fehlers wird eine der folgenden Maßnahmen ausgelöst:

- Sofortige Unterbrechung des Fördervorgangs durch die Sicherheitsbremse
- Elektronische Verzögerung des Fördervorgangs vor Bremsaktivierung („Normalstopp“)
- Abschluss des laufenden Fördervorgangs, jedoch Sperrung eines neuen Förderzyklus

Basierend auf den Erfahrungen aus der Auslegung des Schachts Konrad 2, den Demonstrationstests im Rahmen des DEAB-Projekts sowie dem aktuellen Stand der Technik für Schachtfördersysteme kommt die im Rahmen von DIREGT III durchgeführte Sicherheitsanalyse zu dem Ergebnis, dass die Auslegung des Fördersystems die Eintrittswahrscheinlichkeit aller potenziellen Betriebsfehler auf das allgemein akzeptierte Restrisiko (kleiner  $10^{-6}$  pro Jahr) reduziert (siehe Tabelle 4). Die Einhaltung der Anforderungen aus TAS und BVOS, insbesondere im Hinblick auf Inspektions- und Wartungsmaßnahmen sowie die Redundanz sicherheitsrelevanter Systeme, gewährleistet ein ausreichendes Sicherheitsniveau für das Fördersystem.

Tabelle 4: Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten auf Basis von Unfallstatistiken bestehender Fördersysteme (GRS 1989; DBE 1993)

Risiko / Gefährdung	Exposition	Ereignisfrequenz pro Jahr (Konrad)	Ereignisfrequenz pro Jahr (DEAB)
Brand im Bereich des Fördersystems	thermisch	$2 \times 10^{-7}$	nicht analysiert
Absturz des TLB beim Beladen	mechanisch	$4 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-11}$
Übertreiben	mechanisch	$7 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-7}$
Absturz während des Transports	mechanisch	$4 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-7}$
Kollision des Förderkorbs mit Spurlatten	mechanisch	$7 \times 10^{-6}$	nicht analysiert
Herabfallen schwerer Lasten auf den Korb	mechanisch	$2 \times 10^{-7}$	$5,3 \times 10^{-7}$

## 7 Literaturverzeichnis

- Bollingerfehr, W.; Filbert, W.; Dörr, S.; Herold, P.; Lerch, C.; Burgwinkel, P. (...) (2012): *VSG. Endlagerauslegung und -optimierung. Bericht zum Arbeitspaket 6. Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben GRS-281*. GRS; DBE TECHNOLOGY GmbH (DBE TEC); nse international. Köln.  
<https://www.grs.de/de/aktuelles/projekte/vorlaeufige-sicherheitsanalyse-gorleben-vsg>
- Bollingerfehr, W.; Filbert, W.; Lerch, C.; Tholen, M. (2011): *VSG. Endlagerkonzepte. Bericht zum Arbeitspaket 5. Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben GRS-272*. DBE TECHNOLOGY GmbH (DBE TEC). Köln.  
<https://www.grs.de/de/aktuelles/projekte/vorlaeufige-sicherheitsanalyse-gorleben-vsg>
- BVOS: Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen
- DBE (08.2013): *Hoisting of very large payloads for a generic waste repository for used nuclear fuel, final report*. DBE. Peine
- DBE (1993): *Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente (DEAB). Handhabungsversuche zur Streckenlagerung, Versuche zur Behebung von Betriebsstörungen (TA 4) T64*. DBE. Peine
- Engelmann, H.-J. & Filbert, W. (1994): *DEAB. T41. Simulation des Schachttransportes. Abschlußbericht. Hauptband. Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente*. Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE). Peine
- Engelmann, H.-J.; Filbert, W.; Heda, M.; Schrimpf, C. (1994): *DEAB. T46. Simulation des Schachttransportes. Versuche zur Überprüfung sicherheitstechnisch bedeutsamer Komponenten (TA 7). Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente*. Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE). Peine
- Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (2023): *CASTOR V/19 Produktinfo* [online] Essen: Gesellschaft für Nuklear-Service mbH. [Zugriff am: 03.11.2025]. Verfügbar unter [https://www.gns.de/media/qxtlz0wd/castor\\_v19\\_produkinfo\\_2023\\_10\\_de\\_v01.pdf](https://www.gns.de/media/qxtlz0wd/castor_v19_produkinfo_2023_10_de_v01.pdf)
- Graf, R.; Brammer, K.-J.; Filbert, W. (2012): *DIREKTE ENDLAGERUNG VON TRANSPORT- UND LAGERBEHÄLTERN. ein umsetzbares technisches Konzept*. GNS mbH. KTG Tagung 2012
- GRS (1989): *Systemanalyse Konrad. Teil 3: Anlagenbewertung des geplanten Endlagers Konrad (GRS-A-1493)*. GRS. unveröffentlicht
- Reliance Barker Davies (31.07.2013): *Overwind Catchgear / Barker-Davies Catchgears* [online] Reliance Barker Davies Verfügbar unter <http://www.reliancebarkerdavies.com/>
- TAS: Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen

**Anhang 1: Vorläufige Sicherheitsbetrachtung des Einlagerungsablaufes**

<b>Systemkomponente</b>	<b>Fehlfunktion / Gefährdung</b>	<b>Auswirkung</b>	<b>Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen</b>
Schachtbarriere	Barriere schließt während des Transportvorgangs STW befindet sich direkt über der Barriere und trifft STW-Boden	STW vorübergehend nicht betriebsbereit Beschädigung von Komponenten (Hydraulik, Räder, Achsen, Lager, Bremssystem) Erhöhte Strahlenexposition bei Bergung/Reparatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ersatzkomponenten für Reparaturen vorhalten</li> <li>• Notfallausrüstung zur Umladung des Behälters auf ein alternatives Transportsystem am Schacht bereithalten</li> <li>• Reparaturbedarf bewerten; ggf. Umladung auf Hilfssystem und Verbringung in Pufferlager</li> <li>• Reparatur durchführen und System vor Wiederinbetriebnahme testen</li> </ul>
		STW wird von den Schienen angehoben → Entgleisung Erhöhte Strahlenexposition für Personal bei Wiederaufgleisung	Wiederaufgleisungsausrüstung vorhalten Zusätzliche persönliche Schutzausrüstung für Reparaturpersonal bereitstellen
	Fehlfunktion der Aufsetzeinrichtung	Transport bleibt im Bereich der Schachtstation liegen. Erhöhte Strahlenexposition bei Bergung/Reparatur.	Manuelle Backup-Systeme zur Bedienung vorsehen. Zusätzliche Bedienmannschaft zur manuellen Steuerung bereitstellen.
	Fehlfunktion der Aufsetzeinrichtung innerhalb der Schachtschleuse	Abfalltransport trifft mit maximaler Geschwindigkeit auf die Schachtbarriere Keine radiologische Exposition zu erwarten.	Barriere für maximalen Aufprall ausgelegt. Stoßfänger am STW absorbieren den Aufprall und verhindern Entgleisung.
Schachtschleuse	Fehlfunktion der Aufsetzeinrichtung innerhalb der Schachtschleuse	Abfalltransport trifft mit maximaler Geschwindigkeit auf Schachtschleuse. Keine radiologische Exposition zu erwarten.	Stoßfänger im STW absorbieren den Aufprall. Konstruktion der Schleusentore für maximalen Aufprall ausgelegt.

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
	Vorzeitiges Schließen während des Transports; Abfalltransport befindet sich unterhalb des Schleusentores	Schleusentor trifft auf den Abfalltransport. Der Transport wird eingeklemmt und kann nicht bewegt werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Bedienung der Schleusentore im Störfall vorgesehen.</li> <li>• Hubhöhe der Tore begrenzt, um Fallhöhe und Aufprallenergie zu minimieren. Auswirkungen abhängig von Behälterbauweise und Material. Betriebsabläufe so gestalten, dass ein solches Szenario vermieden wird.</li> <li>• Elektronische und mechanische Sicherungen integrierbar, um Auftreten auszuschließen.</li> <li>• Betroffene Behälter sind zur Inspektion und ggf. Reparatur ins Pufferlager zurückzuführen.</li> </ul>
Aufsetzeinrichtung	Fehlfunktion der Aufsetzeinrichtung oder Steuerungsversagen	Mechanisches oder steuerungstechnisches Versagen führt zu falscher Positionierung des Endlagergebindes; möglicher Absturz; Strahlenexposition möglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Bedienung der Kupplungsvorrichtung zur Freigabe des Abfalltransports.</li> <li>• Rückführung des Transports in Warteposition auf der Aufsetzeinrichtung (z. B. mittels Hilfsseilwinde).</li> </ul>
	Kupplungsvorrichtung öffnet nicht	Mechanisches oder steuerungstechnisches Versagen verhindert das Freigeben des Abfalltransports; Verzögerungen und Strahlenexposition möglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Bedienung der Kupplungsvorrichtung zur Freigabe des Abfalltransports.</li> <li>• Rückführung des Transports in Warteposition auf der Aufsetzeinrichtung (z. B. mittels Hilfsseilwinde).</li> </ul>
Absetzriegel	Fehlfunktion einer oder mehrerer Absetzriegel; Ausfahren nicht möglich. Gilt für beide Schachtstationen.	Fixierung der Transportplattform in Ladeposition nicht möglich. Beide Schachtstationen betroffen. Der Aufgabevorgang kann nicht abgeschlossen werden; der Förderkorb kann erst in die Ladeposition abgesenkt werden, wenn die Störung behoben ist.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren bestätigen das vollständige Einrasten der Verriegelungen.</li> <li>• Das Steuerungssystem erlaubt das Absenken des Förderkorbs in die Ladeposition nur bei korrekt eingerasteten Verriegelungen.</li> <li>• Absetzriegel sind manuell bedienbar.</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
	<p>Fehlfunktion einer oder mehrerer Absetzriegel; können nicht einfahren.</p> <p>Gilt für Rasenhängebank.</p>	<p>Schachttransport nicht möglich; an der Rasenhängebank lassen sich eine oder mehrere Riegel nicht einfahren. Da der Förderkorb in Transportposition angehoben ist und die Seile gespannt sind, ist ein Absturz ausgeschlossen. Reparaturen können jedoch zu einer erhöhten Strahlenexposition des Personals führen.</p>	<p>Sensoren bestätigen das vollständige Einrasten bzw. Einfahren der Verriegelungen. Das Steuerungssystem gestattet den Schachttransport nur, wenn alle Verriegelungen eingezogen sind. Absetzriegel sind manuell bedienbar.</p>
	<p>Materialermüdung oder Materialfehler führt zum Bruch einer oder mehrerer Verriegelungen während des Beladevorgangs</p> <p>Gilt für beide Schachtstationen.</p>	<p>Ungleichmäßige Lastverteilung auf verbleibende Absetzriegel. Die Auslegung berücksichtigt den Ausfall einzelner Absetzriegel. Der Ausfall mehrerer Absetzriegel kann zum Absinken des Zwischenbodens auf den Tragboden führen (ca. 20 cm), wodurch Seilrutschen am Förderkorb auftreten kann.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßige Inspektionen prüfen tragende Bauteile auf Materialermüdung und -fehler; verschlissene Teile werden ersetzt.</li> <li>• Die Auslegung stellt sicher, dass drei Verriegelungen genügen, um die beladene Plattform bis zur Entnahme des Behälters zu sichern.</li> <li>• Notbremsen begrenzen Seilrutschen auf definierte Werte, bevor sie ansprechen.</li> </ul>
Schacht	Versagen eines einzelnen Seiles	Ein einzelnes Seil kann reißen (z. B. Reißen infolge Materialermüdung); die in den verbleibenden Seilen berücksichtigten Sicherheitsfaktoren schließen einen Absturz aus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TAS legt strenge Sicherheitsanforderungen für Förderseile fest.</li> <li>• Konstruktions- und Ausführungsanforderungen minimieren Risiken.</li> <li>• Seile werden kontinuierlich auf Materialschwächen überwacht.</li> <li>• Regelmäßige Inspektionen und Wartungen stellen sicher, dass Mängel erkannt und behoben werden.</li> <li>• Sensoren an den Seilbefestigungen geben eine Frühwarnung bei ungleichmäßiger Lastverteilung.</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Sicherheitsfaktor der verbleibenden Seile gewährleistet ausreichende Sicherheit.</li> <li>• Bei Ankunft an der untertägigen Schachtstation wird der Abfalltransport gemäß Notfallprotokoll sofort entladen und der Förderkorb, falls möglich, zur Oberfläche zurückgeführt; Reparaturen können einschließlich eines vollständigen Seiltausches erfolgen.</li> </ul>
	<p>Versagen mehrerer oder aller Seile</p>	<p>Versagen mehrerer Seile infolge materialbedingter Schwäche kann zu einem Kaskadenversagen aller Seile führen, wobei die Transportladung unkontrolliert in den Schacht stürzt. Dieses Versagensszenario ist durch konstruktive Maßnahmen auszuschließen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TAS stellt strenge Anforderungen an Förderseile.</li> <li>• Konstruktive und ausführungstechnische Vorgaben für Seile minimieren potenzielle Risiken.</li> <li>• Seile werden kontinuierlich überwacht, um Materialschwächen zu erkennen.</li> <li>• Regelmäßige Inspektionen, einschließlich Prüfungen bereits während der Errichtung, sowie Wartungsmaßnahmen stellen sicher, dass Mängel identifiziert und behoben werden.</li> </ul> <p>(Ein Restrisiko verbleibt systembedingt.)</p>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
	Seilrutschen	Seilrutschen infolge ungleichmäßiger Lastverteilung kann durch übermäßige Geschwindigkeitsänderungen (Bremsen oder Beschleunigen), unzureichende Reibung zwischen Seil und Treibscheibe oder unterschiedliche Drehmomente auf den Seilen entstehen. Die Seilrutschlänge wird durch die Unterschiede in den Drehmomenten bestimmt. Im schlimmsten Fall kann der Förderkorb über die gesamte Schachtlänge abrutschen;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichende Reibfläche an der Treibscheibe vorsehen</li> <li>• Bremssysteme so auslegen, dass maximale Bremsgeschwindigkeit/-weg nicht überschritten wird</li> <li>• Steuerung des Anfahrens so gestalten, dass maximale Beschleunigung nicht überschritten wird</li> <li>• Sensoren zur Überwachung der Seillastverhältnisse während des Fördervorgangs einsetzen</li> <li>• regelmäßige Wartungen und Inspektionen von Treibscheibenfutter, Seilen und Schmiermitteln</li> <li>• optionales geregeltes Bremssystem (ähnlich ABS) zur weiteren Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit einbauen.</li> </ul>
	Versagen eines einzelnen Zwischengeschirrs infolge mechanischer oder materialbedingter Fehler	Ein einzelnes Zwischengeschirr kann versagen; die in der Konstruktion berücksichtigten Sicherheitsfaktoren der verbleibenden Befestigungen schließen einen Absturz aus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TAS stellt strenge Sicherheitsanforderungen für Zwischengeschirre.</li> <li>• Konstruktions- und Ausführungsvorgaben minimieren potenzielle Risiken. Regelmäßige Inspektionen und Wartungen der Befestigungen gewährleisten die frühzeitige Erkennung und Behebung von Mängeln.</li> <li>• Sensoren an den Zwischengeschirren geben Frühwarnung bei ungleichmäßiger Lastverteilung.</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Sicherheitsfaktor der verbleibenden Befestigungen gewährleistet ausreichende Sicherheit.</li> <li>• Nach Ankunft an der untertägigen Schachtstation wird der Abfalltransport gemäß Notfallprotokoll sofort entladen und der Förderkorb, sofern möglich, zur Oberfläche zurückgeführt und instandgesetzt.</li> </ul>
	Versagen mehrerer Zwischengeschirre	Führt zu einem Kaskadenversagen aller Befestigungen; der Abfalltransport stürzt unkontrolliert in den Schacht.	<p>Dieses Szenario muss durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TAS stellt strenge Sicherheitsanforderungen für Seilbefestigungen.</li> <li>• Konstruktions- und Ausführungsvorgaben minimieren potenzielle Risiken. Regelmäßige Inspektionen – einschließlich Prüfungen während der Errichtung – sowie Wartungen gewährleisten die frühzeitige Erkennung und Behebung von Mängeln.</li> </ul> <p>(Ein Restrisiko bleibt systembedingt bestehen)</p>
	Versagen der Spurlatten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruch oberhalb oder unterhalb des Förderkorbs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderweg wird unterbrochen.</li> <li>• Teile der beschädigten Spurlatten können herabfallen. Herabfallende Teile können andere Komponenten des Fördersystems beschädigen.</li> <li>• Wird der Schaden nicht erkannt, kann der Förderkorb beim Fördern mit der defekten Führung kollidieren.</li> <li>• Entgleisung möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TAS und zugehörige Regelwerke enthalten detaillierte Anforderungen und Wartungsvorgaben für Fördersysteme einschließlich Führungen.</li> <li>• Strenge Anforderungen an die Auslegung der Spurlatten sind umzusetzen.</li> <li>• Regelmäßige Inspektionen und Wartungen sind erforderlich.</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an Lutten, Kabeln, Hilfsfahranlage und Gegengewicht sind möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Endlagergebinde ist ausreichend zu sichern, um Schäden bei einer Kollision mit einer beschädigten Spurlatte zu vermeiden.</li> </ul>
	Stromausfall der Bremsanlage	Die Anlage ist so ausgelegt, dass bei Stromausfall die Bremsen automatisch aktiviert werden. Es sind keine radiologischen Auswirkungen zu erwarten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stromausfälle im Fördersystem werden unter normalen Betriebsbedingungen berücksichtigt.</li> </ul>
	Stromausfall der Winde	Die Anlage ist so ausgelegt, dass bei Stromausfall die Bremsen automatisch aktiviert werden. Es sind keine radiologischen Auswirkungen zu erwarten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stromausfälle im Fördersystem werden unter normalen Betriebsbedingungen berücksichtigt.</li> </ul>
Schachtstation (über- oder unter Tage)	Endlagergebindetransport fällt in offenen Schacht	Der Endlagergebinde stürzt in den Schacht, was zu einer erheblichen radiologischen Freisetzung führt.	<p>Mehrere Systeme sind konstruktiv vorgesehen, um dieses unwahrscheinliche Szenario auszuschließen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Querverschub verhindert direkten Zugang vom Gleissystem der Tagesanlagen zum Schacht</li> <li>Schachtbarriere und Schachtschleuse sichern den Schacht</li> <li>Mechanische Steuerungssysteme stellen sicher, dass die Schachtbarriere nur geöffnet werden kann, wenn die äußere Schleusentür geöffnet und der STW von der Aufsetzeinrichtung erfasst ist. Der Wagen kann erst auf den Förderkorb bewegt werden, wenn die äußere Schleusentür geschlossen und die innere geöffnet ist. Die innere Schleusentür kann nur geöffnet werden, wenn der Zwischenboden in Ladeposition ist.</li> <li>Schachtschleusentüren können nur einzeln geöffnet werden, wodurch jede Bewegung in Richtung des Schachts unterbrochen wird</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
	Übertreiben	<p>Förderkorb stoppt nicht an der Rasenhängebank</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Förderkorb wird durch das SELDA-System abgebremst.</li> <li>• Fangklinken fangen den Korb nach dem Bremsvorgang ab. Keine schwerwiegenden Folgen; das SELDA-System muss jedoch nach Einsatz ersetzt werden.</li> <li>• Keine radiologischen Auswirkungen für das Betriebspersonal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Endlagergebäude wird über die Aufsetzeinrichtung auf den Zwischenboden geladen; im unmittelbaren Schachtbereich werden keine Schubfahrzeuge eingesetzt.</li> <li>• Das SELDA-System ist als Sicherheitseinrichtung in das Führungsgerüst integriert.</li> <li>• Regelmäßige Inspektionen und Wartungen aller relevanten Komponenten und Bauteile.</li> <li>• Im Falle eines Übertreibens werden alle Komponenten des SELDA-Systems geprüft und bei Bedarf ersetzt.</li> </ul>
Führungsgerüst	Übertreiben mit Überschreiten der Auslegungskriterien des SELDA-Systems	<p>Der Förderkorb kollidiert bei normaler Fördergeschwindigkeit mit dem SELDA-System, wobei dessen Bremskapazität überschritten wird. Der Impuls des Förderkorbs wird durch die Prellträger aufgefangen. Gleichzeitig schlägt das Gegengewicht auf das im Schachtsumpf installierte SELDA-System auf.</p> <p>Fangklinken fangen den Förderkorb und verhindern einen Absturz auch bei Seilriss.</p> <p>Der Aufprall kann Komponenten des Fördersystems und des Schachts beschädigen.</p> <p>Der Endlagergebäude kann beschädigt werden, was zu erhöhter Strahlenexposition führen kann</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das SELDA-System einschließlich Prellträger ist als Sicherheitsfunktion sowohl an der Schachtstation als auch im Schachtsumpf in das Fördersystem integriert.</li> <li>• Regelmäßige Inspektionen und Wartungen aller relevanten Komponenten und Bauteile.</li> <li>• Im Falle eines Übertreibens werden sämtliche Komponenten des Fördersystems geprüft und bei Bedarf ersetzt.</li> </ul>
Füllort	Übertreiben mit Überschreiten der Auslegungskriterien des SELDA-Systems	<p>Der Förderkorb kollidiert bei normaler Fördergeschwindigkeit mit dem SELDA-System, wobei dessen Bremskapazität überschritten wird.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das SELDA-System einschließlich Prellträger ist als Sicherheitsfunktion sowohl über Tage</li> </ul>

Systemkomponente	Fehlfunktion / Gefährdung	Auswirkung	Korrektur- oder Präventionsmaßnahmen
		<p>Der Impuls des Förderkorbs wird durch die Prellträger aufgefangen. Gleichzeitig schlägt das Gegengewicht auf das am Fördergerüst installierte SELDA-System auf.</p> <p>Fangklinken fangen das Gegengewicht im Führungsgerüst und verhindern einen Absturz</p> <p>Der Aufprall kann Komponenten des Fördersystems und des Schachts beschädigen</p> <p>Der Endlagergebinde kann beschädigt werden, was zu erhöhter Strahlenexposition führen kann</p>	<p>im Führungsgerüst als auch unter Tage im Fördersystem integriert.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßige Inspektionen und Wartungen aller relevanten Komponenten und Bauteile.</li> <li>• Im Falle eines Übertreibens werden sämtliche betroffene Komponenten des Fördersystems geprüft und bei Bedarf ersetzt.</li> </ul>
Anschlag über Tage	Nicht zugehöriges Ausrüstungsteil oder Material fällt versehentlich in den Schacht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das herabfallende Objekt beschädigt Komponenten des Schachtfördersystems.</li> <li>• Es kann zu Schäden am Endlagergebinde während des Schachttransports kommen, was eine potenzielle radiologische Exposition zur Folge haben kann.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Dach des Förderkorbs ist geschlossen und schützt die Endlagergebinde vor herabfallenden Objekten.</li> <li>• Schwerwiegende Schäden am Endlagergebinde sind nicht zu erwarten, da die Sicherheitseinrichtungen des Schachts das Herabfallen größerer Komponenten (z. B. Fahrzeugen) ausschließen.</li> <li>• Sollte dennoch ein Objekt versehentlich in den Schacht fallen, sind alle potenziell betroffenen Komponenten des Fördersystems und der zugehörigen Sicherheitseinrichtungen umfassend zu inspizieren und erforderliche Reparaturen einzuleiten.</li> </ul>

## Anhang 2: Auslegungsrechnung

### Ermittlung der Überlasten – Seilförderanlage mit Treibscheibe und Gegengewicht

Die Überlasten werden gemäß TAS 3.11.1.1 und 3.11.1.2 ermittelt.

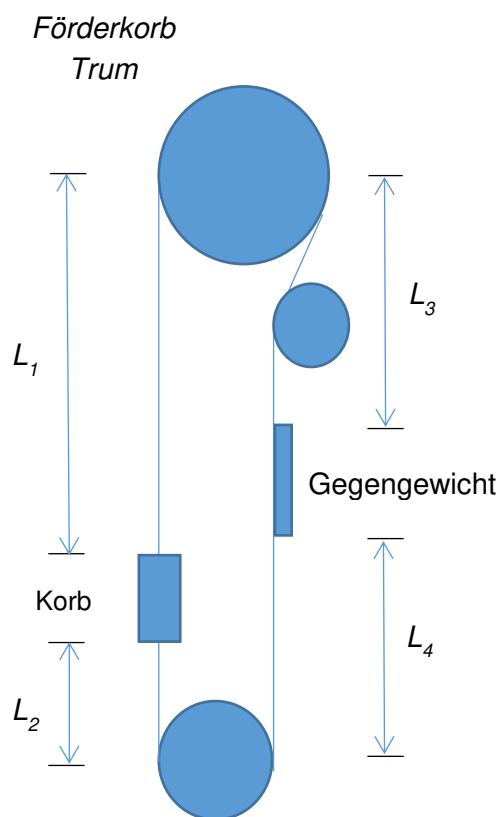
#### Überlasten - Seile

Gewicht des Förderseils pro Meter (D = 66 mm)  
Seilanzahl

$q_{S1} = 18,1 \text{ kg/m}$   
 $z_1 = 6$

Gewicht des Unterseils pro Meter (D = 66 mm)  
Seilanzahl

$q_{S2} = 18,1 \text{ kg/m}$   
 $z_2 = 6$



Gegengewicht  
Trum

Für die Berechnungen werden folgende  
Werte für die Längen verwendet:

$$L_1 = 896,0 \text{ m}$$

$$L_2 = 25,4 \text{ m}$$

$$L_3 = 21,0 \text{ m}$$

$$L_4 = 894,4 \text{ m}$$

Korbseitiges Seilgewicht [ $G_{S1}$ ]

$$\begin{aligned} G_{S1} &= (L_1 \times q_{S1} \times z_1) + (L_2 \times q_{S2} \times z_2) \\ G_{S1} &= (896 \times 18,1 \times 6) + (25,4 \times 18,1 \times 6) \\ G_{S1} &= 97,3 \text{ MT} + 2,76 \text{ MT} \\ \mathbf{G_{S1} &= 100,06 \text{ t}} \end{aligned}$$

Gegengewichtseitiges Seilgewicht [ $G_{S2}$ ]

$$\begin{aligned} G_{S2} &= (L_3 \times q_{S1} \times z_1) + (L_4 \times q_{S2} \times z_2) \\ G_{S2} &= (21 \times 18,1 \times 6) + (894,4 \times 18,1 \times 6) \end{aligned}$$

$$G_{S2} = 2,28 t + 97,13 t$$

$$G_{S2} = 99,41 t$$

Seil Überlast [ $G_{S\ddot{U}}$ ]

(d. h. die Differenz der Seilgewichte zwischen Gegengewichtsseite und Förderkorbseite)

$$G_{S\ddot{U}} = G_{S1} - G_{S2} = 0,65 t$$

### Aufstellung der Lasten

Seilüberlast	$G_{S\ddot{U}}$	0,65 t
Nutzlast Personenbeförderung	$N_{SF}$	1,10 t
Maximale Nutzlast (Endlagergebäude) (inkl. 15 t für Schachttransportwagen)	$N_{MAX}$	175,00 t
Förderkorb einschließlich Seilgeschirre (ohne 6 t Zwischenboden)	$G_F$	42,00 t
Zwischenboden	$G_R$	6,00 t
Schleppkabel am Fördermittel	$H_K$	0,45 t
Gegengewicht einschließlich Seilgeschirre	$G_G$	133,00 t
Unterseil Führungskonstruktion und Spanngewichte	$G_U$	12,00 t

### Maximale Überlast [ $\ddot{U}$ ] durch Fördervorgang

(d. h. die Lastdifferenz zwischen Förderkorbseite und Gegengewichtsseite für die jeweiligen Betriebsarten)

Seilfahrt [ $\ddot{U}_A$ ]:

$$\begin{aligned}\ddot{U}_A &= N_{SF} + G_F + G_R + H_K + G_{S\ddot{U}} - G_G \\ \ddot{U}_A &= 1,1 + 42,00 + 6,00 + 0,45 + 0,65 - 133 \\ \ddot{U}_A &= -82,8 MT\end{aligned}$$

Maximale Nutzlast [ $\ddot{U}_B$ ]:

$$\begin{aligned}\ddot{U}_B &= N_{MAX} + G_F + G_R + H_K + G_{S\ddot{U}} - G_G \\ \ddot{U}_B &= 175 + 42,00 + 6,00 + 0,45 + 0,65 - 133 \\ \ddot{U}_B &= 91,1 MT\end{aligned}$$

Leerfahrt (Beladung und Entladung ohne Transportplattform) [ $\ddot{U}_C$ ]:

$$\begin{aligned}\ddot{U}_C &= G_G - G_F - H_K - G_{S\ddot{U}} \\ \ddot{U}_C &= 133 - 42,00 - 0,45 - 0,65\end{aligned}$$

$$\ddot{U}_C = 89,9 \text{ MT}$$

$\ddot{U}_B = 91,1 \text{ MT}$  ist die maximal auftretende Überlast [ $\ddot{U}$ ] über alle Betriebsarten hinweg.

## Auslegung der Förderseile

Die Auslegung der Förderseile basiert auf den folgenden technischen Daten, die dem Datenblatt im Anhang 3 entnommen sind:

- Produktname:	Tiger Dyform® 6R 6x36(W5)
- Durchmesser	66 mm
- Nennzugfestigkeit:	1.960 N/mm <sup>2</sup>
- berechnete Mindestbruchkraft	3.760 kN
- spezifisches Gewicht	18,1 kg/m
- Auslegungslänge [L]:	896 m
- Anzahl der Seile [z]:	6

Nach TAS 6.8.1 müssen die Förderseile einen Sicherheitsfaktor [S] gegenüber der statischen Belastung aufweisen, der wie folgt berechnet wird:

$$S \geq 7,2 - 0.0005 \times L$$

$$S \geq 7,2 - 0.0005 \times 896 = 6,752$$

Der Quotient aus rechnerischer Mindestbruchkraft  $F_B$  der Förderseile gegenüber seiner statischen Belastung (erreichte Seilsicherheit  $S_E$ ) hat diesen Wert von 6,752 zu überschreiten. Die rechnerische Mindestbruchkraft kann dem Datenblatt in Anhang 3 entnommen werden. Die statische Belastung des Förderseils ergibt sich aus den Lasten der Förderseile, der Unterseile und des Fördermittels, des vorgesehenen Schleppkabels sowie der Unterführungskonstruktion und den Spanngewichten.

Last der Förder- und Unterseile	$G_{S1}$	100,06 t
Maximale Nutzlast (Endlagergebäude) (inkl. 15 t für Schachttransportwagen)	$N_{MAX}$	175,00 t
Förderkorb einschließlich Seilgeschirre (ohne 6 t Zwischenboden)	$G_F$	42,00 t
Zwischenboden	$G_R$	6,00 t
Schleppkabel am Fördermittel	$H_K$	0,45 t
Unterseil Führungskonstruktion und Spanngewichte	$G_U$	12,00 t
<i>Summe</i>	$B_{stat}$	<i>335,51</i>

Damit wird folgende Seilsicherheit  $S_E$  in der Auslegung erreicht:

$$S_E = \frac{z \times F_B}{B_{stat}} = \frac{6 \times 3.760 \text{ kN}}{335,51 \text{ t} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,85$$

Damit ist gezeigt, dass  $S_E > S$ . Ausreichende Seilsicherheit liegt vor.

## Auslegung der Treibscheibe

Gemäß TAS 3.3.1 (Technische Anforderungen an Schacht- und geneigte Förderanlagen) muss bei einer Fördergeschwindigkeit  $< 4$  m/s das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Treibscheibe [D] und dem Nenndurchmesser des Förderseils [d] mindestens das 40-fache betragen.

Nach DIN EN 81-20, Abschnitt 5.5.2.1, ergibt sich der erforderliche Mindestdurchmesser der Treibscheibe wie folgt:

$$D = 40 \times \text{Seildurchmesser}$$

Daraus ergibt sich ein erforderlicher Mindestdurchmesser der Treibscheibe von:

$$D = 40 \times 66 \text{ mm} = 2640 \text{ mm}$$

Ein Treibscheibendurchmesser von 4.800 mm wurde gewählt, um den Seildruck/die Flächenpressung in den Seilrillen gegenüber einem Scheibendurchmesser von 2.640 mm zu reduzieren. Gemäß TAS 1.4.8 kann der Seildruck in den Seilrillen [p] als Funktion des maximalen Seilgewichts auf der Förderkorbseite [ $G_Z$ ] bestimmt werden.

Dabei gilt für [ $G_Z$ ]:

$$G_Z = \frac{G_{S1} + N_{MAX} + G_F + G_R + H_K + \frac{G_U}{2}}{6}$$

$$G_Z = \frac{100,06 + 175,00 + 42,00 + 6,00 + 0,45 + \frac{12,00}{2}}{6}$$

$$G_Z = 54,91 \text{ MT}$$

Dann ergibt sich der Seildruck in den Seilrillen auf das Seil [p] nach TAS 1.4.8 wie folgt:

$$p = 2 * G_Z * \frac{g * 1000}{\frac{d}{10} * \frac{D}{10}} = 2 * 54,91 * \frac{9,81 * 1000}{\frac{66}{10} * \frac{4800}{10}}$$

$$p = 340,07 \text{ N/cm}^2$$

Dieses Ergebnis überschreitet die Empfehlung von 200 N/cm<sup>2</sup> gemäß TAS 1.4.8. Die fachliche Prüfung durch die Fachabteilung für Arbeitssicherheit der DMT-Gruppe stützt die Argumentation, dass eine Überschreitung der TAS-Empfehlung um ca. 70 % aufgrund der geringen Anzahl an Förderzyklen, der niedrigen Geschwindigkeit und der daraus resultierenden geringen dynamischen Beanspruchung der Förderseile vertretbar ist. Trotz des hohen Seildrucks in den Seilrillen ist nicht mit unzulässig frühzeitigem Seilverschleiß zu rechnen.

## Auslegung der Fördermaschine

### Ermittlung der erforderlichen Antriebsleistung

Die erforderliche Drehzahl [n] der Treibscheibe bei einer Fördergeschwindigkeit [v] von 1,0 m/s ergibt sich aus der folgenden Beziehung:

$$n = \frac{v * 60}{\pi * D} = \frac{1.0 * 60}{\pi * 4,80} = 3,80 \text{ min}^{-1}$$

Das Lastmoment [ $M_d$ ], das sich aus der maximalen Überlast von  $\ddot{U} = 91.1 \text{ MT}$  is:

$$M_d = \ddot{U} * \frac{D}{2} * g = 91,1 * \frac{4,80}{2} * 9,81 = 2145 \text{ kNm}$$

Zur Erreichung des erforderlichen Drehmoments wurde ein Nenndrehmoment [ $M_n$ ] von  $M_n = 2200 \text{ kNm}$  ausgewählt.

mit:

Wirkungsgrad der Fördermaschine:  $\eta_1 = 0,85$

Mechanischer Wirkungsgrad:  $\eta_2 = 0,92$

Die erforderliche Leistung pro Motor [ $P_{erf}$ ] um die Förderanlage bei einer konstanten Geschwindigkeit von 1 m/s zu betreiben und zwei Motoren zur Bewegung der Treibscheibe einzusetzen, ergibt sich wie folgt:

$$P_{erf} = \frac{M_n * 2 * \pi * n}{2 * \eta_1 * \eta_2 * 60} = \frac{2200 * 2 * \pi * 3,80}{2 * 0,85 * 0,92 * 60} = 559 \text{ kW}$$

### Ermittlung des für die Beschleunigung erforderlichen Motordrehmoments

Beschleunigung:  $a = 0,3 \text{ m/s}^2$

Beschleunigungszeit:  $t = \frac{v}{a} = \frac{1.0}{0,3} = 3,3 \text{ seconds}$

### Korbseitige Kräfte

Mit aufwärts bewegtem Förderkorb und Nutzlast ergibt sich das Gesamtgewicht [ $G_1$ ] des Förderkorbs wie folgt:

$$G_1 = 100,06 + 175,00 + 42,00 + 6,00 + 0,45 + \frac{12.0}{2} = 329,51 \text{ MT}$$

Erforderliche Seilspannung [ $F_{So}$ ]:

$$F_{So} = m * (g + a) = 329,51 * (9,81 + 0,3) = 3331,3 \text{ kN}$$

### Gegengewichtsseitige Kräfte

Mit abwärts bewegtem Gegengewicht ergibt sich das gegengewichtsseitige Gesamtgewicht  $[G_2]$  wie folgt:

$$G_2 = 99,41 + 133,00 + \frac{12,0}{2} = 238,41 \text{ MT}$$

Erforderliche Seilspannung  $[F_{Su}]$ :

$$F_{Su} = m * (g + a) = 238,41 * (9,81 - 0,3) = 2276,3 \text{ kN}$$

### Erforderliches Drehmoment

Das Drehmoment an der Treibscheibenwelle  $[M]$  ist:

$$M = (F_{So} - F_{Su}) * \frac{D}{2} = (3331,3 - 2276,3) * \frac{4,8}{2} = 2554 \text{ kNm}$$

Das Drehmoment an der Motorwelle für jeden der beiden Antriebsmotoren  $[M_M]$ , wobei das Übersetzungsverhältnis des gewählten Getriebes lautet:  $i = 160/1$  (s.u.), ist

$$M_M = \frac{M}{2 * i} = \frac{2554 * 1000}{2 * 160} = 7981 \text{ Nm}$$

Das durch die Last verursachte Drehmoment macht etwa 70 % des gesamten Drehmoments aus, das auf die Motorwelle wirkt.

Daraus ergibt sich das erforderliche Drehmoment an jeder einzelnen Motorwelle  $[M_B]$  wie folgt:

$$M_B = \frac{M_M}{\eta_2 * 70\%} = \frac{7981}{0,92 * 0,70} = 12393 \text{ Nm}$$

Geeignete Motoren sind auf dem freien Markt erhältlich (z. B. der LAKC 6500B mit einer Nennleistung von 610 kW, einer Drehzahl von 670 U/min und einem Antriebsmoment von 13548 Nm, s. Anhang 4).

## Auslegung des Getriebes

Ein Stirnradgetriebesystem ähnlich dem von der Firma Flender gefertigten Typ DUORED 2 SVNL 1050 (s. Anhang 5) mit einem Übersetzungsverhältnis von:

$$i = 160:1$$

und einem Nenndrehmoment von:

$$M_{Nenn} = 3550 \text{ kNm}$$

kann verwendet werden.

Gemäß den Anforderungen der TAS 3.1.5 müssen Getriebe mit einem Mindest-Sicherheitsfaktor von 3 in Bezug auf das Nenndrehmoment ausgelegt werden.

$$f_{erf} > 3,0$$

Die Eignung des Sicherheitsfaktors [f] ist bestätigt, sofern gilt:  $f \geq f_{erf}$ .

$$f = \frac{M_{Nenn}}{\left(\frac{M_N}{2}\right)} = \frac{3550}{\left(\frac{2200}{2}\right)} = 3,2 \geq 3,0$$

## Nachweis der Treibfähigkeit

Die konstruktiven Anforderungen zur Seilspannung [T] ergeben sich aus der Capstan-Gleichung und folgen den Vorgaben der TRA 003 „Technische Anforderungen an Aufzüge“ sowie der TAS:

$$\frac{T_2}{T_1} * \varphi_a < e^{\mu * \alpha} \text{ (TRA 003) und}$$

$$\frac{T_2}{T_1} < 0.8 * e^{\mu * \alpha} \text{ (TAS)}$$

Der Umschlingungswinkel der Seile auf der Treibscheibe liegt aufgrund der Umlenkrolle geringfügig über 180°. Konservativ wird er angenommen mit 180°.

$T_2$  ist die auf das Seil wirkende Spannung in einem Förderraum  
 $T_1$  ist die auf der gegenüberliegenden Seite wirkende Seilspannung,  
 $\varphi_a$  ist ein Beschleunigungsfaktor.

Die Bogenlänge [ $\alpha$ ] des Umschlingungswinkels berechnet sich wie folgt:

$$\alpha = \frac{180^\circ}{360^\circ} * 2\pi = 3,142$$

Als Reibungskoeffizient  $[\mu]$  für Treibscheibenfutter wird der minimal zulässige Wert (TAS 3.10.2) angenommen:  $\mu = 0.25$

$$\min. e^{\mu \cdot \alpha} = 2,7183^{0.25 \cdot 3.142} = 2,19$$

Die Anforderung muss für die folgenden Betriebsfälle erfüllt sein:

Fall 1: Der leere Förderkorb befindet sich am oberen Anschlag:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{G_G + s}{G_F + s_u + H_K} = \frac{133,0 + 97,3}{42,0 + 97,13 + 0,45} = 1,650$$

$s$  ist die Masse der Tragseile

$s_U$  ist die Masse der Unterseile

Mit einem Beschleunigungsfaktor von:  $\varphi_a = 1,15$

Gemäß der Konstruktionsanforderung aus Abschnitt 2.4.1 der TRA 003:

$$\frac{T_2}{T_1} * \varphi_a < 2,19$$

$$1,650 * 1,15 < 2,19$$

$$1,898 < 2,19$$

Gemäß TAS 3.11.4.1:

$$\frac{T_2}{T_1} < 0,8 * 2,19$$

$$1,650 < 1,75$$

Fall 2: Der beladene Förderkorb befindet sich an der untertägigen Haltestelle (gemäß 20, Abschnitt 5.9.2.2.2.1, wird die maximale Nutzlast für diesen Fall mit einem Faktor von 1,25 multipliziert):

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{G_F + ((N_{MAX} + G_R) * 1,25) + s + H_K}{G_G + s_u}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{42,00 + ((175,00 + 6,00) * 1,25) + 97,3 + 0,45}{133,00 + 97,13}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 1,589$$

Unter Berücksichtigung des identischen Beschleunigungsfaktors ( $\varphi_a = 1,15$ )

Gemäß der Konstruktionsanforderung aus Abschnitt 2.4.1 der TRA 003:

$$\frac{T_2}{T_1} * \varphi_a < 2,19$$

$$1,589 * 1,15 < 2,19$$

$$1,829 < 2,19$$

Gemäß TAS 3.11.4.1:

$$\frac{T_2}{T_1} < 0,8 * 2,19$$

$$1,589 < 1,75$$

Damit ist die Treibfähigkeit für beide Betriebsfälle bestätigt.

### Nachweis der Bremssicherheiten

Gemäß TAS 3.9.7.1 muss bei Normalbetrieb unter maximal erwarteter Last ein Sicherheitsfaktor von mindestens dem Dreifachen der berechneten statischen Last eingehalten werden. Nach TAS 3.9.7.2.1 muss die Bremsverzögerung:

- maximal 2,5 m/s<sup>2</sup>,
- mindestens 1,2 m/s<sup>2</sup> betragen
- und niemals mehr als 90 % der berechneten Beschleunigung bei Seilrutschen überschreiten.

Im Entwurf wurden SIEMAG BE 200-Scheibenbremsen berücksichtigt (s. Anhang 6). Die technischen Datenblätter liefern die folgenden Werte.

Anzahl der Bremszangenpaare beträgt:  $z_3 = 16$

Die Mindest- und Maximalabstände zwischen den Bremsscheiben und der Treibscheibe betragen:

$$S_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 5 \text{ mm}$$

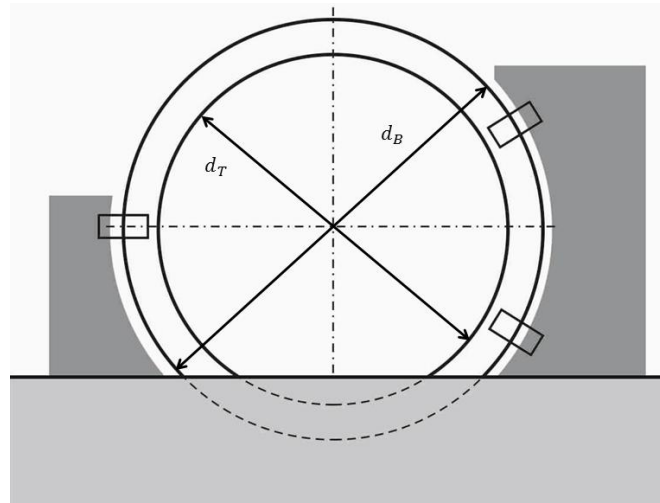
Bremskräfte [ $F_A$ ] bei minimalem und maximalem Luftspalt:

$$\begin{array}{ll} S_{min}: & F_{A,max} = 446,88 - 11,72 * 3 = 411,72 \text{ kN} \\ S_{max}: & F_{A,min} = 446,88 - 11,72 * 5 = 388,28 \text{ kN} \end{array}$$

Erforderlicher Mindestdruck für das Lösen des Bremskolbens  $p = 116,72 \text{ bar}$

Minimaler hydraulischer Lösedruck eingestellt auf:  $P_{L,min} = 120 \text{ bar}$

Hydraulikdruck im Betrieb:  $p = 140 \text{ bar}$



Treibscheibendurchmesser:	$d_T = 4,80 \text{ m}$
Bremsscheibendurchmesser:	$d_B = 6,20 \text{ m}$
Reibwert der Bremsbeläge:	$\mu_2 = 0,40$
Gesamtwirkungsgrad:	$\eta_3 = 0,90$
Gesamtwirkungsgrad des Reibdurchmessers	$\eta_G = 0,36$

Übersetzungsverhältnis [i] bezogen auf die Seilmittelachse:

$$i = \eta_3 * \mu_2 * \left(\frac{d_B}{d_T}\right) = 0,90 * 0,40 * \left(\frac{6,20}{4,80}\right) = 0,47$$

Gesamtbremskraft [ $F_H$ ] beim Heben oder Stillstand:

$S_{min} = 3 \text{ mm}$  und Verschleiß von  $0 \text{ mm}$ :

$$F_{H,max} = F_{A,max} * z_3 * i = 411,72 * 16 * 0,47 = 3096 \text{ kN}$$

$S_{max} = 5 \text{ mm}$  und Verschleiß von  $2 \text{ mm}$ :

$$F_{H,min} = F_{A,min} * z_3 * i = 388,28 * 16 * 0,47 = 2920 \text{ kN}$$

### **Bremssicherheiten**

Die Bremssicherheit [ $F_H$ ] ist das Verhältnis von Bremskraft zur maximalen Überlast.

$$v_{H,max} = \frac{F_{H,max}}{\ddot{U}_{max} * g} = \frac{3096}{91,1 * 9,81} = 3,46 > 3$$

$$v_{H,min} = \frac{F_{H,min}}{\ddot{U}_{max} * g} = \frac{2920}{91,1 * 9,81} = 3,27 > 3$$

Die Anforderung an den Bremssicherheitsfaktor wird durch die Auslegung der Bremsanlage erfüllt.

## Berechnung der Seilrutschgrenzen

Umschlingungswinkel des Seils:  $\alpha = 180^\circ$   
 Reibungskoeffizient:  $\mu = 0,25$  (Minimum nach TAS 3.10.2) und  $e^{\mu \cdot \alpha} = 2,19$   
 (Minimum)  
 Umlenkrollenmasse:  $G_{Sch} = 10 \text{ t}$

Bei einem maximalen Betriebsgewicht von 175 t ( $N_{MAX}$ ) und unter Annahme, dass  $G_S$  (kleinerer Wert aus  $G_{S1}$ ,  $G_{S2}$ ) =  $G_2$ , wird das Seilrutschen [a] gemäß TAS 3.11.4.2.2 für folgende Fälle berechnet.

Die daraus resultierenden Beschleunigungen sind tolerierbar, sofern sie den Grenzwert nicht überschreiten, der sich aus der minimal zulässigen Verzögerung von 1,2 m/s<sup>2</sup> ergibt:

$$a_{max} = \frac{1,2 \text{ m/s}^2}{0,9} = 1,3\bar{3}$$

Abwärtsbewegung des Förderkorbs mit Maximalbelastung [ $a_1$ ]:

$$a_1 = \frac{(G_G + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) - \ddot{U}_b}{(G_G + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} + 1) + G_{Sch} * e^{\mu \cdot \alpha} + \ddot{U}_b} * g$$

$$a_1 = \frac{(133,00 + 99,41) * (2,19 - 1) - 91,1}{(133,00 + 99,41) * (2,19 + 1) + 10 * 2,19 + 91,1} * 9,81$$

$$a_1 = 2,13 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} > 1,3\bar{3}$$

Aufwärtsbewegung des Förderkorbs mit Maximalbelastung [ $a_2$ ]:

$$a_2 = \frac{(G_G + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) + \ddot{U}_b * e^{\mu \cdot \alpha}}{(G_G + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} + 1) + G_{Sch} * e^{\mu \cdot \alpha} + \ddot{U}_b * e^{\mu \cdot \alpha}} * g$$

$$a_2 = \frac{(133,00 + 99,41) * (2,19 - 1) - 91,1 * 2,19}{(133,00 + 99,41) * (2,19 + 1) + 10 * 2,19 + 91,1 * 2,19} * 9,81$$

$$a_2 = 4,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} > 1,3\bar{3}$$

Abwärtsbewegung des Gegengewichtes mit Maximalbelastung [ $a_3$ ]:

$$a_3 = \frac{(G_F + H_K + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) - \ddot{U}_c}{(G_F + H_K + G_S) * (e^{\mu \cdot \alpha} + 1) + G_{Sch} * e^{\mu \cdot \alpha} + \ddot{U}_c} * g$$

$$a_3 = \frac{(48,00 + 0,45 + 99,41) * (2,19 - 1) - 89,9}{(48,00 + 0,45 + 99,41) * (2,19 + 1) + 10 * 2,19 + 89,9} * 9,81$$

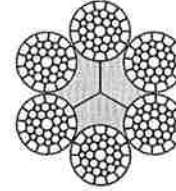
$$a_3 = 1,45 \frac{m}{s^2} > 1, \bar{3}$$

Somit ist die Anforderung für Seilrutschen erfüllt.

## **Anhang 3: Datenblatt Förderseile**



## Tiger DYFORM® 6R 6x36(WS) Class




Lay Type		Lay Direction		Finish		Core		
Ord	Langs	Right Hand	Left Hand	Bright	Galv	FC	FFC	IWRC
•	•	•	•	•	•	•	•	•

Available as standard. IWRC values available on request.

Diameter	Approx Mass	Aggregate Breaking Force			Minimum Breaking Force		
		1570 N/mm <sup>2</sup>	1770 N/mm <sup>2</sup>	1960 N/mm <sup>2</sup>	1570 N/mm <sup>2</sup>	1770 N/mm <sup>2</sup>	1960 N/mm <sup>2</sup>
mm	kg/m	kN	kN	kN	kN	kN	kN
25	2.59	432	488	540	363	410	453
26	2.81	468	527	584	393	443	491
27	3.03	504	569	630	424	478	529
28	3.25	542	612	677	456	514	569
29	3.49	582	656	726	489	551	610
30	3.74	623	702	777	523	590	653
31	3.99	665	750	830	559	630	697
32	4.25	709	799	885	595	671	743
33	4.52	754	849	941	633	714	790
34	4.80	800	902	999	672	757	839
35	5.09	848	956	1060	712	803	889
36	5.38	897	1010	1120	753	849	940
37	5.68	947	1070	1180	796	897	993
38	5.99	999	1130	1250	839	946	1050
39	6.31	1050	1190	1310	884	997	1100
40	6.64	1110	1250	1380	930	1050	1160
41	6.98	1160	1310	1450	977	1100	1220
42	7.32	1220	1380	1520	1030	1160	1280
43	7.68	1280	1440	1600	1070	1210	1340
44	8.04	1340	1510	1670	1130	1270	1400
45	8.41	1400	1580	1750	1180	1330	1470
46	8.78	1460	1650	1830	1230	1390	1540
47	9.17	1530	1720	1910	1280	1450	1600
48	9.56	1590	1800	1990	1340	1510	1670
49	9.97	1660	1870	2070	1400	1570	1740
50	10.4	1730	1950	2160	1450	1640	1810
51	10.8	1800	2030	2250	1510	1700	1890
52	11.2	1870	2110	2340	1570	1770	1960
53	11.7	1940	2190	2430	1630	1840	2040
54	12.1	2020	2270	2520	1690	1910	2120
55	12.6	2090	2360	2610	1760	1980	2190
56	13.0	2170	2450	2710	1820	2050	2280
57	13.5	2250	2530	2810	1890	2130	2360
58	14.0	2330	2620	2910	1960	2200	2440
59	14.5	2410	2720	3010	2020	2280	2530
60	14.9	2490	2810	3110	2090	2360	2610
61	15.4	2570	2900	3210	2160	2440	2700
62	16.0	2660	3000	3320	2230	2520	2790
63	16.5	2750	3100	3430	2310	2600	2880
64	17.0	2830	3200	3540	2380	2680	2970
65	17.5	2920	3300	3650	2460	2770	3070
66	18.1	3010	3400	3760	2530	2850	3160

The nominal length mass values are for fully lubricated ropes.  
This table is for guidance purposes only.

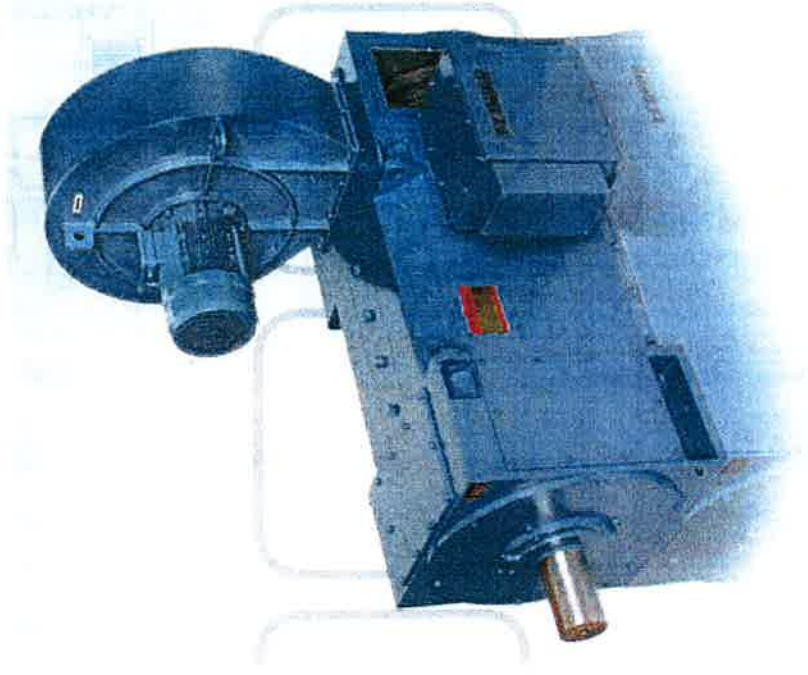
 Read pages 42-54 Product Safety Instructions and Warnings on the use of steel wire rope before selecting or using this product.



## **Anhang 4: Datenblatt Motor**

# Gleichstrommotor - LAKC

Serie: 6500D  
Nennleistung: 800 kW  
Drehzahl: 1000 1/min  
Abtriebsdrehmoment: 18159 Nm  
Gewicht: 7.530 kg  
Abmessung ca.: 2,8m x 2,1m x 1,9m



## **Anhang 5: Getriebe (Datenblattauszug)**

DUORED-Stirnradgetriebe

DUORED Helical Gear Units

DUORED Réducteurs à engrenages cylindriques

Bauartenübersicht

Summary of Basic Types

Aperçu des types

DUORED-Stirnradgetriebe

DUORED helical gear units

DUORED Réducteur à engrenages cylindriques

**Bauart SD.L, 3-stufig**

Bauarten SDNL, SDVL

Größen 550 ... 1200

Nennübersetzung  $i_N = 18 \dots 50$

**Type SD.L, 3-stage**

Types SDNL, SDVL

Sizes 550 ... 1200

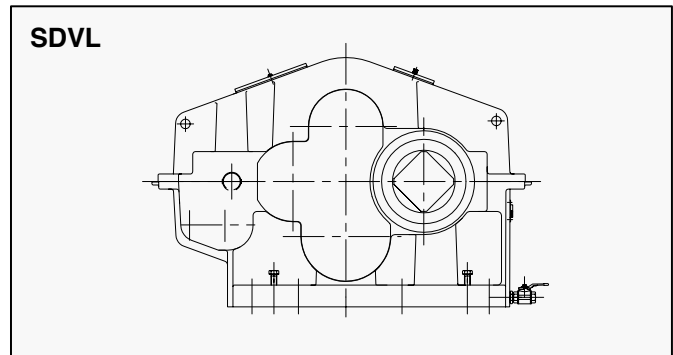
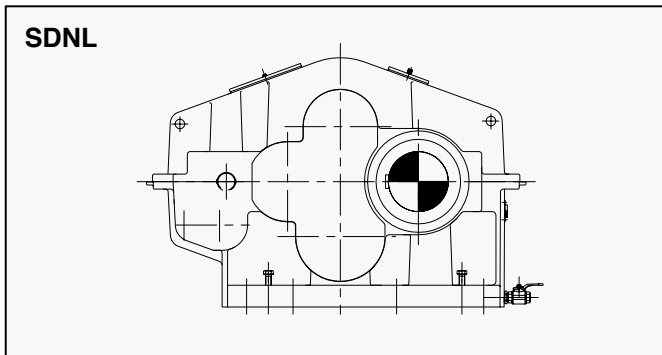
Nominal ratio  $i_N = 18 \dots 50$

**Type SD.L, 3 étages**

Types SDNL, SDVL

Tailles 550 ... 1200

Rapport nominal  $i_N = 18 \dots 50$



DUORED-Stirnradgetriebe

DUORED helical gear units

DUORED Réducteur à engrenages cylindriques

**Bauart SV.L, 4-stufig**

Bauarten SVNL, SVVL

Größen 550 ... 1200

Nennübersetzung  $i_N = 50 \dots 224$

**Type SV.L, 4-stage**

Types SVNL, SVVL

Sizes 550 ... 1200

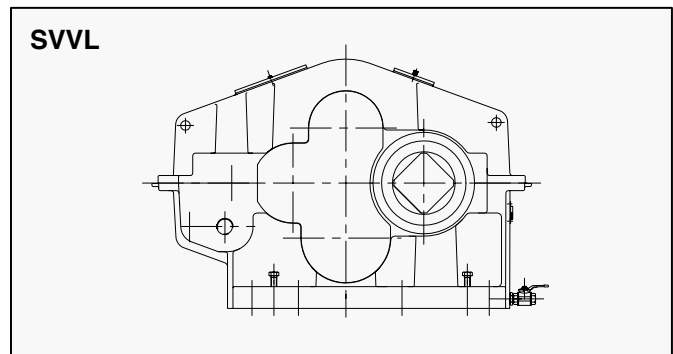
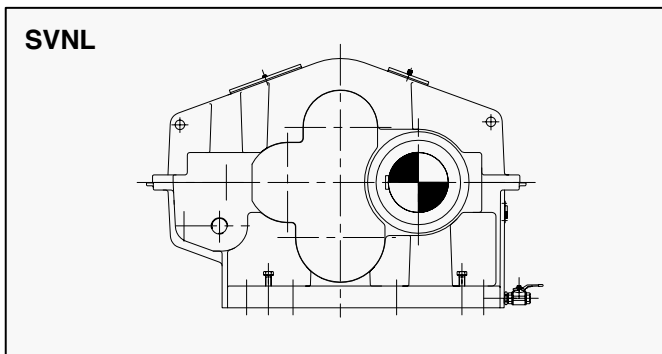
Nominal ratio  $i_N = 50 \dots 224$

**Type SV.L, 4 étages**

Types SVNL, SVVL

Tailles 550 ... 1200

Rapport nominal  $i_N = 50 \dots 224$



DUORED-Stirnradgetriebe

DUORED helical gear units

DUORED Réducteur à engrenages cylindriques

**Bauart SF.L, 5-stufig**

Bauarten SFNL, SFVL

Größen 550 ... 1200

Nennübersetzung  $i_N = 224 \dots 900$

**Type SF.L, 5-stage**

Types SFNL, SFVL

Sizes 550 ... 1200

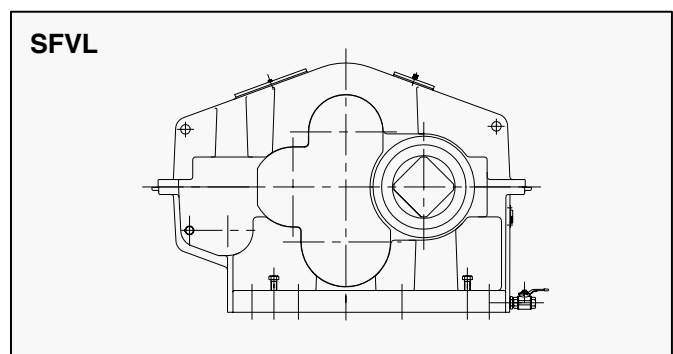
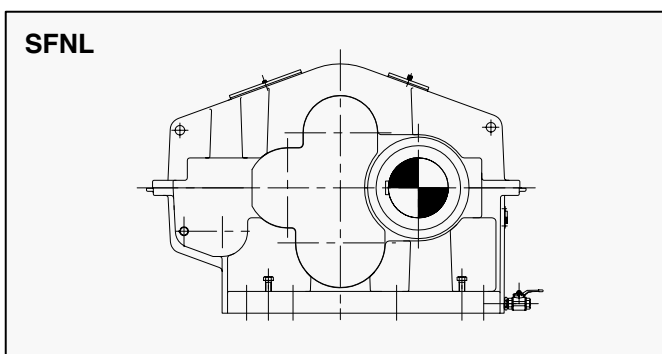
Nominal ratio  $i_N = 224 \dots 900$

**Type SF.L, 5 étages**

Types SFNL, SFVL

Tailles 550 ... 1200

Rapport nominal  $i_N = 224 \dots 900$



<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">S</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">N</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">L</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; text-align: center;">0</div> </div> <p style="text-align: center; margin: 0;"><b>Größe / Size / Taille</b> 550 ... 1200</p> <p style="text-align: center; margin: 10px 0;"><b>Ausführung / Design / Exécution</b></p> <p style="margin: 0 0 0 20px;">L = mit Leistungsverzweigung load-sharing avec couple divisé</p> <p style="text-align: center; margin: 10px 0;"><b>Ausführung Abtriebswelle / Output shaft design / Exécution de l'arbre de sortie</b></p> <p style="margin: 0 0 0 20px;">N = Vollwelle / Solid shaft / Arbre plein V = Vollwelle mit Vierkant / Solid shaft with square / Arbre plein avec embout carré</p> <p style="text-align: center; margin: 10px 0;"><b>Stufenanzahl / No. of stages / Nombre d'étages</b></p> <p style="margin: 0 0 0 20px;">D = 3-stufig / 3-stage / 3 étages V = 4-stufig / 4-stage / 4 étages F = 5-stufig / 5-stage / 5 étages</p> <p style="margin: 10px 0 0 0;"><b>Bauart / Type</b></p> <p style="margin: 0 0 0 20px;">S = Stirnradgetriebe / Helical gear units Réducteur à engrenages cylindriques</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Getriebeauswahl, Nennleistungen, Abtriebsdrehmomente Selection of gear unit, Nominal power ratings, Output torques Sélection des réducteurs, Puissances nominales, Couples de sortie</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seiten Pages 4 - 17</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SDNL, SDVL</b></td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seiten Pages 18 - 19</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SVNL, SVVL</b></td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seiten Pages 20 - 21</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SFNL, SFVL</b></td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seiten Pages 22 - 23</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Zentrierbohrungen in Wellenenden, Passungs- auswahl, Paßfedern und Nuten Centre holes in shaft ends, Selection of ISO fits, Parallel keys and keyways Alésages centraux en bouts d'arbres, Choix des tolérances, Clavettes parallèles et rainures</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seiten Pages 24 - 25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Ist-Übersetzungen i Actual ratios i Rapports réels i</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seite Page 26</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Ölversorgung (Druckschmierung) Oil supply (forced lubrication) Alimentation en huile (lubrification sous pression)</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seite Page 27</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Zusätzliche Varianten Additional variants Variantes complémentaires</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top; padding: 5px;">Seite Page 28</td> </tr> </table>	Getriebeauswahl, Nennleistungen, Abtriebsdrehmomente Selection of gear unit, Nominal power ratings, Output torques Sélection des réducteurs, Puissances nominales, Couples de sortie	Seiten Pages 4 - 17	Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SDNL, SDVL</b>	Seiten Pages 18 - 19	Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SVNL, SVVL</b>	Seiten Pages 20 - 21	Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SFNL, SFVL</b>	Seiten Pages 22 - 23	Zentrierbohrungen in Wellenenden, Passungs- auswahl, Paßfedern und Nuten Centre holes in shaft ends, Selection of ISO fits, Parallel keys and keyways Alésages centraux en bouts d'arbres, Choix des tolérances, Clavettes parallèles et rainures	Seiten Pages 24 - 25	Ist-Übersetzungen i Actual ratios i Rapports réels i	Seite Page 26	Ölversorgung (Druckschmierung) Oil supply (forced lubrication) Alimentation en huile (lubrification sous pression)	Seite Page 27	Zusätzliche Varianten Additional variants Variantes complémentaires	Seite Page 28
Getriebeauswahl, Nennleistungen, Abtriebsdrehmomente Selection of gear unit, Nominal power ratings, Output torques Sélection des réducteurs, Puissances nominales, Couples de sortie	Seiten Pages 4 - 17																
Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SDNL, SDVL</b>	Seiten Pages 18 - 19																
Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SVNL, SVVL</b>	Seiten Pages 20 - 21																
Stirnradgetriebe Helical gear units Réducteurs à engrenages cylindriques <b>SFNL, SFVL</b>	Seiten Pages 22 - 23																
Zentrierbohrungen in Wellenenden, Passungs- auswahl, Paßfedern und Nuten Centre holes in shaft ends, Selection of ISO fits, Parallel keys and keyways Alésages centraux en bouts d'arbres, Choix des tolérances, Clavettes parallèles et rainures	Seiten Pages 24 - 25																
Ist-Übersetzungen i Actual ratios i Rapports réels i	Seite Page 26																
Ölversorgung (Druckschmierung) Oil supply (forced lubrication) Alimentation en huile (lubrification sous pression)	Seite Page 27																
Zusätzliche Varianten Additional variants Variantes complémentaires	Seite Page 28																
<p><b>Weitere bei Bestellung notwendige Angaben:</b> Übersetzung i, Ausführung A, B usw.</p> <p><b>Further details required in orders:</b> Transmission ratio i, design A, B, etc.</p> <p><b>Autres détails indispensables lors d'une commande:</b> rapport i, exécution A, B etc.</p>																	
<p><b>Beispiel SDNL 750</b> Stirnradgetriebe 3-stufig, Ausführung A, i = 40, Abtrieb in Vollwellenausführung, Horizontale Einbaulage, Größe 750</p> <p><b>Example SDNL 750</b> Helical gear unit, 3-stage, Design A, i = 40, Solid output shaft design, Horizontal mounting position, Size 750</p> <p><b>Exemple SDNL 750</b> Réducteur à engrenages cylindriques à 3 étages, Exécution A, i = 40, Exécution avec arbre de sortie plein, Montage horizontal, Taille 750</p>																	

# FLENDER

DUORED-Stirnradgetriebe

DUORED Helical Gear Units

DUORED Réducteurs à engrenages cylindriques

Nenn-Abtriebsdrehmomente  
Bauarten SD.L, SV.L, SF.L  
Größen 550 ... 1200

Nominal Output Torques  
Types SD.L, SV.L, SF.L  
Sizes 550 ... 1200

Couples nom. de sortie  
Types SD.L, SV.L, SF.L  
Tailles 550 ... 1200

Übersetzungen $i_N$ , Nenn-Abtriebsdrehmomente $T_{2N}$ / Transmission ratios $i_N$ , nominal output torques $T_{2N}$ Réduction $i_N$ , couples nominaux de sortie $T_{2N}$														
$i_N$	Getriebegrößen / Gear unit sizes / Réducteurs tailles													
	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
Nenn-Abtriebsdrehmomente $T_{2N}$ in kNm / Nominal output torques $T_{2N}$ in kNm / Couples nominaux de sortie $T_{2N}$ en kNm														
16														
18	550	700	920	1120	1380	1650	-	-	-	-	-	-	-	-
20	550	700	920	1120	1380	1650	-	-	-	-	-	-	-	-
22.4	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	-	-	Auf Anfrage On request Sur demande		-
25	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	-			-
28	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	-			-
31.5	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	-	-	-	-
35.5	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	-	-	-
40	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	-
45	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3900	-	4800
56														
45														
50	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	-	4300	-
56	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
63	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
71	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
80	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
90	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
100	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
112	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
125	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
140	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
160	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
180	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
200	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3900	-	4800
250														
200														
224	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	-	4300	-
250	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
280	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
315	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
355	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
400	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
450	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
500	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
560	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
630	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
710	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
800	550	700	920	1120	1380	1650	2000	2300	2700	3100	3550	3900	4300	4800
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3900	-	4800
1000														

## **Anhang 6: Datenblatt Bremsen**

# Scheibenbremseinheit BE 100

Die hydraulisch lüftbare, federbelastete Bremseinheit BE 100 ist konzipiert für den Einsatz an Fördermaschinen, Seilbahnen, Kranen sowie an Personen- und Lastenaufzügen.

Die Bremseinheit kann als Sicherheits-, Betriebs- und Feststellbremse eingesetzt werden. Sie ist vollständig gekapselt ausgeführt und für härteste Einsatzbedingungen geeignet. Zu den technischen Besonderheiten zählt die exakte Einstellbarkeit.

Die Bremskraft wird über Tellerfederpakete erzeugt. Die Tellerfedern sind dauerfest für mehr als 2 Mio. Lastwechsel ausgelegt.

Die Bremskraft ist hydraulisch regelbar.

Eine Verringerung des Druckes im Hydrauliksystem ergibt eine entsprechend höhere Bremskraft. Dies ist von besonderer Bedeutung für den Einsatz als Sicherheitsbremse: bei Störungen, z. B. Netzausfall, kann durch einen verbleibenden Druck im System eine vorher eingestellte oder auch regelbare Bremskraft erzeugt werden, die ein kontrolliertes Stillsetzen gewährleistet.

Über Wegaufnehmer oder Mikroschalter kann die Betriebssicherheit der Bremseinheit auf einwandfreie Funktion, Verschleiß und Federbruch permanent überwacht werden.



*Bremsständer mit BE 100*



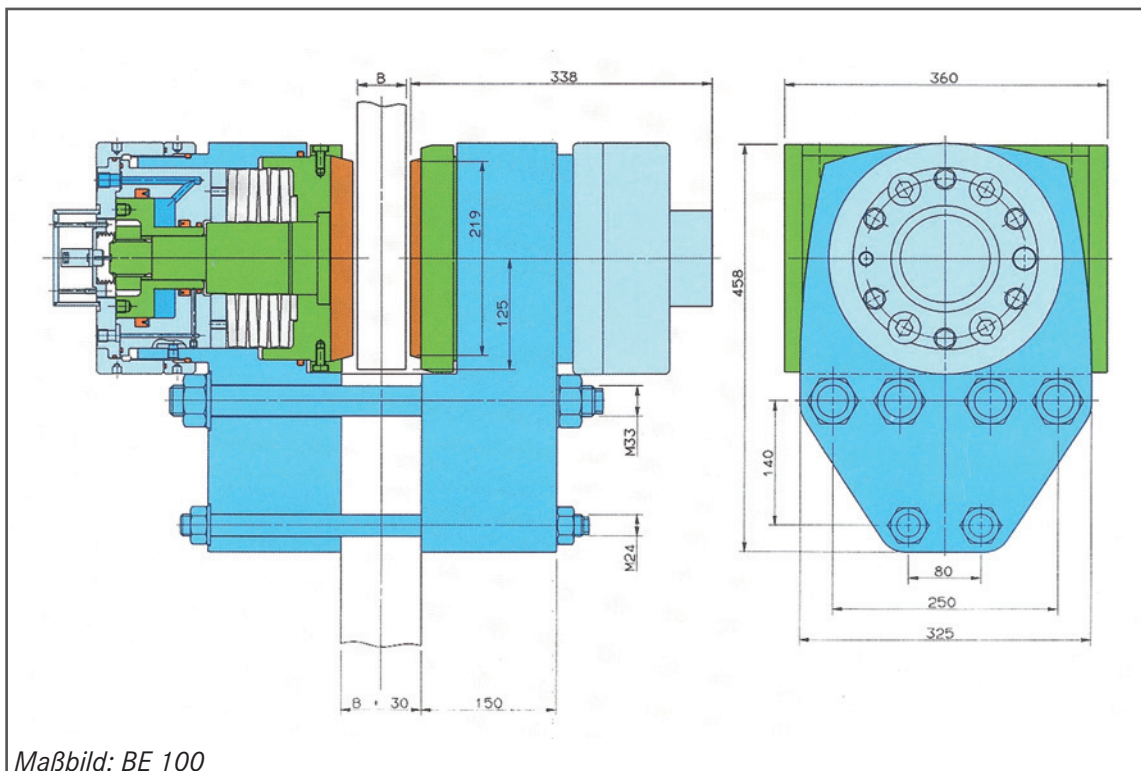
*Zusammenbau Bremssystem*



*Scheibenbremse mit BE 200-Elementen für eine Trommel-Fördermaschine*

Die Wartungsarbeiten an der Bremseinheit sind sehr einfach und absolut zuverlässig durchzuführen. Das Einstellen der Bremskraft ist stufenlos möglich. Die Konstruktion ermöglicht lange Nachstellintervalle, da die Verschleißgrenze nicht aufgrund von gestufter Einstellmöglichkeit oder von Spielbewegungen vorzeitig erreicht wird. Das Messen des Luftspalts sowie die Überprüfung der Federkennlinie können über Wegaufnehmer jederzeit mit geringstem Aufwand erfolgen.

Die Bremseinheit BE 100 ist in Deutschland bergamtlich zugelassen und ist somit in das „Verzeichnis der zugelassenen Bauteile für Schacht- und Schrägförderanlagen“ aufgenommen.

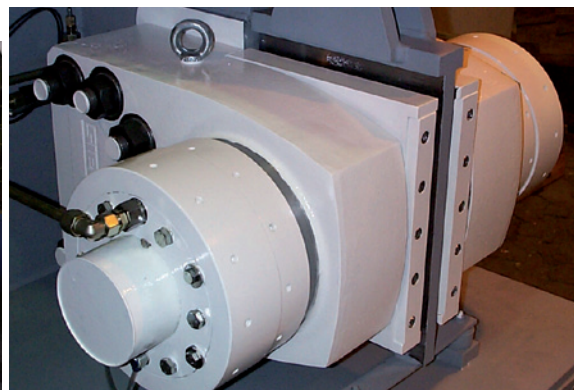


## Vorteile der BE-Scheibenbremseinheiten

- Hohe Bremskräfte
- Auslegung für mehr als 2 Mio. Lastwechsel, also dauerfest
- Niedrige Flächenpressung an den Bremsbelägen
- Großer Luftspalt, also hohe Betriebssicherheit
- Stufenlose und spielfreie Feineinstellung
- Vollständige Kapselung gegen Schmutz und aggressive Medien
- Überwachung durch Linearpotentiometer als Wegaufnehmer, Überprüfung der Bremseinheit ohne Demontagemaßnahmen
- Wartungsfreundlichkeit
- Flache Federkennlinie
- Geringe Hysterese durch wechselsinnig geschichtete Tellerfedersäule
- Bergbehördlich bauartzugelassen

Die BE 100-Einheiten können darüber hinaus andere Bremseinheiten ohne Umbaumaßnahmen ersetzen, wobei sie eine um 34 % höhere Bremskraft bieten.

SIEMAG TECBERG-Scheibenbremseinheiten BE 100 befinden sich seit vielen Jahren an zahlreichen Maschinen erfolgreich im Einsatz. Diese Einheit weist ein hohes Leistungsvermögen auf, das ein weites Feld von Anwendungsfällen abdeckt. Für noch höhere Bremsleistungen, wie z. B. bei Fördermaschinen für große Lasten, wird die Anzahl der erforderlichen Bremseinheiten zu hoch. Die BE 100 ist für diese Fälle nicht optimal geeignet.



BE 100-Zusammenbau

BE 200  
Testbetrieb für Zulassung

Deshalb wurde von SIEMAG TECBERG die Scheibenbremseinheit BE 200 entwickelt. Die BE 200 ist kompakt und ermöglicht mit 2 x 200 kN Anpresskraft eine Halbierung der Anzahl der erforderlichen Bremsenlemente. Ihr Konstruktions- und Auslegungskonzept entspricht dem der bewährten BE 100 und hat sich seit einigen Jahren im Einsatz an großen Trommel-Fördermaschinen bestätigt.

Leistungsdaten einer Bremszange	BE 100	BE 200
Kalibrierte Nennanpresskraft (bei Luftspalt 4 mm)	2 x 100 kN	2 x 200 kN
Empfohlener Mindestluftspalt	2,0 mm	3,0 mm
Max. Verschleißweg (Normalfall)	1,0 mm	1,0 mm
Hydraulischer Betriebsdruck	140 bar	140 bar
Max. Flächenanpressung am Bremsbelag (nach TAS)	1,5 MPa	1,5 MPa
Zulässige Luftspalte L =	2,0...5,5 mm	3,0...5,5 mm
<b>Betriebsdaten in Abhängigkeit von eingestelltem Luftspalt L:</b>		
Anpresskraft je Bremszange in kN, $F_A =$	228,38 - 9,43 x L	446,88 - 11,72 x L
Bremskraft in kN ( $\mu$ : Reibbeiwert), $F_B =$	$\mu \times F_A$	
Hydraulischer Äquivalenzdruck in bar, p =	109,11 - 4,52 x L 116,72	
Ölflussvolumen pro Zange in cm <sup>3</sup> , V =	21 x L	38 x L

## Infocenter

### Hauptsitz:

#### Deutschland

SIEMAG TECBERG GmbH  
Kalteiche-Ring 28-32  
35708 Haiger · Deutschland

Telefon +49 2773 9161-0  
E-Mail [info@siemag-tecberg.com](mailto:info@siemag-tecberg.com)

### Anlagenbetrieb:

#### Schweiz

SIEMAG TECBERG GmbH Betriebsstätte Sedrun  
7188 Sedrun · Schweiz  
Telefon +41 81 9365280  
E-Mail [ulrich.specht@siemag-tecberg.com](mailto:ulrich.specht@siemag-tecberg.com)

### Tochtergesellschaften:

#### USA

SIEMAG TECBERG Inc.  
2969 South Chase Avenue  
Milwaukee, WI 53207 · USA  
Telefon +1 414 727-5725  
E-Mail [kenneth.nelson@siemag-tecberg.com](mailto:kenneth.nelson@siemag-tecberg.com)

#### Südafrika

SIEMAG TECBERG (Pty) Ltd.  
P.O. Box 2964  
Edenvale 1610 · Südafrika  
Telefon +27 11 383-9300  
E-Mail [bennie.deleeuw@siemag-tecberg.com](mailto:bennie.deleeuw@siemag-tecberg.com)

#### Polen

SIEMAG TECBERG POLSKA Sp. z o. o.  
ul. Mickiewicza 29  
40-085 Katowice · Polen  
Telefon +48 32 2072086  
E-Mail [aneta.wessel@siemag-tecberg.com](mailto:aneta.wessel@siemag-tecberg.com)

#### China

Beijing SIEMAG TECBERG  
Mining Equipment Co., Ltd.  
Room 21-03, Block A, CITIC International Building  
19 Jianguomenwai Dajie  
Beijing 100004 · China  
Telefon +86 10 8526 1713  
E-Mail [torsten.scholl@siemag-tecberg.com](mailto:torsten.scholl@siemag-tecberg.com)

**BGE TECHNOLOGY GmbH**  
**Eschenstraße 55**  
**31224 Peine – Germany**  
**T + 49 5171 43-1520**  
**F + 49 5171 43-1506**  
**[info@bge-technology.de](mailto:info@bge-technology.de)**  
**[www.bge-technology.de](http://www.bge-technology.de)**