

DIN 22101

ICS 53.040.20

Ersatz für
DIN 22101:2002-08**Stetigförderer –
Gurtförderer für Schüttgüter –
Grundlagen für die Berechnung und Auslegung**

Continuous conveyors –
Belt conveyors for loose bulk materials –
Basis for calculation and dimensioning

Engins de manutention continue –
Transporteurs à bandes pour produits en vrac –
Principes de base pour le calcul et la conception

Gesamtumfang 57 Seiten

Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN
Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen und Einheiten	7
5 Volumen- und Massenstrom	12
6 Bewegungswiderstände und Leistungsbedarf im stationären Betriebszustand	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Hauptwiderstände	15
6.2.1 Allgemeines	15
6.2.2 Berechnung des Hauptwiderstandes F_H	16
6.2.3 Bestimmung des fiktiven Reibungsbeiwertes	16
6.3 Nebenwiderstände	18
6.3.1 Allgemeines	18
6.3.2 Einzelbestimmung der Nebenwiderstände	19
6.3.3 Pauschale Bestimmung des Nebenwiderstandes F_N	20
6.4 Steigungswiderstände	20
6.5 Sonderwiderstände	21
6.5.1 Allgemeines	21
6.5.2 Einzelbestimmung der Sonderwiderstände	21
7 Auslegung des Antriebssystems	22
7.1 Allgemeines	22
7.2 Lage der Antriebe, Größe und Anzahl der Antriebsmotoren	22
7.2.1 Allgemeines	22
7.2.2 Horizontale und schwach geneigte Förderer	23
7.2.3 Aufwärts fördernde Förderer	23
7.2.4 Abwärts fördernde Förderer	23
7.2.5 Förderer mit Gefälle- und Steigungsabschnitten	24
7.3 Anfahren, Stillsetzen und Halten	24
7.3.1 Anfahren	24
7.3.2 Stillsetzen und Halten	25
8 Gurtzug- und Spannkkräfte	26
8.1 Allgemeines	26
8.2 Erforderliche Gurtzugkräfte	26
8.2.1 Allgemeines	26
8.2.2 Mindestgurtzugkräfte zur Übertragung der Trommelumfangskräfte	26
8.2.3 Mindestgurtzugkräfte zur Begrenzung des Durchhanges und zur einwandfreien Gurtführung	27
8.3 Örtliche Gurtzugkraftänderungen im Ober- und Untertrum	28
8.3.1 Allgemeines	28
8.3.2 Stationärer Betriebszustand	28
8.3.3 Instationäre Betriebszustände	28
8.4 Spannkkräfte und Spannwege	29
8.5 Örtliche Gurtzugkräfte im Ober- und Untertrum	31
8.5.1 Allgemeines	31
8.5.2 Instationäre Betriebszustände	31
8.5.3 Stationärer Betriebszustand	31

9	Zugkraftverteilung über der Gurtbreite	32
9.1	Allgemeines	32
9.2	Muldungsübergänge	32
9.2.1	Allgemeines	32
9.2.2	Gurtzugkraftverteilung bei Textil-Fördergurten	34
9.2.3	Gurtzugkraftverteilung bei Stahlseil-Fördergurten.....	34
9.3	Übergangsbögen	35
9.3.1	Horizontale Übergangsbögen	35
9.3.2	Vertikale Übergangsbögen	35
10	Auslegung des Fördergurtes	37
10.1	Allgemeines	37
10.2	Auslegung des Zugträgers	37
10.3	Auslegung der Deckplatten	40
11	Minstdurchmesser der Trommeln	41
12	Auslegung von Muldungsübergängen sowie von Radien vertikaler Übergangsbögen	43
12.1	Allgemeines	43
12.2	Bestimmung der Mindestlänge des Muldungsüberganges	43
12.2.1	Allgemeines	43
12.2.2	Textil-Fördergurte.....	43
12.2.3	Stahlseil-Fördergurte	43
12.3	Bestimmung des Mindestradius vertikaler Übergangsbögen	44
12.3.1	Allgemeines	44
12.3.2	Konvexe Übergangsbögen	44
12.3.3	Konkave Übergangsbögen	44
13	Auslegung von Gurtwendungen	45
Anhang A (informativ)	Erläuterungen zu den Abschnitten.....	46
Anhang B (informativ)	Erläuterungen zum Zusammenhang mit Internationalen Normen	54
Literaturhinweise		56

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 008-05-03 AA „Fördergurte“ des Normenausschusses Bergbau (FABERG) erarbeitet.

Die Anhänge A und B dienen der Information. Die genannten Anhänge sind informativ.

Diese Norm steht im Zusammenhang mit den von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Normen ISO 5048:1989, ISO/DIS 3870:1996, ISO 5293:1981 und ISO 3684:1990 (siehe Anhang B).

Änderungen

Gegenüber DIN 22101:2002-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Erweiterung der Berechnungsverfahren für die Bewegungswiderstände auf Gurtförderer mit unterschiedlicher Anzahl auslegungsbestimmender Abschnitte in Ober- und Untertrum;
- b) neue Definition der Anlauf- und Bremsfaktoren p_A und p_B ;
- c) Straffung des Abschnitts „Muldungsübergänge“ durch Zusammenfassung der für Textil- und Stahlseil-Fördergurte gemeinsamen theoretischen Grundlagen;
- d) Ergänzung des Abschnitts „Auslegung des Fördergurtes“ durch Einführung eines Kantenfaktors für die Fälle ungleichmäßiger Gurtzugkraftverteilungen über der Gurtbreite;
- e) Ergänzung des Abschnitts „Mindestdurchmesser der Trommeln“ durch Hinweis zur Berechnung des Trommelbelastungsfaktors;
- f) Neufassung des Abschnitts „Bestimmung der Mindestlänge des Muldungsüberganges“;
- g) Aktualisierung der zitierten Normen;
- h) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN BERG 2101 Teil 1: 1933-07
DIN BERG 2101 Teil 2: 1933-07
DIN BERG 2101 Teil 3: 1933-07
DIN 22101: 1942-02, 1982-02, 2002-08

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Gurtförderer zum Fördern von Schüttgütern und enthält die Grundlagen für deren Berechnung und Auslegung. Sie ermöglicht es, wesentliche Anforderungen an wichtige Bauteile des Gurtförderers wie Antriebs-, Brems- und Gurtspanneinrichtungen in Abhängigkeit von der gestellten Förderaufgabe zu bestimmen, und beschreibt einen Weg für die Auslegung des Fördergurtes.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 15207-1, *Stetigförderer — Tragrollen für Gurtförderer — Hauptmaße der Tragrollen für Schüttgutförderer*

DIN 22102-1, *Textil-Fördergurte für Schüttgüter — Maße, Anforderungen, Kennzeichnung*

DIN 22102-3, *Textil-Fördergurte für Schüttgüter — Nicht lösbare Gurtverbindungen*

DIN 22107, *Stetigförderer — Tragrollenanordnung für Gurtförderer für Schüttgüter — Hauptmaße*

DIN 22109-1, *Textil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau — Teil 1: Fördergurte mit einer Einlage für unter Tage — Maße, Anforderungen*

DIN 22109-2, *Textil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau — Teil 2: Gummi-Fördergurte mit zwei Einlagen für unter Tage — Maße, Anforderungen*

DIN 22109-4, *Textil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau — Teil 4: Gummi-Fördergurte mit zwei Einlagen für über Tage — Maße, Anforderungen*

DIN 22110-3, *Prüfverfahren für Fördergurtverbindungen — Teil 3: Ermittlung der Zeitfestigkeit von Fördergurtverbindungen (Dynamisches Prüfverfahren)*

DIN 22112-1, *Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage — Tragrollen — Teil 1: Maße*

DIN 22112-2, *Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage — Tragrollen — Teil 2: Anforderungen*

DIN 22121, *Textil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau — Nicht lösbare Gurtverbindungen für Fördergurte mit einer oder zwei Einlagen — Maße, Anforderungen, Kennzeichnung*

DIN 22129-1, *Stahlseil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau unter Tage — Maße, Anforderungen*

DIN 22129-4, *Stahlseil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau unter Tage — Gurtverbindungen — Maße, Anforderungen*

DIN EN 15236-1, *Stahlseilfördergurte — Teil 1: Aufbau, Maße und mechanische Anforderungen an Fördergurte für allgemeine Einsatzbedingungen*

ISO 3684:1990-3, *Conveyor belts — Determination of minimum pulley diameters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt der folgende Begriff.

3.1

Gurtförderer

Stetigförderer für Schüttgüter mit umlaufenden Fördergurten, die Zugträger aus Textil- oder Stahlseileinlagen haben, deren Deckplatten aus Gummi oder Kunststoff bestehen und die von Tragrollen und Tragrollenanordnungen gestützt und über Trommeln und ggf. Treibgurte durch Reibschluss angetrieben oder gebremst werden

ANMERKUNG Fördergurte mit Deckplatten aus Gummi oder Kunststoff sind z. B. in DIN 22102-1, DIN 22109-1, DIN 22109-2, DIN 22109-4, DIN 22129-1 und DIN EN 15236-1, Tragrollen und Tragrollenanordnungen sind z. B. in DIN 15207-1, DIN 22107, DIN 22112-1 und DIN 22112-2 beschrieben.

4 Formelzeichen und Einheiten

Tabelle 1 — Formelzeichen und Einheiten

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
A	Füllquerschnitt	m^2
A_1	Teilquerschnitt der Böschung oberhalb Wasserfüllung	$\text{m}^2 (\text{mm}^2)^a$
A_2	Teilquerschnitt bei $\beta = 0$ (Wasserfüllung)	$\text{m}^2 (\text{mm}^2)^a$
A_{Gr}	wirksame Berührungsfläche zwischen Gurtreiniger und Gurt	mm^2
B	Gurtbreite	mm
C	Beiwert zur pauschalen Berücksichtigung der Gesamtheit der Nebenwiderstände von Ober- und Untertrum	–
D_{Tr}	Trommeldurchmesser	mm
E_{LGk}	auf die Breite bezogener Elastizitätsmodul des Gurtes in Längsrichtung	N/mm
F_a	beschleunigungs- oder verzögerungsbedingte Trägheitskraft im instationären Betriebszustand	N
F_{Auf}	Trägheitswiderstand des Fördergutes und Reibungswiderstand zwischen Fördergut und Gurt im Bereich einer Aufgabestelle	N
F_E	Eindrückrollwiderstand: Gesamtheit der Eindrückrollwiderstände in Ober- und/oder Untertrum	N
$F_{E,3}$	Eindrückrollwiderstand bei einer 3-teiligen Tragrollenanordnung	N
F'_E	auf die Breite des Gurtes bezogener Eindrückrollwiderstand	N/m
F_{Ga}	Widerstand von Einrichtungen zur Gutübergabe auf der Förderstrecke	N
F_{Gr}	Reibungswiderstand infolge Gurtreiniger	N
F_H	Hauptwiderstand: Gesamtheit der Hauptwiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
$F'_{M,v}$	auf die Breite des Gurtes bezogene Vertikalkraft	N/mm
F_n	auf eine Tragrolle wirkende Normalkraft	N
F_N	Nebenwiderstand: Gesamtheit der Nebenwiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
F_R	Tragrollenlaufwiderstand: Gesamtheit der Tragrollenlaufwiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
F_{Rst}	Sturzwiderstand: Gesamtheit der Sturzwiderstände einer Tragrollenanordnung	N
F_S	Sonderwiderstand: Gesamtheit der Sonderwiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
F_{Sch}	Reibungswiderstand zwischen Fördergut und seitlichen Schurren außerhalb des Beschleunigungsbereichs von Aufgabestellen	N

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formel- zeichen	Bedeutung	Einheit
F_{Schb}	Reibungswiderstand zwischen Fördergut und seitlichen Schurren im Beschleunigungsbereich einer Aufgabestelle	N
F_{Sp}	Spannkraft an der Achse der Spanntrommel	N
F_{St}	Steigungswiderstand: Gesamtheit der Steigungswiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
F_T	örtliche Gurtzugkraft (Trumkraft)	N
F_{Tm}	mittlere Gurtzugkraft von Ober- und Untertrum	N
F_{Tr}	Gesamtheit der Antriebskräfte am Trommelumfang (Trommelumfangskräfte)	N
F_{T1}	Gurtzugkraft (Trumkraft) am Auflaufpunkt einer Trommel	N
F_{T2}	Gurtzugkraft (Trumkraft) am Ablaufpunkt einer Trommel	N
F_W	Bewegungswiderstand: Gesamtheit der Bewegungswiderstände von Ober- und/oder Untertrum	N
I_m	Massenstrom	kg/s
$I_{m,N}$	Nennmassenstrom	kg/s
I_V	Volumenstrom	m ³ /s
$I_{V,N}$	Nennvolumenstrom	m ³ /s
L	Achsabstand	m
P_M	Gesamtleistung der Antriebsmotoren	kW
$P_{M,N}$	Nennleistung eines Antriebsmotors	kW
P_W	gesamte durch die Bewegungswiderstände im stationären Betriebszustand benötigte Leistung am Umfang der Antriebstrommel(n)	kW
R_a	Radius eines konkaven vertikalen Übergangsbogens	m (mm) ^a
R_e	Radius eines konvexen vertikalen Übergangsbogens	m (mm) ^a
S	Sicherheitsfaktor, bezogen auf die Nennbruchkraft des Gurtes	–
S_0	Sicherheitsfaktor des Gurtes zur Berücksichtigung der Bedingungen der Verbindungsherstellung	–
S_1	Sicherheitsfaktor des Gurtes zur Berücksichtigung der Lebenserwartung und der Betriebsbeanspruchungen	–
S_{min}	Mindestwert des Sicherheitsfaktors, bezogen auf die Mindest-Nennbruchkraft des Gurtes	–
a	Beschleunigung oder Verzögerung	m/s ²
b	nutzbare Gurtbreite	mm
b_R	Berührlinienlänge des Gurtes entlang des Tragrollenmantels	m
b_S	auf einer Seitenrolle aufliegender Teil des Gurtes (nur bei 2- und 3-teiligen Tragrollenanordnungen)	mm
b_{Sch}	lichte Weite zwischen den Schurren	m
c_a	Faktor in Näherungsfunktion für den messtechnisch ermittelten auf die Breite des Gurtes bezogenen Eindrückrollwiderstand	–

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
c_b	Exponent in Näherungsfunktion für den messtechnisch ermittelten auf die Breite des Gurtes bezogenen Eindrückrollwiderstand	–
c_K	Beiwert zur Ermittlung der Mindest-Referenz-Zeitfestigkeit eines Fördergurtes entsprechend der auf die Gurtbreite bezogenen Gurtzugkraft in der Gurtkante	–
c_R	Beiwert zur Berechnung der auf ihren Umfang reduzierten drehenden Massen von Tragrollen	–
c_{Rank}	Rankine'scher Faktor	–
c_{Rst}	Beiwert zur Berechnung des Sturzwiderstandes	–
c_{Schb}	Beiwert zur pauschalen Berücksichtigung des durch den Staudruck des aufgegebenen Massenstromes verursachten Zusatzwiderstandes zwischen Fördergut und seitlichen Schurren im Aufgabebereich	–
c_{Tr}	Parameter zur Ermittlung des Minstdurchmessers der Trommel	–
$c_{\ddot{U}}$	Beiwert zur Bestimmung des Richtwertes für die Mindestlänge des Muldungsüberganges	–
d_{Gk}	Dicke des tragenden Längszugträgers (ohne z. B. Überkette oder Schuss)	mm
e	Basis der natürlichen Logarithmen ($e = 2,718\,28\dots$)	–
e_K	Abstand der Mitte des Zugträgers an der Gurtkante von der neutralen Achse des Gurtes	mm
e_M	Abstand der Mitte des Zugträgers im Muldentiefsten von der neutralen Achse des Gurtes	mm
f	fiktiver Reibungsbeiwert zur pauschalen Berechnung der Gesamtheit der Hauptwiderstände von Ober- und Untertrum	–
f_i	fiktiver Reibungsbeiwert zur pauschalen Berechnung des Hauptwiderstandes eines Trumabschnittes in Ober- oder Untertrum	–
g	Fallbeschleunigung ($g = 9,81\text{ m/s}^2$)	m/s ²
h	Höhendifferenz eines Abschnittes von Ober- oder Untertrum ($h > 0$ bei Gurtlaufrichtung aufwärts, $h < 0$ bei Gurtlaufrichtung abwärts)	m
h_{K0}	Abstand der Gurtkante zur Ebene des Muldentiefsten	mm
h_{K1}	Abstand der Gurtkante zur Ebene der Trommeloberfläche	mm
h_{rel}	größter Durchhang des Gurtes, bezogen auf den Tragrollenabstand	–
h_{Tr}	Trommelanhebung im Muldungsübergang gegenüber der Ebene des Muldentiefsten	mm
k	auf die Breite des Gurtes bezogene Gurtzugkraft	N/mm
k_K	auf die Breite des Gurtes bezogene Gurtzugkraft in der Gurtkante	N/mm
k_M	auf die Breite des Gurtes bezogene Gurtzugkraft im Mittenbereich des Gurtes	N/mm
k_N	auf die Breite des Gurtes bezogene Nennbruchkraft des Gurtes	N/mm
$k_{N,min}$	auf die Breite des Gurtes bezogene Mindest-Nennbruchkraft des Gurtes	N/mm
k_t	Referenz- Zeitfestigkeit der Gurtverbindung	N/mm
$k_{t,rel}$	relative Referenz-Zeitfestigkeit der Gurtverbindung	–

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
Δk	Differenz zwischen der auf die Breite bezogenen Gurtzugkraft in der Gurtkante und dem Mittenbereich des Gurtes	N/mm
l	Länge eines Abschnittes von Ober- oder Untertrum	m
l_b	Länge der Beschleunigungsstrecke im Aufgabebereich	m
l_K	Länge der Gurtkante im Muldungsübergang	m
l_M	Mantellänge der Mitteltragrolle bei 3-teiliger Tragrollenanordnung	mm (m) ^a
l_{Sch}	Länge der seitlichen Schurren	m
l_R	Tragrollenabstand	m
$l_{\ddot{U}}$	Länge des Muldungsüberganges	m
$l_{\ddot{U},eff}$	Bezugslänge des Muldungsüberganges bei Stahlseil-Fördergurten	m
$\Delta l_{\ddot{U}}$	$l_{\ddot{U},eff} - l_{\ddot{U}}$ bei Stahlseil-Fördergurten	m
l_W	Länge der Gurtwendung	m
Σm	Summe der geradlinig bewegten Massen sowie der nicht angetriebenen oder nicht abgebremsten, auf ihren Umfang reduzierten drehenden Massen	kg
m'_G	Streckenlast infolge Gurt	kg/m
m'_L	Streckenlast infolge Fördergut	kg/m
$m'_{L,N}$	Streckenlast infolge Fördergut bei Nennbeladung	kg/m
m'_R	Streckenlast infolge der drehenden Tragrollenteile	kg/m
n	Anzahl der Abschnitte von Ober- oder Untertrum eines Förderers	–
p_A	antriebsstrommelbezogener Anlauffaktor: Verhältnis der Gesamt-Trommelumfangskraft beim Anlauf $F_{Tr,A}$ und der durch Höhe und Verteilung der Beladung bestimmten Kraft F_W	–
p_{A0}	antriebsbezogener Anlauffaktor: Verhältnis des aus der wirksamen Antriebskennlinie resultierenden Antriebsdrehmoments sämtlicher Antriebe während des Anlaufs des Förderers und dem Gesamt-Motornendrehmoment entsprechend der installierten Motorleistung $P_{M,inst}$	–
p_B	bremstrommelbezogener Bremsfaktor: Verhältnis der Gesamt-Trommelumfangskraft beim Stillsetzen $F_{Tr,B}$ und der durch Höhe und Verteilung der Beladung bestimmten Kraft F_W	–
p_{B0}	bremsenbezogener Bremsfaktor: Verhältnis des aus der Bremskennlinie resultierenden Bremsdrehmoments sämtlicher Bremseinrichtungen und dem Gesamt-Motornendrehmoment entsprechend der installierten Motorleistung $P_{M,inst}$	–
p_{Gr}	Druck zwischen Gurtreiniger und Gurt	N/mm ²
q	Beiwert zur Bestimmung des Hauptwiderstandes von Ober- oder Untertrum	–
s_B	Bremsweg	m
s_{Sp}	Spanntrommelweg	m
t_B	Bremszeit	s

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
v	Fördergeschwindigkeit	m/s
v_0	Zuführungsgeschwindigkeit des Fördergutes in Förderrichtung	m/s
z_R	Anzahl der Tragrollenstationen in einem Abschnitt von Ober- oder Untertrum	—
z_{Rst}	Anzahl der auf Sturz gestellten Tragrollenstationen in einem Abschnitt von Ober- oder Untertrum	—
α	Trommelumschlingungswinkel	° oder rad
β	äquivalenter Böschungswinkel zur Berechnung des Teilquerschnittes A_{1th}	°
β_{dyn}	dynamischer Böschungswinkel des Fördergutes	°
δ	Neigungswinkel eines Abschnittes von Ober- oder Untertrum ($\delta > 0$ bei Gurtlaufrichtung aufwärts, $\delta < 0$ bei Gurtlaufrichtung abwärts)	°
ε	Sturzwinkel einer Seitentragrolle	°
$\Delta\varepsilon_K$	Zusatzdehnung (pos. oder neg.) in der Gurtkante bei konkaven oder konvexen vertikalen Übergangsbögen, bezogen auf die neutrale Achse des Gurtes	—
$\Delta\varepsilon_{K\infty}$	Grenzwert von $\Delta\varepsilon_K$ in der Mitte sehr langer Übergangsbögen	—
$\Delta\varepsilon_M$	Zusatzdehnung (pos. oder neg.) im Mittenbereich des Gurtes bei konkaven oder konvexen vertikalen Übergangsbögen, bezogen auf die neutrale Achse des Gurtes	—
$\Delta\varepsilon_{M\infty}$	Grenzwert von $\Delta\varepsilon_M$ in der Mitte sehr langer Übergangsbögen	—
$\Delta\varepsilon_\infty$	Dehnungsdifferenz zwischen Gurtkante und Mittenbereich des Gurtes in der Mitte sehr langer Übergangsbögen	—
η_{ges}	Gesamtwirkungsgrad aller Übertragungsglieder zwischen Motor- und Trommelwelle	—
λ	Muldungswinkel des Fördergurtes im Ober- oder Untertrum	°
μ	Reibungsbeiwert zwischen Gurt und Trommel	—
μ_1	Reibungsbeiwert zwischen Gurt und Fördergut	—
μ_2	Reibungsbeiwert zwischen Fördergut und seitlichen Schurren	—
μ_3	Reibungsbeiwert zwischen Gurt und Tragrolle	—
μ_4	Reibungsbeiwert zwischen Gurt und Gurtreiniger	—
ρ	Schüttdichte des Fördergutes	kg/m ³
φ	effektiver Füllungsgrad	—
φ_{Betr}	Füllungsgrad entsprechend den Betriebsverhältnissen des Förderers	—
φ_{St}	Abminderungsfaktor des Füllungsgrades für den theoretischen Füllquerschnitt A_{th} bei geneigtem Förderer	—
φ_{St1}	Abminderungsfaktor des Füllungsgrades für den theoretischen Füllquerschnitt des Böschungsdreiecks $A_{1,th}$ bei geneigtem Förderer	—

^a In einigen Formeln werden diese Größen mit der in der Klammer angegebenen Einheit verwendet.

Tabelle 2 — Indizes

Index	Bedeutung
A	beim Anfahren
B	beim Stillsetzen
a	instationärer Betriebszustand (Anfahren, Stillsetzen)
eff	effektiv
erf	erforderlich
i	Laufindex der Trumabschnitte
j	Laufindex für Trommeln
inst	installiert
m	Mitteltragrolle
max	maximal
min	minimal
o	Obertrum
s	Seitentragrolle
th	theoretisch
u	Untertrum
zul	zulässig
*	Index zur Kennzeichnung des Betriebszustandes

5 Volumen- und Massenstrom

Der maximale Volumen- und Massenstrom eines Gurtförderers wird vom sich einstellenden Füllquerschnitt auf dem bewegten Gurt bestimmt. Dieser ist u. a. abhängig vom dynamischen Böschungswinkel des Fördergutes und von den Aufgabebedingungen.

Bei der Berechnung des maximalen Volumen- und Massenstroms wird versucht, einen äquivalenten, einfachen geometrischen Querschnitt zu finden. Dieser theoretische Querschnitt A_{th} wird aus der Form des Gurtes auf den Tragrollen und der Form der Böschung des Fördergutes berechnet. Bild 1 zeigt diese Querschnittsfläche für den häufigen Fall der Unterstützung des Gurtes durch eine 3-teilige Tragrollenanordnung.

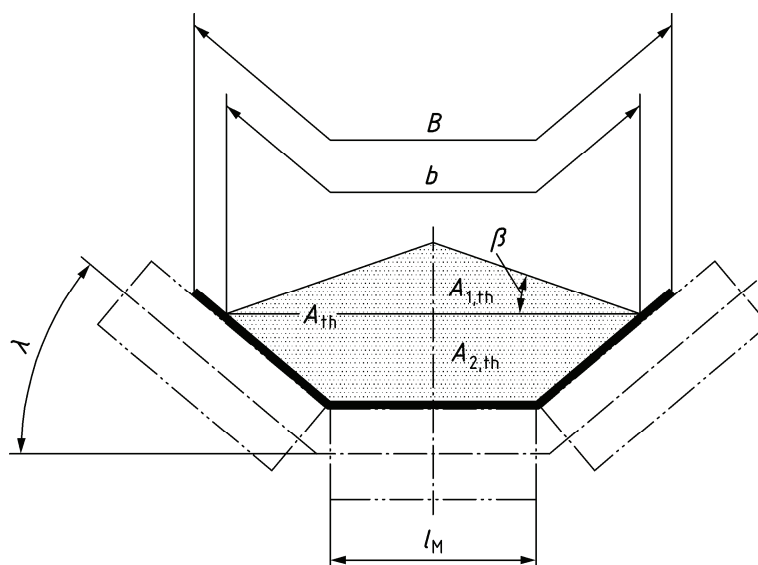


Bild 1 — Theoretischer Füllquerschnitt bei horizontaler Förderung und 3-teiliger Tragrollenanordnung

Der theoretische Füllquerschnitt wird bestimmt durch die Länge und Anordnung der Tragrollen (Muldungswinkel), die nutzbare Gurtbreite b sowie einen äquivalenten Böschungswinkel β , der einen Querschnitt beschreibt, welcher dem tatsächlichen flächengleich ist. Die nutzbare Gurtbreite b beträgt dabei in Abhängigkeit von der Gurtbreite B für:

$$B \leq 2\,000 \text{ mm} \quad b = 0,9 \cdot B - 50 \text{ mm} \quad (1)$$

$$B > 2\,000 \text{ mm} \quad b = B - 250 \text{ mm} \quad (2)$$

Bei Gurtförderern, die horizontale Kurven durchlaufen und deren Tragrollenstationen zur Stabilisierung des Gurtlaufs geneigt werden, kann eine Minderung der nutzbaren Gurtbreite eintreten.

Für 1-, 2- und 3-teilige Tragrollenanordnungen in horizontal verlegten Gurtförderern kann der zum realen Füllquerschnitt äquivalente theoretische Füllquerschnitt A_{th} unter Verwendung des Winkels β als Summe der Teilquerschnitte $A_{1,\text{th}}$ und $A_{2,\text{th}}$ bestimmt werden (siehe [1], Bild 1 und Anhang A):

$$A_{1,\text{th}} = [l_{\text{M}} + (b - l_{\text{M}}) \cdot \cos \lambda]^2 \cdot \frac{\tan \beta}{4} \quad (3)$$

$$A_{2,\text{th}} = \left[l_{\text{M}} + \frac{b - l_{\text{M}}}{2} \cdot \cos \lambda \right] \cdot \frac{b - l_{\text{M}}}{2} \cdot \sin \lambda \quad (4)$$

Die Auswahl des äquivalenten Böschungswinkels hängt von dem zu fördernden Gut und von der Länge des Förderweges ab. Liegen Erfahrungen für die Auswahl des äquivalenten Böschungswinkels nicht vor, können folgende Richtwerte in Ansatz gebracht werden:

Für normal fließendes Fördergut ist der Wert $\beta = 20^\circ$ realisierbar. Bei leicht fließendem oder annähernd flüssigem Fördergut werden nur Werte unter $\beta = 20^\circ$ bis herunter zu $\beta = 0^\circ$ erreicht. Äquivalente Böschungswinkel von mehr als 20° können nur für Fördergüter mit einer hohen inneren Reibung in Ansatz gebracht werden.

Bei 1- und 2-teiligen Tragrollenanordnungen ist die Länge der Mittelrolle $l_{\text{M}} = 0$ zu setzen.

Aus dem theoretischen Füllquerschnitt errechnet sich:

theoretischer Volumenstrom	$I_{\text{V,th}} = A_{\text{th}} \cdot v$	(5)
----------------------------	---	-----

Mit dem effektiven Füllungsgrad	$\varphi = \varphi_{\text{Betr}} \cdot \varphi_{\text{St}}$	(6)
---------------------------------	---	-----

lassen sich bestimmen:

Nennvolumenstrom	$I_{\text{V,N}} = \varphi \cdot I_{\text{V,th}}$	(7)
------------------	--	-----

Nennmassenstrom	$I_{\text{m,N}} = \varphi \cdot \rho \cdot I_{\text{V,th}}$	(8)
-----------------	---	-----

Streckenlast infolge Nennbeladung	$m'_{\text{L,N}} = \varphi \cdot \rho \cdot A_{\text{th}}$	(9)
-----------------------------------	--	-----

Der Füllungsgrad φ_{Betr} wird bestimmt durch:

- Eigenschaften des Fördergutes
 - Stückigkeit
 - max. Kantenlänge
 - dynamischer Böschungswinkel β_{dyn} (welcher das tatsächliche dynamische Böschungsverhalten kennzeichnet)
- Betriebsverhältnisse des Gurtförderers
 - Gleichmäßigkeit der Gutaufgabe
 - Geradlauf des Fördergurtes
 - Vorhaltung einer Reservekapazität

Bei gleichmäßiger Gutaufgabe und Geradlauf des Gurtes kann der theoretische Füllquerschnitt bei horizontal und geradlinig verlaufenden Gurtförderern voll ausgenutzt werden ($\varphi = \varphi_{\text{Betr}} = 1$).

Der Abminderungsfaktor φ_{St} berücksichtigt, dass der Teilquerschnitt $A_{1,\text{th}}$ bei geneigter Förderung reduziert wird:

$$\varphi_{\text{St}} = 1 - \frac{A_{1,\text{th}}}{A_{\text{th}}} \cdot (1 - \varphi_{\text{St}1}) \quad (10)$$

Bei gut ausgerichteten und mit Fördergut geringer Stückigkeit gleichmäßig beladenem Gurt mit $\delta_{\text{max}} \leq \beta_{\text{dyn}}$ kann angesetzt werden:

$$\varphi_{\text{St}1} = \sqrt{\frac{\cos^2 \delta_{\text{max}} - \cos^2 \beta_{\text{dyn}}}{1 - \cos^2 \beta_{\text{dyn}}}} \quad (11)$$

Bei der Anwendung der Gleichungen (10) und (11) ist zu beachten, dass der Neigungswinkel bei geneigter Förderung höchstens gleich sein kann dem tatsächlichen dynamischen Böschungswinkel des Fördergutes β_{dyn} (siehe auch Anhang A) und in diesem Fall nur noch der Teilquerschnitt $A_{2,\text{th}}$ für die Förderung zur Verfügung steht.

6 Bewegungswiderstände und Leistungsbedarf im stationären Betriebszustand

6.1 Allgemeines

Der im Folgenden beschriebene Weg zur Bestimmung der Bewegungswiderstände, des Leistungsbedarfs und der örtlichen Gurtzugkräfte liefert nach dem derzeitigen Stand der Technik für Gurtförderer aller Art — auch für komplexe Gurtführungen und alle denkbaren Betriebsverhältnisse — Resultate, die den tatsächlichen Verhältnissen möglichst nahe kommen.

Für einfache Gurtförderer mit überschaubaren Betriebsverhältnissen und für Gurtförderer, bei denen es nicht auf ein hohes Maß von Genauigkeit ankommt, kann der erfahrene Anwender Abkürzungen und Vereinfachungen des Berechnungsverfahrens, unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Anforderungen, anwenden.

Vor Beginn der Berechnung der Bewegungswiderstände müssen einzelne Basiswerte geschätzt werden. Diese Werte sind nach Durchführung der Berechnung zu prüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Die Berechnung ist so oft zu wiederholen, bis eine ausreichende Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Eingangswerten erreicht ist.

Die sich der Gurtbewegung widersetzen Kräfte (Bewegungswiderstände) ergeben sich im stationären Betriebszustand aus der Summierung von Reibungs-, Gewichts- und Massenkräften. Der Leistungsbedarf des Förderers P_W ergibt sich als Produkt der Gesamtheit der Bewegungswiderstände von Ober- und Untertrum und der Fördergeschwindigkeit v :

$$P_W = F_W \cdot v \quad (12)$$

Zur Berechnung der Bewegungswiderstände werden diese aufgeteilt in:

- Hauptwiderstand F_H
- Nebenwiderstand F_N
- Steigungswiderstand F_{St}
- Sonderwiderstand F_S

Die Summe dieser Bewegungswiderstände F_W ist gleich der Gesamtheit der Trommelumfangskräfte F_{Tr} :

$$F_W = \sum_{i=1}^{n_o} F_{W,o,i} + \sum_{i=1}^{n_u} F_{W,u,i} = F_H + F_N + F_{St} + F_S = F_{Tr} \quad (13)$$

Die Widerstände sind abschnittsweise zu bestimmen. Ein Trumabschnitt ist dadurch gekennzeichnet, dass in ihm Parameter, wie z. B. Neigungswinkel δ_i des Trumabschnittes, fiktiver Reibungsbeiwert f_i sowie die Streckenlast infolge Fördergut $m_{L,i}$ und drehender Tragrollenteile $m_{R,i}$ sowohl im Obertrum als auch im Untertrum konstante Werte haben. Hierin kennzeichnet der Laufindex i , der auch in Hinblick auf eine Durchführung der Berechnung mit EDV-Anlagen eingeführt wurde, die einzelnen Abschnitte des Förderers, beginnend an der Heckstation in Richtung Kopfstation. Die Werte des Obertrums werden durch den Index o , die des Untertrums durch den Index u gekennzeichnet (siehe Bild 2). Um bei der Berechnung von Varianten an einmal vergebenen Bezeichnungen festhalten zu können, erhalten die Trommeln und mit ihnen verknüpfte Größen den Laufindex j (siehe Bild 5 und Bild 6).

6.2 Hauptwiderstände

6.2.1 Allgemeines

Hauptwiderstände entstehen auf der gesamten Länge der Förderstrecke. Die Parameter sind abschnittsweise zu bestimmen.

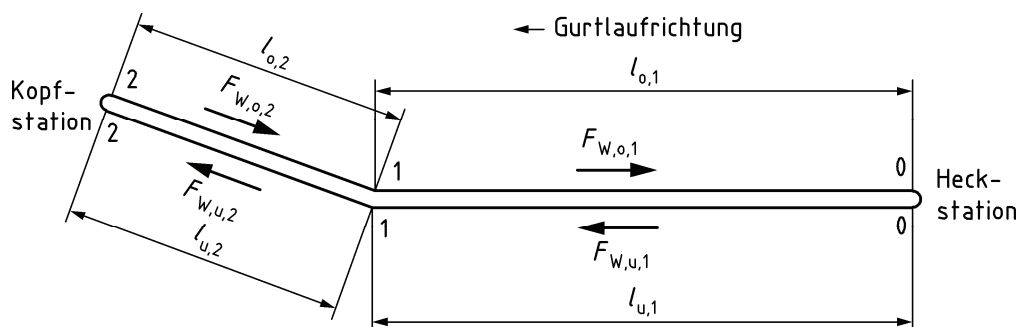


Bild 2 — Bildung von Abschnitten und abschnittsweise Berechnung der Bewegungswiderstände im stationären Betriebszustand

6.2.2 Berechnung des Hauptwiderstandes F_H

Die Hauptwiderstände $F_{H,i}$ der Trumabschnitte werden vereinfachend unter Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Widerständen und bewegter Last für jeden Abschnitt getrennt nach Ober- und Untertrum bestimmt:

$$F_{H,i} = l_i \cdot f_i \cdot g \cdot [m'_{R,i} + (m'_G + m'_{L,i}) \cdot \cos \delta_i] \quad (14)$$

Die Hauptwiderstände der Abschnitte des Obertrums $F_{H,o,i}$ und des Untertrums $F_{H,u,i}$ werden bei der Bestimmung der Gurtzugkräfte benötigt (siehe 8.3).

Der Hauptwiderstand des Förderers F_H , d. h. die Gesamtheit der Hauptwiderstände von Obertrum $F_{H,o}$ und Untertrum $F_{H,u}$, ergibt sich dann als:

$$F_H = \sum_{i=1}^{n_o} F_{H,o,i} + \sum_{i=1}^{n_u} F_{H,u,i} = F_{H,o} + F_{H,u} \quad (15)$$

Die abschnittsweise Berechnung der Hauptwiderstände ist für den Nennbeladungsbereich (Füllungsgrad φ im Bereich 0,7 bis 1,1) über der Förderlänge des Förderers durchzuführen.

Bei Gurtförderern mit Gefälle- und Steigungsstrecken, aber auch bei extremen Beladungszuständen (ungleichmäßige Beladung, Teillast oder Leerlauf), kann die Summe der Widerstände in diesen Zuständen von der für den Nennbeladungsbereich erheblich abweichen.

6.2.3 Bestimmung des fiktiven Reibungsbeiwertes

Die Wahl des fiktiven Reibungsbeiwertes f_i hat eine überragende Bedeutung für die Größe der Hauptwiderstände. Sie hat umso mehr Gewicht, je geringer die Steigungswiderstände des Förderers sind. Das Bestreben, bei der Auslegung immer auf der sicheren Seite zu liegen, zusammen mit einer fallweisen ungenauen Beschreibung der Betriebsmerkmale und der großen Spanne bei den möglichen Werten kann u. U. zu beträchtlichen Überdimensionierungen führen. Um diese zu vermeiden, ist eine präzisere Bestimmung der Reibungsbeiwerte f_i für die einzelnen Abschnitte notwendig. Hierbei können die in Tabelle 4 angegebenen Werte f zur pauschalen Berechnung der Gesamtheit der Hauptwiderstände von Ober- und Untertrum eine Orientierung geben.

Der Reibungsbeiwert f_i eines Trumabschnittes wird im Wesentlichen bestimmt durch den Laufwiderstand der Tragrollen und den Eindrückrollwiderstand des Gurtes. Bei relativ großem Gurtdurchhang kann auch der Walkwiderstand des Fördergutes einen großen Anteil annehmen.

Zur genaueren Bestimmung des Reibungsbeiwertes f_i mit dem Ziel einer sicheren Anlagendimensionierung bei gleichzeitig geringstmöglichen Investitions- und Betriebskosten können der Tragrollenlaufwiderstand und der Eindrückrollwiderstand für gegebene Randbedingungen gemessen und die restlichen Widerstände geschätzt werden (siehe [2], [3], [4] und [5]).

Bei einer normalen Größe des Fördergutwalkwiderstandes machen Tragrollenlaufwiderstand und Eindrückrollwiderstand im beladenen Trum, im Allgemeinen das Obertrum, bei Füllungsgraden φ im Bereich $0,7 \leq \varphi \leq 1,1$ zwischen 50 % und 85 %, im Mittel etwa 70 % des Hauptwiderstandes im Obertrum $F_{H,o}$ aus. Für das unbeladene Trum, im Allgemeinen das Untertrum, betragen sie etwa 90 % des Hauptwiderstandes im Untertrum $F_{H,u}$. Mit diesem Ansatz ergibt sich:

$$\text{Obertrum (beladen)} \quad F_{H,o} = \frac{1}{q_o} \cdot (F_{R,o} + F_{E,o}) \quad (16)$$

$$\text{Untertrum (unbeladen)} \quad F_{H,u} = \frac{1}{q_u} \cdot (F_{R,u} + F_{E,u}) \quad (17)$$

mit $0,5 \leq q_o \leq 0,85$, im Mittel $q_o = 0,7$, und $q_u = 0,9$.

Die Tabelle 3 gibt einen Anhalt für die Abschätzung des Beiwertes q_o .

Tabelle 3 — Richtwerte für den Beiwert q_o für Füllungsgrade φ im Bereich $0,7 \leq \varphi \leq 1,1$

Merkmal	Einordnung der Merkmale		
Relativer Durchhang h_{rel}	mittel	hoch, jedoch $\leq 0,01$	niedrig
Innere Reibung des Fördergutes	mittel	hoch	niedrig
Tragrollenlaufwiderstand	mittel	niedrig	hoch
Eindrückrollwiderstand des Gurtcs	mittel	niedrig	hoch
Beiwert q_o	Richtwert $\approx 0,7$	bewirkt	
		Minderung	Erhöhung
		des Beiwertes q_o bis auf	
		0,5	0,85

Mit den Gleichungen (16) und (17) können die in den Gleichungen (14) und (15) mit Hilfe der fiktiven Reibungsbeiwerte f_i ermittelten Hauptwiderstände und die anderen Widerstände auf Plausibilität hin überprüft und ggf. angepasst werden.

Liegen keine Messwerte oder Erfahrungswerte vor oder soll nur eine überschlägige Anlagendimensionierung vorgenommen werden, können Richtwerte für den fiktiven Reibungsbeiwert f zur pauschalen Berechnung der Gesamtheit der Hauptwiderstände von Ober- und Untertrum in Abhängigkeit von den Betriebsverhältnissen und konstruktiven Eigenschaften (siehe auch Anhang A) der Tabelle 4 entnommen werden. Sie wurden durch zahlreiche Messungen für Ober- und Untertrum gemeinsam und für folgende Randbedingungen gefunden:

- 3-teilige, feststehende Tragrollenanordnungen im Obertrum
- Tragrollen mit Wälzlagerung und Labyrinthdichtung
- Werte des relativen Gurtdurchhangs $h_{rel} \leq 0,01$
- Füllungsgrade φ im Bereich 0,7 bis 1,1

Tabelle 4 — Richtwerte für den fiktiven Reibungsbeiwert f zur pauschalen Berechnung der Gesamtheit der Hauptwiderstände von Ober- und Untertrum bei Gurtförderern mit Füllungsgraden φ im Bereich 0,7 bis 1,1

Merkmal	Einordnung der Merkmale		
Innere Reibung des Fördergutes	mittel	gering	hoch
Ausrichtung des Gurtförderers	mittel	gut	schlecht
Gurtspannung	mittel	hoch	niedrig
Betriebsbedingungen (staubig, klebrig)	mittel	gut	schlecht
Tragrollendurchmesser	108 bis 159	> 159	< 108
Abstände der Tragrollen im Obertrum in m	1,0 bis 1,5	< 1,0	> 1,5
Abstände der Tragrollen im Untertrum in m	2,5 bis 3,5	< 2,5	> 3,5
Gurtgeschwindigkeit in m/s	4 bis 6	< 4	> 6
Muldungswinkel in °	25 bis 35	< 25	> 35
Umgebungstemperatur in °C	15 bis 25	> 25	< 15
Reibungsbeiwerte f	Richtwert $\approx 0,020$	bewirkt	
		Minderung des Reibungsbeiwertes f bis auf	Erhöhung
		0,010	0,040

Bei generatorischem Betrieb der Antriebe führt die Annahme eines kleineren Reibungsbeiwertes f zu einer größeren Sicherheit bei der Auslegung; in Fällen motorischer Antriebe wird dies durch die Annahme eines größeren Reibungsbeiwertes f erreicht.

Die Anwendung dieser Reibungsbeiwerte f auf die Berechnung der Hauptwiderstände nach Gleichung (14) ist nur dann vertretbar, wenn keine hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Berechnung gestellt werden.

6.3 Nebenwiderstände

6.3.1 Allgemeines

Nebenwiderstände sind Reibungs- und Trägheitswiderstände, die nur an einzelnen Stellen des Gurtförderers entstehen. Sie errechnen sich aus einer Reihe von Einzelwiderständen.

Die Nebenwiderstände von Obertrum $F_{N,o,i}$ und Untertrum $F_{N,u,i}$ werden bei der Bestimmung der Gurtzugkräfte benötigt (siehe 8.3).

Der Nebenwiderstand des Förderers F_N , d.h. die Gesamtheit der Nebenwiderstände von Obertrum $F_{N,o}$ und Untertrum $F_{N,u}$, ergibt sich dann als:

$$F_N = \sum_{i=1}^{n_o} F_{N,o,i} + \sum_{i=1}^{n_u} F_{N,u,i} = F_{N,o} + F_{N,u} \quad (18)$$