

# Auswahl von Tragrollenparametern - ein Vergleich zwischen der amerikanischen CEMA und den deutschen Richtlinien

---

*Für die Auslegung von Tragrollen wird weltweit alternativ zu den deutschen Richtlinien der amerikanische CEMA Standard (CEMA – Conveyor Equipment Manufacturers Association) verwendet.*

*In diesem Artikel werden die einzelnen Parameter beider Anforderungen verglichen und verifiziert. Als Resultat erhält der Bandanlagenbetreiber einen Leitfaden zum effizienten Einsatz von Tragrollen in Gurtförderern.*

## **Einleitung**

Das Buch CEMA „Belt Conveyors for Bulk Materials“ (Deutsch: „Gurtförderer für Schüttgüter“) [1,2] wird vom Verband der amerikanischen Anlagenhersteller – CEMA – erarbeitet. Die inzwischen siebte Auflage beschreibt auf 843 Seiten diverse Berechnungen und Konstruktionen von Bandanlagen, ihre Wartung und die Auswahl passender Komponenten. Gegenstand der Beschreibungen sind Gurtbreiten von 457 mm bis 2591 mm und Rollendurchmesser von 101,6 mm bis 203 mm. In Deutschland werden hingegen für unterschiedliche Teile von Gurtförderern jeweils eigene DIN-Normen oder VDI-Richtlinien verwendet. Die Tragrollenparameter werden in der Norm DIN 22112 [3,4,5] definiert; diese Norm bezieht sich auf relativ kleine Rollen (Gurtbreiten  $\leq 1600$  mm, Tragrollendurchmesser  $\leq 159$  mm), die hauptsächlich im untertägigen Bergbau eingesetzt werden. Größere Tragrollendimensionen werden in der DIN 15207 [6] behandelt.

## Bezeichnung

In englischen Versionen der deutschen Normen bezeichnet das Wort „idler“ eine einzelne Tragrolle, der Schwerpunkt dieser Normen ist somit die Tragrolle. In der CEMA hingegen wird mit dem Begriff „idler“ ein kompletter Tragrollenstuhl incl. Stahlrahmen beschrieben, der Betrachtungsschwerpunkt liegt somit auf der gesamten Tragrollenstation.

Gemäß DIN [3] wird eine Tragrolle wie folgt bezeichnet:

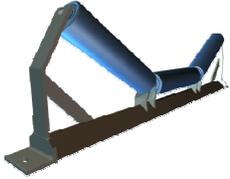
**DIN 22112 – 108 × 380 – A2 – 6204**

Diese Angabe stellt eine Tragrolle mit einem Durchmesser von 108 mm, einer Rollenmantellänge von 380 mm, dem Achsendentyp A2 und der Lagergröße 6204 dar. Aus den entsprechenden Tabellen werden weitere Maße der Tragrolle wie Achslänge und Schlüsselweite abgelesen. Im nächsten Teil dieser Norm [4] werden weitere Parameter wie Manteldicke, Schmierung und Abdichtung vorgegeben.

Zum Vergleich – die Bezeichnung nach CEMA [1,2] lautet:

**CEMA D7 35° 42**

Diese Angabe definiert einen Tragrollenstuhl mit einem Muldungswinkel von 35° für eine Gurtbreite von 42 Zoll, der Belastungsklasse D und einem Durchmesser der Tragrollen von 7 Zoll. Aus den Tabellen der CEMA – Norm können die Anschlussmaße der Station abgelesen werden. Die Achsenden oder die Längen der Tragrollen werden nicht definiert (Ausführung und Maße sind vom Hersteller frei wählbar). Unter derselben Bezeichnung können somit unterschiedliche Lagergrößen oder -typen eingesetzt werden, dies unter der Voraussetzung, dass die Tragzahlen für die angegebene Belastungsklasse eingehalten werden. Durch die fehlende Normierung werden gleiche Bandanlagen, die von unterschiedlichen Herstellern geliefert wurden, in der Regel auch mit unterschiedlichen Tragrollenausführungen ausgerüstet. Tragrollen für Reparatur-/Wartungsarbeiten müssen somit für jede Bandanlage separat bevorratet werden. Dies führt zu Mehrkosten durch höhere Materialbestände und den herstellerbezogenen Einkauf von Tragrollen. Der Einfachheit halber werden oftmals komplette Tragrollenstühle ausgewechselt. Auch diese Vorgehensweise ist mit Mehrkosten verbunden, da der intakte Stahlbau und die noch funktionierende Tragrollen ebenfalls ausgetauscht werden.

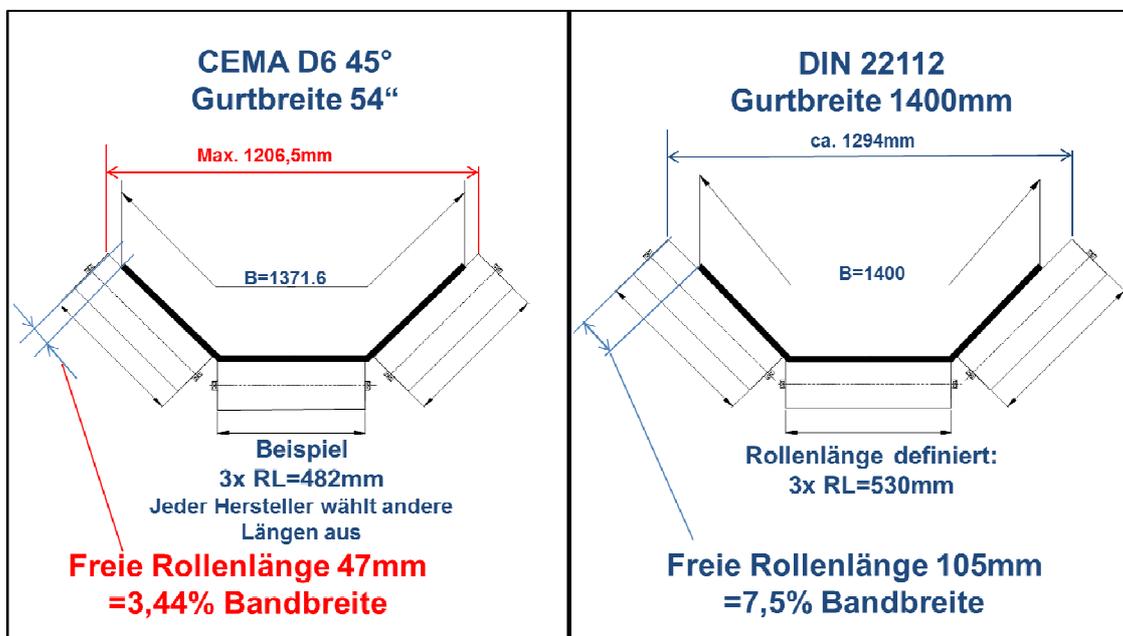
Deutsche Bezeichnung	Tragrolle	Rollenstation, Tragrollenstuhl
		
Englische Bezeichnung gem. CEMA [1,2]	roll	idler
Englische Bezeichnung gem. DIN 22101 [7] und DIN 22112	idler	idler set
Englische Bezeichnung gem. VDI 2341 [8]	idler roll	idler-roll station

Tab. 1. Englische Bezeichnungen der Tragrolle und des Tragrollenstuhls

CEMA - Anschlussmaße der Station: A,B,C,D,K,E, H werden definiert	DIN - Anschlussmaße und Längen der Tragrollen: RL,EL,AL,D,SW werden definiert

Tab. 2. Definition von Tragrollen nach CEMA [9] und DIN [3,6]

In der CEMA 502 [9] werden die Rollenlängen durch die Breite des Tragrollenstuhls (Maß H Tab. 2) bestimmt, die Rollenlänge ist nicht festgelegt. Für einen Tragrollenstuhl CEMA D6 45° Gurtbreite 54 Zoll (1371,6 mm) beträgt das H-Maß maximal = 1206,5 mm. Unter der Voraussetzung, dass 3 Rollen gleicher Länge mit einem Abstand zwischen den Rollen von 10 mm eingesetzt werden, ist die Länge der Rollen < **494 mm**. In Tab. 3 wird ein Beispiel aus einem Katalog eines CEMA-Herstellers dargestellt, die Länge der Tragrolle beträgt in diesem Fall = **482 mm**. Gemäß DIN [3] ist bei einem Tragrollenstuhl für die Gurtbreite 1400 mm die Rollenlänge auf **530 mm** festgelegt. Die freie Rollenlänge (siehe Tabelle 3) beträgt also für DIN-Rollen ca. 7,5% der Gurtbreite, für CEMA-Rollen nur 3,44%. Kürzere Rollenlängen bedeuten zwar vor allem geringere Fertigungskosten, für den Gurtlauf entstehen dadurch jedoch Nachteile. In Abb. 1. wird eine Station dargestellt, bei der der Gurt über die Rollen hinweg zur Seite ausläuft; die hierdurch entstandenen Gurtbeschädigungen sind deutlich zu erkennen. Darüber hinaus kann durch den Gurtschieflauf das Stahlgerüst beschädigen werden. Längere Rollenmäntel gewährleisten eine bessere Gurtführung und einen Schutz der Gurtkanten.



Tab. 3 Rollenlängen nach CEMA [9] und nach DIN [3] für zwei vergleichbare Gurtbreiten (1371,6 mm und 1400 mm)



Abb. 1. Folgen Gurtschieflauf

## Rollenbelastung

Gemäß CEMA wird die Tragrollenbelastung durch das Schüttgut, das Gewicht des Gurtes und die Belastung infolge der Gurtablenkung (Ausrichtungsfehler) berechnet. Ähnlich wie in der VDI 2341 [10] wird auch eine dynamische Stoßbelastung durch das Schüttgut berücksichtigt. Entsprechend der berechneten Belastung wird eine Station der Klasse B,C,D,E oder F unter folgenden Voraussetzungen ausgewählt:

- Tragrollen gleicher Länge
- Belastung Mittelrolle = 70%
- Belastung Seitenrollen jeweils = 15%.

Bereits durchgeführte Messungen [11,12,13] belegen, dass die angenommene 70%ige Belastung der Mittelrolle mit ausreichender Genauigkeit bestimmt wird. Durch die Muldung ist jedoch die Summe der auf die Rollen wirkenden Normalkräfte höher als die insgesamt wirkende Vertikalkraft. Messungen haben ergeben, dass die Summe der auf die Rolle wirkenden Kräfte (gleiche Rollenlänge) bei 106% bis 113% der Vertikalkraft liegen [11,12,13]. Somit liegen die gem. CEMA berechneten Kräfte unter den tatsächlichen Werten. Bei Tragrollen unterschiedlicher Länge (kurze Mittelrolle) vergrößern sich die Differenzen.

Ein weiterer Unterschied liegt in dem für die Berechnungen angenommenen Stoßfaktor, der die dynamischen Kräfte von grobstückigem Schüttgut beschreibt. Gemäß CEMA ermittelt man diesen Faktor in Abhängigkeit von der Brockengröße und der Materialdichte. Gemäß VDI [10] verwendet man hierzu Geschwindigkeit, Materialtyp und Art des Tragrollensatzes (Girlande oder Station). Unter gleichen Bedingungen erhält man somit bei der Verwendung der CEMA-Tabellen kleinere Kräfte.

Die Berechnungen der Lagerbelastung für eine Bandanlage werden im Allgemeinen mit folgenden Hauptparametern durchgeführt:

- Massenstrom..... 4200 t/h (Angabe Kunde)
- Bandgeschwindigkeit ..... 1000 fpm =5,1 m/s

- Gurtbreite ..... 48 Zoll = 1220 mm
- Gurt ..... St 2500 - 18:8
- Material..... Kupfererz
- Rollenteilung..... 5,74 ft = 1,75 m
- Muldungswinkel..... 45°
- Tragrollen D=6 Zoll=152 mm, RL=17,5 Zoll=445 mm – definiert, die Anlage ist vorhanden
- Brocken ..... 8 Zoll = 204 mm
- Maximale Gurtzugkraft..... 244 kN
- Ausrichtungsfehler (misalignment)..... 0,2 Zoll=5,1 mm

In Tabelle 4 werden die nach CEMA und VDI berechneten Kräfte verglichen. Zusätzlich werden die Kräfte dargestellt die mit dem Programm QNK-AKT ermittelt wurden. Die Belastung durch den Gurt wurde mit den Gleichungen nach Kessler [14] berechnet, die Belastung durch das Schüttgut wurde mit Hilfe der Gleichungen nach Krause [15] berechnet. Die berechneten Kräfte liegen nah beieinander und weisen eine für die Lagerauswahl ausreichende Genauigkeit auf. Der Hauptunterschied liegt in der Definition des Massenstroms. Die CEMA verwendet als Basis die „amerikanische Tonne“, die ca. 0,907 metrischen Tonnen entspricht. Bei Verwendung der metrischen Tonne wird das Kürzel [mt] eingesetzt. Da dieses Kürzel nicht durchgängig in den CEMA Angaben eingesetzt ist, kann es zu Verwechslungen kommen die in Tab. 4 dargestellt sind.

	CEMA	VDI	Küpper [14,15]
Belastung Gurtgewicht	988 N		
Belastung Schüttgut	3575 N*	3927 N*	
Stoßfaktor (K1 in CEMA, $\Psi$ in VDI)	1,1	1,364 (Material grobstückig ohne Feinkorn)	
Belastung durch Ausrichtungsfehler	1421 N	1421 N	1421 N
Gewicht drehender Teile	-	161 N	-
Belastung einer Station	6341 N	7927 N	6667 N
Belastung pro Lager Mittelrolle	2219 N	2482 N	2130 N
Belastung Seitenrolle	Nicht berücksichtigt		678 N –Lager Oben 791 N- Lager Unten

Tab. 4. Berechnete Lagerbelastung

\*unterschiedliche Definitionen der Tonne: Deutschland 1t = 1000kg, CEMA 1t= 907,2kg

## Lebensdauerberechnung

Die Lebensdauer einer Tragrolle ist eine komplexe Funktion. Sie ist abhängig von:

- Lagerlebensdauer
- Fettgebrauchsdauer
- Abdichtungszuverlässigkeit
- Mantelverschleiß
- Passungen/Verbindungen der Bauteile

Die CEMA-Lebensdauerberechnung wird mit Hilfe vieler empirischer Faktoren berechnet und berücksichtigt nur die Lagerlebensdauer. Gemäß CEMA wird angenommen, dass die Lebensdauer des Tragrollenstuhls mit der Lebensdauer eines Lagers der Mittelrolle gleichzusetzen ist. Die deutschen Vorschriften definieren die Lebensdauer sehr ähnlich, in der Praxis werden von den Herstellern jedoch eigene Methoden angewendet, die auf der Wälzlagernorm ISO 281 [16] basieren. Die Lagerlebensdauer wird in der ISO 281 als eine Wahrscheinlichkeitsfunktion definiert. Beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit für ein Lager = 10%, ist nach ISO 281 für eine Rolle mit zwei Lagern eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 19% anzunehmen. Hieraus folgt, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Rolle über diesem Wert von 19% liegen muss. Gemäß Weibull-Verteilung lässt sich die Lebensdauer einer Rolle mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10% wie folgt berechnen:

$$\left(\frac{1}{L_{10Rolle}}\right)^\beta = \left(\frac{1}{L_{10Lager1}}\right)^\beta + \left(\frac{1}{L_{10Lager2}}\right)^\beta \quad (1)$$

$\beta=1,5$  [16] – Weibull-Exponent,  $L_{10Rolle}$  – Lebensdauer einer Tragrolle mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10%,  $L_{10Lager1,2}$  – Lebensdauer der Lager mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10%

Ähnlich wird die Lebensdauer eines Tragrollenstuhls betrachtet, die Lebensdauer resultiert aus der Lebensdauer der drei Tragrollen:

$$\left(\frac{1}{L_{10Station}}\right)^\beta = \left(\frac{1}{L_{10Rolle1}}\right)^\beta + \left(\frac{1}{L_{10Rolle2}}\right)^\beta + \left(\frac{1}{L_{10Rolle3}}\right)^\beta \quad (2)$$

Für den Fall, dass eine Nachschmierung der Lager nicht erfolgt, muss in der Berechnung der Rollenlebensdauer zusätzlich die Fettgebrauchsdauer berücksichtigt werden. In Tab. 5 wird für 2 Tragrollenstühle, CEMA D (Tragzahl 5338 N) und CEMA E (Tragzahl 8007 N), eine Lebensdauerberechnung nach CEMA beispielhaft dargestellt. Gemäß CEMA wird für den Tragrollenstuhl D üblicherweise die Lagergröße 6305 eingesetzt, für den Tragrollenstuhl E üblicherweise die Lagergröße 6307, 6308 oder das Kegelrollenlager 30206. In Tab. 6. wird die Lebensdauer nach ISO 281 [16] und nach GfT-3 [17] für dieselben Lagergrößen unter gleicher Belastung berechnet. Das Kegelrollenlager hat eine deutlich höhere Tragzahl und somit theoretisch auch eine längere Lebensdauer. Der Einsatz des Kegelrollenlagers bedeutet jedoch häufig auf Grund der deutlich reduzierten Fettgebrauchsdauer in Verbindung mit der fehlenden Nachschmierung eine kürzere Lebensdauer. Des Weiteren wird die für das Lager 30206 vorgeschriebene Mindestbelastung

von 800 N, selbst bei gleichzeitig auftretenden maximalem Massenstrom, maximalem Ausrichtungsfehler und maximaler Gurtzugkraft, an den Seitenrollen nicht erreicht. Als Folge hiervon kommt es zu ständigem Schlupf zwischen den Kegelrollen und den Laufbahnen, der zu erhöhtem Verschleiß und zu einem vorzeitigem Lagerausfall führt.

	CEMA D6	CEMA E6	
	Kugellager	Kugellager	Kegelrollenlager
cil/ilr Verhältnis Belastung/Tragzahl	1,188	0,792	0,792
K2 – Korrektur Belastung	0.60	2,01	2,16
K3A – Einfluss der Geschwindigkeit	0,79	0,79	0,79
K4A – Einfluss der Wartung	1	1	1
K4B- Einfluss der äußeren Bedingungen (schmutzig, trocken)	0.8	0.8	0.8
K4C – Einfluss der Temperatur	1	1	1
Lebensdauer eines Tragrollenstuhls	<b>22 752h</b>	<b>76 219h</b>	<b>81 907h</b>

Tab. 5. Berechnung der Lebensdauer nach CEMA (für die Berechnung ist die Lagergröße nicht erforderlich)

	CEMA D6	CEMA E6	
	6305	6308	30206
Lager			
Lagerbelastung Mittelrolle	radial 2500 N, axial 500 N		
Lagerbelastung Seitenrolle	radial 800 N axial 300 N		
Geschwindigkeit	640U/min		
L10h Lager Seitenrollen	>100 000h	>100 000h	>100 000h
L10h Lager Mittelrollen	21 400h	>100 000h	>100 000h
Mittelrolle - 2 Lager nach Gl. (1)	13 481 h	>100 000h	>100 000h
Mindestbelastung pro Lager	60 N	140 N	800 N
Belastung < Mindestbelastung	NEIN	NEIN	<b>JA</b> Seitenrollen
Fettgebrauchsdauer Lager Seitenrollen*	84000h	54 000 h	18 000h
Fettgebrauchsdauer Lager Mittelrollen*	43 000h	50 000h	18 000h
Lebensdauer einer Mittelrolle	11 500h	36 000h	18 000h
Lebensdauer einer Seitenrolle	84 000h	46 000h	18 000h
Lebensdauer einer Station nach Gl. (2)	<b>10 800h</b>	<b>31 250h</b>	<b>13 150h</b>

Tab. 6. Berechnungen der Lebensdauer ISO 281 [16] und GfT-3 [17] mit  $\beta_{\text{Fett}}=3,5$ .

\*Berechnet für eine Standard-Befettung.

## Schmierung

Aus Tab. 6 folgt, dass die Lager 30206 in der Mittelrolle mit einer einsetzgerechten Nachschmierung theoretisch mehrere Jahre laufen würden, ohne Nachschmierung jedoch nur 13 150 Stunden. In der CEMA wird die Nachschmierung der Tragrollen in Appendix D festgelegt. Im Rhythmus von 6 Monaten soll eine Anzahl Rollen aus der Anlage demontiert und untersucht werden. Die genaue Zahl dieser Prüfrollen ist nicht definiert. Falls im Rahmen dieser Untersuchung festgestellt wird, dass das Fett verunreinigt oder fehlerhaft ist, müssen sämtliche Rollen nachgeschmiert werden. Die Vorgehensweise zur Nachschmierung von Tragrollen mit unterschiedlichem Einbaudatum wird nicht beschrieben. Ebenso ist die Art und Menge des Schmierfettes nicht angegeben. Es wird auch nicht erwähnt wie vorzugehen ist, wenn keine Schmiernippel vorhanden sind.

Darüber hinaus kann die Bandanlagenzugänglichkeit die Nachschmierung erschweren bzw. unmöglich machen. Das verbrauchte Fett wird bei regelmäßiger Nachschmierung in den Innenraum der Rolle gedrückt, dies kann zu einer Verschlechterung der Laufeigenschaften (z.B. erhöhte Unwucht) führen. Aus diesem Grund werden DIN-Rollen nach einem anderen Prinzip gefertigt. Die Art des Schmierfettes und die eingebrachte Menge werden in DIN 22112-2 exakt definiert, so dass die Tragrollen lebensdauer geschmiert sind.

## Abdichtung

Die CEMA berücksichtigt durch den Faktor K4B den Einfluss der äußeren Bedingungen auf die Lebensdauer. Bei einem Einsatz der Rollen in besonders staubiger Atmosphäre oder bei Wasserbeaufschlagung wird die Lebensdauer um 50% gekürzt. Die Art der Abdichtung ist nicht definiert. In der DIN [4,5] wird die Anforderung gestellt, dass die Tragrollen gegen Staub und Wasser zu schützen sind. Der Nachweis der Wirksamkeit ist durch einen Test in einem genormten Prüfstand zu belegen. Somit wird sichergestellt, dass die Lebensdauer durch die äußeren Bedingungen nicht beeinflusst wird.

## Weitere Tragrollenparameter

Im Gegensatz zur DIN [4] werden in der CEMA die weiteren Rollenparameter:

- Rohrwanddicke
- Werkstoffe/Stahlsorten
- Lagerluft
- Rundlauf
- Lagerpassung

nicht beschrieben.

## Tragrollenlaufwiderstand

Gemäß CEMA wird der Tragrollenlaufwiderstand aufgeteilt in den Widerstand der Dichtungen und des Wälzlagers, als Gesamtgröße berechnet.

Der Widerstand der Dichtung ist in diesen Berechnungen abhängig von:

- CEMA-Klasse (B,C,D,E,F)
- Temperatur
- Geschwindigkeit
- Durchmesser

Der Widerstand der Wälzlager ist in diesen Berechnungen abhängig von:

- CEMA-Klasse (B,C,D,E oder F)
- Lagertyp (Kugellager oder Rollenlager)
- Belastung
- Durchmesser

In der CEMA werden folgende empirische Faktoren für die Berechnung eingesetzt, die vom Hersteller anzugeben sind:

$C_{iW}$  – Faktor für den belastungsabhängigen Widerstand

$K_{iS}$ ,  $K_{iV}$  – Faktoren für den drehzahlabhängigen Widerstand der Dichtung

$K_{iT_a}$ ,  $K_{iT_b}$  – Faktoren für den temperaturabhängigen Widerstand

Gemäß DIN 22112-2, darf der Widerstand einer Tragrolle (unabhängig von der Lagergröße und dem Durchmesser) den Wert von 3 N nicht überschreiten. Diese Angabe bezieht sich auf einen maximalen Rollendurchmesser von 159 mm und einer maximalen Lagergrößen von 6306. Der Widerstand ist auf einem genormten Prüfstand mit einer Belastung von 250 N und einer Drehzahl von 650 U/min zu ermitteln. Die Messwerte können direkt für weitere Berechnungen verwendet werden.

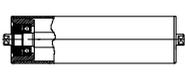
Gemäß DIN 22101 [7] wird der Hauptwiderstand einer Tragrolle nur in Abhängigkeit von der Masse der drehenden Teile ermittelt, die Lagergröße und der Rollendurchmesser werden nicht berücksichtigt. Somit ist der Laufwiderstand, ermittelt nach folgender Formel, hauptsächlich eine Funktion des Gewichtes der rotierenden Teile.

$$F_H = l \cdot f \cdot g \cdot [m'_R + (m'_G + m'_L) \cos \delta]$$

(3)

$F_H$  -Hauptwiderstand,  $m'_R$  -Streckenlast infolge der drehenden Tragrollenteile [kg/m],  
 $l$  - Länge eines Teilabschnittes,  $f$  - fiktiver Reibungsbeiwert,  $g$  -Fallbeschleunigung,  
 $m'_G$  -Streckenlast infolge Gurt,  $m'_L$  Streckenlast infolge Fördergut,  $\delta$  – Neigungswinkel

In Tabelle 7 werden die Berechnungs- und Messergebnisse für 3 unterschiedliche Tragrollen dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungswerte nach CEMA und DIN 22101 weichen deutlich von den Messergebnissen nach DIN 22112 ab (Messmethoden siehe [18]).

	Tragrolle 1	Tragrolle 2	Tragrolle 3
			
Lagergröße	6306	6306	6308
Durchmesser [mm]	177	108	177
Wanddicke [mm]	6,3	4	7,1
Rollenlänge [mm]	750	380	750
Masse der drehenden Teilen [kg]	25	5,7	28,3
CEMA-Bezeichnung	D7	D4	E7
Widerstand resultierend aus DIN 22101 mit $f=0,02$	<b>5,0 N</b>	<b>1,1 N</b>	<b>5,6 N</b>
Widerstand nach CEMA	<b>6,0 N</b>	<b>10,4 N</b>	<b>9,9 N</b>
Messwerte Kupper nach DIN 22112-3	<b>2,2 N</b>	<b>3,7 N</b>	<b>3,5 N</b>

Tab. 7. Widerstand von Tragrollen

## Massenverteilung

Beim Anfahren oder Stillsetzen einer Bandanlage entstehen im Gurt zusätzliche Trägheitskräfte. Diese werden wie folgt berechnet:

$$F_a = a \cdot \left( m'_G + m'_L + \frac{4I'_r}{D^2} \right) \cdot l \quad (4)$$

Hierbei sind  $I'_r$  – Massenträgheitsmoment um die Rotationsachse der Tragrollen,  $D$  – Durchmesser,  $a$  - Beschleunigung des Gurtes. Für die Berechnung nach CEMA wird das Massenträgheitsmoment eingegeben, dieser Wert kann für Stahlrollen aus den CEMA Tabellen abgelesen werden.

In DIN 22101 wird das Massenträgheitsmoment der Tragrollen nicht berücksichtigt, stattdessen wird die Masse der drehenden Teile mit dem Faktor  $c_r$  multipliziert. Folgende Gleichung beschreibt in dieser Norm die Massenträgheit:

$$\frac{4I'_r}{D^2} = c_R \cdot m'_R \quad (5)$$

Der Faktor  $c_R$  beschreibt die Massenverteilung einer Tragrolle, als Richtwert wird in der DIN 22101 der Faktor  $c_R=0,9$  angegeben.

In Tabelle 8 wird ein Vergleich von Tragrollengewichten und Trägheitsmomenten für drei unterschiedliche Anlagen mit folgenden Ergebnissen dargestellt:

- Kupper Tragrollen sind wesentlich massiver ausgeführt als Tragrollen nach CEMA, siehe hierzu die Spalte „Masse der drehenden Teile.“
- Der in der DIN 22101 angegebene  $c_R$  Wert von 0,9 liegt deutlich über den Berechnungsergebnissen.
- Die Tragrollen nach CEMA F8 zeigen eine Massenverteilung ( $c_R=0,65$ ), die mit einer üblichen Rollenkonstruktion nicht zu erreichen ist. Diese Massenverteilung kann nur erreicht werden, wenn das Gewicht des Rollenbodens über dem Gewicht des Tragrollenrohres liegt.

		Masse der drehenden Teile für 3 Tragrollen $m_R$ [kg]	Massen-trägheitsmoment für 3 Tragrollen $I_R$ [kg·m <sup>2</sup> ]	$c_R = \frac{4I_r}{m_R D^2}$ (gem. DIN 22101 Richtwert = 0,9)
Anlage 1	Küpper-Tragrollen 3xø108x4 mm 6204, RL 347, Massivboden	15,2	0,036	0,81
	CEMA C4 Tragrollen für B=914 mm (36'')	10,7	0,023	0,83
Anlage 2	Küpper-Tragrollen 3xø159x5,6 mm 6306, RL 550, Massivboden	46.35	0,234	0,80
	Küpper-Tragrollen 3xø159x5,6 mm 6306, RL 550, Tiefziehboden	41.55	0,225	0,86
	CEMA D6 Tragrollen für B=1525 mm (60'')	31,0	0,144	0,80
Anlage 3	Küpper-Tragrollen 3xø219x7,1 mm 6310, RL 670, Massivboden	104.0	0,994	0,80
	CEMA F8 Tragrollen für B=1829 mm (72'')	95,8	0,647	0,65

Tab. 8. CEMA Stahl - Tragrollen, Gewichte und Trägheitsmomente im Vgl. zu Küpper-Tragrollen

## Untertrumrollen

Die Auswahl der Rollen für den Untertrum ist ähnlich der Auswahl der Obertrum-Rollen. Der in der CEMA empfohlene Tragrollenabstand beträgt 3m für Gurtbreiten bis 1524 mm und 2,4m für breitere Gurte. Ein Muldungswinkel im Untertrum ist für CEMA Tragrollen oftmals nicht vorgesehen, für die CEMA B-Ausführung sind ausschließlich horizontal eingelegte Tragrollen vorgesehen. In den deutschen Normen für Tragrollengerüste [19] sind zweiteilige Rollensätze (V-Form) oder flache Rollen (Form G) vorgesehen. Die DIN 22114 [20] sieht nur die V - Form vor. Eine Station mit 2 Rollen und einem Muldungswinkel von 10° bietet im Hinblick auf den Gurtschieflauf und den Verschleiß der Rollenmäntel deutliche Vorteile.

## Aufgaberollen

Die CEMA gibt einen Algorithmus zur Auswahl der Aufgaberollen vor, nachfolgende Daten werden benötigt:

- Die Kraft, die durch den Aufprall eines homogenen Massenstroms einwirkt
- Die Kraft, die durch den Aufprall von grobkörnigem Schüttgut einwirkt
- Die Fallenergie des grobkörnigen Schüttguts

Aufgaberollen nach CEMA werden mit Pufferringen, vulkanisiertem Gummi oder Luftreifen ausgerüstet, Rollen ohne Beläge werden nicht erwähnt.

Die deutschen Normen enthalten keine Informationen über Aufgaberollen.

## Anlagenparameter

- In der VDI 2341 [8] und in der DIN 22112-2 [4] wird die Tragrollendrehzahl mit 650 U/min als obere Grenze angegeben, gemäß CEMA ist eine Geschwindigkeit von 1000 U/min zulässig. Somit sind bei der Auslegung nach CEMA kleinere Tragrollendurchmesser zulässig. Kleinere Tragrollendurchmesser haben höhere Schwingungen und einen erhöhten Energieverbrauch, aufgrund des erhöhten Eindrückrollwiderstands, zur Folge
- Gem. DIN 22101 ist der Gurtdurchhang auf max. 1% begrenzt, gem. CEMA wird ein Durchhang von 3% (für Muldungswinkel 20° und 35°) empfohlen, siehe hierzu Tab. 9. Somit sind größere Tragrollenabstände oder kleinere Gurtzugkräfte zulässig, die deutlich höhere Bewegungswiderstände und einen höheren Energieverbrauch zur Folge haben.

	<p><b>DIN 22101</b></p> $\frac{H}{l} \leq 1\%$
	<p><b>CEMA (20°, 35°) empfohlen:</b></p> $\frac{H}{l} = 3\%$

Tab. 9. Gurtdurchhang Vgl. DIN/CEMA

## Zusammenfassung

- In der CEMA werden sämtliche Aspekte zur Auslegung von Bandanlagen in einem einzigen Buch festgehalten. Die DIN-Normen und weitere deutsche Vorschriften sind jeweils spezifisch erarbeitet, beziehen sich auf einzelne Aspekte von Bandanlagen und sind in verschiedenen Regelwerken festgehalten.
- Die Auswahl der Rollenparameter ist in der CEMA nicht definiert. In dieser Norm werden nur die Gurtbreite, die Belastung und der Muldungswinkel angegeben.
- In der DIN 22112 wird die Tragrolle mit einer Lebensdauer von 20 000 Stunden ausgelegt. Gemäß CEMA wird die Lebensdauer der Rollen D,E,F mit 60 000 Stunden angegeben.
- Die gemäß CEMA geforderte Nachschmierung der Dichtungen und Lager ist in der Norm nicht festgelegt und in der Praxis schwer umsetzbar. DIN-Rollen sind lebensdauer geschmiert.
- Die Prüfkriterien der DIN 22112 sind im Vergleich zur CEMA wesentlich umfangreicher:
  - Prüfung der Dichtwirkung gegen Wasser und Staub
  - Lagerschmierung
  - Laufwiderstand
  - Rundlauf
- In der CEMA wird im Vergleich zur DIN der Einfluss der Temperatur auf den Laufwiderstand und die Belastung der Aufgaberollen berücksichtigt.
- Viele Einträge in der CEMA sind Empfehlungen, häufig (280 Mal) wird das Wort „recommend/recommendation“ (empfehlen/Empfehlung) verwendet. In der DIN werden die Angaben [4] als verbindliche Anforderungen bezeichnet und verstanden.

## Literatur

- [1] – CEMA „Belt Conveyors for Bulk Materials“ 6th Edition
- [2] – CEMA „Belt Conveyors for Bulk Materials“ 7th Edition
- [3] -- DIN 22112-1:2010-12 Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage - Tragrollen - Teil 1: Maße
- [4] - DIN 22112-2:2010-12– Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage Teil 2: Anforderungen
- [5] - DIN 22112-3:1996-03 - Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage - Tragrollen - Teil 3: Prüfung
- [6] - DIN 15207- Stetigförderer - Tragrollen für Gurtförderer - Hauptmaße der Tragrollen für Schüttgutförderer
- [7] - DIN 22101:2011-12 Continuous conveyors - Belt conveyors for loose bulk materials - Basis for calculation and dimensioning - Offizielle englischsprachige Fassung der Norm „ Stetigförderer - Gurtförderer für Schüttgüter - Grundlagen für die Berechnung und Auslegung“
- [8] - VDI 2341 - Gurtförderer für Schüttgut Tragrollen und Tragrollenabstände - Fassung in Deutsch und Englisch
- [9] - CEMA 502-2004 Bulk Material Belt Conveyor Troughing and Return Idlers
- [10] - VDI 2341:2007-02 - Gurtförderer für Schüttgut Tragrollen und Tragrollenabstände
- [11] - F.O.Geesmann: „Experimentelle und Theoretische Untersuchungen der Bewegungswiderstände von Gurtförderanlagen“. Dissertation. Uni Hannover, 2001.
- [12] - Kasza P, Kulinowski P, Kozubek A. „Badania przemysłowe obciążenia zestawu krążnikowego w aspekcie weryfikacji metod obliczeniowych“ Przegląd Górniczy 2011 nr 11 str. 92-98. 2,75.
- [13] - J. Bukowski: „Wpływ obciążeń eksploatacyjnych na opory obracania krążników“ Dissertation. Uni Wroclaw, 2012.
- 14] - Kessler, F.: Untersuchungen der Führungskräfte quer zur Gurtlaufriichtung bei Gurtförderern mit Horizontalkurven; Diss. Montanuniversität Leoben, 1986. Zitiert nach [2]
- [15] - F. Krause, W. Hettler, Die Belastung der Tragrollen von Gurtbandförderern mit dreiteiligen Tragrollenstationen infolge Fördergut unter Beachtung des Fördervorganges und der Schüttguteigenschaften, Wissenschaftliche Zeitschrift der T.H. Magdeburg 1974, 18, Heft 6/7 zittiert nach Ilic, D.; Wheeler, C. A.; Roberts, A. W „Investigation of bulk solid stress states on a belt conveyor test rig“ Bulk Europe 2008
- [16] - DIN ISO 281:2010-10 Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer
- [17] - GfT-Arbeitsblatt 3: Wälzlagerschmierung
- [18] - A.Gladysiewicz „Tragrollenlaufwiderstand - Analyse der Prüfverfahren“ 19. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2014 München 17-18.09.2014
- [19] - DIN 22111: 2000-03 - Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage; Leichtes Traggerüst
- [20] - DIN 22114: 1992 - Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage; Schweres Traggerüst
- [21] - VDI 3604:2009-03 Gurtförderer für Schüttgut – Übergabeeinrichtungen