

BGL/VDA-Symposium Ladungssicherung auf dem Nutzfahrzeug

Aus der Praxis für die Praxis

17. September 2026

IAA TRANSPORTATION – Convention Center CC Saal 1B



VDI Richtlinie

2700 Blatt 2.1

„Berechnung von Sonderfällen“

Warum braucht man Blatt 2.1 eigentlich?

Blatt 2.1 ist kein Ersatz für Blatt 2, sondern eine Ergänzung für Sonderfälle, die in der Praxis auch sehr häufig vorkommen können, aber rechnerisch dort bislang noch nicht abgedeckt waren.

Sonderfälle VDI Richtlinie 2700 Blatt 2.1

1. „VIEL BRINGT *nicht immer* VIEL“



Die VDI Richtlinie 2700 Blatt 2.1

1. Sonderfall „Statisch unbestimmte Direktsicherungen“

Also die Anwendungsfälle, in denen mit mehr als zwei Zurrmitteln je Sicherungsrichtung gearbeitet wird.

Wichtig: Blatt 2.1 behandelt standsichere starre Ladung bei symmetrischer Schwerpunktlage in Bezug auf die Befestigungspunkte.



Sonderfälle VDI Richtlinie 2700 Blatt 2.1

2. „UM DIE ECKEN GEZURRT“



Die VDI Richtlinie 2700 Blatt 2.1

2. Sonderfall: Niederzurrungen mit Umschlingungswinkeln $> 180^\circ$.

Also Anwendungsfälle, bei denen Ladungen über die Zurrpunkte des Fahrzeuges hinausragen.

Wichtig: Das ist nicht nur bei überbreiten Ladungen der Fall.



Statisch unbestimmte Sicherungen

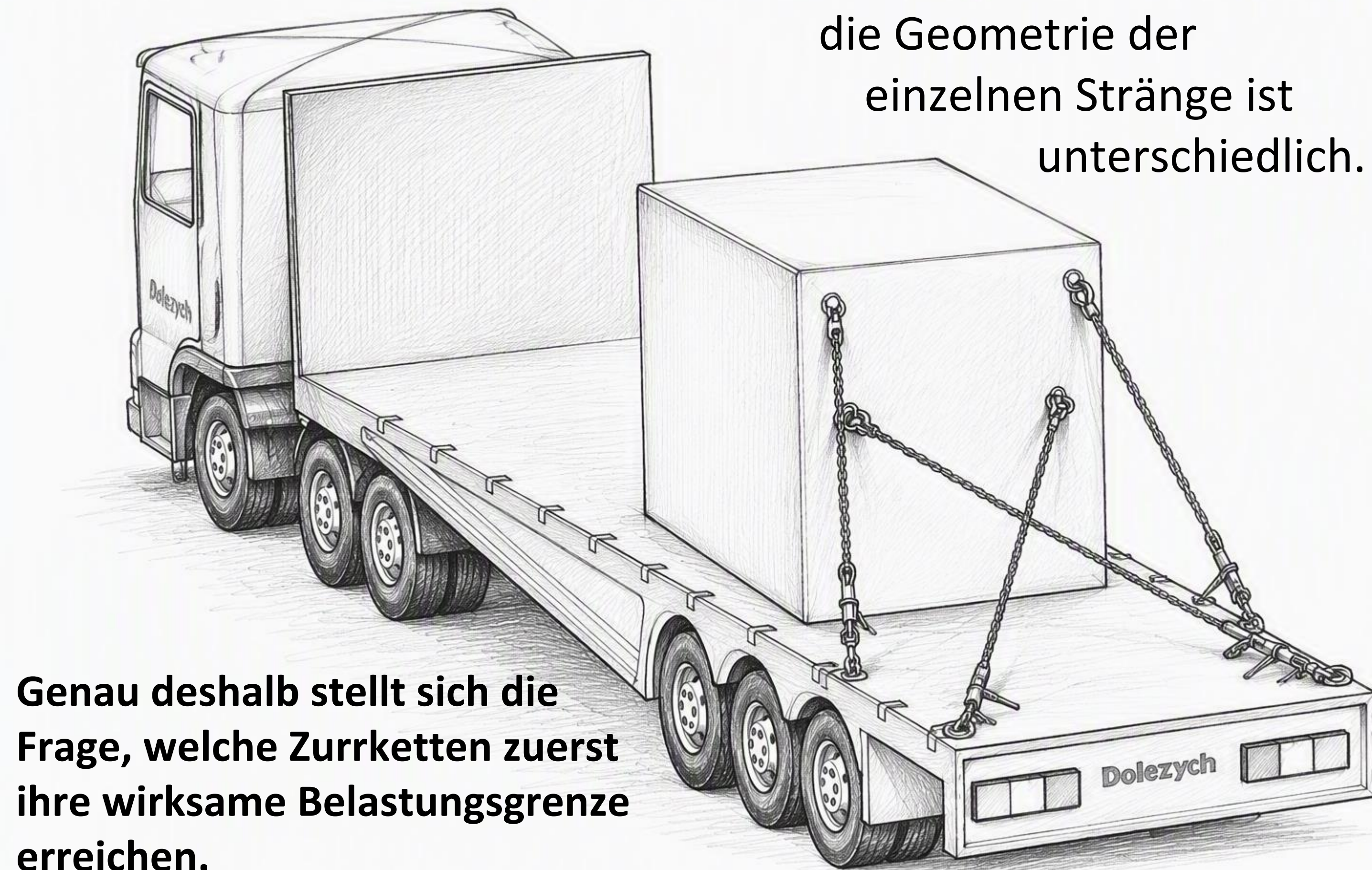
Bei statischer Unbestimmtheit kann die Kraftverteilung nicht mehr allein aus den Gleichgewichtsbedingungen ermittelt werden.

Statische Unbestimmtheit entsteht, wenn Ladungen mit mehr als zwei Zurrmitteln in einer Richtung direkt gesichert werden

Für die Berechnung sind die geometrischen Verhältnisse (Länge der Zurrmittel, Zurrwinkel) sowie die Eigenschaften der verwendeten Zurrmittel (z. B. Dehnung, Werkstoff) von großer Bedeutung.

Auf den ersten Blick sieht das sehr ordentlich aus 4 Zurrstränge, symmetrisch angeordnet

...aber
die Geometrie der
einzelnen Stränge ist
unterschiedlich.



Genau deshalb stellt sich die Frage, welche Zurrketten zuerst ihre wirksame Belastungsgrenze erreichen.

Anmerkung: Das Bild zeigt keine vollständige Sicherung!

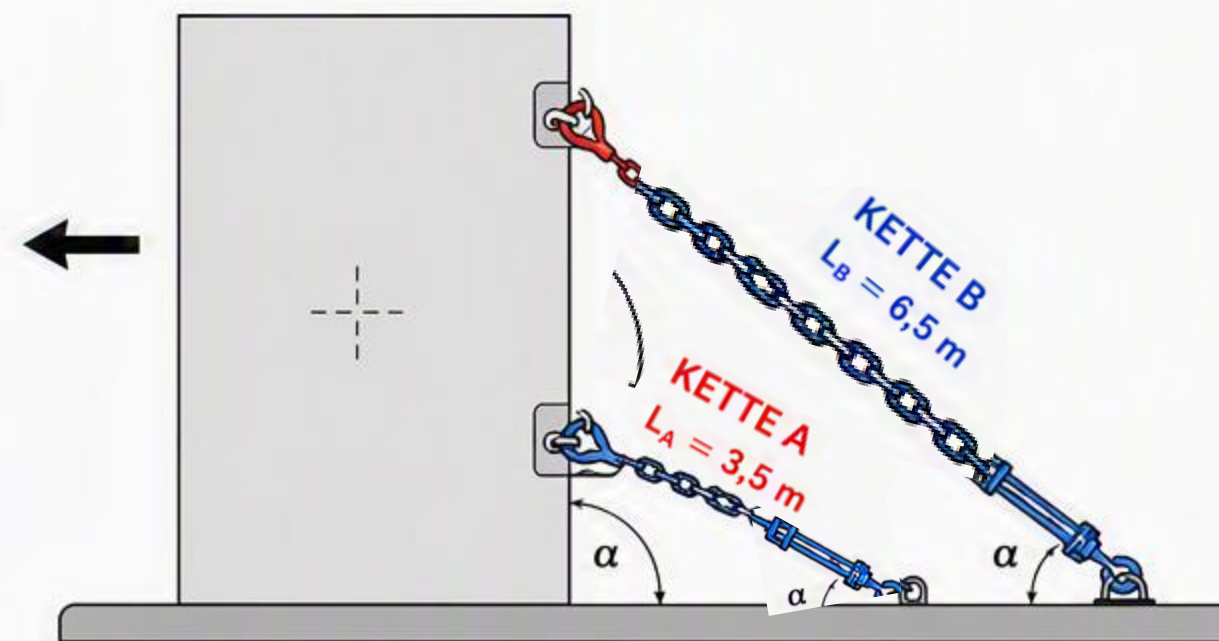
Sind Zurrmittel unterschiedlich lang, oder weisen sie unterschiedliche Zurrwinkel auf, besteht das eigentliche physikalische Problem darin, dass sie bei Beanspruchung unterschiedlich gedehnt und somit auch unterschiedlich stark belastet werden.

Beispiel: Zwei identische Ketten unterscheiden sich lediglich in ihrer Länge, Kette A = 3.5 m, Kette B = 6.5 m; Beide haben eine Dehnung von 2 %.

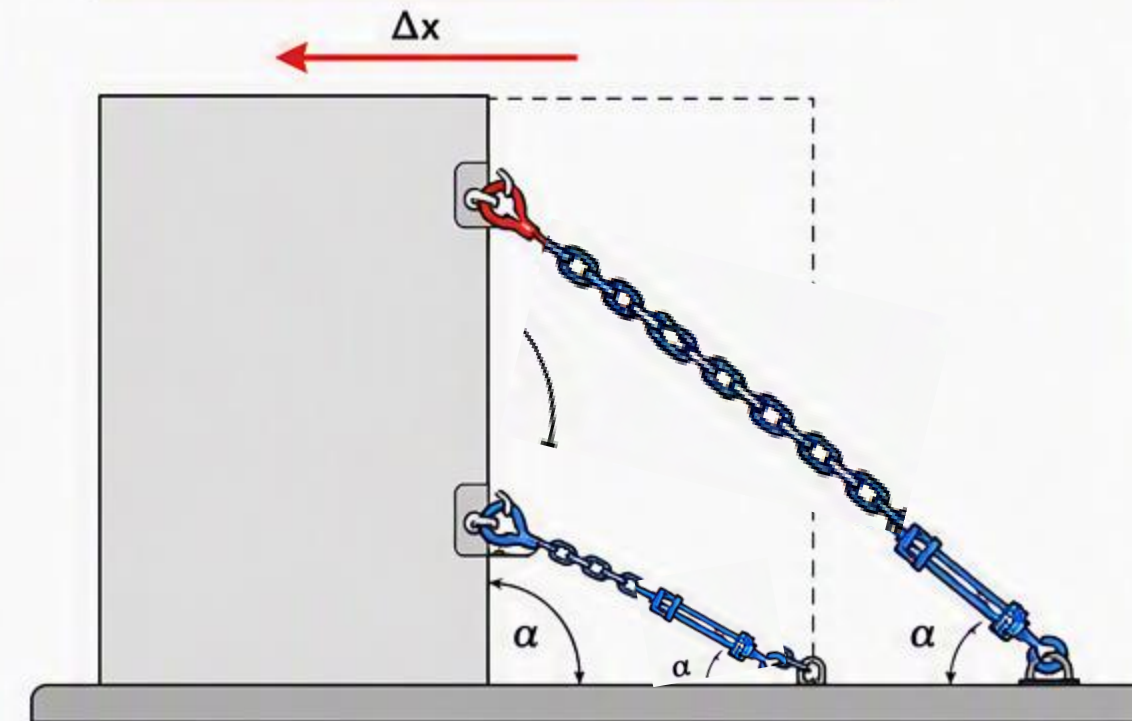
Dann gilt:

Kette A verlängert sich bei LC um 70 mm und
Kette B verlängert sich bei LC um 130 mm

1. Ausgangslage



2. Ladung bewegt sich nach links um Δx



Gegeben:

- Kette A: $L_A = 3,5 \text{ m}$
- Kette B: $L_B = 6,5 \text{ m}$
- gleicher Winkel α
- 2 % Dehnung bei LC

Geometrie:

$$\Delta L = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}$$

3. Zulässige Dehnung bis LC (2% von L)

Kette A (3,5 m)

2 % von 3,5 m = 0,07 m = 70 mm

70 mm (LC)



■ Grün = zulässiger Bereich (bis LC)

■ Rot = Überlast (LC überschritten)

Kette B (6,5 m)

2 % von 6,5 m = 0,13 m = 130 mm

130 mm (LC)



Beispiel: Ladung bewegt sich
 $\Delta x = 35 \text{ mm}$ nach links

Geometrischer Dehnungsweg

$$\Delta L = \frac{35 \text{ mm}}{\cos \alpha}$$

→ Beide Ketten müssen denselben geometrischen Dehnungsweg aufnehmen.

4. Ausnutzung der Dehnungsreserve bei $\Delta x = 35 \text{ mm}$

Kette A (70 mm bis LC)

35 mm genutzt 70 mm (LC)



Ausnutzung: $\frac{35}{70} = 0,50 = 50 \%$

Kette A ist zu 50 % ihrer LC belastet.

Kette B (130 mm bis LC)

35 mm genutzt 130 mm (LC)



Ausnutzung: $\frac{35}{130} = 0,27 = 27 \%$

Kette B ist erst zu 27 % ihrer LC belastet.

5. Wenn Kette A ihre LC erreicht ($\Delta L_A = 70 \text{ mm}$)

Dann ist Δx so groß, dass Kette A ihre LC-Dehnung erreicht.

Kette A

70 mm (LC)



Kette A ist an ihrer LC.

Kette B (bei gleichem Δx)

70 mm genutzt 130 mm (LC)



Ausnutzung: $\frac{70}{130} = 0,54 = 54 \%$

Kette B ist erst zu 54 % ihrer LC belastet.



Ergebnis: Bei gleicher Geometrie und gleichem Winkel wird das kürzere Zurrmittel (A) stärker belastet, weil seine zulässige Dehnung früher ausgeschöpft ist.

→ Die kurze Kette greift zuerst, die lange Kette folgt später.

Dehnungsvergleich: Kette vs. Gurtband (Länge: 4 m)

Belastung (Kraft)	Dehnung Kette (LC = 4.000 daN / max. 2 %)	Dehnung Gurtband (LC = 2.500 daN / max. 7 %)
Bei 2.500 daN (LC Gurtband)	50 mm	280 mm
Bei 4.000 daN (LC Kette)	80 mm	448 mm (⚠ Überlastung!)

Die halb so lange Kette wird bei gleicher Verschiebung der Ladung theoretisch doppelt so stark belastet wie die doppelt so lange Kette.

Also führen unterschiedliche Zurrmittellängen bereits ohne jeden Winkelunterschied zu einer ungleichen Kraftverteilung.

Vorsicht!

In realen Direktzurrungen unterscheiden sich zusätzlich noch die Zurrwinkel und häufig werden unterschiedliche Zurrmittel kombiniert.

Dadurch wird die tatsächliche Kraftverteilung noch komplexer.

Warum braucht man überhaupt statisch unbestimmte Sicherungen.

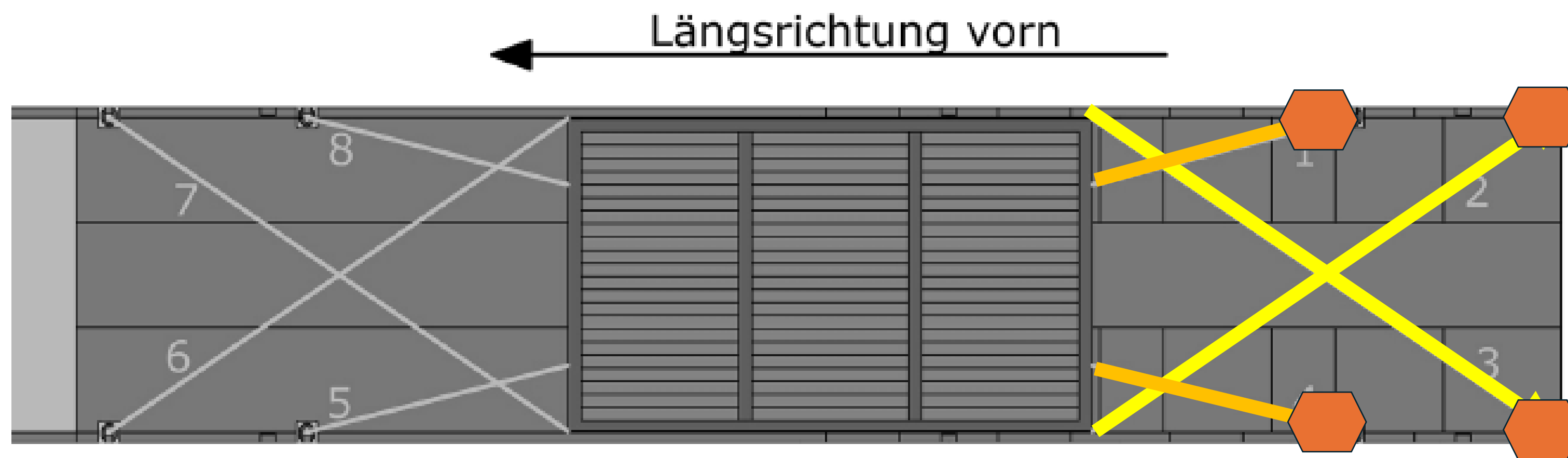
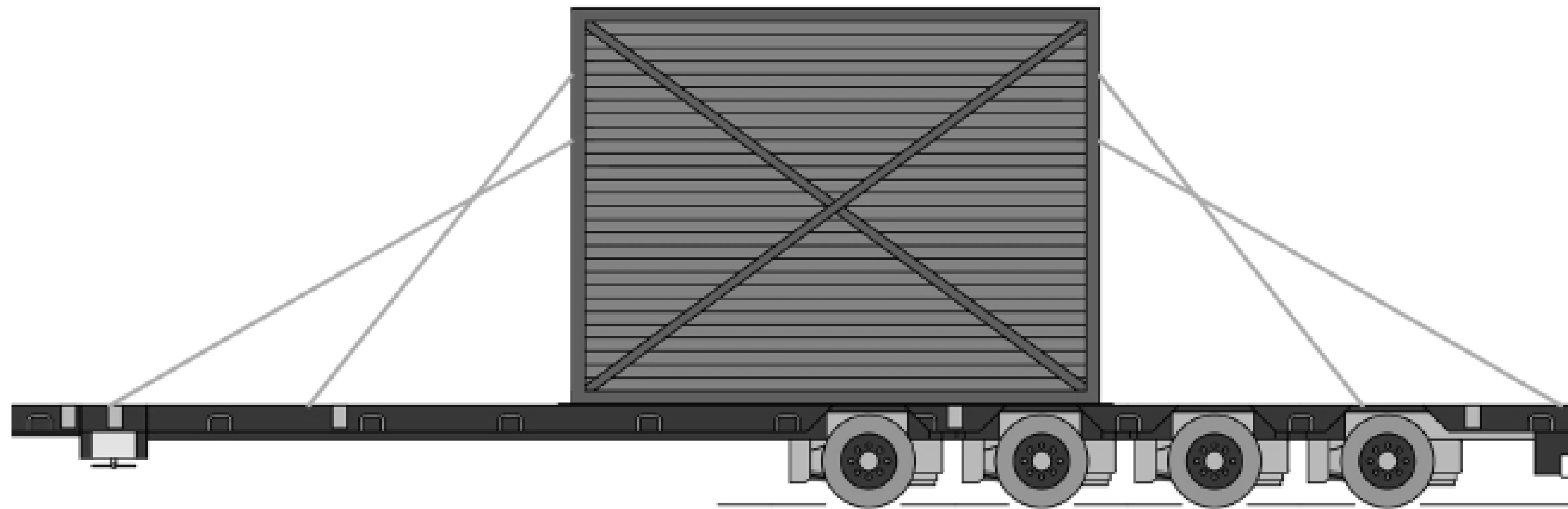
Statische unbestimmte Sicherungen können entstehen, wenn der Anwender meint „Viel bringt viel“.

Sie können aber auch bewusst geplant werden.

Die Belastbarkeit von Zurrmitteln, Zurrpunkten am Fahrzeug und Befestigungspunkten an der Last ist begrenzt.

Daher kann es sinnvoll sein, die erforderliche gesamte Sicherungskraft auf mehrere

Zurrmittel, Zurrpunkte oder Befestigungspunkte zu verteilen.



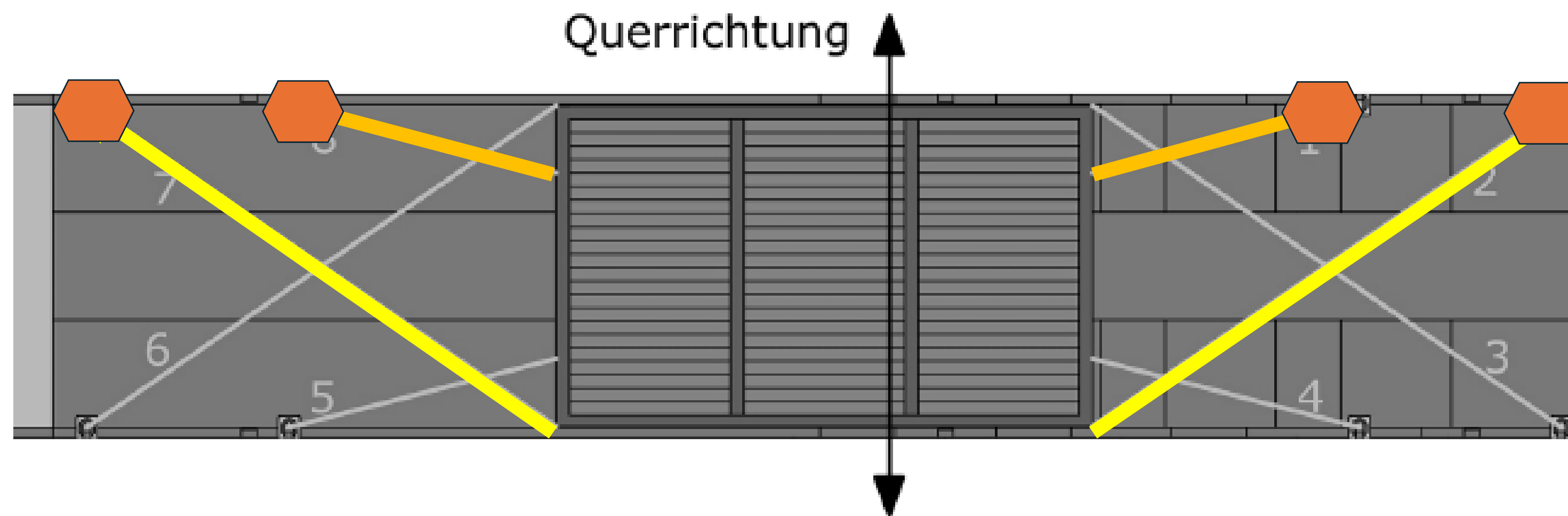
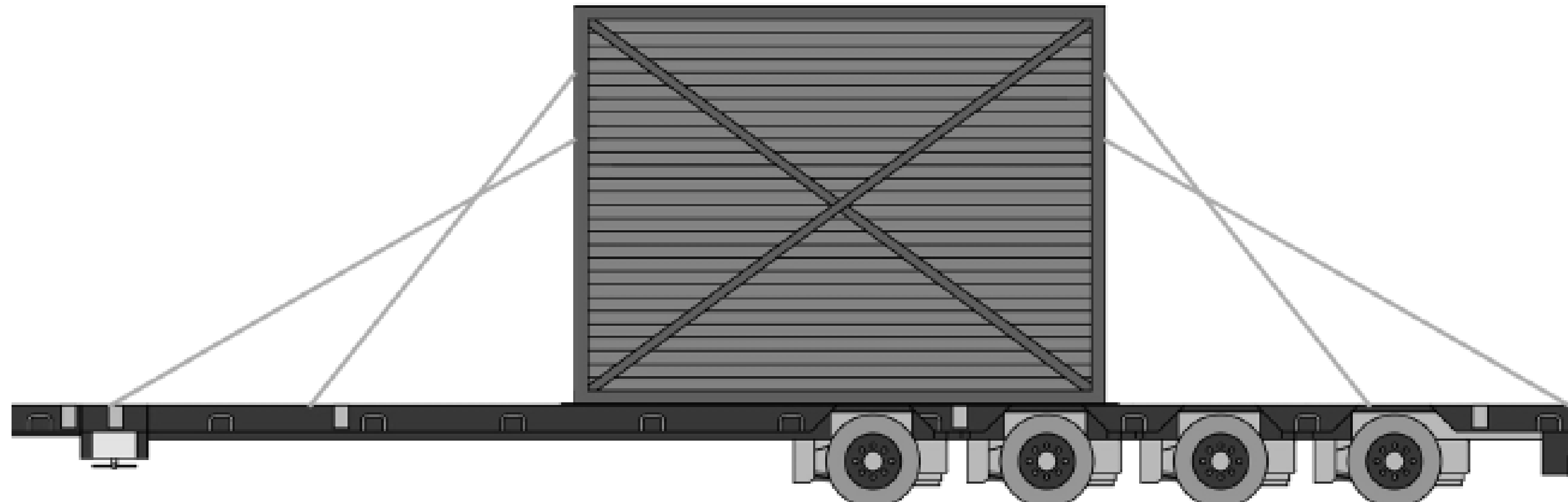
Sicherung

✓ in Längsrichtung

✓ Kraftverteilung auf
mehrere Zurrpunkte

Bild A1. Anordnung der Zurrmittel für die Sicherung in Längsrichtung

Sicherung
✓ in Querrichtung



✓ Kraftverteilung auf
mehrere Zurrpunkte

Bild A2. Anordnung der Zurrmittel für die Sicherung in Querrichtung

Statisch unbestimmte Sicherungen

Werden mehr als zwei Zurrmittelpaare pro Sicherungsrichtung verwendet,
können:

Die Belastungen pro Zurrmittel, Zurrpunkt und Befestigungspunkt deutlich
reduziert werden.

Die Belastungen der Fahrzeugrahmen gleichmäßiger erfolgen.

Höhere Ladungsgewichte gesichert, oder

leichtere Zurrmittel eingesetzt werden.

Statisch unbestimmte Sicherungen

Mehr als zwei Stränge können theoretisch zu gleichen Teilen tragen, wenn alle Stränge folgende Randbedingungen erfüllen:

- ✓ Gleicher Zurrmitteltypen verwenden (Kette/Gurt)
- ✓ Gleiche Stranglängen einsetzen
- ✓ Gleiche Vorspannung aufbringen
- ✓ Gleiche Zurrmitteldehnung beachten
- ✓ Gleiche Zurrwinkel einplanen
- ✓ symmetrische Schwerpunktlage beachten
(bezogen auf Massenschwerpunkt)

Statisch unbestimmte Sicherungen

Im Blatt 2.1 wird die Berechnung der anteiligen Kraftaufnahme der einzelnen Zurrstränge daher unter Berücksichtigung der jeweiligen zulässigen Zurrmitteldehnung durchgeführt.

Statisch unbestimmte Sicherungen

Der Berechnungsansatz in Blatt 2.1 setzt aber voraus, dass die Zurrmittel ein lineares Kraft-Dehnungsverhalten aufweisen. Für marktübliche Zurrmittel ist diese Voraussetzung annähernd erfüllt.

- **Normierter Federkennwert (DN)**
Kennwert zur Beschreibung des Dehnungsverhaltens bis zum Erreichen der Kraft LC, unabhängig von der Länge des Zurrmittels.
- **Die zulässige Belastung (LC)**
der einzusetzenden Zurrmittel, der ausgewählten Zurrpunkte am Transportfahrzeug sowie der Befestigungspunkte an der Ladung können nicht in jedem Fall ausgenutzt werden. Es gilt: Das schwächste Glied in einem Zurrstrang gibt das Maximum der Belastung vor.
- **Die Anzahl der einzusetzenden Zurrmittel** werden vom Anwender festgelegt bzw. durch die technischen Gegebenheiten bestimmt.

Statisch unbestimmte Sicherungen

Die Dehnung des verwendeten Zurrmittels bei LC muss bekannt sein. Aus ihr ergibt sich die mögliche Längenänderung. Damit kann der sich bei einer Belastung einstellende mögliche horizontale Ladungsversatz berechnet werden. Bei textilen Ladungssicherungsmitteln findet man die Angabe auf dem Etikett und in den Herstellerinformationen.

Angabe der Dehnung

LC 2500 daN

Dolezych
Hartmannstr. 8
D-44147 Dortmund

DD Muster 0001
EN 12195-2 PES

Dolezych
Hartmannstr. 8
D-44147 Dortmund

DD Muster 0001
VL: 16067

DoZurr 5000
EN 12195-2 PES



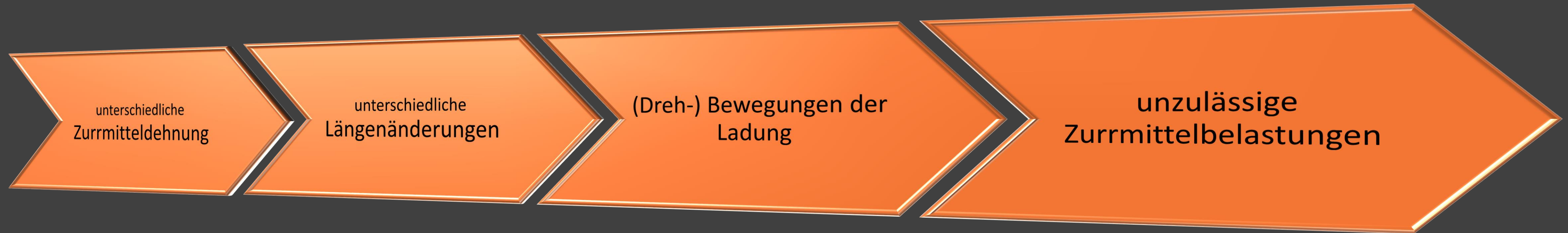
LC 2500 daN
SHF 50 daN
STF 300 daN

L_{GF} 0,5 m
Dehnung $\epsilon \leq 5\%$
Nicht heben,
nur zurren! 

2021

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

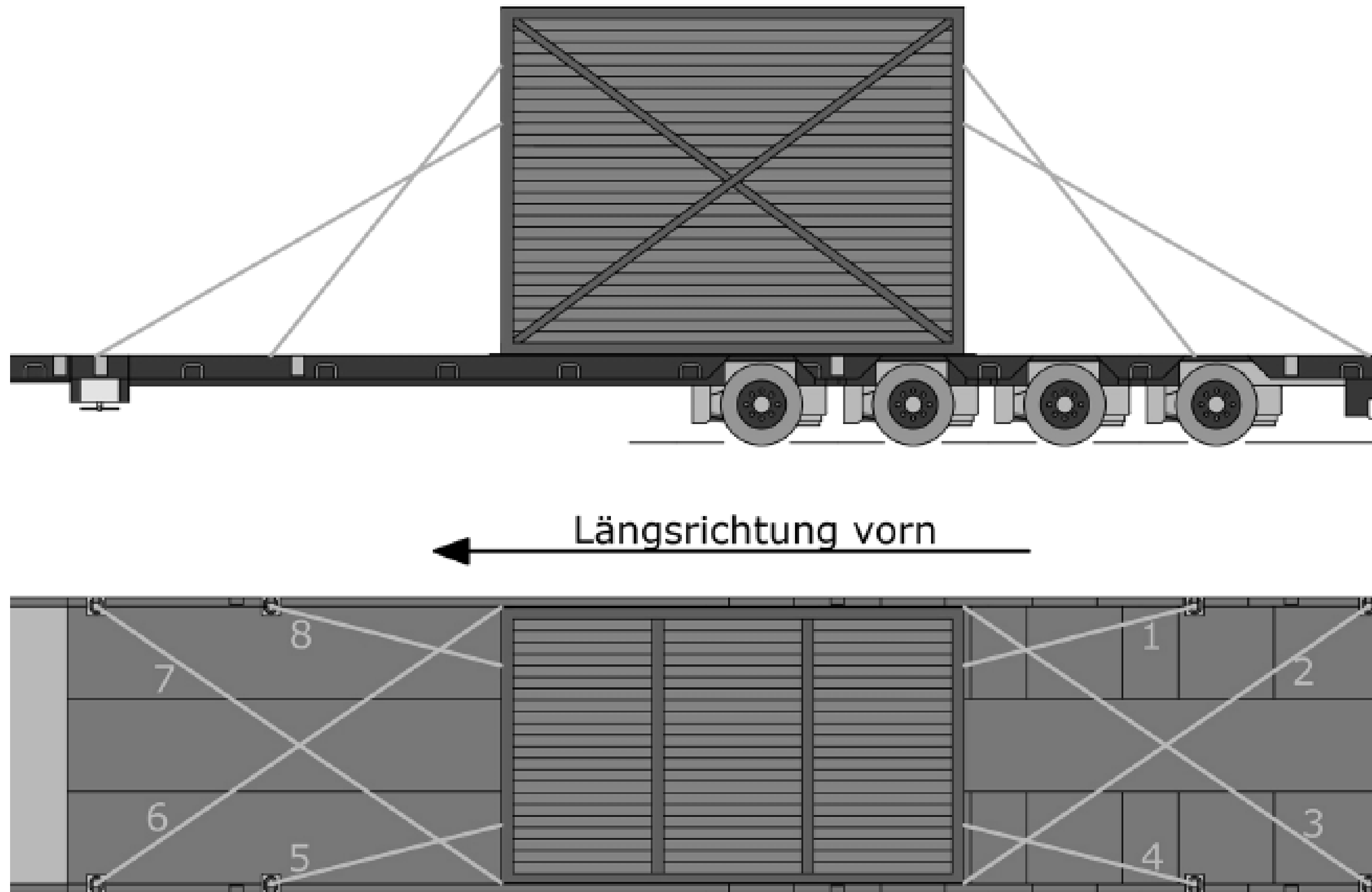
Statisch unbestimmte Sicherungen



Statisch unbestimmte Sicherungen

Die jeweilige Belastung im Zurrmittelstrang ist vom Verlauf (Länge und Winkel) des Zurrmittels und der jeweils aufgebrauchten Vorspannkraft abhängig, daher wird empfohlen:

- ✓ Zurrmittel mit ähnlichen Kraft-Dehnungsverhalten zu verwenden.
- ✓ Zurrmittel so anbringen, dass eine symmetrische Belastung gewährleistet ist.
- ✓ Zurrmittel gleichmäßig und handfest vorzuspannen.



Beispiel für die Berechnung in Längsrichtung nach vorne:

- Welche Ladungsmasse kann mit den vorhandenen Zurrmitteln in der statisch unbestimmten Direktsicherung in Längsrichtung nach vorn gesichert werden?

Bild A1. Anordnung der Zurrmittel für die Sicherung in Längsrichtung

Gegeben:

Festigkeit Zurr- und Befestigungspunkte: jeweils 5000 daN; Zulässige Zugkraft LC Zurrmittel: 4000 daN

Dehnung ε : 2 % Vorspannkraft F_{iS} : 1000 daN je Zurrmittel; Reibbeiwert μ 0,25; Stranggruppe 1/4: $Li_l = 2,0$ m; $Li_q = 0,5$ m; $Li_v = 2,5$ m;

Stranggruppe 2/3: $Li_l = 3,5$ m; $Li_q = 2,5$ m; $Li_v = 2,0$ m

Vorgehensweise nach VDI 2700 Blatt 2.1:

- Normierten Federkennwert des Zurrmittels bestimmen
 - Länge des Zurrmittels berechnen
 - Max. Längenänderung des Zurrmittels berechnen
 - Daraus den möglichen Ladungsversatz in Sicherungsrichtung bestimmen
 - Effektive Längung aus kleinstem Ladungsversatz bestimmen
 - Damit vorhandene Rückhaltekräfte berechnen
 - Damit die jeweils sicherbare Ladungsmasse berechnen
-
- Mit den obigen Daten beträgt die sicherbare Ladungsmasse in:
 - Längsrichtung: 16622 daN; Querrichtung: 19504 daN

Damit beträgt die maximal sicherbare gesamte Ladungsmasse für diese Sicherung 16622 daN (immer den kleinsten Wert aus der Berechnung.

Sonderfälle VDI Richtlinie 2700 Blatt 2.1

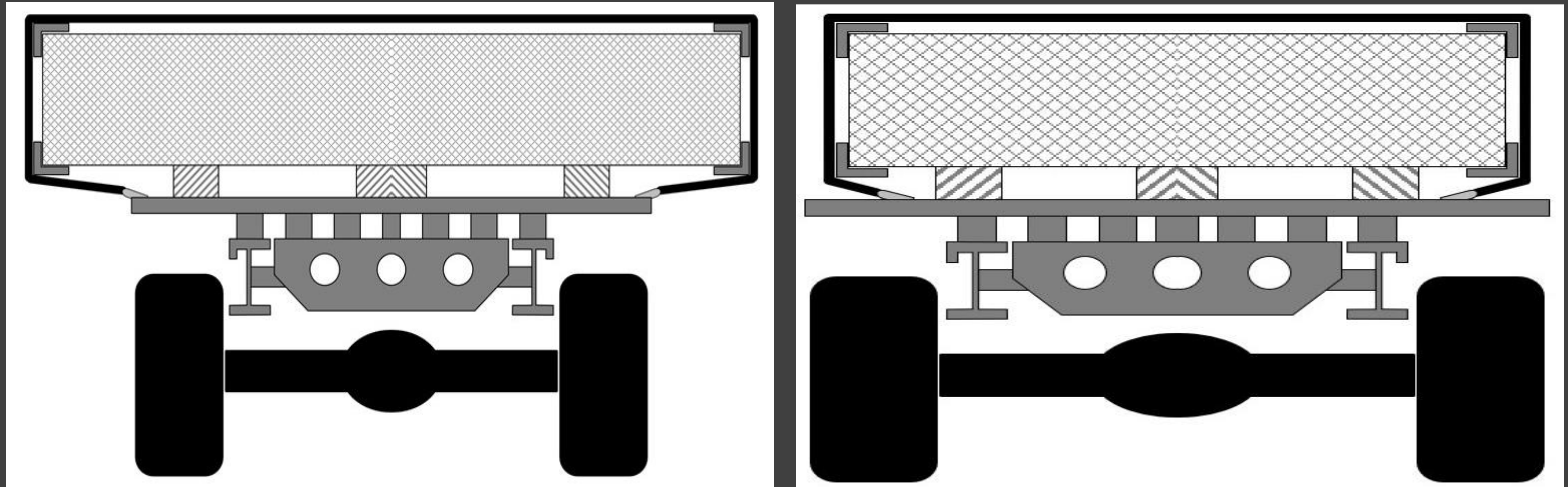
2. „UM DIE ECKEN GEZURRT“



Das zweite Thema ist für viele Anwender ebenfalls sehr praxisnah: Ein Betonfertigteil oder anderes starres Ladegut ist breiter als die Position der Zurrpunkte. Dann läuft der Gurt nicht einfach nur über die Ladung, sondern über mehrere Umlenkstellen.“

**Umschlingungswinkel größer 180°
entstehen, wenn die Ladung seitlich über
die Zurrpunkte hinausragt.**

Niederzurrungen mit Umschlingungswinkeln größer 180°



Wenn Ladungen seitlich über die Zurrpunkte hinausragen ergeben sich Umschlingungswinkel von mehr als 180°.

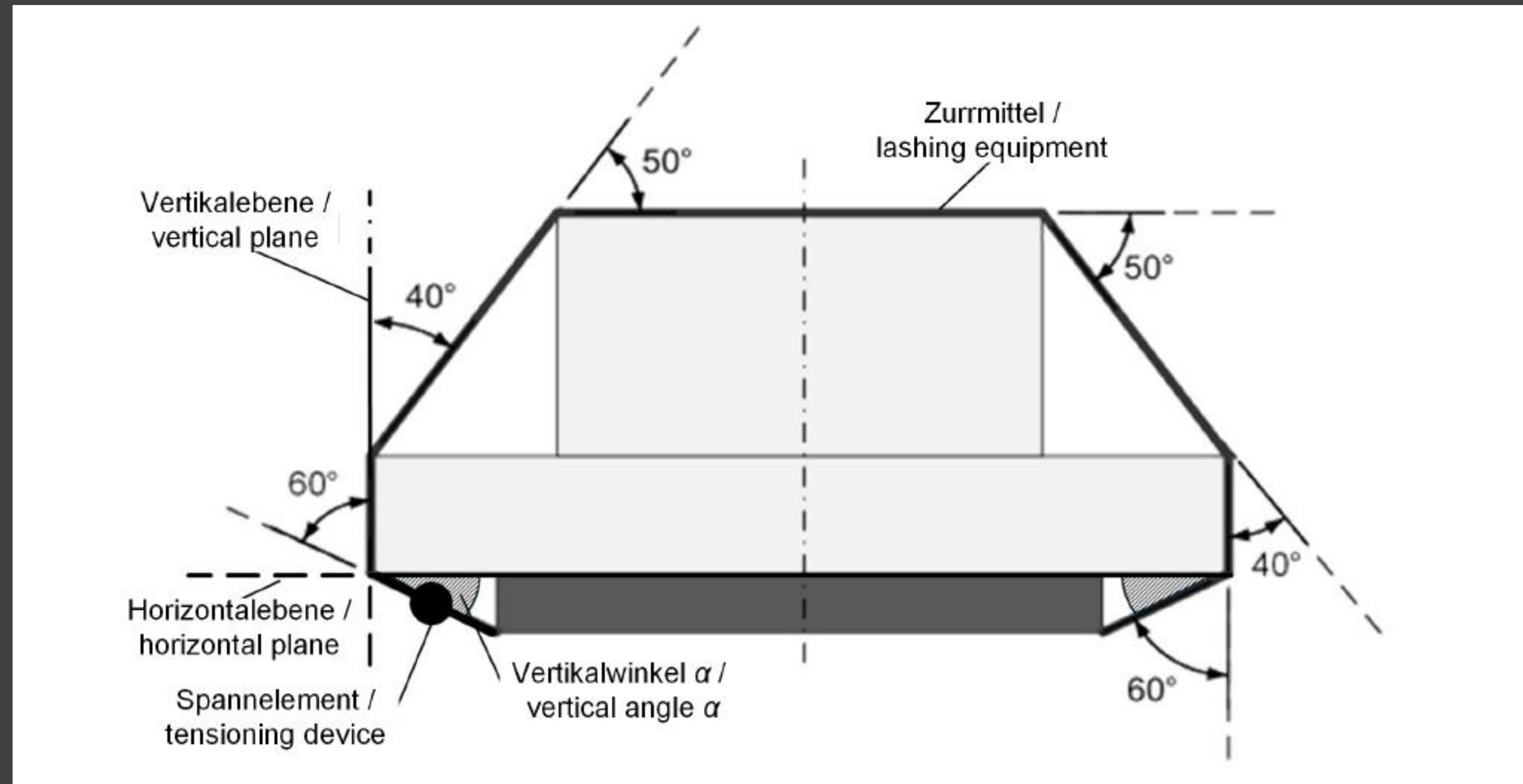
Niederzurrungen mit Umschlingungswinkeln größer 180°

Ein einzelner (evtl. *gekennzeichnet*) Kantenschutz mit einem bestimmten Verhalten (*Wert*) macht noch **nicht** automatisch den k-Wert des gesamten Zurrsystems aus.

Der k-Wert im Sinne Blatt 2.1 beschreibt die Wirkung des gesamten Zurrgurtverlaufs.

Bei Umschlingungswinkel >180° empfiehlt Blatt 2.1 den k-Wert auf max. 1,5 zu setzen.

Niederzurrungen mit Umschlingungswinkeln größer 180°



Das Bild zeigt eine Umschlingung bestehend aus sechs Umlenkstellen mit einem Umschlingungswinkel σ größer 180°.

Niederzurrungen mit Umschlingungswinkeln größer 180°

Der Gesamtwinkel „ σ “ einer Niederzurrung ist die Summe der einzelnen Winkelbeträge im Zurrmittelverlauf von Zurrpunkt zu Zurrpunkt.

Bei Ladungen die aus mehreren übereinander liegenden Ladungsteilen bestehen ist sicherzustellen, dass die Niederzurrung eine in sich gesicherte Ladeeinheit darstellt.

Fazit

„Wir sichern nicht mit der Anzahl der Zurrmittel, sondern mit deren wirksamer Kraftaufnahme.“

Fazit

„Die Anzahl der Zurrmittel ist sichtbar –
die Kraftverteilung und die jeweilige
Dehnung nicht.“

Genau deshalb brauchen wir die Berechnung nach Blatt 2.1.

Fazit

Bei Umschlingungswinkel $>180^\circ$ empfiehlt Blatt 2.1 den k-Wert auf max. 1,5 zu setzen.

Soweit der Überblick zu Blatt 2.1
von meiner Seite.
Vielen Dank!

Der VDI Fachausschuss freut sich über
Ihre Anregungen und gerne auch die aktive
Mitgestaltung zukünftiger VDI-Richtlinien.