

## 7 Installationsrichtlinien

Beim Einsatz von Leitungen in Schleppketten ist zuallererst darauf zu achten, dass die Spezifikationen der Leitung und der eingesetzten Schleppkette miteinander und mit den Einsatzkriterien übereinstimmen. Die hierbei relevanten Kriterien können auch gegliedert werden in

- die Bewegung beschreibende Parameter (Verfahrweg, Geschwindigkeit, Beschleunigung),
- installationsabhängige Größen (Biegeradius, Freiraum) sowie
- äußere Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, eventuell vorhandene Chemikalien).

Ausführliche Hinweise zur Einschätzung des Einsatzfeldes hinsichtlich dieser Kriterien sind in Kapitel 2 und Kapitel 3 dargestellt.

Besonders ist auf den grundlegenden Unterschied zwischen Biegebelastung und Torsionsbelastung hinzuweisen. Schleppkettenleitungen sind für permanent wiederholte Wechselbiegung optimiert. Bei torsionsbelasteten Leitungen müssen viele der in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Konstruktions- und Fertigungsparameter völlig anders ausgelegt werden als bei Biegung.

Die Verlegung von Torsionsleitungen in entsprechenden Schläuchen, Rohren oder Gelenkgerüsten folgt teilweise anderen Überlegungen und wird am Ende des Kapitels separat betrachtet. Im ersten Teil beschränken wir uns auf wechselbiegebeanspruchte Schleppkettenanwendungen.

Wie schon mehrfach betont, löst auch die beste Leitung nicht alle Aufgaben, denn bei falscher Anwendung oder nicht korrekter Installation sind auch hochwertige Leitungen in kürzester Zeit defekt.

Sinn und Zweck von Schleppkettensystemen ist, dass die mechanisch robustere Schleppkette die auftretenden Zugspannungen aufnimmt und die Leitungen dadurch entsprechend wenig belastet werden. Damit dies funktioniert, ist dem Einbau der Leitung in die Schleppkette besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Montage sollte deshalb nur von geschultem Personal unter Beachtung aller Verlegerichtlinien des Kabel- und des Schleppkettenherstellers durchgeführt werden.

### 7.1 Dimensionierung des Schleppkettensystems

Schleppkette und Leitung sind ein zusammenhängendes System, bei dem die Eigenschaften und das Betriebsverhalten der einzelnen Komponenten stark voneinander abhängen. Um eine einwandfreie Funktion sicherzustellen, sind alle Komponenten sorgfältig aufeinander abzustimmen. Der Idealfall aus Sicht einer langen Lebensdauer ist, wenn die Schleppkette anhand der benötigten Leitung ausgewählt wird und nicht umgekehrt.

Der erforderliche Biegeradius einer Schleppkette wird ermittelt, indem man für alle Leitungen den Außendurchmesser mit dem jeweils dafür angegebenen Biegefaktor multipliziert. Der höchste dieser Werte ist der zu wählende Biegeradius:

$$R_{\text{Kette}} \geq \text{MAX} (D_{\text{Leitung}} \cdot \text{Biegefaktor}).$$

Zur Ermittlung der Kettenbreite kann man nicht einfach die Durchmesser der nebeneinander liegenden Leitungen addieren. Für jede Leitung ist zusätzlich der horizontale Freiraum von mindestens 10 % des Leitungsdurchmessers einzukalkulieren:

$$\text{Kammerbreite} = \text{Leitungsdurchmesser} + \text{Freiraum}.$$

Weiterhin muss auch Platz für Trennstege berücksichtigt werden. Die Innenbreite der Schleppkette ergibt sich damit aus der Summe der Kammerbreiten plus der Summe der Dicken aller Trennstege.

Die Kettenhöhe richtet sich nach der dicksten zu verlegenden Leitung. Hier sind mindestens 15 % des Leitungsdurchmessers als vertikaler Freiraum einzuplanen, bei sehr langen Verfahrenswegen deutlich mehr bis hin zum Leitungsdurchmesser. Werden Leitungen übereinander installiert, müssen unbedingt Lagenstege eingesetzt werden; dabei ist der Freiraum für jede Lage bzw. für jede Kammer einzeln zu berechnen:

$$\text{Lagenhöhe} = \text{Leitungsdurchmesser} + \text{Freiraum}.$$

Die Innenhöhe der Schleppkette ist dann die Summe aller Lagenhöhen plus der Summe der Dicken der Lagenstege.

In der Praxis ist der Platz für die Energieführungskette aber oft begrenzt, da viele Konstrukteure im Maschinenbau diesen wichtigen Lebensadern einer Anlage nicht die nötige Aufmerksamkeit widmen. Dann wird das Pferd gewissermaßen von hinten aufgezäumt: Ketten und Leitungen werden nach dem verfügbaren Platz und dem damit erreichbaren Biegeradius ausgewählt. Dies führt erfahrungsgemäß zu nicht optimalen Kompromissen, da z. B. ein knapp dimensionierter Leiterquerschnitt zu stärkerer Erwärmung führt, was die Leitungen zusätzlich belastet. Gegebenenfalls kann hier durch Aufteilung Abhilfe geschaffen werden. Statt einen Leiter mit großem Querschnitt zu verwenden, schaltet man mehrere dünnere Adern parallel, dass die vorgegebene Strombelastung eingehalten wird. Oder es können statt einer Leitung mit hoher Aderzahl auch mehrere kleinere Leitungen verwendet werden. Solche Maßnahmen erhöhen allerdings den Material- und Arbeitsaufwand und damit die Kosten der elektrischen Installation erheblich.

## 7.2 Einbau von Leitungen in Schleppketten

### 7.2.1 Handhabung vor der Installation

Schon vor der eigentlichen Installation ist die Handhabung der Leitung entscheidend für die spätere Lebensdauer im bewegten Einsatz. Es wird empfohlen, Schleppleitungen vor der Installation von der Spule abzurollen, auf die erforderliche Länge zu schneiden und mindestens 24 h unbelastet liegen zu lassen. Leitungen haben eine Restbiegung, wenn sie von der Trommel genommen werden. Falls ein Auslegen nicht möglich ist, sollte die Leitung in dieser Biegerichtung in der Kette eingebaut werden.

Das Abspulen von der Spule sollte tangential und drallfrei erfolgen. Auch Ringware ist tangential abzurollen. Beim Abspulen über den Spulenflansch oder die Ringseite wird die Leitung verdreht. Diese Torsion führt später zu Korkenziehereffekten. Auch beim Abspulen ist auf gleichmäßige und nicht zu hohe Zugkraft zu achten.

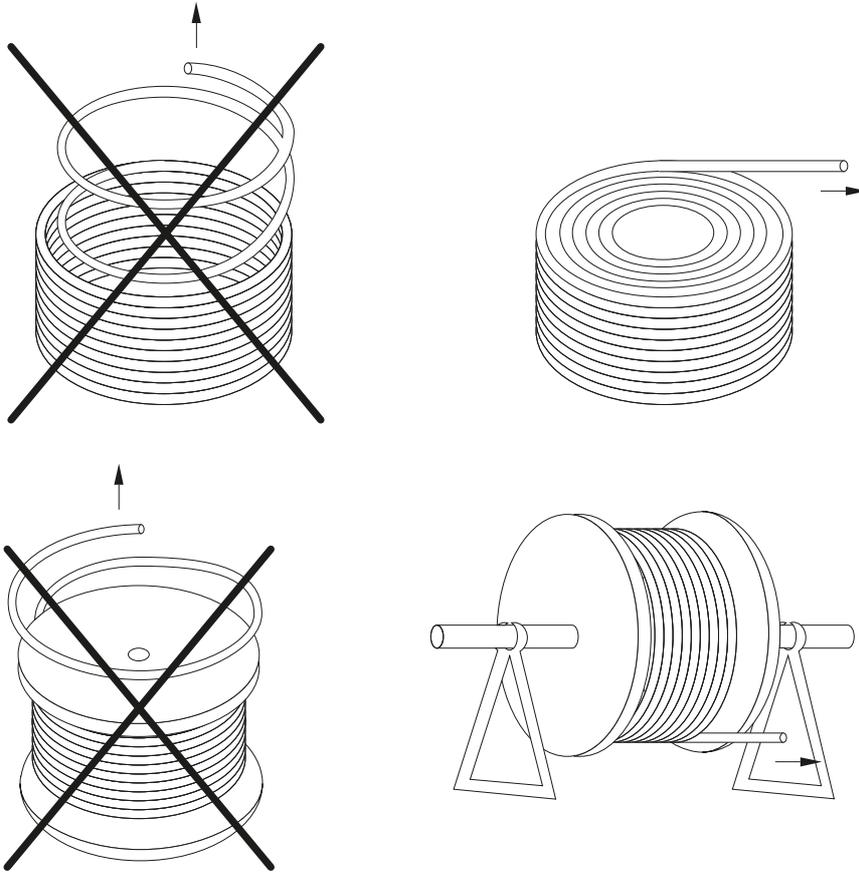


Bild 7.1 Abspulen von Schleppkettenleitungen: über den Flansch oder tangential

### 7.2.2 Anordnung von Leitungen in Schleppketten

Leitungen sollen parallel nebeneinander in die Kette eingelegt werden und dürfen sich nicht überkreuzen. Um Kabelkreuzungen zu vermeiden, ist der Einsatz von Trennstegen sinnvoll. Insbesondere wenn Leitungen mit sehr unterschiedlichen Durchmessern in einer Kette liegen, sind Trennstege unerlässlich. Ideal ist die Verlegung jeder Leitung in einer separaten Kammer.

Wenn die Anforderungen an das Schleppkettensystem nicht besonders hoch sind (seltene Bewegung, geringe Beschleunigung), können auch mehrere Leitungen in eine Kammer gelegt

werden. In diesem Fall sollten diese nicht zu unterschiedlich bezüglich ihres Gewichts, ihres Durchmessers, ihrer Steifigkeit und ihrer Oberfläche sein. Hierbei ist wiederum darauf zu achten, dass der Freiraum nicht zu groß wird, um eine Überkreuzen oder gar Umschlingen der Leitungen im Bewegungsablauf zu verhindern.

Oft werden nicht nur Leitungen, sondern auch Pneumatik- und Hydraulikschläuche in die Schleppkette eingelegt. Diese sind stets in gesonderten Kammern zu führen, da die Druckänderungen zusätzliche mechanische Belastungen darstellen.

Speziell bei breiten Ketten sollen die Leitungen so angeordnet werden, dass die Gewichtsverteilung ausbalanciert ist. Hierauf ist insbesondere dann zu achten, wenn viele verschiedene Leitungen in einer Kette geführt werden. Es liegt zwar aus elektrotechnischen Gründen nahe, Energieleitungen und Datenleitungen jeweils zusammen zu fassen. Die Gewichtsverteilung in einer Schleppkette wäre jedoch extrem unsymmetrisch, wenn alle schweren Energieleitungen auf einer Seite der Kette liegen und die leichteren Datenleitungen auf der anderen. Da aufgrund der unterschiedlichen Durchmesser bei solchen Kombinationen ohnehin Trennstege verwendet werden müssen, werden die unterschiedlichen Leitungen dadurch bereits separiert. Oft wird in einer Schleppkette nur eine Energieleitung neben mehreren Signalleitungen geführt. Dann empfiehlt es sich, die schwere Leitung in die Mitte der Kette zu legen und die leichteren auf beiden Seiten weiter außen anzuordnen.

### **7.2.3 Einlegen in die Schleppkette**

Leitungen sollten möglichst nicht in die Kette eingezogen, sondern eingelegt werden. Wenn (für kürzere Strecken) Schleppketten verwendet werden, die sich nicht öffnen lassen, soll die Zugkraft beim Einziehen konstant und nicht zu hoch sein. Ruckartiges oder pulsierendes Ziehen ist unbedingt zu vermeiden. Ferner ist darauf zu achten, dass der Zug gleichmäßig auf alle Leitungselemente wirkt. Wird nur am Außenmantel gezogen, kann sich der Mantel gegen den Unterbau verschieben.

Die Länge der Leitung in der Kette soll so bemessen sein, dass die Leitung in der neutralen Zone liegt. In der Biegung muss sowohl nach oben als auch nach unten immer ausreichend Freiraum vorhanden sein. So wird vermieden, dass die Leitungen an den inneren Stegen spannen oder an den äußeren Stegen gestaucht werden. Dies gilt besonders bei mehrlagiger Belegung. Nach Fertigstellung der Installation ist über den ganzen Verfahrensweg der vertikale Freiraum im Kettenradius zu kontrollieren. Falls notwendig, muss die Kabellänge korrigiert werden. Dazu empfiehlt sich, jenseits der Fixierung einige Zentimeter der Leitung als Längenreserve vorzuhalten. Bei längeren Ketten wird eine Reservelänge von 0,2 % der in der Schleppkette liegenden Leitungslänge empfohlen.

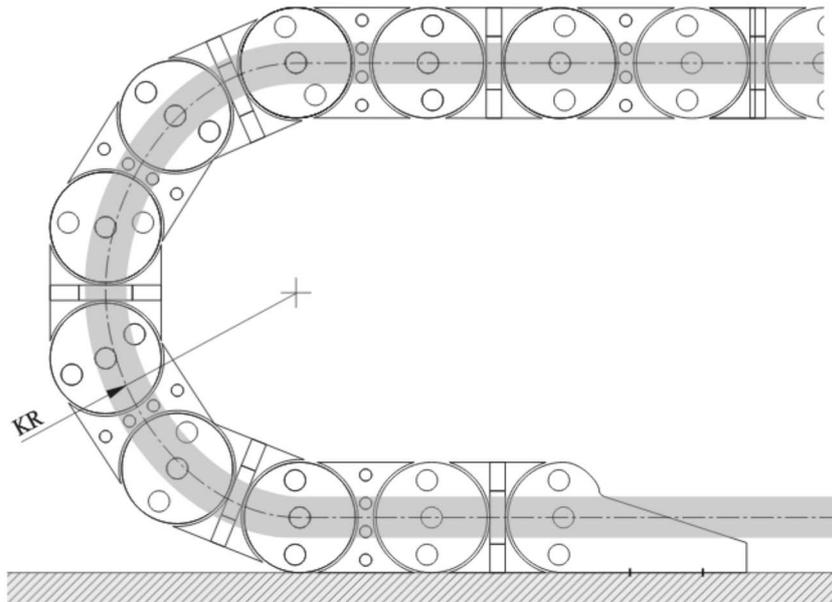


Bild 7.2 Leitungspositionierung in der neutralen Zone einer Schleppkette

#### 7.2.4 Befestigung der Leitung

Bei kurzen Schleppketten werden die Leitungen am Festpunkt und am Mitnehmer befestigt. Bei längeren Verfahrwegen brauchen Leitungen nur am Mitnehmer zugentlastet werden. Bei vertikal bewegten Energieführungsketten ist jedoch immer an beiden Enden eine Zugentlastung anzubringen. Generell ist darauf zu achten, dass die Fixierung großflächig (nicht mit Kabelbindern) am Außenmantel so erfolgt, dass die gesamte Leitung fixiert ist, Einzelteile jedoch innerhalb der Leitung nicht eingeklemmt sind.

Am beweglichen, ebenso wie am festen Kettenende dürfen die Leitungen erst hinter der Relaxationszone fixiert werden. Als Relaxationszone bezeichnet man den Abstand zwischen dem Radiusende und der Zugentlastung. Die Länge der Relaxationszone muss mindestens das 50-Fache des größten Kabeldurchmessers betragen. Diesen Raum benötigen die Leitungselemente als Längenausgleich in der Bewegung:

Relaxationszone  $\geq 50 \cdot$  Kabeldurchmesser.

Fixierungen innerhalb der Schleppkette (z. B. mit Kabelbindern) sind absolut zu vermeiden, da sie die freie Bewegung der Leitung verhindern und so sehr frühe Kabelbrüche verursachen.

### 7.3 Installation von Torsionsleitungen

Leitungen für Knickarmroboter werden überwiegend in Energieführungen montiert, deren Glieder zentral mit Kugelgelenken verbunden sind und so Biege- und Torsionsbewegungen zulassen. Bei nicht allzu hohen Anforderungen werden Leitungen in solchen Einsatzfällen gelegentlich auch als nicht geführte Leitungsbündel verlegt.

Beim Einbau dieser Leitungen gelten generell die gleichen Hinweise wie bei Schleppketten: Der Einbau muss ohne Vorspannung und verdrehungsfrei erfolgen, darum wird empfohlen, die abgelängten Leitungsstücke vor dem Einbau 24 h entspannt liegen zu lassen. Auf tangenciales Abspulen mit angemessener Zugkraft ist zu achten.

Die Kammern dürfen nicht überfüllt werden, idealerweise liegt jede Leitung mit ausreichend Freiraum in einer separaten Kammer. Überkreuzungen von Leitungen oder Befestigung der Leitungen im bewegten Teil der Energieführung sind zu vermeiden.

Auch bei Leitungen für Torsionseinsatz ist das Einlegen einem Einziehen vorzuziehen. Auf diese Möglichkeit sollte schon bei der Auswahl des Kettensystems geachtet werden. Hierfür eignen sich Ketten mit entsprechenden Öffnungen. Die gelegentlich bei längeren Torsionsstrecken geübte Praxis, Kettenabschnitte zu bilden, die Leitung darin einzuziehen und anschließend die Kettenabschnitte zusammenzufügen, stellt einen möglichen Kompromiss dar. Dabei ist großer Wert auf die Handhabung zu legen. Bei dieser Vorgehensweise kann leicht eine Leitung eingeklemmt und dadurch fixiert werden. Oder es entstehen Verdrehungen, die die Lebensdauer im Torsionseinsatz drastisch reduzieren.

Bei Einsatz von Leitungen in Robotern ist generell zu beachten, dass Torsion für eine gestreckte Leitung eine erheblich höhere Belastung darstellt als für eine entspannte Leitung. Es empfiehlt sich, in solchen Anwendungen das Leitungspaket stets mit angemessener Überlänge einzubauen. Dadurch wirkt die Drehbewegung auf die Leitungen nicht als reine Torsion, sondern als Kombination aus Torsion und Biegung und strapaziert diese somit erheblich weniger. Selbstverständlich ist dabei die Gefahr eines Verhakens oder Verklemmens zu beachten und durch geeignete Leitungsführung auszuschließen.

Sehr schädlich ist auch bei Torsionseinsatz das Fixieren der Leitungen innerhalb oder auch in der Nähe des bewegten Bereiches. Auch hier ist eine Relaxationszone von mindestens dem 50-Fachen des Kabeldurchmessers einzuhalten. Wenn sich die Torsion über eine größere Länge verteilt, ist die Belastung für die Leitung geringer und die zu erwartende Lebensdauer entsprechend größer.