
DIPLOMARBEIT

Herr
Gabriel Thurner

**Gestaltung der Lagerung und
Bewegungsaufnahme eines
schienengeführten
verschiebbaren Daches**

Mittweida, 2018

DIPLOMARBEIT

Gestaltung der Lagerung und Bewegungsaufnahme eines schienengeführten verschiebbaren Daches

Autor:

Herr

Gabriel Thurner

Studiengang:

Mechatronik

Seminargruppe:

KM13sMFA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs

Zweitprüfer:

Dr.-Ing. Martin Jenni

Einreichung:

Mittweida, 30.03.2018

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2018

1 Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	1
2	Abkürzungsverzeichnis.....	3
3	Abbildungsverzeichnis	4
4	Tabellenverzeichnis.....	6
5	Diagrammverzeichnis.....	8
6	Einleitung	9
6.1	Allgemeines	9
6.2	Projektbeschreibung.....	9
6.3	Zielsetzung	10
6.4	Abgrenzung.....	11
7	Theoretische Grundlagen - Lagerauswahl	12
7.1	Allgemeines	12
7.2	Schienanordnung.....	12
7.3	Rahmenbedingungen Schiene / Unterkonstruktion	18
7.4	Schieneart.....	20
7.5	Anordnung und Anzahl der Auflagepunkte	22
7.6	Art der Lagerung.....	27
7.6.1	Gleitführungen	27
7.6.2	Wälzführungen	30
7.7	Antriebssysteme und Antriebsart.....	35
7.8	Bremssysteme	42
8	Theoretische Grundlagen - Bewegungsaufnahme	43
8.1	Allgemeines	43
8.2	Bewegung in Z-Richtung	44
8.3	Bewegung in Y-Richtung.....	46
8.3.1	Führungsrollen	47
8.3.2	Gleitführungen	47
8.3.3	Wälzführungen	49
8.3.4	Pendelsystem	50
8.4	Rotation um die X-Achse	51
8.5	Rotation um die Y-Achse	53

8.6	Rotation um die Z-Achse	54
8.7	Kombinationen	56
8.7.1	Mehrbewegungssysteme	59
8.7.2	Bewertung der Mehrbewegungssysteme	61
9	Bewertungssystem.....	62
9.1	Allgemeines	62
9.2	Erstellung des Bewertungssystems – Lagerauswahl	63
9.3	Erstellung des Bewertungssystems - Bewegungsaufnahme	69
10	Anwendung der Bewertungssysteme auf Beispiele	74
10.1	Beispiel 1: Membrandach (Sattelflächendach).....	74
10.2	Beispiel 2: Plattendach.....	86
10.3	Beispiel 3: Ziehharmonika Dach.....	100
11	Zusammenfassung	115
12	Literaturverzeichnis	116
13	Anhang	117
14	Selbständigkeitserklärung.....	121

2 Abkürzungsverzeichnis

FW	Fahrwagen
GF	Gleitführung
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PTFE	Polytetrafluorethylen

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	BC-Place Stadion in Vancouver
Abbildung 2:	Gazprom Arena in St. Petersburg
Abbildung 3:	Schienenbelastungsart
Abbildung 4:	1-1 Schienenanordnung
Abbildung 5:	statisches System 1-1 Schienenanordnung
Abbildung 6:	belastetes System 1-1 Schienenanordnung
Abbildung 7:	2-2 Schienenanordnung
Abbildung 8:	statisches System 2-2 Schienenanordnung
Abbildung 9:	belastetes System 2-2 Schienenanordnung
Abbildung 10:	2-1 Schienenanordnung
Abbildung 11:	statisches System 2-1 Schienenanordnung
Abbildung 12:	vertikale Schienenabweichung
Abbildung 13:	elastische Schienenunterlage
Abbildung 14:	horizontale Schienenabweichung
Abbildung 15:	Winkelabweichung der Schiene
Abbildung 16:	Schienenarten
Abbildung 17:	Hohlprofil
Abbildung 18:	I-Profil
Abbildung 19:	Vignolschiene
Abbildung 20:	Kranschiene
Abbildung 21:	2 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene
Abbildung 22:	3 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene
Abbildung 23:	4-6 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene
Abbildung 24:	Platzbedarf bei einer Einzelschiene
Abbildung 25:	3 Auflagepunkte bei einer Doppelschiene
Abbildung 26:	4 Auflagepunkte bei einer Doppelschiene
Abbildung 27:	Platzbedarf bei einer Doppelschiene
Abbildung 28:	Sapporo Dome – verschiebbares Spielfeld
Abbildung 29:	Übersicht der Lagerungsarten
Abbildung 30:	Radsatz KG 130
Abbildung 31:	Rollenumlaufschuh
Abbildung 32:	Belastung des Umlaufschuhes bei einer gebogenen Schiene
Abbildung 33:	Profilschienenführung
Abbildung 34:	Reibantrieb
Abbildung 35:	Verhältnis von Belastungsgröße und Reibung
Abbildung 36:	Windenantrieb
Abbildung 37:	Zahnstangenantrieb
Abbildung 38:	Triebstockantrieb
Abbildung 39:	Schrägstellung bei einseitigem Antrieb
Abbildung 40:	Funktion – hydraulisches Gleitsystem
Abbildung 41:	Fahrschema – hydraulisches Gleitsystem

Abbildung 42:	Bremssysteme
Abbildung 43:	Achsenbezeichnung
Abbildung 44:	abhebende Kräfte
Abbildung 45:	Schienezangen
Abbildung 46:	Abheberollen
Abbildung 47:	Fest- und Loslager
Abbildung 48:	Führungsrollen
Abbildung 49:	Gleitrohr-System
Abbildung 50:	Wälzführung
Abbildung 51:	Pendelsystem
Abbildung 52:	Rotationsgelenk
Abbildung 53:	ballige Laufräder
Abbildung 54:	ballige Laufräder und ballige Schiene
Abbildung 55:	Rotation um Y-Achse
Abbildung 56:	Rotation um Z-Achse
Abbildung 57:	Drehgelenk mit Gleitplatte
Abbildung 58:	Kugeldrehkranz nicht selbsthaltend
Abbildung 59:	Kugeldrehkranz selbsthaltend
Abbildung 60:	Kombinationssystem 1
Abbildung 61:	Kombinationssystem 2
Abbildung 62:	Kombinationssystem 2 - Bewegungen
Abbildung 63:	Fahrwagen – Roland Garros Center Court
Abbildung 64:	Elastomerlager
Abbildung 65:	Kalottenlager
Abbildung 66:	Topflager
Abbildung 67:	Begriffserklärung
Abbildung 68:	Membrandach - geschlossen
Abbildung 69:	Membrandach - offen
Abbildung 70:	Lösungsansatz Beispiel 1 – isometrische Darstellung
Abbildung 71:	Lösungsansatz Beispiel 1 – Detail 1
Abbildung 72:	Lösungsansatz Beispiel 1 – Detail 2
Abbildung 73:	Plattendach – geschlossen
Abbildung 74:	Plattendach – offen
Abbildung 75:	Lösungsansatz Beispiel 2 – Detail 1
Abbildung 76:	Lösungsansatz Beispiel 2 – Detail 2
Abbildung 77:	Ziehharmonika Dach - geschlossen
Abbildung 78:	Ziehharmonika Dach - offen
Abbildung 79:	Lösungsansatz Beispiel 3 – Detail 1
Abbildung 80:	Lösungsansatz Beispiel 3 – Detail 2

4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Polyamide
Tabelle 2:	Werteskala
Tabelle 3:	Gewichtungen
Tabelle 4:	Anschauungsbeispiel
Tabelle 5:	Bewertungssystem - Schienenanordnung
Tabelle 6:	Bewertungssystem – Schienenart
Tabelle 7:	Bewertungssystem – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene
Tabelle 8:	Bewertungssystem – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene
Tabelle 9:	Bewertungssystem – Art der Lagerung
Tabelle 10:	Bewertungssystem – Antriebssystem
Tabelle 11:	Bewertungssystem – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 12:	Bewertungssystem – Bewegung in Y-Richtung
Tabelle 13:	Bewertungssystem – Rotation um X-Achse
Tabelle 14:	Bewertungssystem – Rotation um Z-Achse
Tabelle 15:	Bewertungssystem – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme
Tabelle 16:	Betriebsbedingungen Beispiel 1
Tabelle 17:	Bewertungssystem Beispiel 1 - Schienenanordnung
Tabelle 18:	Auswertung Beispiel 1 - Schienenanordnung
Tabelle 19:	Bewertungssystem Beispiel 1 - Schienenart
Tabelle 20:	Auswertung Beispiel 1 - Schienenart
Tabelle 21:	Bewertungssystem Beispiel 1 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene
Tabelle 22:	Auswertung Beispiel 1 – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene
Tabelle 23:	Bewertungssystem Beispiel 1 – Art der Lagerung
Tabelle 24:	Auswertung Beispiel 1 – Art der Lagerung
Tabelle 25:	Bewertungssystem Beispiel 1 – Antriebssystem
Tabelle 26:	Auswertung Beispiel 1 – Antriebssystem
Tabelle 27:	Bewertungssystem Beispiel 1 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 28:	Auswertung Beispiel 1 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 29:	Bewertungssystem Beispiel 1 – Rotation um X-Achse
Tabelle 30:	Auswertung Beispiel 1 – Rotation um X-Achse
Tabelle 31:	Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 1
Tabelle 32:	Betriebsbedingungen Beispiel 2
Tabelle 33:	Bewertungssystem Beispiel 2 - Schienenanordnung
Tabelle 34:	Auswertung Beispiel 2 - Schienenanordnung
Tabelle 35:	Bewertungssystem Beispiel 2 - Schienenart
Tabelle 36:	Auswertung Beispiel 2 - Schienenart
Tabelle 37:	Bewertungssystem Beispiel 2 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene
Tabelle 38:	Auswertung Beispiel 2 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene
Tabelle 39:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Art der Lagerung

Tabelle 40:	Auswertung Beispiel 2 – Art der Lagerung
Tabelle 41:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Antriebssystem
Tabelle 42:	Auswertung Beispiel 2 – Antriebssystem
Tabelle 43:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 44:	Auswertung Beispiel 2 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 45:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Bewegung in Y-Richtung
Tabelle 46:	Auswertung Beispiel 2 – Bewegung in Y-Richtung
Tabelle 47:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Rotation um X-Achse
Tabelle 48:	Auswertung Beispiel 2 – Rotation um X-Achse
Tabelle 49:	Bewertungssystem Beispiel 2 – Rotation um Z-Achse
Tabelle 50:	Auswertung Beispiel 2 – Rotation um Z-Achse
Tabelle 51:	Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 2
Tabelle 52:	Betriebsbedingungen Beispiel 3
Tabelle 53:	Bewertungssystem Beispiel 3 - Schienenanordnung
Tabelle 54:	Auswertung Beispiel 3 - Schienenanordnung
Tabelle 55:	Bewertungssystem Beispiel 3 - Schienenart
Tabelle 56:	Auswertung Beispiel 3 - Schienenart
Tabelle 57:	Bewertungssystem Beispiel 3 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene
Tabelle 58:	Auswertung Beispiel 3 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene
Tabelle 59:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Art der Lagerung
Tabelle 60:	Auswertung Beispiel 3 – Art der Lagerung
Tabelle 61:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Antriebssystem
Tabelle 62:	Auswertung Beispiel 3 – Antriebssystem
Tabelle 63:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 64:	Auswertung Beispiel 3 – Bewegung in Z-Richtung
Tabelle 65:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Bewegung in Y-Richtung
Tabelle 66:	Auswertung Beispiel 3 – Bewegung in Y-Richtung
Tabelle 67:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Rotation um X-Achse
Tabelle 68:	Auswertung Beispiel 3 – Rotation um X-Achse
Tabelle 69:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Rotation um Z-Achse
Tabelle 70:	Auswertung Beispiel 3 – Rotation um Z-Achse
Tabelle 71:	Bewertungssystem Beispiel 3 – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme
Tabelle 72:	Auswertung Beispiel 3 – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme
Tabelle 73:	Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 3

5 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1:	Reibverhalten hydrodynamische Gleitführung
Diagramm 2:	Reibverhalten hydrostatische Gleitführung
Diagramm 3:	Reibverhalten aerostatische Gleitführung
Diagramm 4:	Reibverhalten Wälzführungen

6 Einleitung

6.1 Allgemeines

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit verschiebbaren Überdachungen von öffentlich zugänglichen Plätzen, vorwiegend Sportstadien und Sportarenen. In der heutigen Zeit ist ein Stadion nicht nur mehr Austragungsort eines sportlichen Ereignisses, sondern auch die Nutzung außerhalb dieses Bereiches (z.B. Konzerte, Messen) spielt immer eine wichtigere Rolle, um maximale Besucherzahlen und somit eine wirtschaftliche Nutzung zu erzielen. Durch diese Überdachungen können solche Großereignisse unabhängig von äußerlichen Umwelteinflüssen wie Regen, Schneefall oder Sonne veranstaltet werden. Dabei können sowohl die klassischen Outdoor-Sportarten wie z.B. Fußball, als auch eine Vielzahl von Indoor-Events veranstaltet werden.

6.2 Projektbeschreibung

Grundsätzlich wird zwischen zwei Systemen unterschieden, die für bewegliche Überdachungen in Betracht gezogen werden. Zum einen seilgeführte Systeme mit faltbaren und festen Membranstrukturen oder Eindeckungen, zum anderen schienengeführte Systeme mit faltbaren und auch festen Membranstrukturen oder ähnlichen Eindeckungen (Glas, PC,...).

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein seilgeführtes verschiebbares Stadionsdach mit faltbaren Membranstrukturen. Bei diesem System dienen die Tragseile als Schiene. Die zu bewegende Last der Membranstruktur beschränkt sich durch diese Leichtbauweise auf ca. 30 Tonnen. Jedoch wird bei den seilgeführten Systemen ein Stauraum für die gefaltete Membrane benötigt. Meist wird dieser Stauraum mit einer Anbringung eines Videowürfels kombiniert.



Abbildung 1: BC-Place Stadion in Vancouver

(Quelle: URL <<https://i.ytimg.com/vi/rkxhiShx0U8/maxresdefault.jpg>>, 17.06.2017)

Konträr dazu zeigt die nächste Abbildung ein schienengeführtes verschiebliches Stadionsdach mit festen Eindeckungen. Bei diesem sogenannten Plattendach werden 2 komplette Dachhälften bewegt. Die zu bewegende Last einer Dachhälfte beträgt ca. 500 Tonnen.



Abbildung 2: Gazprom Arena in St. Petersburg
(Quelle: URL < <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=459203&page=159>>, 17.06.2017)

Diese Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit schienengeführten verschiebbaren Überdachungen bzw. mit der Lagerung dieser zu bewegenden Elementen.

6.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Auswahlverfahren zu erstellen mit dem es möglich ist, ein für die jeweiligen Anforderungen geeignetes System für die gesamte Lagerung von beweglichen Überdachungen zu finden. Es werden immer mehrere mögliche Lösungssysteme aufgezeigt und beschrieben. Durch die Erstellung eines Bewertungssystems können diese Systeme miteinander verglichen werden, um eine optimale Lösung heraus zu filtern.

Die dabei gewonnenen Ergebnisse stellen keine fertige Lösung dar, sondern dienen als Lösungsansatz, um in eine möglichst effiziente Detailplanung übergehen zu können.

6.4 Abgrenzung

Die Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Fahrtechnik der schienengeführten verschiebbaren Überdachungen. Die dazugehörigen Bereiche wie Bauwerksplanung, Tragwerksplanung, Statik, Membranplanung und betriebsinterne Gegebenheiten werden als gegeben angenommen.

Der Einsatz jedes Einzelsystems bzw. das Betreiben des Gesamtsystems ist nur unter vorgegebenen konstruktiven und steuerungstechnischen Sicherheitseinrichtungen möglich. Je nach Erbauungsort des Stadions gelten die dort gebräuchlichen Standards, Normen und Richtlinien. Bei der Erstellung dieser Arbeit wurden bei der Beschreibung und Auswertung der Lösungsmöglichkeiten keine spezifischen Sicherheitseinrichtungen berücksichtigt.

Die verwendeten Materialien der Tragwerke beschränken sich auf den Einsatz von Standard Baustählen. Betriebsfestigkeitsberechnungen sind aufgrund der geringen Nutzungsdauer auszuschließen.

Aufgrund der äußerst geringen Fahrgeschwindigkeiten und Beschleunigungen von maximal 5m/min sind dynamische Einflüsse zu vernachlässigen.

Als Grundlage für die Auslegung von spezifischen Bauteile wie Rollen, Räder, Bremsen, etc. werden gängige Berechnungsweisen aus der Fördertechnik verwendet.

Aufgrund nicht vorhandenen spezifischen Normen für verschiebbare Dachstrukturen werden ebenfalls die entsprechenden Normen aus dem Kranbau, Seilbahnbau und der Aufzugstechnik angewendet.

Bei der Auslegung / Dimensionierung der Antriebs Elemente wie Getriebe und Motoren wird die kurze Betriebszeit im Verhältnis zu der langen Standzeit berücksichtigt.

7 Theoretische Grundlagen - Lagerauswahl

7.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird versucht verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu finden, um die Gestaltung der Lagerung (Fahrwagen) eines schienengeführten beweglichen Daches festzulegen. Es werden immer mehrere Lösungsansätze in Betracht gezogen und beschrieben. Ziel ist es ein passendes System für die anstehenden Anforderungen zu finden. Die Auswahl und Gestaltung der Lagerung wird in folgenden Punkten untersucht:

- Anordnung und Art der Schienen
- Rahmenbedingungen Schiene / Unterkonstruktion
- Anordnung und Anzahl der Auflagepunkte
- Art der Lagerung
- Antriebssysteme und Antriebsart
- Bremssystem

7.2 Schiienenanordnung

Bei der Anzahl der Schienen gibt es grundsätzlich drei in der Praxis relevante Anordnungen, wie im nachfolgenden Kapitel dargestellt. Die Anordnung und Anzahl der Schiene richtet sich aber stark nach der Anordnung der Auflagepunkte der Lagerung (Fahrwagens) und nach dem vorhandenen Platz. Die hier angeführten Untersuchungen beziehen sich auf den Regelfall mit druckbelasteten Schienen.

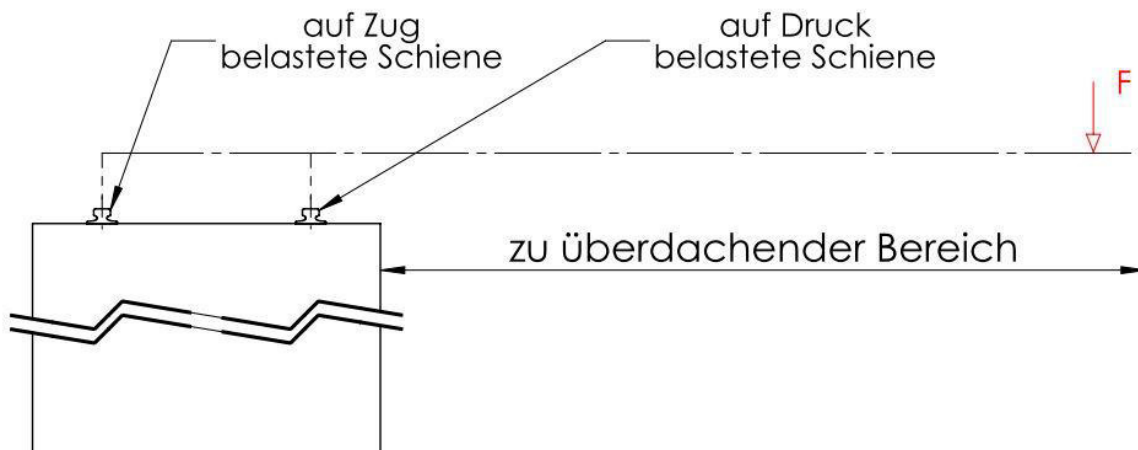


Abbildung 3: Schienenbelastungsart

1—1 Schienenanordnung:

Bei der 1—1 Schienenanordnung wird die Lagerung (Fahrwagen) der zu bewegendem Überdachung auf jeder Seite nur auf einer Schiene geführt. Dies ist das kosteneffizienteste System und hält auch den Fahrwagen in der Breite kompakt. Zudem kann die Grundkonstruktion des Fahrwagens, wenn erwünscht, auf beiden Seiten identisch ausgeführt werden. Je nach Belastung kann es jedoch zu Schrägstellungen kommen und die Belastungsrichtung der Lagerung weist eine oft ungünstige Abweichung zu der Belastungsrichtung der Schiene auf. Durch diese Schrägstellung kann es zu erhöhtem Verschleiß der Lagerung kommen.

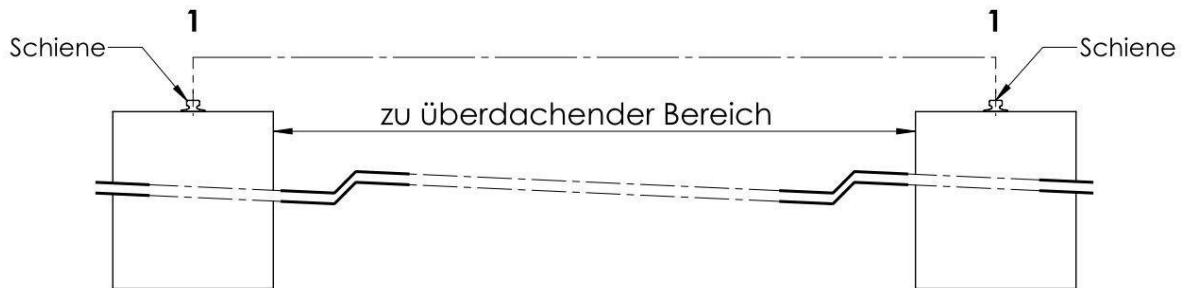


Abbildung 4: 1-1 Schienenanordnung

Räumliches statisches System bei 1—1 Schienenanordnung:

Die nachfolgende Abbildung zeigt das statische System eines Daches bei einer 1-1 Schienenanordnung.

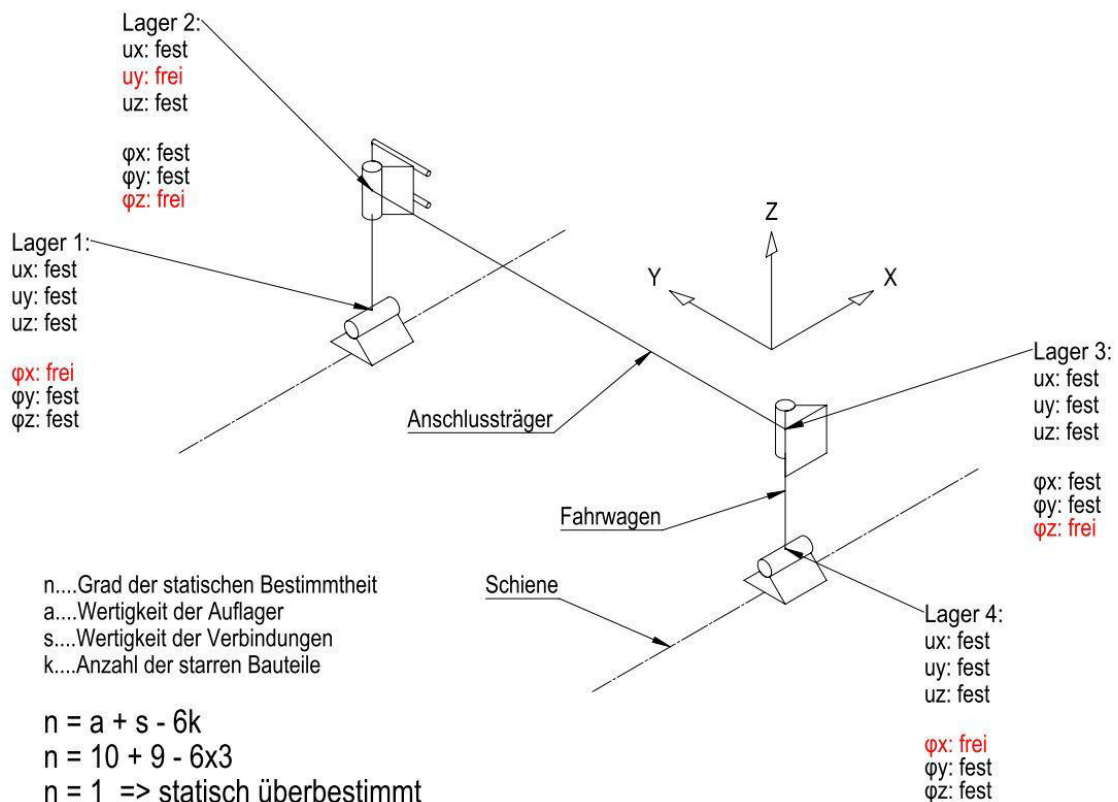


Abbildung 5: statisches System 1-1 Schienenanordnung

Die Berechnung zeigt, dass in diesem System eine statische Überbestimmtheit vorliegt. Um eine statische Bestimmtheit zu erlangen, könnte man beispielsweise die Rotation ϕ_y in dem Lager 1 bzw. 2 freigeben. So wäre das System zwar statisch bestimmt aber das Kippmoment (ϕ_y) des Anschlusssträgers müsste zur Gänze auf einer Lagerseite übertragen werden. Die statischen Systeme der unterschiedlichen Schienenanordnungen unterscheiden sich prinzipiell nur durch den Ort an dem die Rotation um die X-Achse (Fahrtrichtung) freigegeben wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein belastetes System mit einer 1-1 Schienenanordnung.

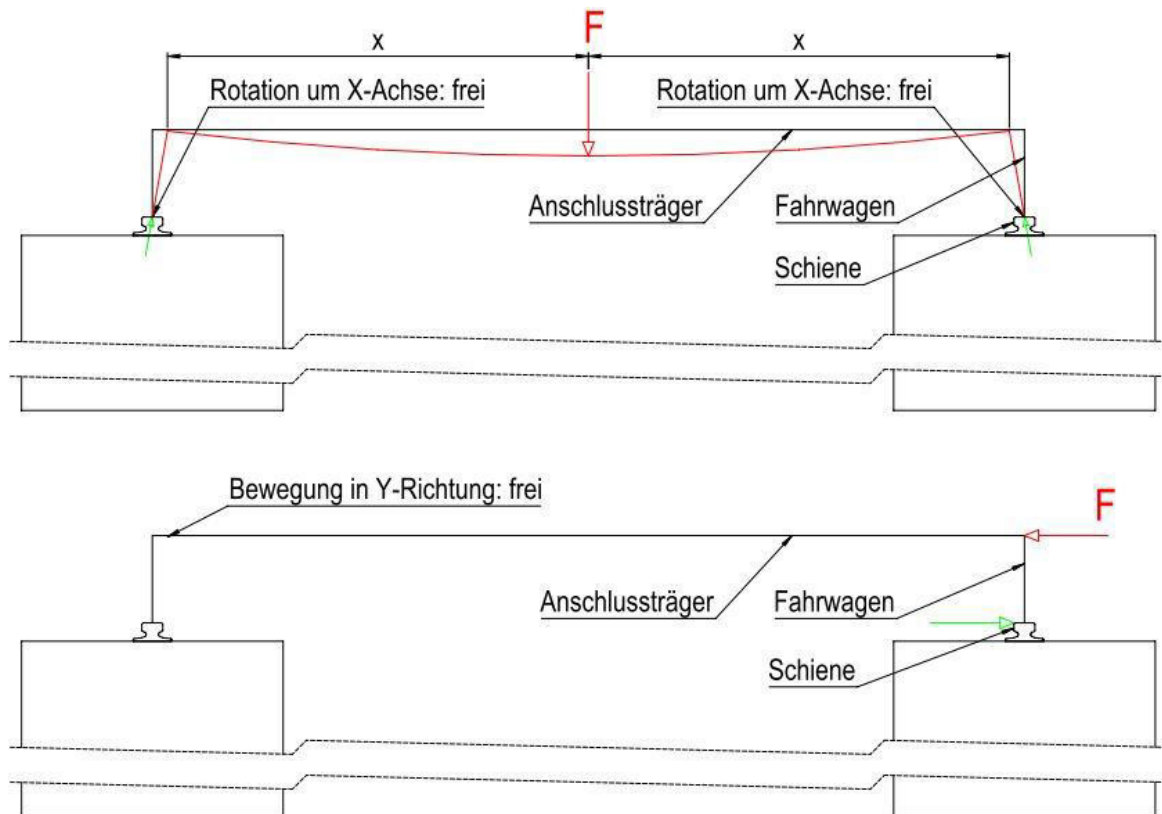


Abbildung 6: belastetes System 1-1 Schienenanordnung

Bei der 1-1 Anordnung muss die Rotation um die X-Achse auf der Schiene freigegeben werden. Dies führt bei einer Belastung des Daches in Z-Richtung zu einer Schrägstellung des Fahrwagens auf der Schiene. Bei horizontaler Belastung des Daches (quer zur Fahrtrichtung) kann diese Kraft seitlich auf die Schiene übertragen werden. Nachteilig ist, dass in den Lagerungen 2 bzw. 3 große Momente übertragen werden müssen.

2—2 Schienenanordnung:

Die 2—2 Anordnung hat den entscheidenden Vorteil, dass beide Fahrwagen durch weitere Lager die Bewegungen der Stahlstruktur, welche sich über den zu überdachenden Bereich erstreckt und mit den Fahrwagen verbunden ist, aufnehmen können aber die Belastungsrichtung der Wagen bleibt auf beiden Seiten in der Belastungsrichtung der Schiene. So ergibt sich eine symmetrische Kräfteverteilung auf den Doppelschienen. Auch hier kann die Grundkonstruktion des Fahrwagens auf beiden Seiten identisch ausgeführt werden. Dieses System erfordert aber am meisten Platz und kann daher nur bei ausreichenden Platzverhältnissen verwendet werden.

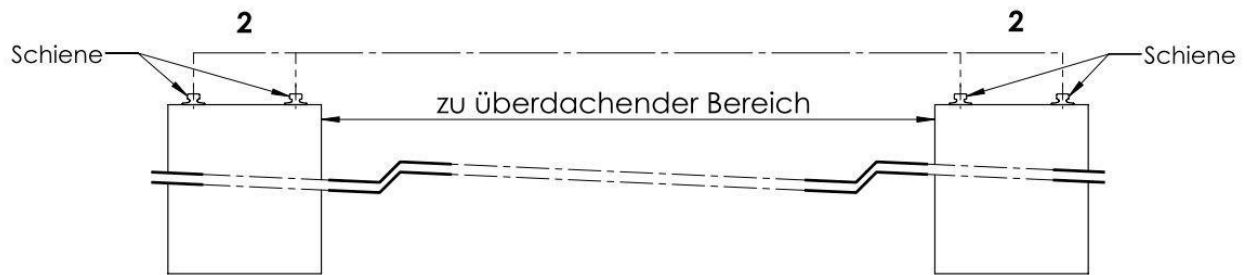


Abbildung 7: 2-2 Schienenanordnung

Räumliches statisches System bei 2—2 Schienenanordnung:

Die nachfolgende Abbildung zeigt das statische System eines Daches bei einer 2-2 Schienenanordnung.

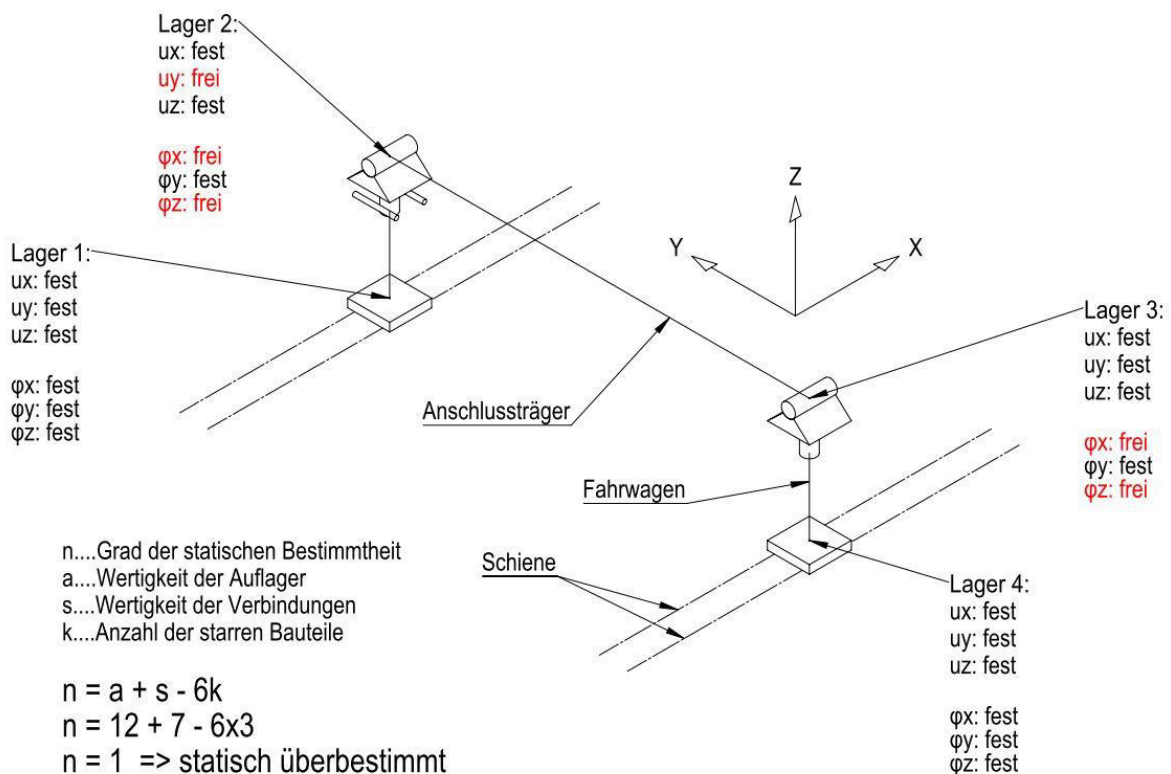


Abbildung 8: statisches System 2-2 Schienenanordnung

Die Berechnung zeigt wieder, dass in diesem System auch eine statische Überbestimmtheit vorliegt. Der Unterschied zum 1-1 System liegt darin, dass die Rotation um die X-Achse in den Lagern 2 bzw. 3 ermöglicht wird und nicht in den Lagern 1 bzw. 2. Um die Auswirkung der Änderung zu erkennen zeigt die nachfolgende Abbildung ein belastetes System mit einer 2-2 Schienenanordnung.

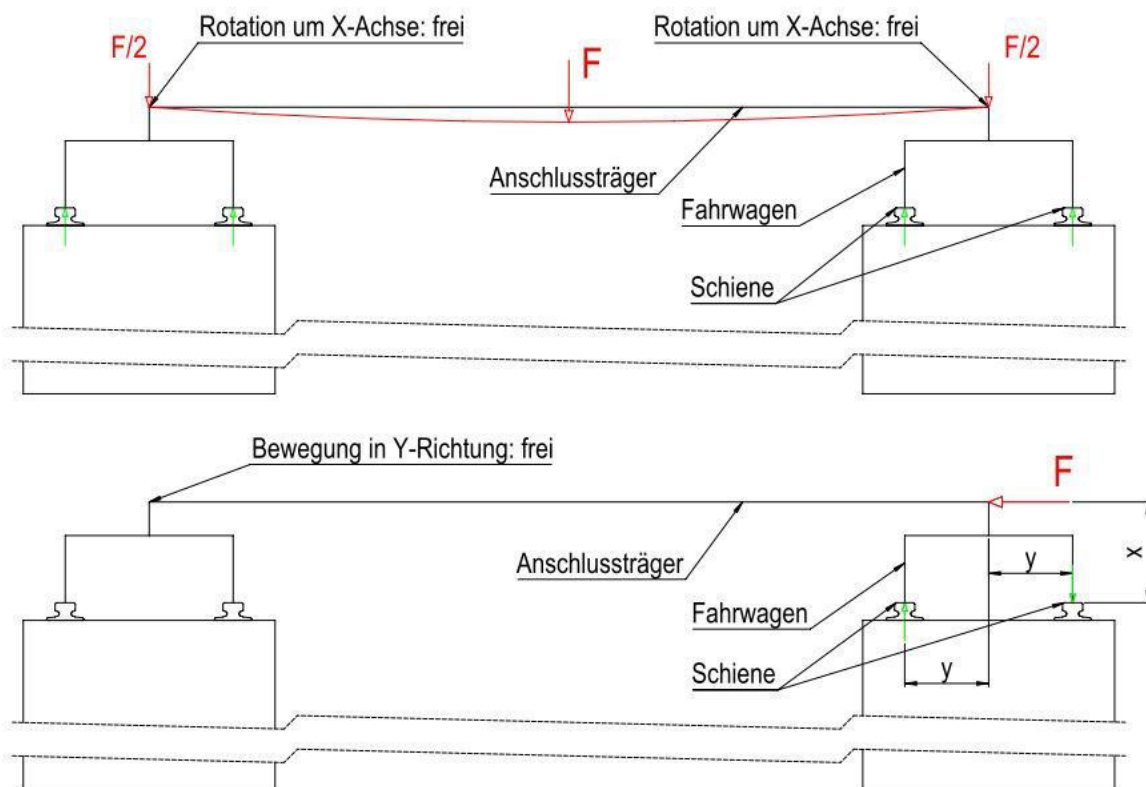


Abbildung 9: belastetes System 2-2 Schienenanordnung

Bei der 2-2 Anordnung kann die Rotation um die X-Achse nicht auf der Schiene freigegeben werden, da keine Schrägstellung des Wagens auf einer Doppelschiene möglich ist. Dies führt bei einer Belastung des Daches in Z-Richtung zu einer günstigen Belastung der Schiene. Durch die feste Einspannung des Wagens auf der Schiene wird bei horizontaler Belastung des Daches (quer zur Fahrtrichtung) ein Drehmoment hervorgerufen. Dieses Moment kann nur durch den Einsatz einer Doppelschiene übertragen werden. Je größer der Abstand der Schienen (zweimal y) ist, desto geringer sind die zu übertragenden Kräfte. Dieses System kann bei einer 1-1 Anordnung nicht realisiert werden, da eine Einzelschiene nur einen sehr kleinen Hebelarm (y) besitzt und dadurch die Kräfte enorm ansteigen.

2—1 Schienenanordnung:

Bei der 2 –1 Anordnung wird der Fahrwagen auf einer beliebigen Seite auf zwei Schienen gelagert und auf der anderen Seite nur auf einer Schiene. Diese eher unübliche Anordnung wird jedoch bei einseitigem Antrieb und kurzen Spannweiten verwendet, da die Doppelschienen Platz für den Antrieb bringt. Ein großer Nachteil ist, dass hier die Grundkonstruktion des Fahrwagens auf beiden Seiten sehr unterschiedlich ausgeführt werden muss und dadurch der Arbeitsaufwand und somit der Kostenaufwand dieses Systems sehr hoch ist. Die 2-1 Anordnung ist eine Mischung der beiden oben angeführten Systeme.

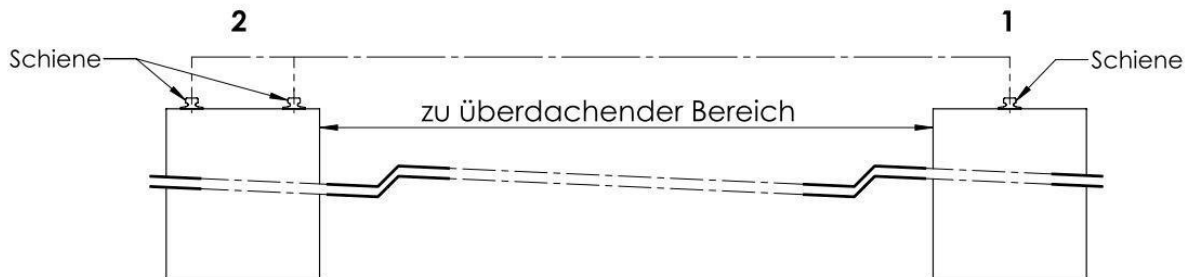


Abbildung 10: 2-1 Schienenanordnung

Räumliches statisches System bei 2—1 Schienenanordnung:

Die nachfolgende Abbildung zeigt das statische System eines Daches bei einer 2-1 Schienenanordnung.

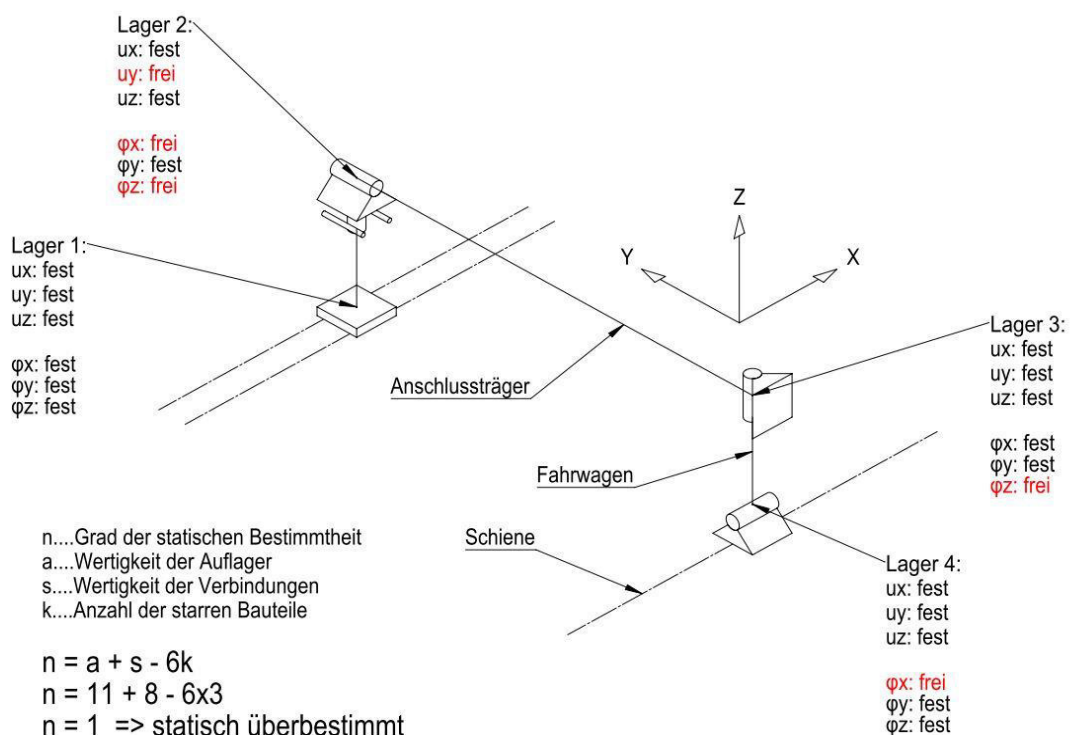


Abbildung 11: statisches System 2-1 Schienenanordnung

Die Berechnung zeigt wieder, dass in diesem System auch eine statische Überbestimmtheit vorliegt. Die Rotation um die X-Achse wird einmal im Lager 2 und auf der gegenüberliegenden Seite im Lager 4 ermöglicht. Wie oben bereits erwähnt ist dies durch die unterschiedliche Ausführung der Wagen eine eher unübliche Variante.

7.3 Rahmenbedingungen Schiene / Unterkonstruktion

Als Unterkonstruktion wird die Struktur bezeichnet auf der die Schiene montiert wird. Um eine einwandfreie Funktion des Daches zu erzielen, sind gewisse Toleranzen und Genauigkeiten der Schiene und der Unterkonstruktion einzuhalten. Die Abweichungen resultieren aus Fertigungsungenauigkeiten, Montageungenauigkeiten und Verformungen der Gesamtstruktur.

Die absolute vertikale Abweichung der Schiene ist ein wichtiges Kriterium, um eine gleichmäßige Belastung der Lagerung auf der Schiene zu gewährleisten. Diese Abweichung ist stark von der Genauigkeit der Unterkonstruktion abhängig.

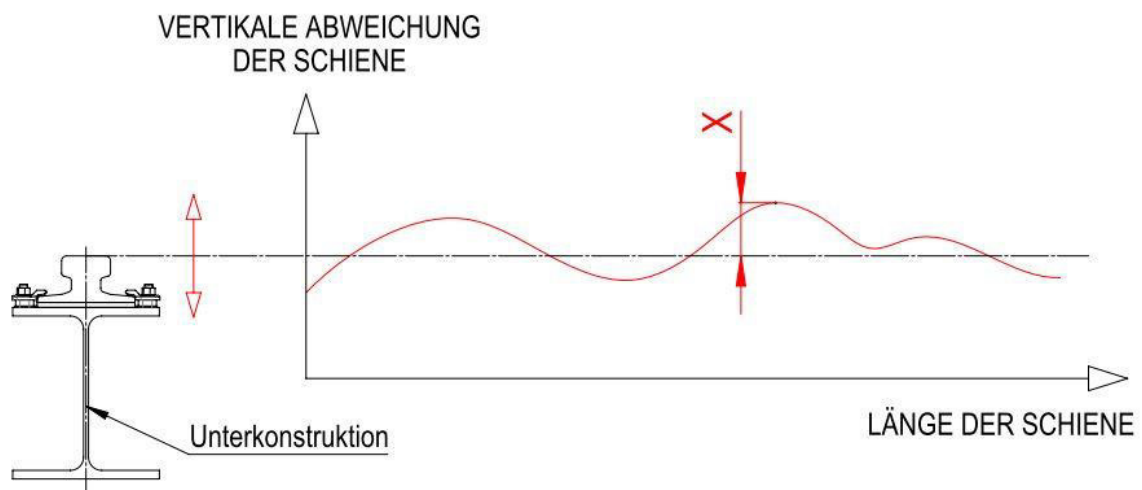


Abbildung 12: vertikale Schienenabweichung

Die maximale Abweichung X von der theoretischen Schienenoberfläche darf über die gesamte Länge der Schiene den Erfahrungswert von 25 mm nicht überschreiten. Da die Allgemeintoleranzen der Unterkonstruktion höher sind, muss eine elastische Unterlage zwischen Schiene und Unterkonstruktion eingesetzt werden. Durch diese elastischen Unterlagen können Unebenheiten ausgeglichen werden. Weitere Vorteile sind die bessere Druckverteilung auf die Unterkonstruktion, Reduzierung der Vibrationen bei Belastung und auch die Reduzierung des Verschleißes von Schiene und Unterkonstruktion.

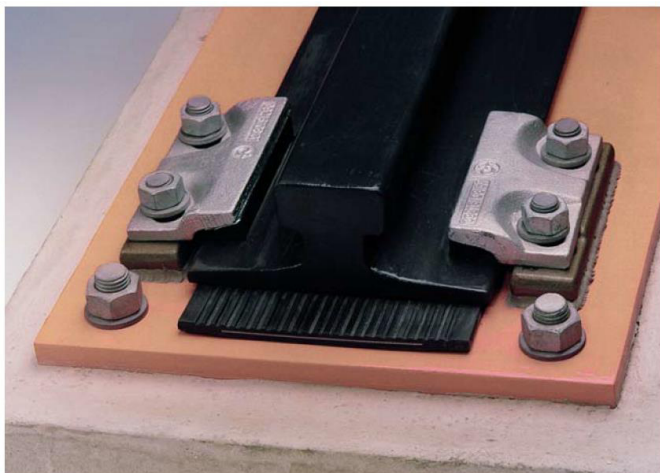


Abbildung 13: elastische Schienenunterlage

(Quelle: URL <www.gantrex.de/cms/upload/download/04_unterlage.pdf>, 22.12.2017)

Die absolute horizontale Abweichung von Schiene zu Schiene (quer zur Fahrtrichtung) ist aufgrund der Bewegungsmöglichkeit in Y-Richtung des Daches nur bedingt relevant. Jedoch ist eine relative horizontale Abweichung bei der Montage der Schiene zu beachten, um ein Verkanten des Fahrwagens zu vermeiden. Diese Abweichung γ darf den Erfahrungswert von 4 mm nicht überschreiten.

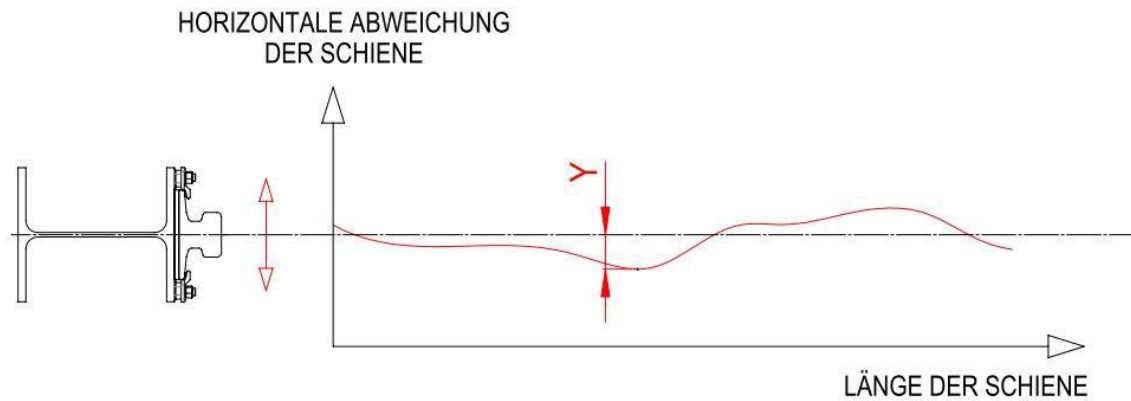


Abbildung 14: horizontale Schienenabweichung

Zudem ist eine Toleranz der Winkelabweichung der Schiene einzuhalten. Durch die Verwendung einer elastischen Schienenunterlage und das Anziehen der Schienenklemmen mit unterschiedlichen Anzugsmomenten können diese Winkelabweichungen ausgeglichen werden. Hier darf eine maximale Winkelabweichung von $0,5^\circ$ nicht überschritten werden.

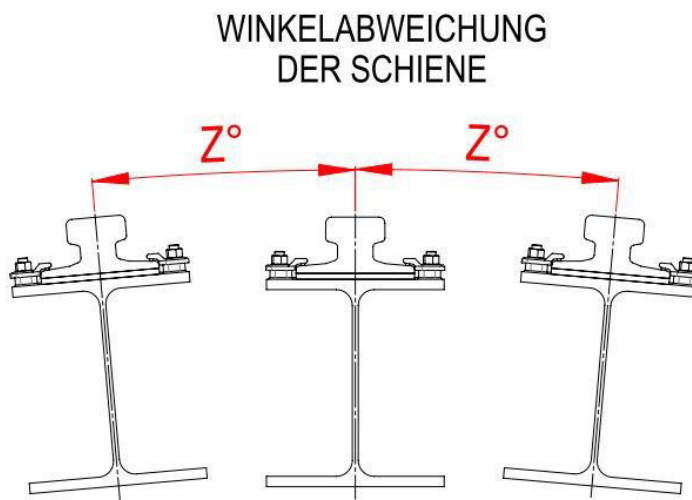


Abbildung 15: Winkelabweichung der Schiene

7.4 Schienenart

Die Schienen können grundsätzlich, für die entsprechenden Anforderungen eines verschiebbaren Daches, in vier relevante Kategorien eingeteilt werden.

- Standard – Stahlprofile
- Vignolschienen
- Kranschienen
- Sonderbauformen

Im nachstehenden Bild ist eine große Anzahl an verschiedenen Schienen zu erkennen wobei größtenteils nur die oben genannten Schienen in der Praxis in Frage kommen, weil diese das Anforderungsprofil weitestgehend erfüllen und durch ihre anderen Einsatzgebiete in vielen Dimensionen kostengünstig verfügbar sind. Die Größe der Schienen wird grundsätzlich über die Schienenbreite festgelegt. Die erforderliche Breite hängt wiederum mit der Anzahl und Art der Lagerung zusammen.

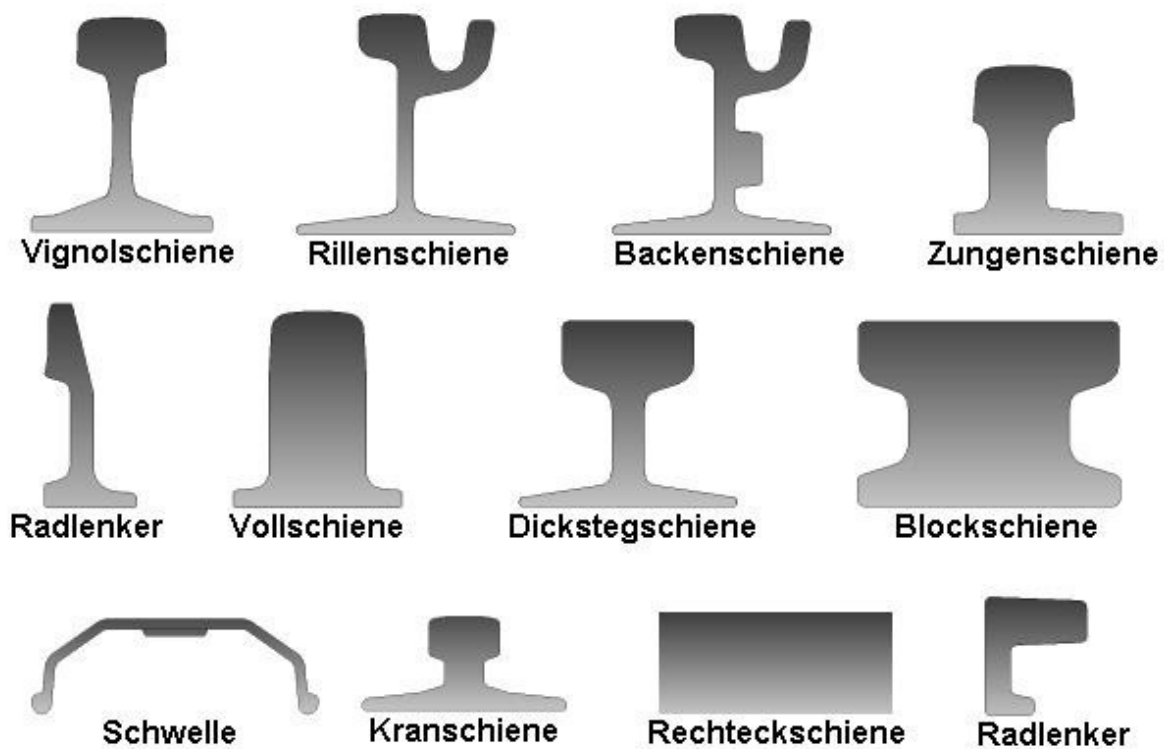


Abbildung 16: Schienenarten

(Quelle: URL <<http://www.gleisbau-welt.de/site/schweissen/schienenherstellung.htm>>, 05.06.2015)

Standard – Stahlprofile:

Für ein Schienensystem können mehrere unterschiedliche Stahlprofile verwendet werden. Die Anwendung der Stahlprofile kommt aber nur sehr selten zum Tragen, da diese nicht für solche Anwendungen gefertigt und optimiert sind. Die Bauform der Standardprofile ist nicht ideal für Druckbelastungen geeignet. Hier könnte man auch Standard-Vollmaterialien verwenden, die aber im Vergleich zu den Profilen eine größere Masse aufweisen. Jedoch für gewisse Anforderungen, mit geringen Lasten und Genauigkeiten, sind Stahlprofile als Schienen eine sehr wirtschaftliche Lösung. Gerne werden die Standard-Profile eingesetzt um Platz zu sparen, wenn kein geeigneter Unterbau für eine Schiene vorhanden ist. Der große Nachteil hier ist, dass es für Stahlprofile grundsätzlich keine Standard-Lagerungspartner wie beispielsweise Schiene – Radsatz gibt. Daher benötigt man wieder spezielle, meist teure Lagerungsarten was dazu führt, dass zwar die Schiene kostengünstig ist aber dafür das gesamte System aufgrund aufwendiger Teile teurer wird. Deshalb werden Standard-Stahlprofile in der Regel nicht oder nur sehr selten verwendet.

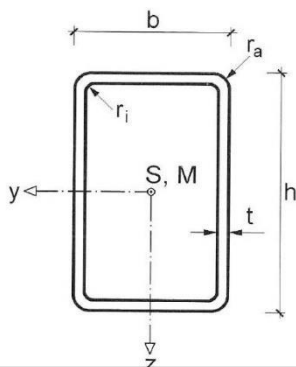


Abbildung 17: Hohlprofil
(Quelle: Prof. Dr.-Ing. Kindmann, Rolf (Hrsg.) : Stahlbau Kompakt. 3. Auflage, Stahleisen GmbH (2014), Düsseldorf. (S.78))

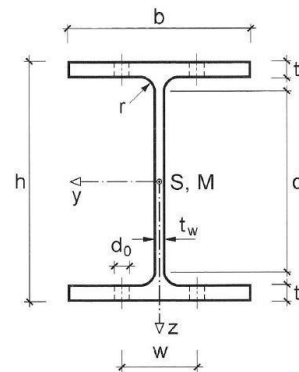


Abbildung 18: I-Profil
(Quelle: Prof. Dr.-Ing. Kindmann, Rolf (Hrsg.) : Stahlbau Kompakt. 3. Auflage, Stahleisen GmbH (2014), Düsseldorf. (S.50))

Vignolschienen und Kranschienen:

Vignol- und Kranschienen sind die am häufigsten verwendeten Schienenarten für bewegliche Dächer. Zu diesen Schienen gibt es im Gegensatz zu den Stahlprofilen eigens konzipierte Lagerungspartner und die verfügbare Materialgüte ist höher wie die der Stahlprofile. Der entscheidende Unterschied für die Auswahl zwischen diesen Schienen besteht darin, ob sich das Dach in der Ebene oder auf einer bestimmten Bahn bewegt. Denn bewegt sich das Dach auf z.B. einem Kreisbogen muss auch die Schiene diesem entsprechen. Die Vignolschiene besitzt, im Gegensatz zu der Kranschienen, einen relativ dünnen Steg und ist daher für eine Biegung um die X-Achse (siehe Bild) nicht gut geeignet. Daher kommen bei diesen Fällen die Kranschienen zum Einsatz. Bei Bewegungen in der Ebene spielt oft die geringe bzw. große Einbauhöhe der Schiene eine Rolle, sowie Preis und Gewicht. Bei hohen abhebenden Kräften bietet die Vignolschiene mehr Platz für Abheberollen bzw. Abhebesicherungen. Bei hohen

Horizontalkräften (quer zur Fahrtrichtung) die auf die Schiene übertragen werden müssen ist die geringe Höhe der Kranschiene ein Vorteil.

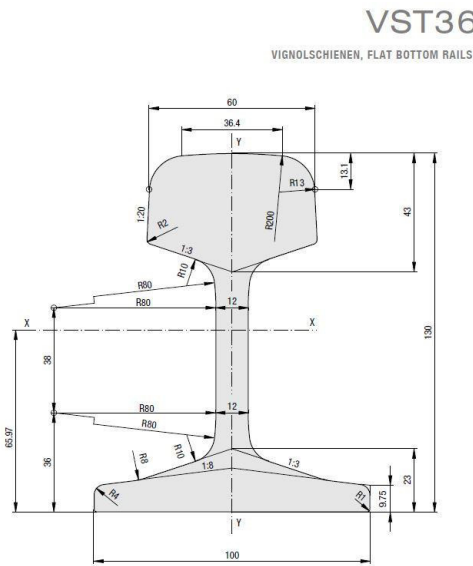


Abbildung 19: Vignolschiene
(Quelle: Profile Programm.
Voestalpine Schienen GmbH (2014),
Leoben. (S. VI-14))

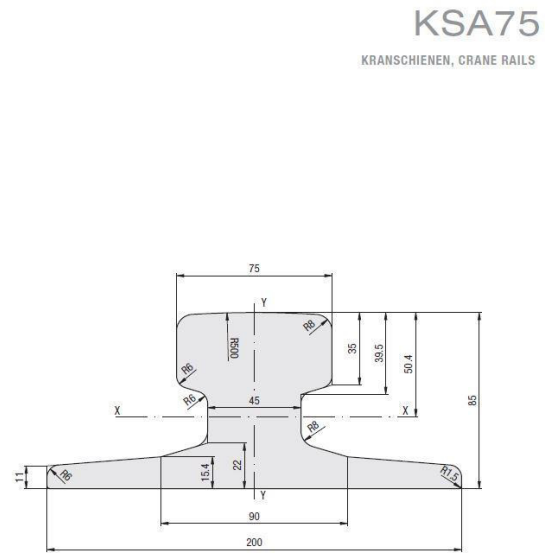


Abbildung 20: Kranschiene
(Quelle: Profile Programm.
Voestalpine Schienen GmbH
(2014), Leoben. (S. KS-14))

Sonderbauformen:

Sonderbauformen können bei besonderen Anforderungen zum Einsatz kommen z.B. auf Zug belastete Schienen. In der Regel werden aber solche eigens konstruierten Spezialschienen vermieden, denn das Fertigen dieser Schienen ist enorm teuer und steht meistens in keinem Verhältnis zu den dadurch gewonnen Vorteilen.

7.5 Anordnung und Anzahl der Auflagepunkte

Die Anordnung und die Anzahl der Auflagepunkte ist natürlich von der Anzahl der Schienen abhängig. Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten die Auflagepunkte zu wählen. Dabei spielt die Belastungsgröße und die Platzverhältnisse wieder eine wesentliche Rolle. Man kann z.B. durch ändern der Schienenbreite oder des Raddurchmessers die Anzahl der Auflagepunkte reduzieren bzw. vermehren.

Durch die Position der Krafteinleitestelle kann jeder Auflagepunkt wie bei einem Lastgeschirr gleichmäßig belastet werden. Wenn die Position der Krafteinleitestelle nicht beeinflusst werden kann, kommt es je nach Anordnung zu unterschiedlichen Kräften an den jeweiligen Auflagepunkten. Durch unterschiedliche Auslegung der Auflagepunkte kann jedoch wieder eine optimale Ausnutzung dieser Punkte erzielt werden.

Anzahl und Anordnung der Auflagepunkte bei einer Schiene:

Die Lagerung auf 2 Auflagepunkten ist die einfachste und platzsparenste Variante.

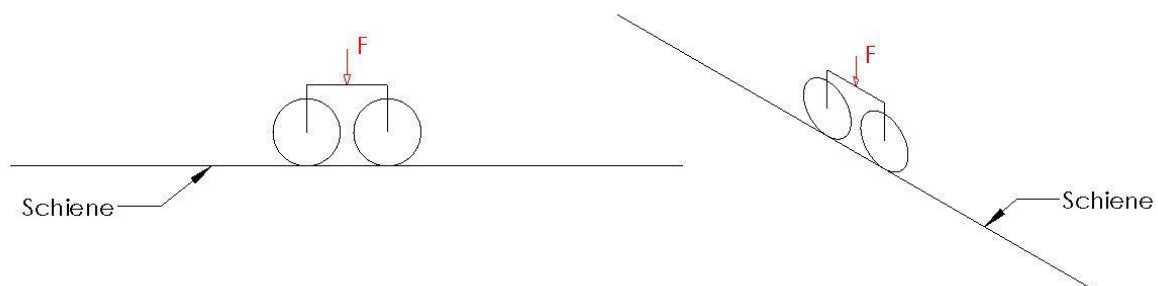


Abbildung 21: 2 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene

Bei der 3-Punktauflage müssen zwei der drei Lager über eine Wippe verbunden sein, welche wiederum mit dem dritten Lager verbunden ist, denn nur so kann gewährleistet werden, dass auch alle Lager, bei richtiger Position der Kräfteinleitestelle, die gleichen Kräfte aufnehmen können.

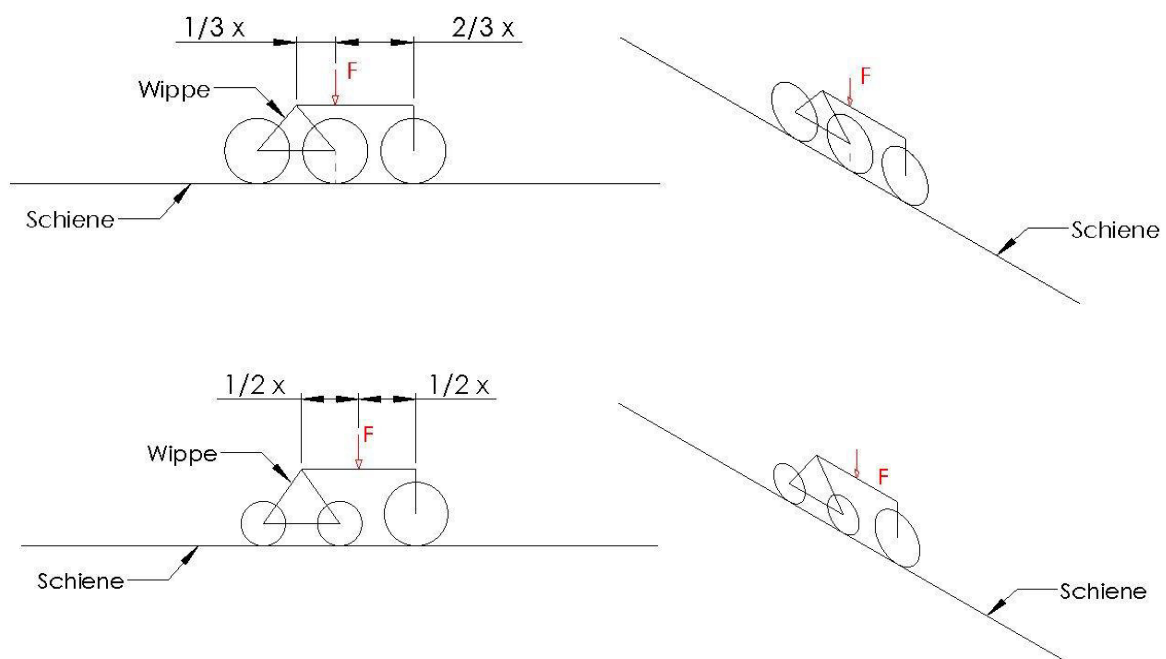


Abbildung 22: 3 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene

Die Lagerungen mit 4 und mehr Auflagepunkten sind immer nach demselben Prinzip aufgebaut. Die einzige Besonderheit stellt die Doppel- bzw. Dreifachwippe dar. Dieses System ist theoretisch beliebig oft erweiterbar, ist aber in der Praxis nicht relevant. Oft richtet sich die Anzahl der Auflagepunkte nach den zur Verfügung stehenden Freiräumen, denn ist die Höhe begrenzt werden mehrere kleinere Lager nebeneinander realisiert und bei begrenzter Breite weniger Lager die prinzipiell größer ausfallen.

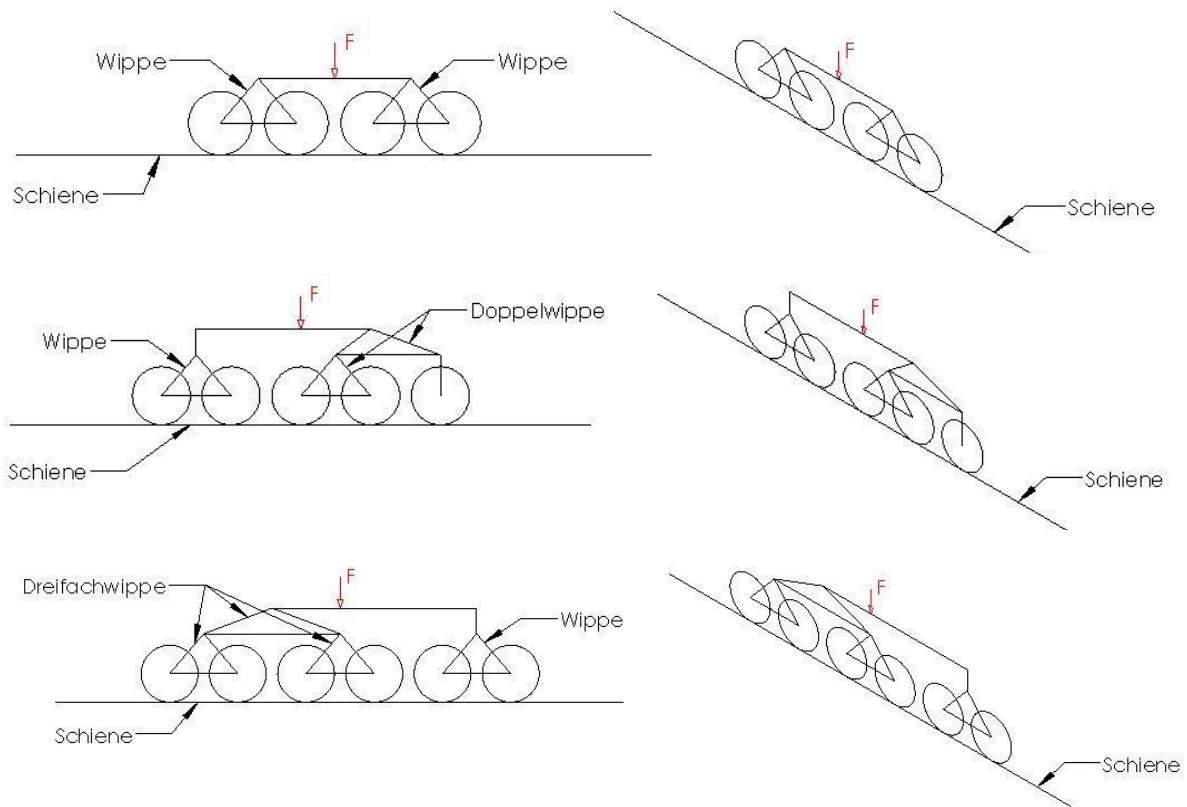


Abbildung 23: 4-6 Auflagepunkte bei einer Einzelschiene

Eine Methode zur Verringerung des Platzbedarfs bei einer Lagerung auf einer Schiene ist es noch eine zusätzliche Schiene parallel zu legen. Der Platzbedarf der Stahlstruktur in der Garage, bei geöffnetem Zustand des Daches muss oft so gering als möglich gehalten werden. Durch eine zweite Schiene ergibt sich die Möglichkeit die Fahrwägen zu einem gewissen Grad ineinander fahren zu lassen und so Platz zu sparen. Nachteilig ist aber der Kosten- und Montageaufwand der zusätzlichen Schiene.

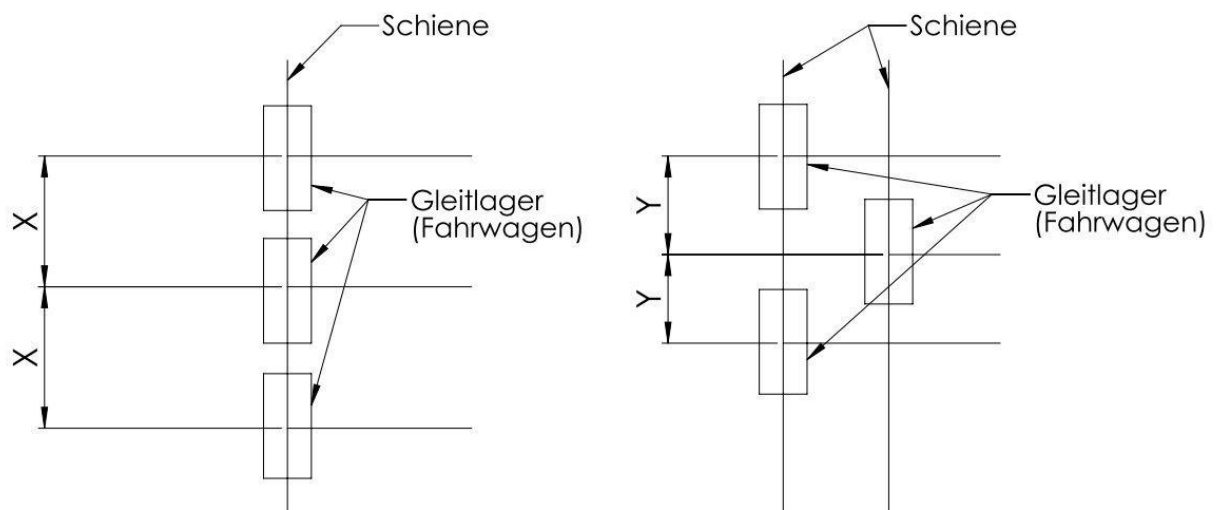


Abbildung 24: Platzbedarf bei einer Einzelschiene

Anzahl und Anordnung der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene:

Bei der Doppelschiene gibt es wiederum viele Möglichkeiten die Auflagepunkte anzuordnen, dabei ist immer darauf zu achten, dass das System statisch bestimmt ist. Bei der Doppelschiene ist der Einleitpunkt der Kraft sehr wichtig, denn durch die unterschiedliche Anzahl der Räder pro Schiene befindet sich dieser Punkt oft nicht in der Mitte der Schienen.

Die nachstehenden Bilder zeigen ein System mit 3-Punktauflage, wobei die Anordnung des einzelnen Lagers anders gewählt worden ist. Dies hat Auswirkungen auf die Krafteinleitestelle. Hierbei kann oft nicht die günstigste Anordnung dieser Lager im Vorfeld ermittelt werden, da andere Komponenten wie z.B. Antrieb oder Bremssystem entsprechenden Platz in Anspruch nehmen.

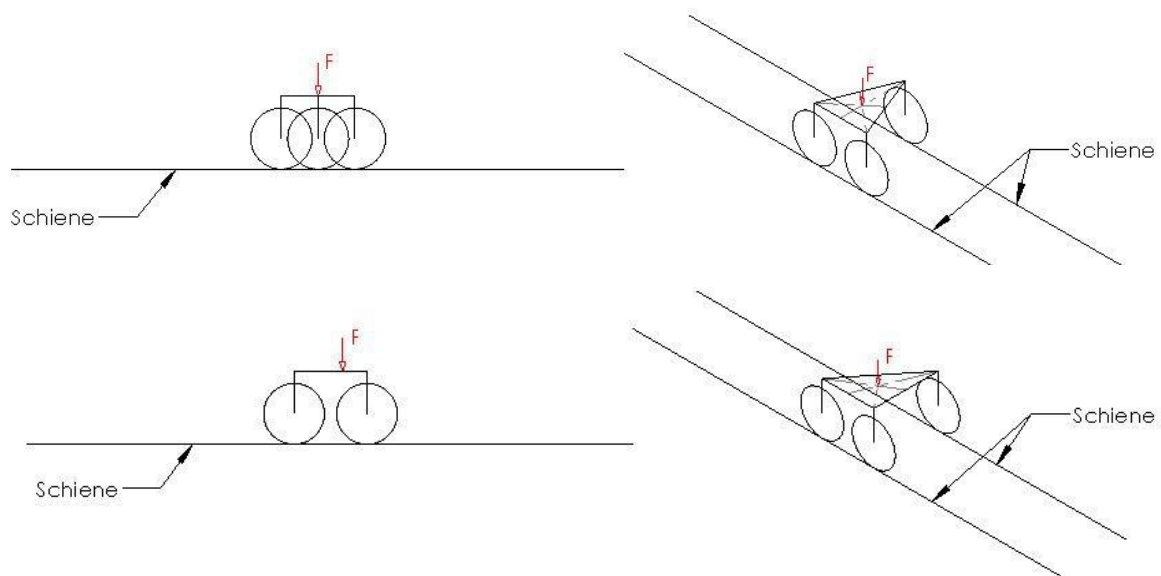


Abbildung 25: 3 Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

Bei der Anordnung mit 4 Auflagepunkten ist, wie bei der Anordnung auf einer Schiene, eine Wippe vorgesehen um statisch bestimmt zu bleiben. Jedoch wird die Wippe in der Praxis oft nicht realisiert denn abhängig von der Konstruktion ist dieses System „weich“ genug (Verformungen, Spiel in den Verbindungen), um trotz 4-Punktauflage zu gewährleisten, dass, eben durch diese auftretenden Verformungen usw., alle Lager gleich beansprucht werden. Auch das Doppelschienen-system ist theoretisch wieder beliebig oft erweiterbar aber auch über die Belastungsgröße und den Platzbedarf begrenzt.

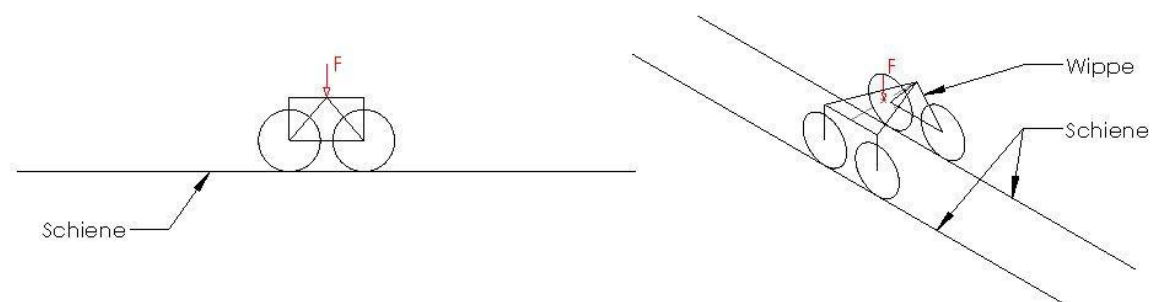


Abbildung 26: 4 Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

Auch hierbei spielt der Platzbedarf bei geöffnetem Zustand des Daches wieder eine Rolle. Bei einer Lagerung auf einer Doppelschiene ist es zwar nicht günstig eine weitere Doppelschiene daneben anzuordnen, aber durch die Geometrie der Lagerung kann ebenfalls Platz gespart werden.

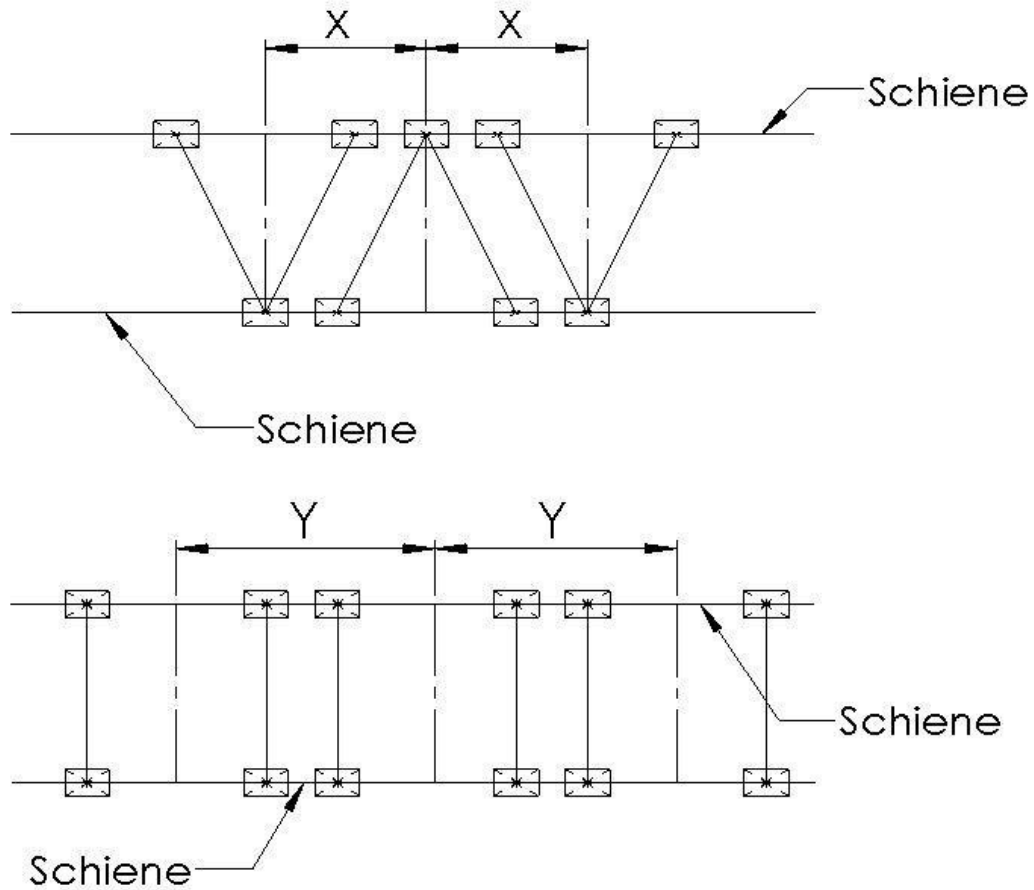


Abbildung 27: Platzbedarf bei einer Doppelschiene

7.6 Art der Lagerung

Die Art der Lagerung ist wohl der wichtigste Punkt für die Auswahl eines geeigneten Systems für verschiebbare Dächer. Oft legt man die Lagerart im Vorhinein fest und passt das restliche System der Lagerart an. Für solche Anforderungen gibt es wiederum unzählige Möglichkeiten von Gleit- und Wälzführungen. Die nachfolgende Aufstellung zeigt eine Übersicht über die hier behandelten Führungsarten.



7.6.1 Gleitführungen

Die Gleitführungen haben im Gegensatz zu wälzgelagerten Linearführungen zur Übertragung der Kräfte keine Wälzkörper (Kugeln oder Rollen), sondern arbeiten auf gleitenden Elementen. Dadurch entsteht eine wesentlich größere Kontaktfläche, die eine geringere Flächenpressung, jedoch höhere Reibkräfte, zur Folge hat. Daher sind auch meistens die Kräfte, um eine Bewegung zu erzeugen, viel höher als bei den Wälzführungen was wiederum einen größeren Antrieb zur Folge hat. Die Gleitführungen stellen in der Praxis für große schienengeführte bewegliche Dächer, aufgrund der oben genannten Gründe keine Bedeutung dar aber sie werden bei seilgeführten beweglichen Dächern eingesetzt. Eine auf Seilen basierende verschiebbare Dachkonstruktion weist im Gegensatz zu den schienengeführten Dächern ein geringes Gewicht auf und daher kommen hier auch die Gleitführungen zum Einsatz.

Hydrodynamische Gleitführungen

Bei den hydrodynamischen Führungen wird der Schmierfilm erst durch eine Bewegung erzeugt und dadurch herrscht in dieses System beim Anlaufen eine große Reibung und erst mit entsprechender Bewegung gleitet das Element auf dem Schmierfilm (siehe Diagramm). Hierbei entsteht der Haftgleiteffekt (Stick-Slip-Effect) weil die anfängliche Haftreibung viel größer als die Gleitreibung ist. Dieser Mechanismus wird erst dann beendet, wenn die Reibpartner durch den Schmierfilm getrennt sind. Diese Führung ist eine kostengünstige Bauart jedoch ist die Aufbringung des Schmierfilms mit hohen Aufwendungen verbunden. Bei

den langsamen Fahrgeschwindigkeiten eines Daches ist die nötige Dynamik für ein reibungsarmes Gleiten nicht vorhanden. Jedoch wird dieses Prinzip bei den Bewegungsaufnahmen in den späteren Kapiteln relevant.

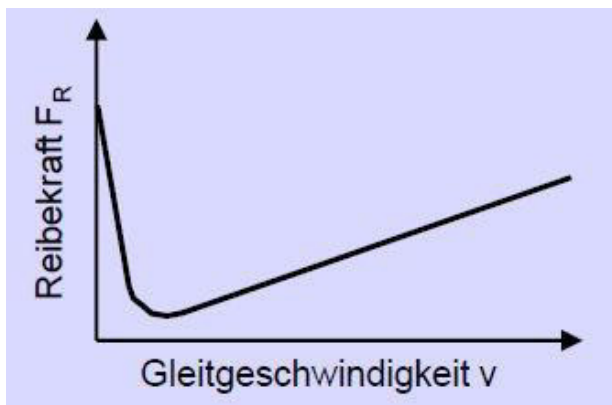


Diagramm 1: Reibverhalten hydrodynamische Gleitführung
(Quelle: Uhlmann, Eckart: Führungen für Schlitten und Tische (WS 2008/09). Berlin. (Folie 24))

Hydrostatische Gleitführungen

Bei der hydrostatischen Gleitführung wird der Schmierfilm nicht durch eine Bewegung erzeugt, sondern eine Pumpe erzeugt diesen Schmierfilm. D.h. dieser Schmierfilm wirkt auch im Ruhezustand was wiederum den Haftgleiteffekt ausschließt und die Reibung beim Anlaufen des Systems gering hält. Die Herstellkosten sind aber deutlich höher und Zusatzaggregate werden benötigt. Eine Anwendung in diesem Bereich ist für verschiebbare Dächer nicht bekannt.

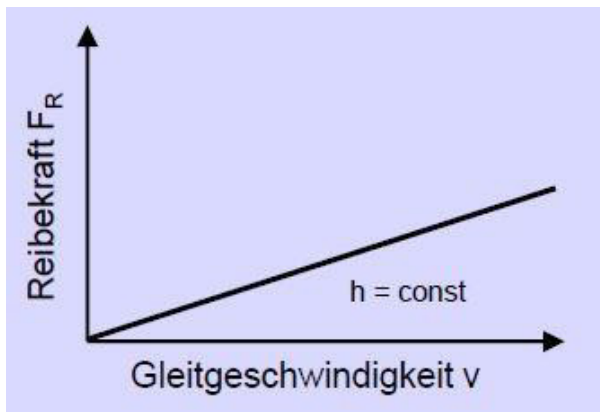


Diagramm 2: Reibverhalten hydrostatische Gleitführung
(Quelle: Uhlmann, Eckart: Führungen für Schlitten und Tische (WS 2008/09). Berlin. (Folie 24))

Aerostatische Gleitführungen

Diese Führung funktioniert grundsätzlich nach demselben Prinzip wie die hydrostatische Führung, mit dem Unterschied, dass statt dem Schmierfilm eine Luftschicht erzeugt wird. Der Einsatz von Luft gegenüber dem Öl verringert die Reibung noch mehr. Dieses System kann auch große Belastungen aufnehmen aber die dazu notwendigen Luftvolumen müssen von großen und teuren Turbokompressoren aufbereitet werden. Diese Gleitführungen kommen z.B. bei verschiebbaren Spielfeldern oder Tribünen in Stadien zum Einsatz. Im nachstehenden Bild ist ein verschiebbares Spielfeld abgebildet, welches mithilfe einer aerostatischen Gleitführung arbeitet. Die Schwierigkeit lag dabei, die Drehbarkeit des Spielfelds außerhalb des Stadions zu realisieren. Durch die aerostatische Führung kann das Spielfeld beliebig gedreht werden.



Abbildung 28: Sapporo Dome – verschiebbares Spielfeld

(Quelle: <<http://blog.nekoplaza.com/world-most-amazing-football-pitches-stadiums/>>, 16.02.2016)

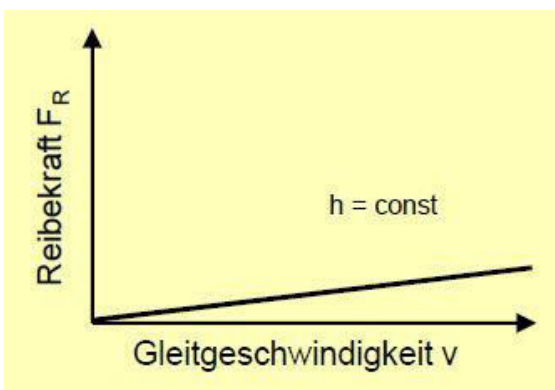


Diagramm 3: Reibverhalten aerostatische Gleitführung

(Quelle: Uhlmann, Eckart: Führungen für Schlitten und Tische (WS 2008/09). Berlin. (Folie 24))

Trockengleit-Führungen

Bei den Trockengleit-Führungen bewegt sich ein, meist aus Kunststoff gefertigtes, Gleitteil auf der gewünschten Oberfläche. Da bei diesen Führungen kein Schmierstoff eingesetzt wird ergeben sich hohe Reibkräfte und es tritt das Haftgleitverhalten auf. Durch den Einsatz von Festschmierstoffen in den Kunststoffen wird die Reibung zwischen den Reibpartnern vermindert. Die Trockengleit-Führungen werden beispielsweise bei seilgeführten verschiebbaren Dächern als Gleiteile eingesetzt, da bei den seilgeführten Dächern die Belastungen auf ein Gleitelement, basierend auf üblichen Konstruktionen, deutlich niedriger sind als bei schienengeführten Dächern.

Beispiel: gegossene Polyamide der Firma FAIGLE (siehe Datenblatt im Anhang)

Polymergruppe	Bezeichnung	Hauptanwendung	Dyn. Reibwert
Polyamid	IGOPAS-C6/100	Gleitelemente	0,36 – 0,43
Polyamid	IGOPAS-C6/100 X	Gleitelemente	0,15 – 0,23

Tabelle 1: Polyamide

Der Kunststoff IGOPAS-C6/100 mit dem Zusatz „X“ ist mit Trockenschmierstoff ausgeführt und dadurch werden die Gleiteigenschaften bei annähernd gleichbleibenden Festigkeitswerten verbessert.

Aufgrund der angegebenen Gründe sind diese Führungssysteme für die großen und massiven Überdachungen nicht geeignet, jedoch wird dieses Prinzip wiederum für die Aufnahmen der Bewegungen in den späteren Kapiteln relevant.

7.6.2 Wälzführungen

Bei Wälzführungen wird die lineare Bewegung zwischen den Bauteilen durch sogenannte Wälzkörper (Rollen, Kugeln,...) erzeugt. Da die Rollreibung sehr gering ist, entsteht ein leichter Anlauf des Systems und so kann kein Haftgleiteffekt auftreten.

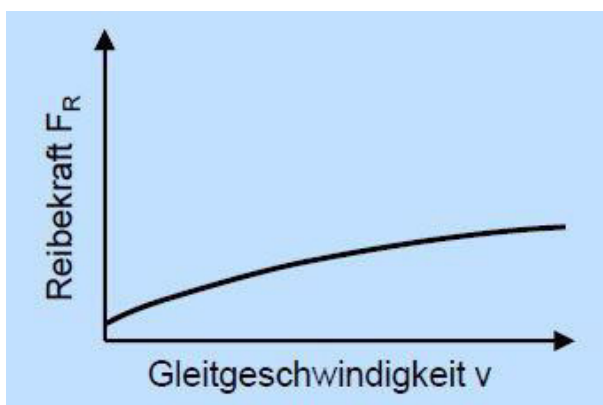
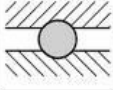
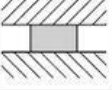
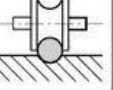
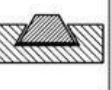
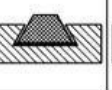


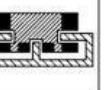


Diagramm 4: Reibverhalten Wälzführungen

(Quelle: Uhlmann, Eckart: Führungen für Schlitten und Tische (WS 2008/09). Berlin. (Folie 24))

In der nachstehenden Tabelle sind die wichtigsten Eigenschaften der Wälzführungen und Gleitführungen beschrieben und ausgewertet. Die Standardisierung und Verfügbarkeit der Wälzführungen ist besser als die der Gleitführungen und daher werden die Wälzführungen für diese Anwendung bevorzugt. Diese Grunddaten der untenstehenden Abbildung wurden in Kapitel „9.2 Erstellung des Bewertungssystems – Lagerauswahl“ ebenfalls als Richtwerte verwendet.

Eigenschaften	Wälzführungen			Hydrodynamische Gleitführungen		Fluidostatische Gleitführungen		Magnetführungen
	Kugelführung	Rollenführung	Laufrollenführung	Metall-Metall	Metall-Kunststoff	Hydrostatische Führung	Aerostatische Führung	Magnetisches Schweben
								
Belastbarkeit	3	3	2	3	3	3	0	3
Steifigkeit	2	3	1	3	2	3	0	1
Genauigkeit	2	2	2	1	1	2	2	3
Reibungsverhalten	2	2	2	1	1	3	3	3
Geschwindigkeit	3	3	3	1	1	3	3	3
Dämpfungsverhalten	1	1	1	3	3	3	3	3
Betriebssicherheit	3	3	3	3	3	1	1	1
Standardisierung	3	3	3	1	1	0	0	0
Lebensdauer	2	2	2	2	2	3	3	3
Kosten	2	2	2	3	3	1	1	0

3 sehr gut 1 befriedigend
2 gut 0 ausreichend

Abbildung 29: Übersicht der Lagerungsarten

(Quelle: Wittel, Herbert / Muhs, Dieter / Jannasch, Dieter / Voßiek, Joachim: Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung Berechnung Gestaltung. 22. Auflage, Springer Vieweg (2015), Berlin. (S. 547))

Laufrollen-Führung

Die Laufrollenführung hat die größte Bedeutung bei schienengeführten verschiebbaren Dächern, denn mit ihnen können sehr große Lasten übertragen werden. Hierbei spielt die Standardisierung auch eine wichtige Rolle, denn neben der Verfügbarkeit sind diese Laufrollen kostengünstig und es gibt genormte Standard-Lösungen für beispielsweise Radsätze auf Kranschienen. Zusätzlich gibt es noch verschiedene Einbauvarianten (Ecklagereinbau) um die Montage und Demontage zu erleichtern. Dazu besteht die Möglichkeit, wenn erwünscht, einen Antrieb direkt am Laufrad zu platzieren so bleibt das komplette System sehr kompakt (siehe DIN 15090 Treib- und Mitlaufsätze mit Wälzlagerung). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Robustheit der Laufrollen-Führung gegenüber den Umweltbedingungen. Ein Dach ist in der Regel allen Umwelteinflüssen wie Regen, Schmutz, Sonneneinstrahlungen, etc. tagtäglich ausgesetzt und muss trotz dieser Faktoren über Jahre zuverlässig arbeiten. All diese Gestaltungs- und Erweiterungsmöglichkeiten führen dazu, dass diese Laufrollen-Führungen das am häufigsten verwendete System ist.

Bei der unten angeführten Abbildung ist gut erkennbar, dass man mit den zur Verfügung stehenden Parametern, wie Laufraddurchmesser und Radbreite, einen breiten Bereich von auftretenden Belastungen abdecken kann.

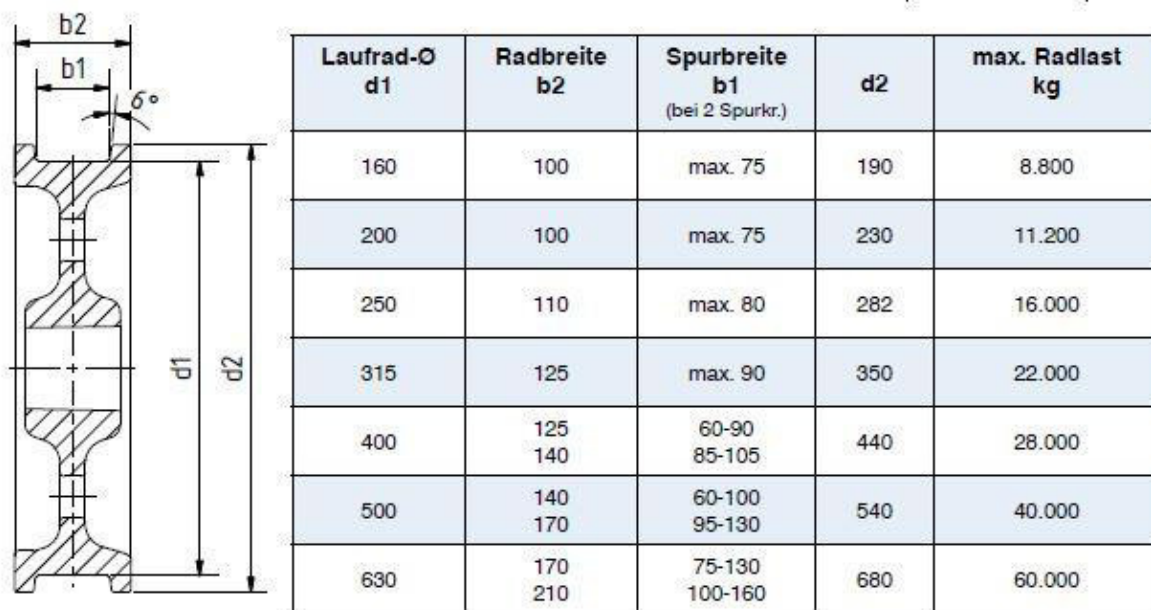


Abbildung 30: Radsatz KG 130

(Quelle: Karl Georg Stahlherstellungs- und Verarbeitungs GmbH: Radsatz KG 130 (2012), (S. 6))

Neben den standardisierten Laufrollen können natürlich auch spezielle Laufrollen eingesetzt werden um die jeweilige Anforderung bestmöglich abzudecken. Dadurch gehen die vorher genannten, entscheidenden Vorteile der Standardprodukte jedoch verloren.

Umlaufschuhe

Bei den Umlaufschuhen bewegen sich Wälzkörper (Kugeln oder Rollen), die über eine Kette verbunden sind, endlos um einen Umlaufkörper. Die Rollenumlaufschuhe können sehr große Lasten aufnehmen. Bei den ähnlichen Kugelumlaufschuhen können aufgrund der Punktbelastung vergleichsweise nur geringere Kräfte übertragen werden. Deswegen werden die hohen Lasten bei verschiebbaren Dächern von Rollenumlaufschuhen übernommen, da diese Wälzkörper eine Linienbelastung aufweisen. Auch bei diesem System gibt es am Markt etablierte Lösungen die auf Schienen passen, mit zusätzlichen Seitenrollen um Querkräfte aufzunehmen.



Abbildung 31: Rollenumlaufschuh

(Quelle: GESA Transporttechnik GmbH: Transportsysteme (2015), (S. 187))

Ein großer Vorteil dieser Systeme ist die einfache Grundkonstruktion und die niedrige Bauhöhe. Ein deutlicher Nachteil dieser Wägen stellt aber die Empfindlichkeit gegen Verschmutzung des Systems dar. Die kleinen Rollen oder Kugeln sowie das geringe Spiel zwischen den Rollen bzw. Kugeln erlauben nur wenig Verschmutzung der Schienen. Diese Faktoren treten bei einer Überdachung im Freien gewiss auf und die zuverlässige Funktion ist nicht gegeben. Im Bereich geringer Verschmutzungen und geringer Fahrstrecken können diese Systeme aber eingesetzt werden. Weiters ergibt sich ein Problem beim Überfahren von vertikal gebogenen Schienen, da nicht mehr alle Wälzkörper Last aufnehmen können, muss eine Lastreduktion vorgenommen werden.

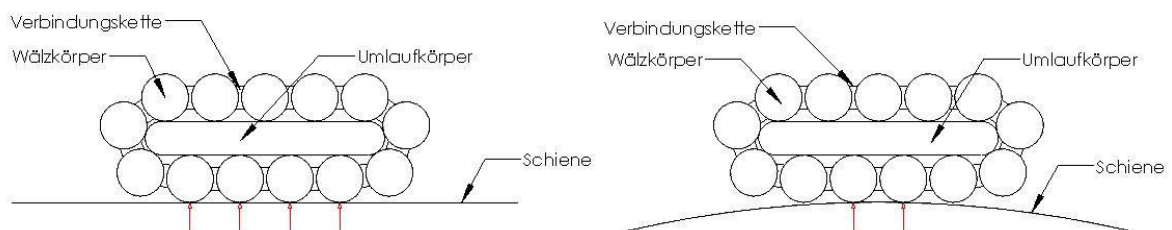


Abbildung 32: Belastung des Umlaufschuhes bei einer gebogenen Schiene

Profilschienen-Führungen

Profilschienen-Führungen stellen bereits fertige Systeme also Schiene und Wagen dar. Diese Systeme werden vorwiegend für sehr präzise Bewegungen mit engen Toleranzen zwischen Schiene und Wagen eingesetzt. Daher sind diese Systeme stark von der Genauigkeit der Unterkonstruktion abhängig. Diese weisen im gängigen Stahlbau aber oft größere Toleranzen auf. Bei längeren Fahrstrecken müssen die Schienenelemente aneinander gereiht werden, wodurch sich geringe Abweichungen an den Stößen bilden können. Durch die engen Toleranzen des Wagens kann dies problematisch werden und es kommt zu sehr aufwendigen Einstellarbeiten. Ähnlich wie bei den Umlaufschuhen sind diese Führungen sehr empfindlich gegenüber Verschmutzungen. Jedoch bei Beschattungen im Innenbereich mit geringen Fahrwegen kann dieses System, wegen seiner guten Laufeigenschaften und Lastaufnahmen, eingesetzt werden. Beim Einsatz dieses Systems im Außenbereich sind häufige und aufwendige Wartungsarbeiten notwendig.



Abbildung 33: Profilschienenführung

(Quelle: <<http://www.pts-automation.de/produkte/linearaktorik/linearfuehrungen/profilschienenfuehrung/>>, 15.09.2015)

7.7 Antriebssysteme und Antriebsart

Die herkömmlichen Linearantriebe wie Gewindeantriebe, Pneumatik- und Hydraulikzylinder können aufgrund ihres begrenzten Hubes nur in Spezialfällen für solch eine Anwendung eingesetzt werden.

Eine oft verwendete Lösung bilden die **Reibantriebe**, die aber nur in Kombination mit der Laufrollen-Führung umgesetzt werden können. Hier wird ein Drehmoment, direkt am Laufrad, über einen Getriebemotor erzeugt und über die Reibung zwischen Rad und Schienen in Bewegung versetzt. Bei dieser Art des Antriebs gibt es bereits fertige Systeme mit einer Vielzahl an möglichen Antriebsleistungen.



Abbildung 34: Reibantrieb

(Quelle: <<http://www.demagcranes.com/Antriebstechnik/Radspektrum/Radsatz-DWS>>, 18.09.2015)

Hierbei muss das Verhältnis von der Belastungsgröße und dem auftretenden Reibungswert genau betrachtet werden denn oft ist die benötigte Reibung größer wie die Vorhandene und so kann kein Reibantrieb eingesetzt werden. Im nachfolgenden, vereinfachten Rechenbeispiel wurden fiktive Werte eingesetzt (nächste Seite).

BEISPIEL:

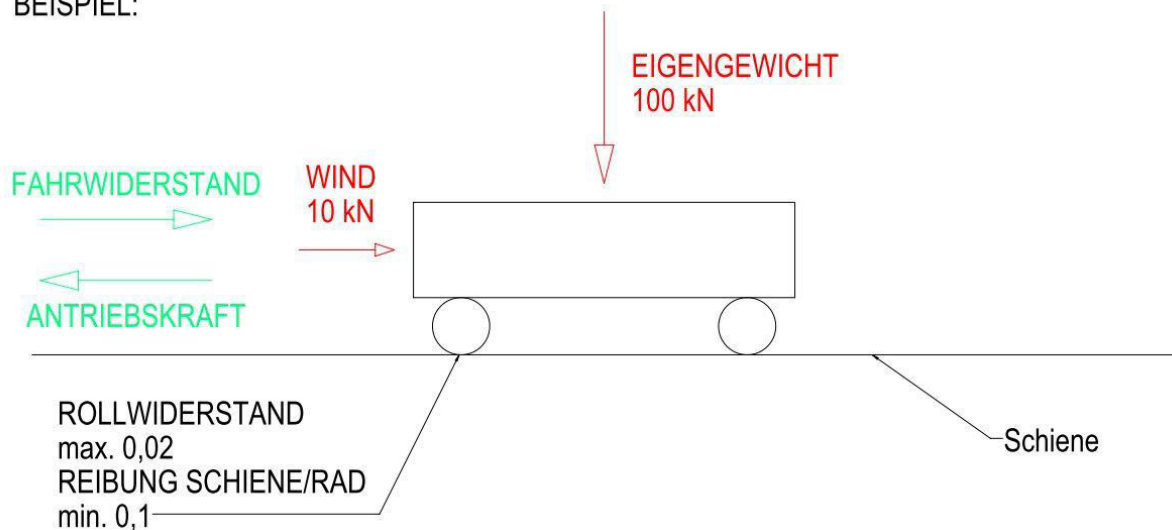


Abbildung 35: Verhältnis von Belastungsgröße und Reibung

*Antriebskraft = Eigengewicht * min. Reibung*

$$F_{Antrieb} = 100.000 \text{ N} * 0,1 = 10.000 \text{ N}$$

*Fahrwiderstand = Eigengewicht * max. Rollwiderstand + Wind*

$$F_{Fahrwiderstand} = 100.000 \text{ N} * 0,02 + 10.000 \text{ N} = 12.000 \text{ N}$$

$$F_{Fahrwiderstand} > F_{Antrieb}$$

Da der Fahrwiderstand größer als die aufgebrachte Antriebskraft ist, kann dieser Reibantrieb in diesem Fall nicht eingesetzt werden. Durch die Erhöhung der Reibung zwischen Rad und Schiene oder des Eigengewichtes könnte das Verhältnis von Antriebskraft und Fahrwiderstand verbessert werden.

Durch den Einsatz dieser Reibantriebe ist es möglich jeden Fahrwagen einzeln zu steuern und zu bewegen. Es muss jedoch eine Stromversorgung für jeden Antrieb bestehen, welcher mit den Bewegungen des Daches mitgeführt werden muss, was einen Einsatz von Energieketten oder ähnlichen Versorgungssystemen erfordert. Bei Reibantrieben besteht außerdem die Gefahr von auftretendem Schlupf. Als Schlupf wird ein Durchdrehen der Antriebsräder auf der Schiene bezeichnet. Dieser Schlupf wird aufgrund des oben beschriebenen Verhältnisses von Belastungsgröße und Reibung hervorgerufen. Hier kommt es zu Problemen der Positioniergenauigkeit, da der Abgleich von Drehzahlsteuerung bezogen auf den zurückgelegten Weg nicht übereinstimmt. Jedoch kann man diesen Effekt durch das steuerungstechnische Teilen der Fahrtstrecke in kleinere Abschnitte minimieren.

Beim Einsatz von **Windenantrieben** ist nur der erste Fahrwagen bzw. Anschlusspunkt mit dem Windenseil verbunden und die dazwischen liegenden Wagen sind über Verbindungsseile gehalten. Dabei ist nur die Steuerung des ersten Wagens gegeben und die folgenden Wagen werden nur über die Primärbewegung gefahren. Bei komplexeren Fahrschemen, bei denen die Bewegungssteuerung der einzelnen Wagen gefordert ist, kann dieses Antriebssystem nicht verwendet werden. Die Schließbewegung und Öffnungsbewegung wird jeweils von einer Trommelwinde übernommen oder es wird eine Durchlaufwinde platziert, die Bewegungen in beide Richtungen ermöglicht. Beim Bewegen des Daches auf einem Kreisbogen ergeben sich beim Schließvorgang andere Zugkräfte als beim Öffnungsvorgang. So hat der Einsatz von zwei Trommelwinden durchaus seinen Vorteil.

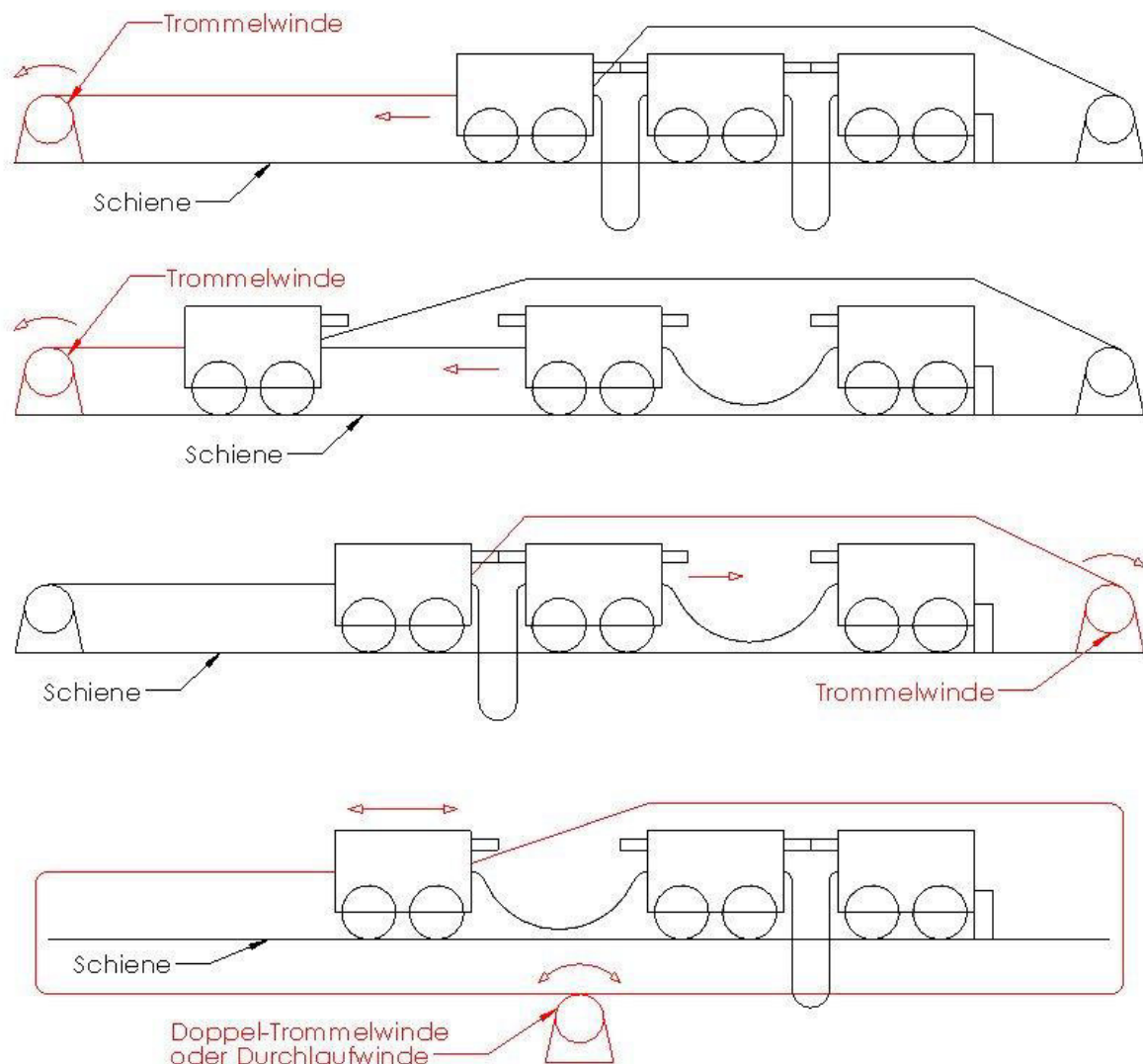


Abbildung 36: Windenantrieb

Die Durchlaufwinde, als auch eine Doppel-Trommelwinde, kann Bewegungen in beide Richtungen realisieren. Die Vorteile der Doppel-Trommelwinde bestehen darin, dass mit ihnen sehr große Lasten gezogen werden können und unzählige Baugrößen und Ausführungen am Markt vorhanden sind. Bei der Durchlaufwinde, die einen Reibantrieb besitzt, können in der Regel nur geringere Lasten bewegt werden, jedoch ist die Breite der Durchlaufwinde nicht

abhängig von der Länge des Seiles und somit sehr kompakt. Das Windenseil muss bei beiden Winden einen Kreislauf bilden und benötigt somit mehrere Seilführungen. Aber wie bei allen Antrieben die auf Reibung basieren, besteht auch hier wieder die Gefahr von auftretendem Schlupf zwischen Winde und Windenseil.

Eine weitere Methode um verschiebbare Dächer zu bewegen sind **Zahnstangenantriebe** und die **Triebstockantriebe**. Bei diesen ähnlichen Systemen wird eine Zahnstange oder ein Triebstock in Richtung der Schienen verlegt und das Stirnrad, das am Fahrwagen befestigt ist und angetrieben wird, sorgt für die lineare Bewegung.



Abbildung 37: Zahnstangenantrieb
(Quelle:
<<http://www.handling.de/special-zur-motek/bilder/zahnstangen-antriebe-zahnstangen-antriebe--getriebe-findet-sein-ritzel-1.htm>>,
20.09.2015)

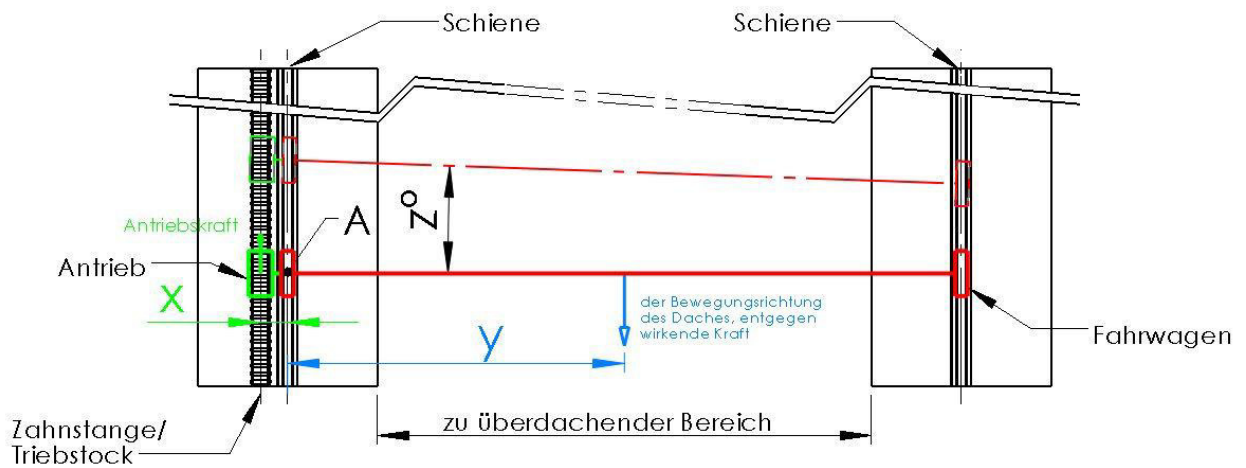


Abbildung 38: Triebstockantrieb
Quelle:
<http://www.henkenjohann.de/de/produktpalette_sonderanfertigung/triebstock/>,
21.09.2015)

Im Gegensatz zu der Zahnstange besteht der Triebstock aus zwei einfachen Wänden die mit einer Anzahl von Bolzen verbunden sind, dies erlaubt eine einfache Herstellung. Die zu übertragenden Lasten und die Fahrgeschwindigkeit sind bei der Triebstockverzahnung geringer als bei den Zahnstangengetrieben. Der entscheidende Vorteil der Triebstockverzahnungen ist aber, dass diese so robust ist, dass so gut wie keine Funktionsstörungen durch Verschmutzung auftreten können. Denn diese Unempfindlichkeit ist wie bei den vorher besprochenen Auslegungssystemen sehr wichtig, um die Funktion des Daches zu gewährleisten. Jedoch erfüllt der Triebstock durch seine vereinfachte Bauweise nicht dieselben Ansprüche, in Bezug auf Verschleißverhalten, Lärmentwicklung und Umlaufgeschwindigkeit wie der Zahnstangenantrieb.

Bei der einseitigen Anordnung des Zahnstangenantriebs bzw. des Triebstockantriebs ist zu beachten, dass sich durch diesen einseitigen Antrieb ein Moment ergibt, welches zu Schrägstellungen des Daches oder zur Überlastung der seitlichen Führungsrollen führen kann. Dieses Problem kann durch einen zweiten, symmetrisch angeordneten, Antrieb gelöst

werden. Bei einseitigem Antrieb muss die Position der Zahnstange oder des Triebstocks so gewählt werden, dass das Moment so klein als möglich gehalten wird. Eine Verbesserung wird durch Anordnung des Triebstockes rechts (im Beispiel unten) von der Schiene erzielt, da sich die Momente dann nicht mehr addieren sondern voneinander abgezogen werden. (siehe Abbildung)



$$\text{Moment um Punkt A} = F\text{-Antrieb} * X + F\text{-Rückhalt} * Y$$

Abbildung 39: Schrägstellung bei einseitigem Antrieb

Ein weiteres System für den Antrieb für schienengeführte bewegliche Dächer ist die Anwendung eines **hydraulischen Gleitsystems**. Hier wird das Funktionsprinzip eines Litzenhebers verwendet, jedoch nicht für vertikale sondern horizontale Bewegungen. In der nachstehenden Abbildung wird die Funktion schrittweise beschrieben.

Im ersten Schritt ist der Ankerwagen, der ebenfalls auf der Schiene sitzt, fest mit der Schiene verbunden. Durch die Hydraulikzylinder drückt sich der Fahrwagen vom Ankerwagen weg und bewegt sich auf der Schiene (Schritt 2). Im dritten Schritt wird die Verbindung des Ankerwagens mit der Schiene gelöst und der Ankerwagen zieht sich durch die Hydraulikzylinder wieder an den Fahrwagen heran. Nun stellt der Ankerwagen wieder eine Verbindung zur Schiene her und die schrittweise Bewegung beginnt von neuem (Schritt 4).

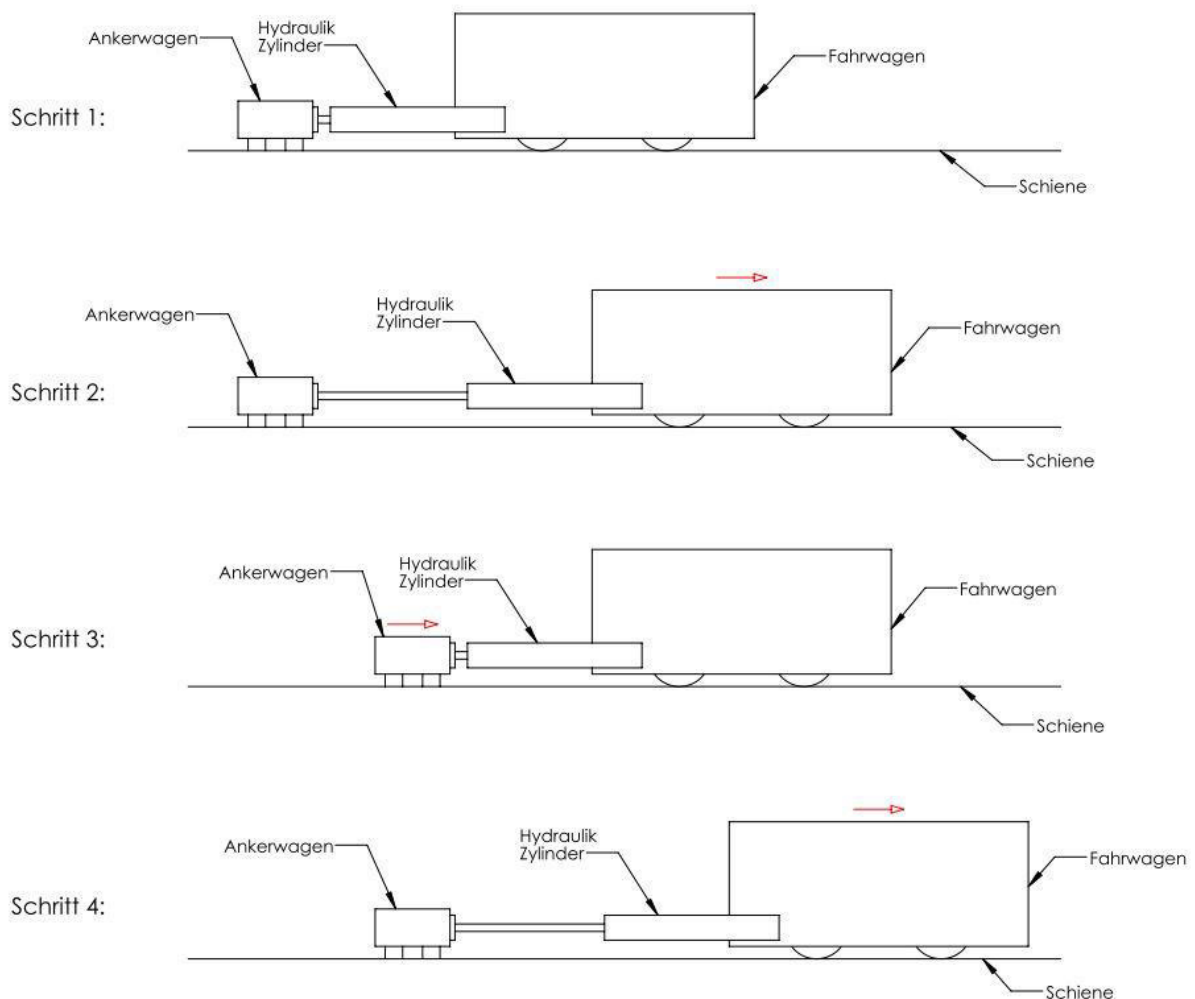


Abbildung 40: Funktion – hydraulisches Gleitsystem

Durch die Länge der Hydraulikzylinder wird der Hub bestimmt d.h. es ist keine fließende Bewegung möglich und die Öffnungs- bzw. Schließgeschwindigkeit ist langsam. Dieses System wird aber nur angewendet, wenn das Dach aus festen verschiebbaren Elementen besteht und dadurch nur ein Antrieb notwendig ist. Wenn mehrere eigengesteuerte Fahrwägen notwendig sind, ist der Einsatz von mehreren hydraulischen Gleitsystemen nicht zielführend, denn das Anbringen von vielen kleineren Aggregaten und anderen zusätzlich benötigten Bauteilen ist aufwendig und teuer.

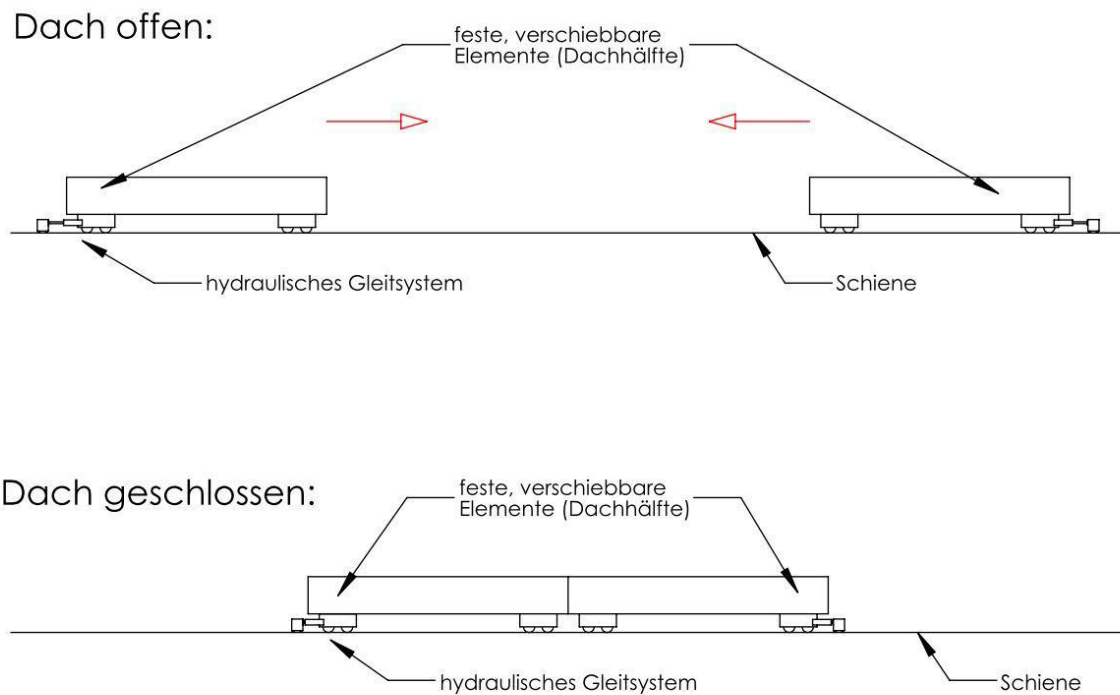


Abbildung 41: Fahrschema – hydraulisches Gleitsystem

7.8 Bremssysteme

Bei den Bremssystemen unterscheidet man grundsätzlich zwischen Betriebsbremse und Sicherheitsbremse. Die Betriebsbremse ist jene Bremse die für den Stillstand des Daches verantwortlich ist, also im Regelfall das Antriebssystem. Beim Auftreten einer Störung des Daches oder eines unvorhersehbaren Fehlers, muss jedoch ein sofortiger Stillstand des Daches gewährleistet werden. Für solche Fälle wird eine eigene Sicherheitsbremse verwendet. Ein Beispiel für die Betriebsbremse ist bei der Verwendung von elektromechanischen Laufrollenantrieb die Bremse im Getriebemotor oder bei einem Windenantrieb das Sperren der Winde. Jedoch bei den nun behandelten Bremssystemen wird die Sicherheitsbremse erläutert. Sicherheitsbremsen sind so anzuordnen, dass zwischen Bremse und Schiene keine weiteren Bauteile vorhanden sind, um weitere Störelemente auszuschalten. Am Beispiel einer Seilbahn kann man diesen Unterschied sehr deutlich erkennen. Die Betriebsbremse (die Bremse im Getriebemotor), über die die Antriebsscheibe in Rotation versetzt wird, kann zwar die Seilbahn stoppen aber bei einem Defekt des Getriebes kann es dazu kommen, dass die Betriebsbremse ihre Wirkung verliert. Daher setzt man die Sicherheitsbremse direkt an die Antriebsscheibe um dazwischen liegende Bauteile, die die Wirkung der Bremse beeinflussen können, zu übergehen.

Grundsätzlich arbeiten die Schienenbremsen immer nach dem Prinzip der Reibung. Auch bei diesen Systemen gibt es am Markt etablierte fertige Bremssysteme. Unterschieden werden die Systeme nach Richtung und Angriffspunkt der Kräfte und der Art der Offenhaltung der Bremse. Diese mechanisch vorgespannten Systeme können elektromechanisch oder elektrohydraulisch offen gehalten werden.

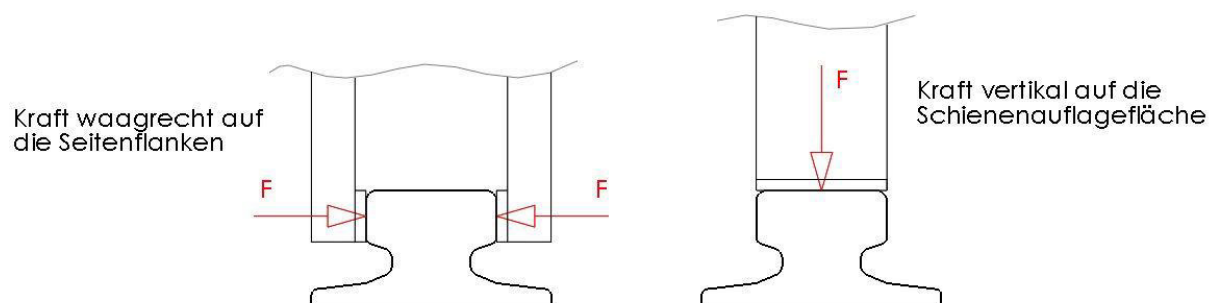


Abbildung 42: Bremssysteme

Links ist das Prinzip einer Zangenbremse dargestellt und in der rechten Abbildung das Prinzip einer linear wirkenden Schienenbremse. Beide Systeme können elektromechanisch oder elektrohydraulisch (Zylinder) offen gehalten werden. Die Baugrößen, bezogen auf die Bremskräfte der unterschiedlichen Systeme, ergeben nur eine geringe Abweichung und werden je nach Platzbedarf gewählt. Der Nachteil bei Bremsen die auf die Schienenoberfläche wirken liegt darin, dass sie das Gewicht des Daches nutzen um ihre Reibung aufzubauen aber daher auch nicht gegen große abhebende Lasten geeignet sind. Man versucht das System der Sicherheitsbremse so einfach und kostengünstig zu gestalten aber trotzdem, im Störfall des Daches, einen sicheren Stillstand zu ermöglichen.

8 Theoretische Grundlagen - Bewegungsaufnahme

8.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird versucht Lösungsmöglichkeiten zu suchen, um die auftretenden Bewegungen an der Lagerung (Fahrwagen) eines schienengeführten verschiebbaren Daches zu ermöglichen. Es werden immer mehrere Lösungsansätze in Betracht gezogen und beschrieben. Ziel ist es ein passendes System für die anstehenden Anforderungen zu finden.

Die auftretenden Bewegungen setzen sich zusammen aus Bewegungen in

- Z-Richtung
- Y-Richtung

und Rotationen um

- Rotation um die X-Achse
- Rotation um die Y-Achse
- Rotation um die Z-Achse

Die angegebenen Achsenbezeichnungen beziehen sich auf die untenstehende Abbildung. Die Bewegung in X-Richtung ist die gewünschte Fahrtrichtung des Daches und wird daher oben nicht angeführt.

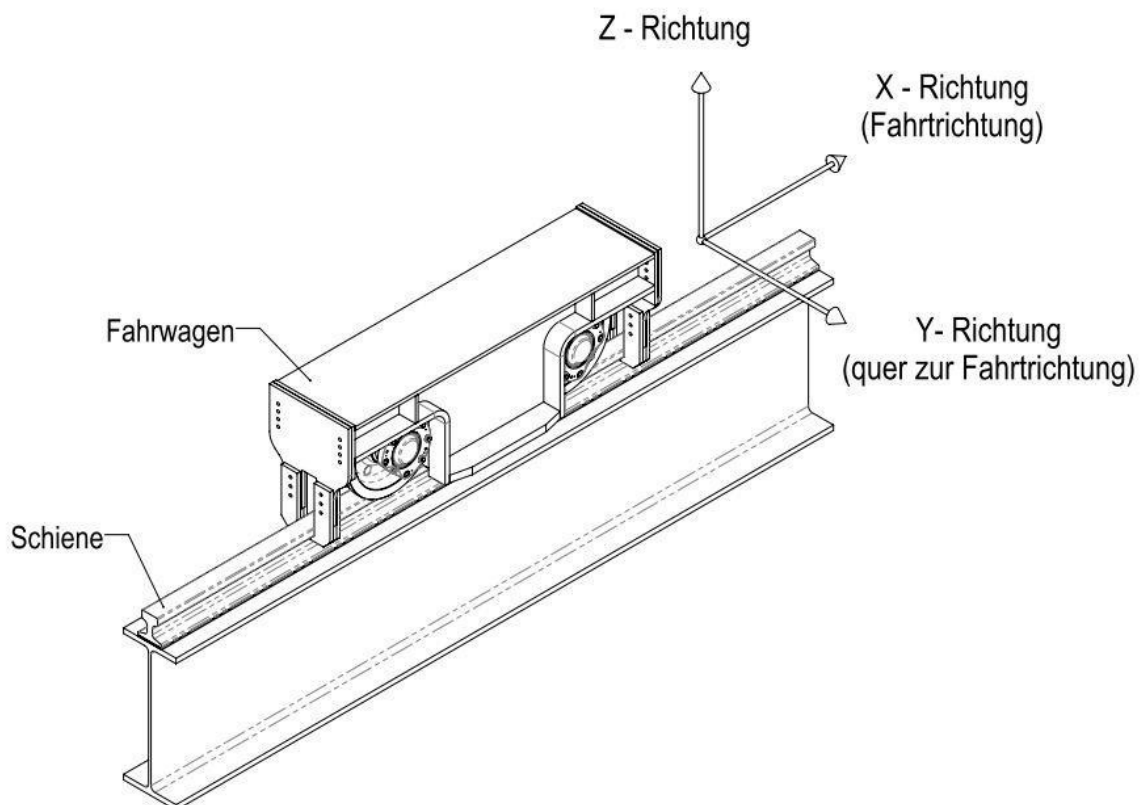


Abbildung 43: Achsenbezeichnung

8.2 Bewegung in Z-Richtung

Normalerweise ist die Belastung in Z-Richtung, die gesamte Last der Dachkonstruktion die sich über die Fahrwagen auf die Unterkonstruktion überträgt und dadurch keine Bewegungen in dieser Richtung auftreten. Jedoch kommen bei solchen Bauwerken oft Lasten aufgrund von Schnee, Sand, Hagel oder Wind vor. Bei einem beweglichen Dach kann es, durch Windsog, zu abhebenden Kräften kommen. Solange diese Kräfte, während der Fahrt, geringer sind als das Gesamtgewicht des Daches müssen keine Maßnahmen zur dynamischen Abhebesicherung getroffen werden. Bei großen abhebenden Kräften werden folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen:

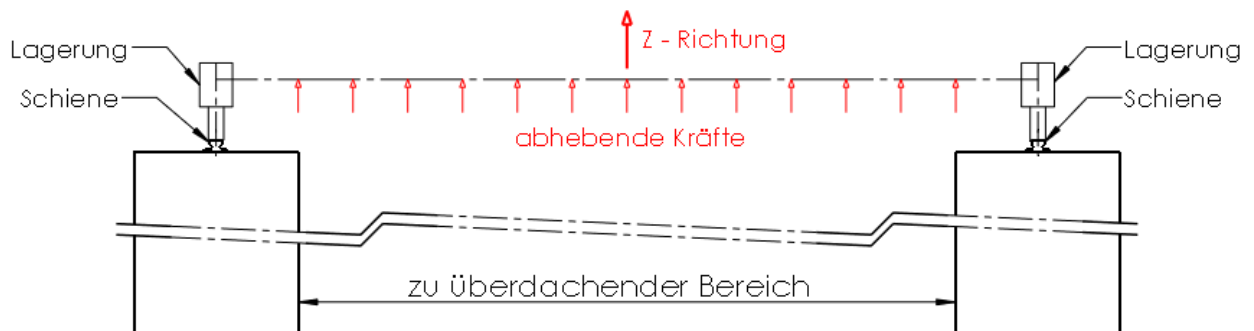


Abbildung 44: abhebende Kräfte

Schienezangen / Abhebezangen

Die Schienezange ist die einfachste und kostengünstigste Lösung um eine Abhebesicherung zu realisieren. Sie kommen dann zum Einsatz wenn die abhebenden Kräfte nur im statischen Betrieb auftreten d.h. im komplett geschlossen oder komplett geöffneten Zustand des Daches. Das Fahren des Daches ist oft nur bei geringen Windgeschwindigkeiten erfordert jedoch im statischen Zustand muss das Dach auch Stürmen und anderen Umwelteinflüssen standhalten können. Hier entsteht zwischen der Schiene und der Schienezange eine formschlüssige Verbindung um das Abheben zu verhindern. Deswegen wird die Schienezange bevorzugt im statischen Bereich eingesetzt, da es beim Verfahren zu hohen zusätzlichen Reibkräften und Verschleißerscheinungen kommt.

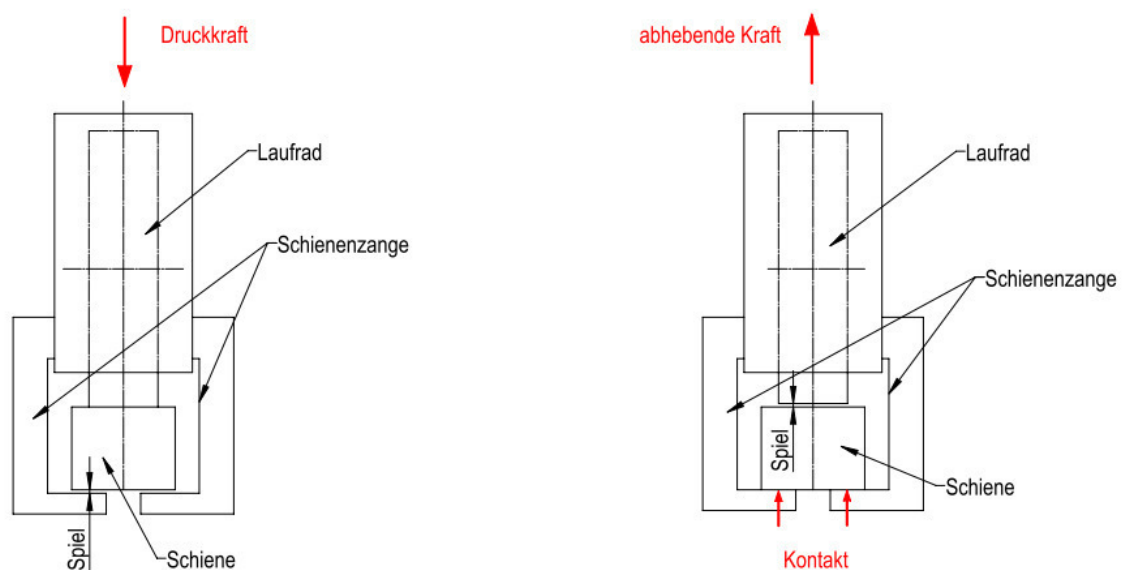


Abbildung 45: Schienezangen

Abheberollen

Wenn die abhebenden Kräfte bereits beim Verfahren des Daches auftreten, kommen die Abheberollen zum Einsatz. Hier werden Laufrollen direkt auf die Unterseite der Schiene oder der Unterkonstruktion angebracht. So laufen die Rollen mit geringer Reibung stetig mit und werden auf die Unterseite der Schiene bzw. Unterkonstruktion gedrückt, um so die Kräfte übertragen zu können. Damit können auch Kräfte beim Verfahren mit geringer Reibung übertragen werden.

Bei beiden Varianten muss gewährleistet sein, dass die Verbindung der Schiene mit der Unterkonstruktion ebenfalls diesen abhebenden Kräften standhält.

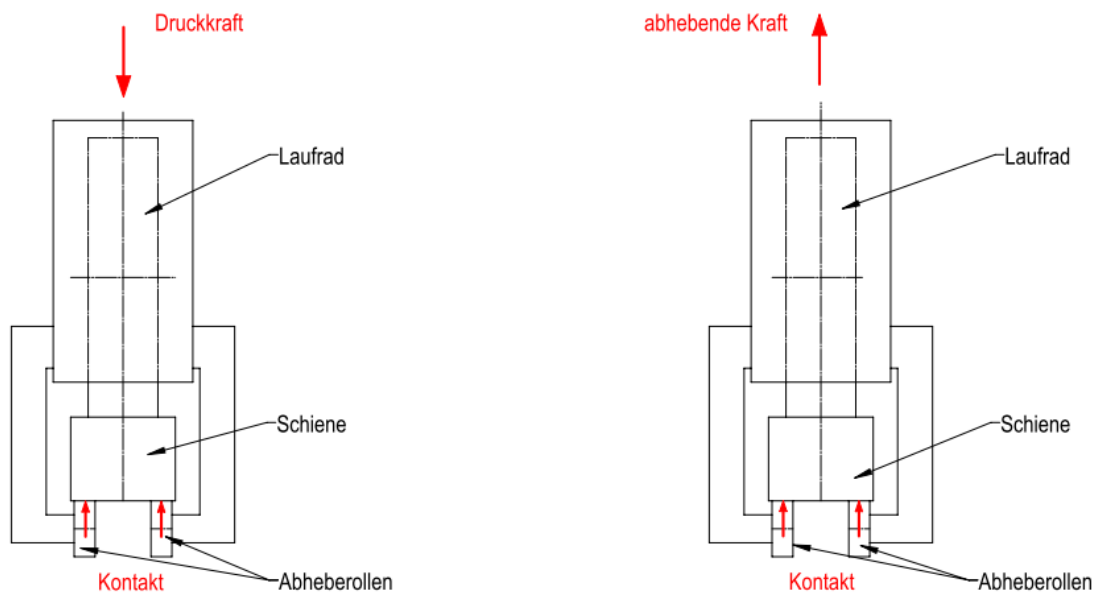


Abbildung 46: Abheberollen

8.3 Bewegung in Y-Richtung

Die Bewegung in Y-Richtung beschreibt die Bewegungen die durch Kräfte, die quer zu Fahrtrichtung des Daches wirken, hervorgerufen werden.

Die Bewegung in Y-Richtung beschränkt sich immer nur auf eine Seite des Daches, da auch hier das Prinzip von Festlager und Loslager angewendet wird. Dabei ist eine Seite des Daches, also alle Fahrwagen, in Y-Richtung fixiert und die andere Seite ermöglicht die Bewegungsaufnahme (Loslager). Zudem ermöglicht die definierte Teilung von Fest- und Loslager, in Kombination mit Führungsrollen, die genaue Positionierung der Lagerung auf der Schiene.

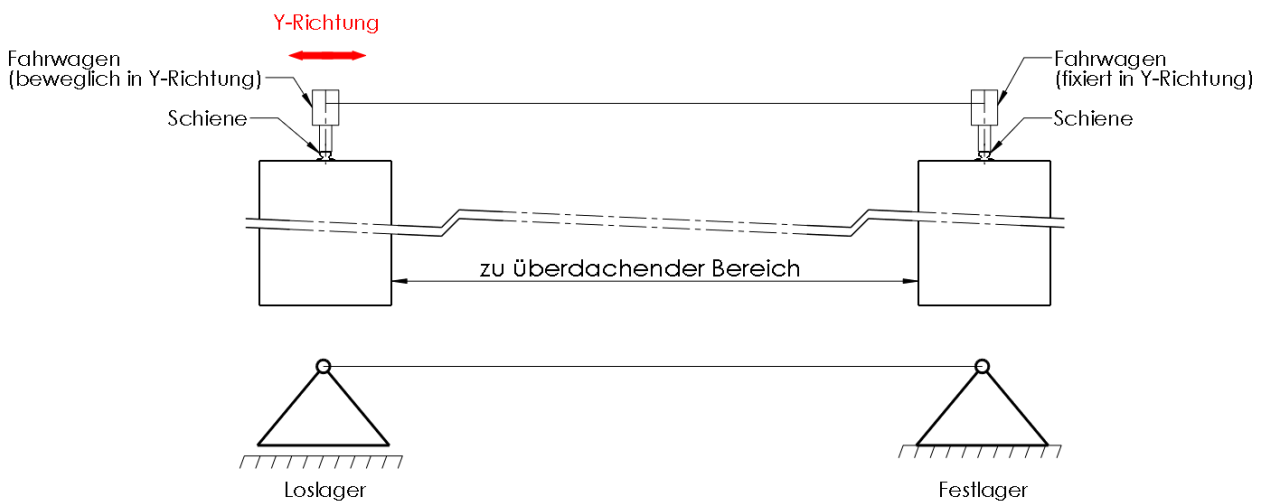


Abbildung 47: Fest- und Loslager

Die Ursachen für diese Bewegungen in Y-Richtung sind Fertigungstoleranz der großen Bauwerke, Ungenauigkeiten der Unterkonstruktion, Temperaturdehnungen und Schwingungen / Verformungen die z.B. von Erdbeben oder Wind hervorgerufen werden.

8.3.1 Führungsrollen

Führungsrollen können keine Bewegungen in Y-Richtung aufnehmen können aber bei kleineren beweglichen Dächern doch zum Einsatz, da sich bei kleinen Spannweiten und geringen Temperaturschwankungen keine wesentliche Ungenauigkeiten und Temperaturdehnungen ergeben. Hier werden die auftretenden Kräfte, die durch diese Faktoren hervorgerufen werden, über die Führungsrollen in die Schiene übertragen. Dabei dürfen durch diese Kräfte keine wesentliche Deformationen und in weiterer Folge zu hohe Spannungen entstehen. Ansonsten muss die Bewegung in Y-Richtung ermöglicht werden. Bei Einleitung der Kräfte in die Schienen muss die Schienenbefestigung ebenfalls geprüft werden.

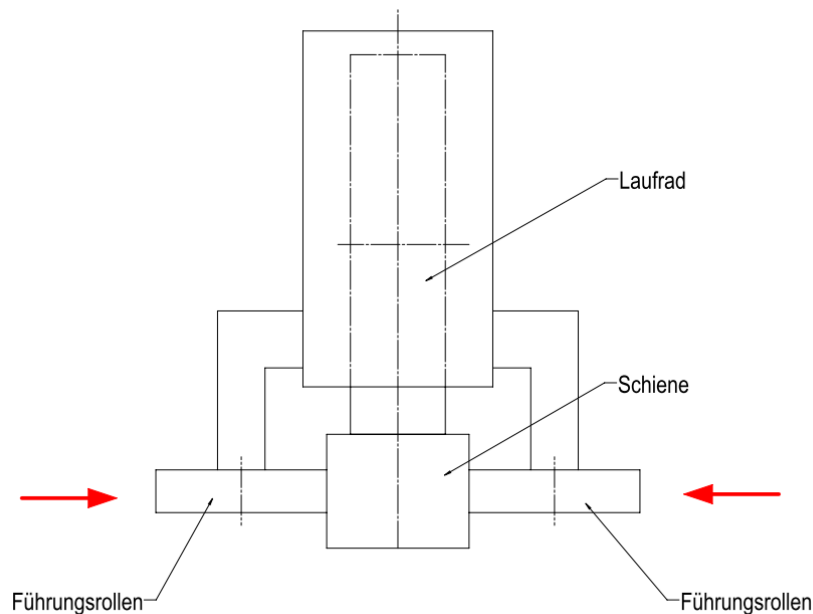


Abbildung 48: Führungsrollen

Aber auch bei Konstruktionen mit Fest- und Loslager müssen auf beiden Seiten Führungsrollen vorgesehen werden. Die Festlagerseite muss alle Kräfte in Y-Richtung, also die Zwängungen und die externen Lasten wie z.B. Windlasten, aufnehmen können. Die Loslager Seite nimmt maximal die Kraft auf bis zu dem Punkt, an dem die auftretende Kraft gleich groß ist wie die Reibungskraft, die überwunden werden muss, um die Bewegung in der Lagerung in Y-Richtung zu ermöglichen. Wenn die auftretende Kraft größer ist, setzt sich das Dach in Y-Richtung in Bewegung (es fängt an in Y-Richtung zu gleiten).

8.3.2 Gleitführungen

Bei den Gleitführungen werden Gleitelemente zur Übertragung der Kräfte genutzt. Durch die relativ große Kontaktfläche können auch große Kräfte mit geringer Flächenpressung übertragen werden. Dabei entsteht aber auch eine größere Reibung im Gegensatz zu den wälzgelagerten Führungen. Zum Abmildern der Reibung wird häufig ein Schmierstoff hinzugefügt.

Gleitplatte

Die einfachste und kostengünstigste Variante ist der Einsatz von Gleitplatten. Dabei wird eine Gleitplatte mit Führungen auf dem Fahrwagen montiert und der Anschlussträger (meist der Träger, der sich über die zu überdachende Breite erstreckt) auf den Wagen gelegt. Durch die große Fläche und mäßigen Reibungseigenschaften der Gleitplatte werden die Querkräfte, bis zum „Rutschen“ des Trägers, sehr hoch. Ebenso nachteilig ist, dass bei Gleitführungen die Haftreibung um einiges größer als die Gleitreibung ist und damit der ruckartige Haftgleit-Effekt (Stick-Slip Effekt) auftritt und so keine flüssige Bewegung möglich ist. Jedoch mit dem Einsatz von Kunststoff-Gleitplatten aus Polytetrafluorethylen (PTFE) oder ähnlichen modernen Kunststoff-Verbindungen können sehr niedrige Reibwerte erreicht werden. Zusätzlich ist die Haftreibung des PTFE nahezu gleich groß wie die Gleitreibung und daher tritt auch kein bzw. nur ein sehr geringer Haftgleit-Effekt auf.

Gleitrohr-System

Die praxisrelevanteste Ausführung stellt hier das Gleitsystem bestehend aus Gleitrohr, Gleitbolzen und Lagerbuchse dar. Bei diesem System wird der Gleitbolzen direkt am Fahrwagen fixiert. Das Gleitrohr wiederum wird direkt an dem Anschlussträger angebracht. Im Gleitrohr werden Lagerbuchsen eingesetzt die den Lagerkontakt mit den Bolzen herstellen. Zur Verbesserung der Reibungseigenschaften kann das Gleitrohr zusätzlich mit einem Schmierstoff gefüllt werden. Hierbei können Standardprodukte aus dem Hydraulikzylinderbau verwendet werden.

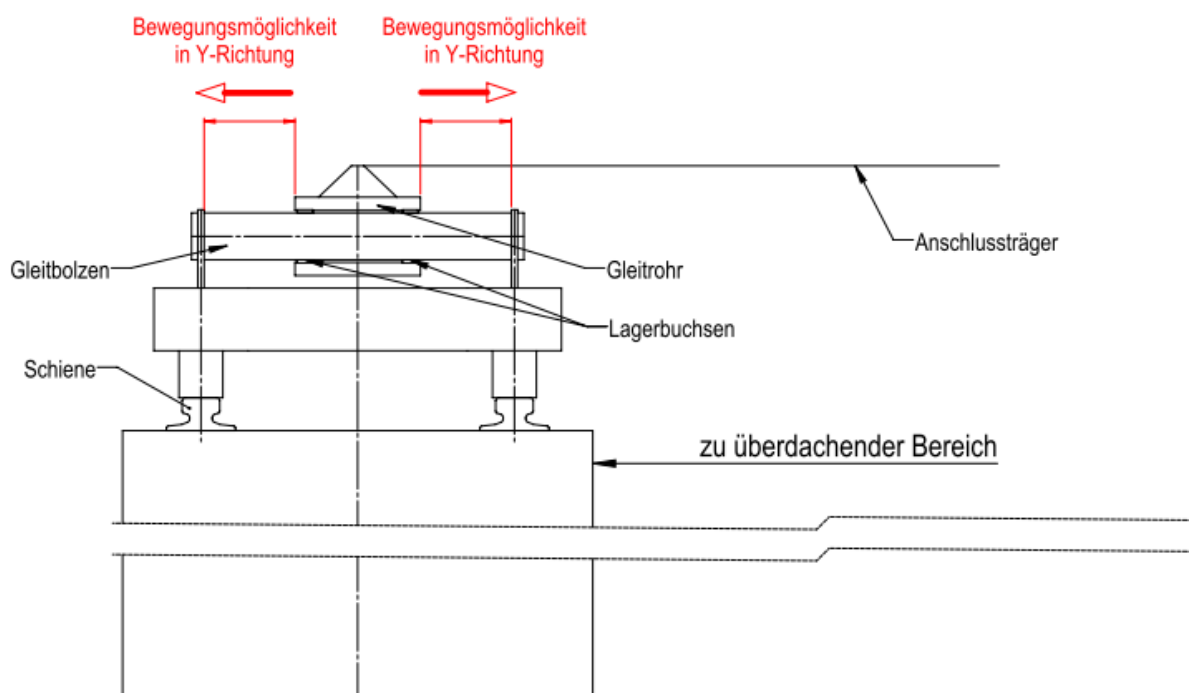


Abbildung 49: Gleitrohr-System

Dieses System ist ebenfalls eine sehr einfache und auch reibungsarme Lösung und findet daher auch in der Praxis seine Anwendung.

8.3.3 Wälzführungen

Bei den Wälzführungen werden Wälzkörper (Kugeln, Rollen,...) dazu verwendet, um lineare Bewegungen der Bauteile zueinander zu ermöglichen. Die Reibwerte der Wälzkörper sind viel geringer und daher ist auch ein sanftes Anlaufen realisierbar und es tritt kein Haftgleit-Effekt auf. Der Einsatz von Wälzführungen beschränkt sich im Wesentlichen auf die Verwendung von Rollenumlaufschuhen, da diese im Gegensatz zu den Laufrollen bei selber Belastung eine wesentlich geringere Bauhöhe haben. Hier werden die Rollenumlaufschuhe ebenfalls fest mit dem Anschlussträger verbunden. Jedoch muss eine zusätzliche Abhebesicherung eingebaut werden, wenn abhebenden Kräfte auftreten, denn der Anschlussträger mit den Rollenumlaufschuhen liegt nur auf dem Fahrwagen auf. Bei dem vorher genannten Gleitrohr System muss keine Abhebesicherung vorgesehen werden, da die Verbindung mit Bolzen und Gleitrohr auch abhebende Kräfte aufnehmen kann.

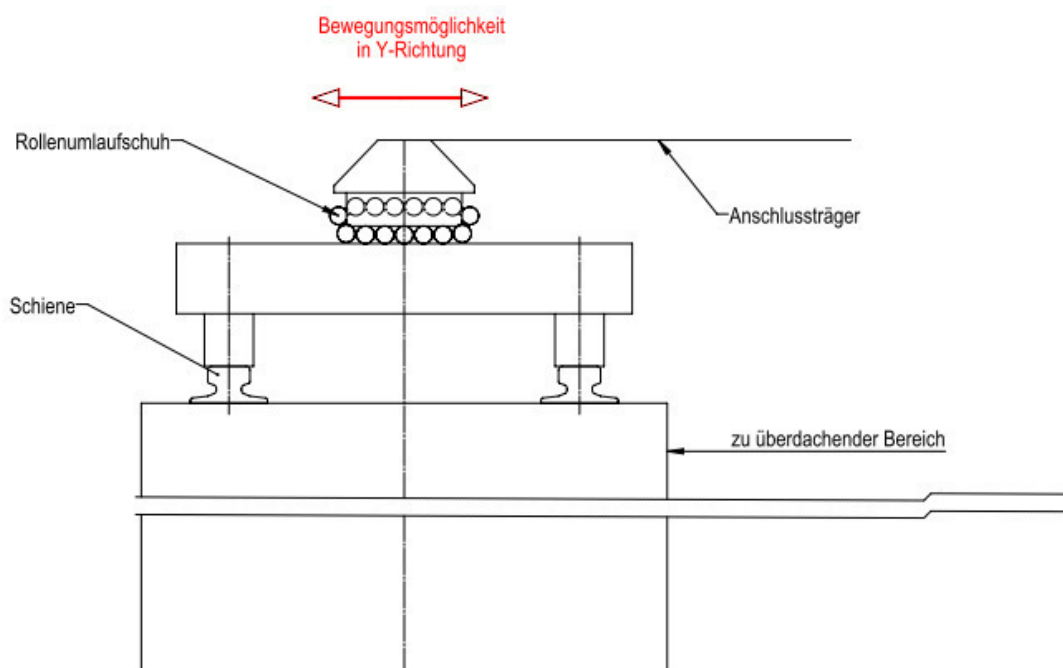


Abbildung 50: Wälzführung

8.3.4 Pendelsystem

Bei einer Konstruktion mit Pendelsystem wird der Anschlussträger durch Pendelstangen beweglich auf dem Fahrwagen aufgehängt. Hierbei sind die nötigen Kräfte, um das Dach in Y-Richtung zu bewegen, sehr gering. Der freihängende Träger ist dadurch sehr leicht in Schwingung zu versetzen und daher müssen zusätzlich Schwingungsdämpfer eingesetzt werden.

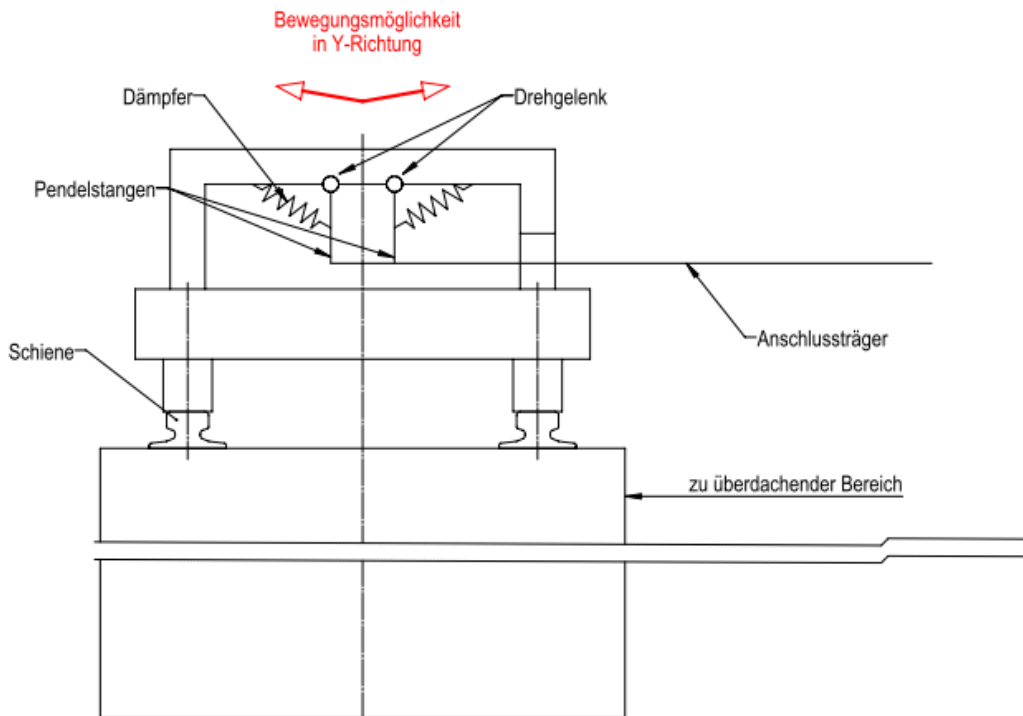


Abbildung 51: Pendelsystem

Es ist zu beachten, dass durch die Pendelstange eigentlich keine reine Bewegung in Y-Richtung möglich ist sondern sich der Anschlussträger auf einer Kreisbahn bewegt. Der Radius der Kreisbahn und somit auch die Bewegungsmöglichkeit in Y-Richtung wird über die Länge der Pendelstange bestimmt. Die Länge der Pendelstange bestimmt aber auch die Bauhöhe des Fahrwagens d.h. je länger die Pendelstange, desto größer die Bauhöhe des Fahrwagens.

8.4 Rotation um die X-Achse

Die Rotation um die X-Achse beschreibt die Durchbiegung des Anschlussträgers. Diese Durchbiegung wird durch das Eigengewicht des Trägers und durch externe Lasten wie z.B. Schneelasten bestimmt. Die maximale vertikale Verformung der Dächer wird jedoch durch empfohlene Grenzwerte in den entsprechenden Normen begrenzt. Die Durchbiegung des Trägers ist zwar verhältnismäßig gering aber bei großen Spannweite des beweglichen Daches kann die Durchbiegung doch beträchtliche Werte annehmen. Um die Rotation um die X-Achse zu ermöglichen können folgende Maßnahmen getroffen werden.

Rotationsgelenk

Die einfachste Möglichkeit ist es, den Anschlussträger auf beiden Seiten mit einem Bolzen drehbar am Fahrwagen aufzuhängen. Durch dieses Drehgelenk kann sich der Anschlussträger problemlos durchbiegen ohne die Stellung des Fahrwagens auf der Schiene zu beeinflussen. Durch diese Durchbiegung des Anschlussträgers wird seine Länge verändert. Daher ist die einseitige Bewegungsfreiheit in Y-Richtung wichtig. Zu beachten ist jedoch, dass diese Rotationsgelenke nur bei einer 2-2 Schienenanordnung realisierbar sind, wie in Kapitel „7.2 Schienenanordnung“ gezeigt wird. Bei einer 1-1 Schienenanordnung wird die Drehung um die X-Achse auf der Schiene ermöglicht.

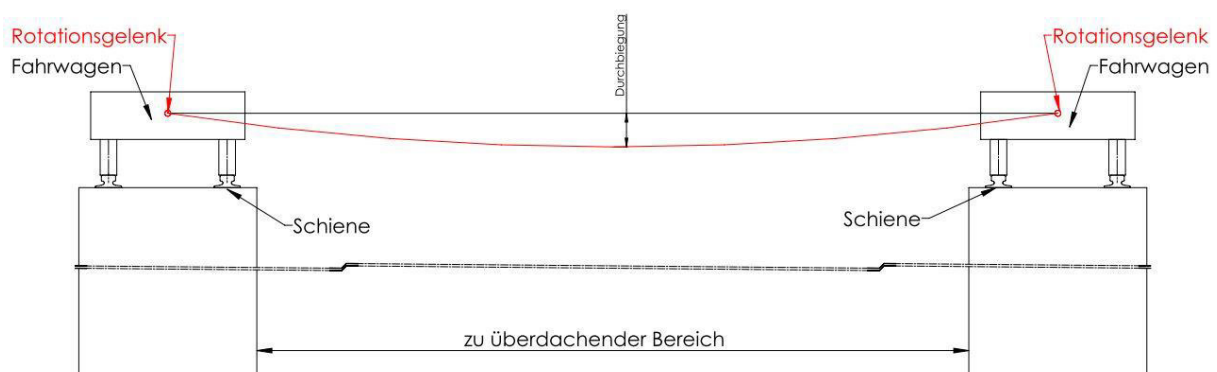


Abbildung 52: Rotationsgelenk

Ballige Laufräder oder ballige Schiene

Eine Möglichkeit um die Rotation um die X-Achse bei einer 1-1 Schienenanordnung aufzunehmen zu können sind ballige Laufräder oder eine ballige Schiene. Hier ist der Anschlussträger starr mit dem Fahrwagen verbunden und durch die Durchbiegung des Anschlussträgers verdreht sich das Laufrad auf der Schiene. Durch das ballige Laufrad /Schiene können die Kräfte, des Laufrades auf die Schiene, auch bei geringen Winkelabweichungen optimal übertragen werden. Jedoch liegt jetzt keine Linienbelastung von dem Laufrad auf der Schiene vor, sondern nur mehr eine Punktbelastung, was zu Lastreduktionen führt. Der Aufwand zum Fertigen der balligen Laufräder oder einer balligen Schiene ist aber im Verhältnis zu dem Rotationsgelenk sehr aufwändig und teuer. Doch unter bestimmten Voraussetzungen werden diese realisiert. Die Vignol - bzw. Kranschiene sind in sehr kleinem Maße ballig ausgeführt. Dabei kann bei großer Steifigkeit bzw. kleiner Durchbiegung des Anschlussträgers

auch eine Rotation um die X-Achse ohne den Einsatz von balligen Rädern oder Sonderbauformen der Schiene erfolgen.

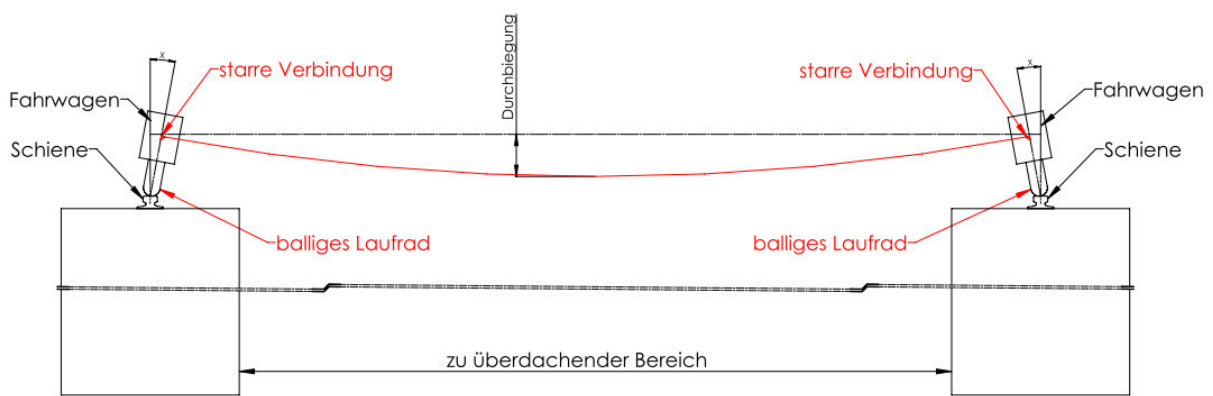


Abbildung 53: ballige Laufräder

Ballige Laufräder und ballige Schiene

Um eine Lastreduktion bei balligen Laufrädern zu vermeiden kann auch die Schiene ballig ausgeführt werden, um wieder eine Quasi-Linienbelastung des Laufrades auf der Schiene herzustellen. Diese Ausführung ist natürlich nur bei speziellen Schienenarten (Standard - Stahlprofile oder Sonderbauformen) realisierbar. Dieses System spielt bei größeren wandelbaren Dächern eher eine untergeordnete Rolle, da sich für die großen zu bewegenden Lasten meist andere Schienenarten ergeben. Jedoch bei kleineren Dächern mit wesentlich geringeren Lasten kann es durchaus wirtschaftlich sein Standard Rohre als Schiene zu verwenden.

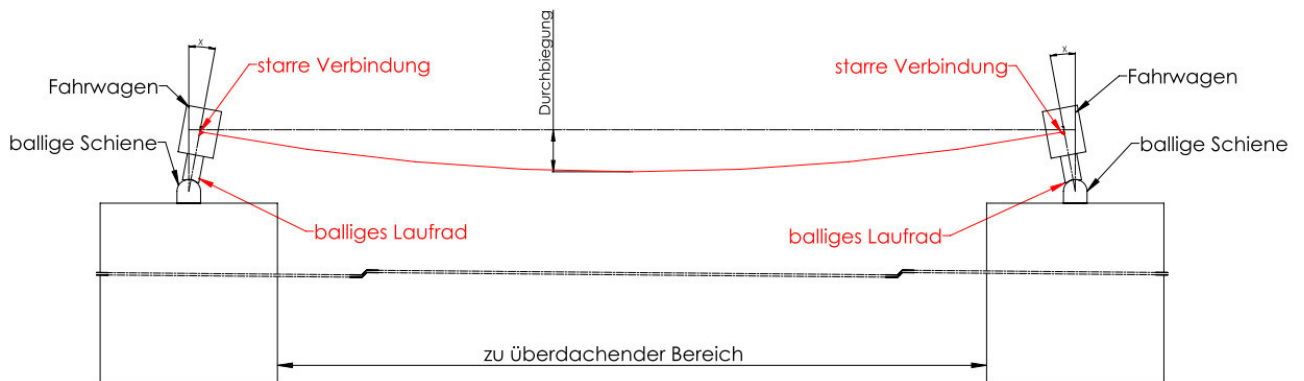


Abbildung 54: ballige Laufräder und ballige Schiene

8.5 Rotation um die Y-Achse

Die Rotation um die Y-Achse stellt das Kippen des Anschlussträgers dar. Das Kippen des Trägers kann eine ungleichmäßige Verteilung der Kräfte auf die Lagerung (Laufräder) bewirken. Dies kann dazu führen, dass eine Seite des Fahrwagens die gesamte Last des Daches in Z-Richtung tragen muss und es bei der anderen Seite zu abhebenden Kräften kommt. Dieses Kippmoment hängt von der Lage und Geometrie des Anschlussträgers ab. Jedoch sollte der Schwerpunkt des Anschlussträgers so nah wie möglich (in Z-Richtung) an der Oberkante der Schiene sein, um das Kippmoment so klein als möglich zu halten. Die Rotation um die Y-Achse ruft also wieder Kräfte bzw. Bewegungen in der Z-Richtung hervor. Diese müssen bei der Dimensionierung der Laufrollen berücksichtigt werden.

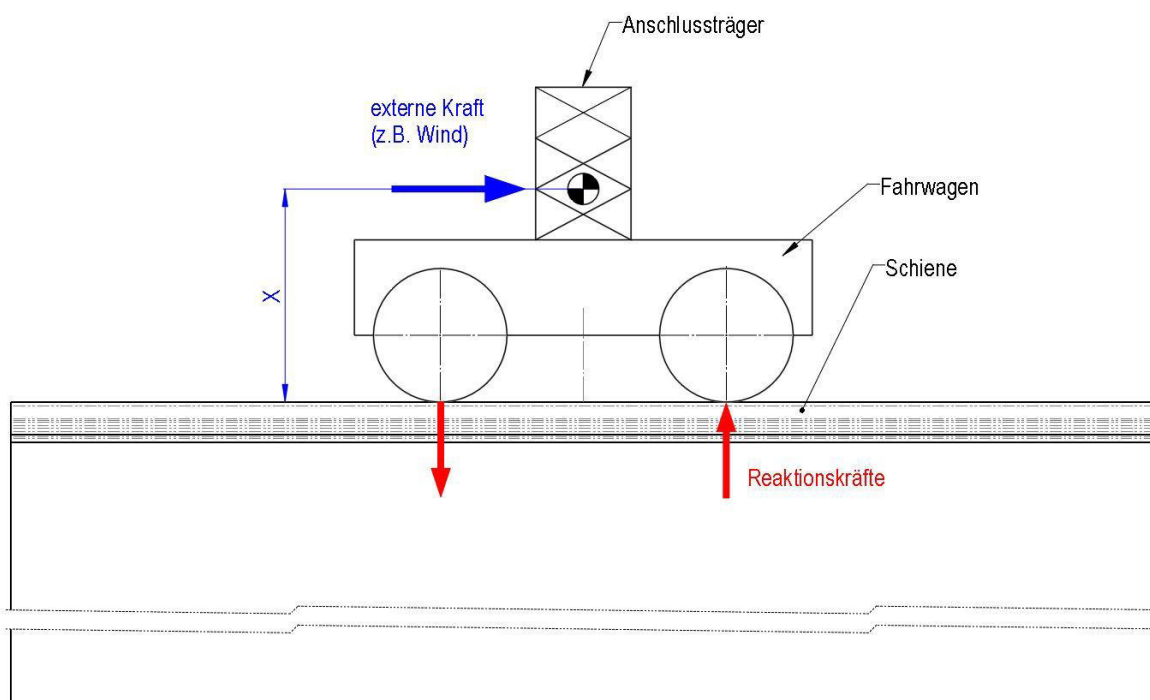


Abbildung 55: Rotation um Y-Achse

8.6 Rotation um die Z-Achse

Rotationen um die Z-Achse werden hervorgerufen, wenn eine Seite des Daches sich ungleich zur anderen bewegt. Die Ursachen für solche Differenzen zwischen den Seiten sind oft Fertigungsungenauigkeiten aber auch die Art und Positioniergenauigkeit des Antriebes spielt eine wesentliche Rolle. Z.B. bei Windenantrieben kann es durch ungleichmäßige Seilbelastungen der einzelnen Seite auch zu verschiedenen Längenänderungen im Seil kommen. Die Winkelabweichung, die dadurch hervorgerufen wird, ist jedoch wegen den meist großen Spannweiten der verschiebbaren Dächer sehr gering und kann teilweise vernachlässigt werden. Um größere Abweichungen ausgleichen zu können muss die Rotation um die Z-Achse freigegeben werden.

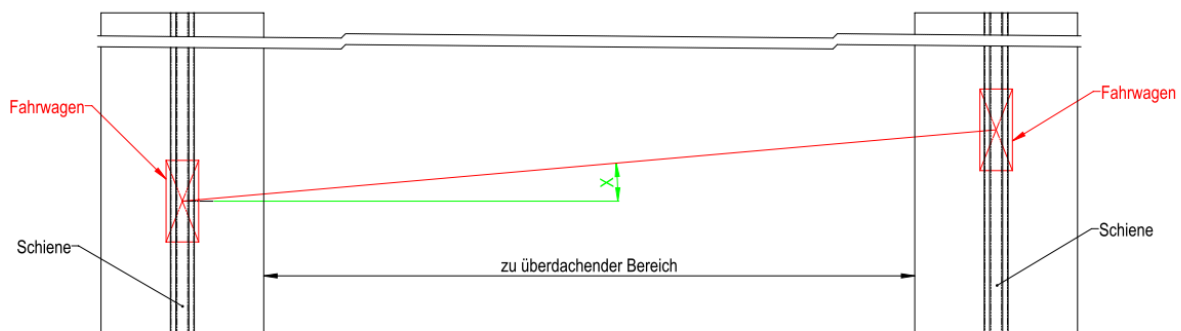


Abbildung 56: Rotation um Z-Achse

Drehgelenk mit Gleitplatte

Um die Drehung um die Z-Achse zu ermöglichen wird der Fahrwagen-Oberteil mit dem Unterteil durch einen Bolzen (Drehgelenk), um welchen sich der Fahrwagen-Oberteil drehen kann, verbunden. Die meist großen Lasten in Z-Richtung (Eigengewicht) würden eine sehr große Reibung, bei der Rotation zwischen dem Ober- und Unterteil entstehen lassen, sodass eine Gleitplatte zwischen diesen beiden Teilen montiert wird, um die Reibung so gering als möglich zu halten. Der Drehbolzen muss beim Auftreten von abhebenden Kräften durch einen Deckel oder sonstige Vorrichtungen gesichert werden. Bei der Auslegung der Bolzenverbindung ist zu beachten, dass diese aber auch die Kräfte in Y-Richtung von dem Anschlussträger in den Fahrwagen-Unterteil und somit auf die Führungsrollen übertragen muss.

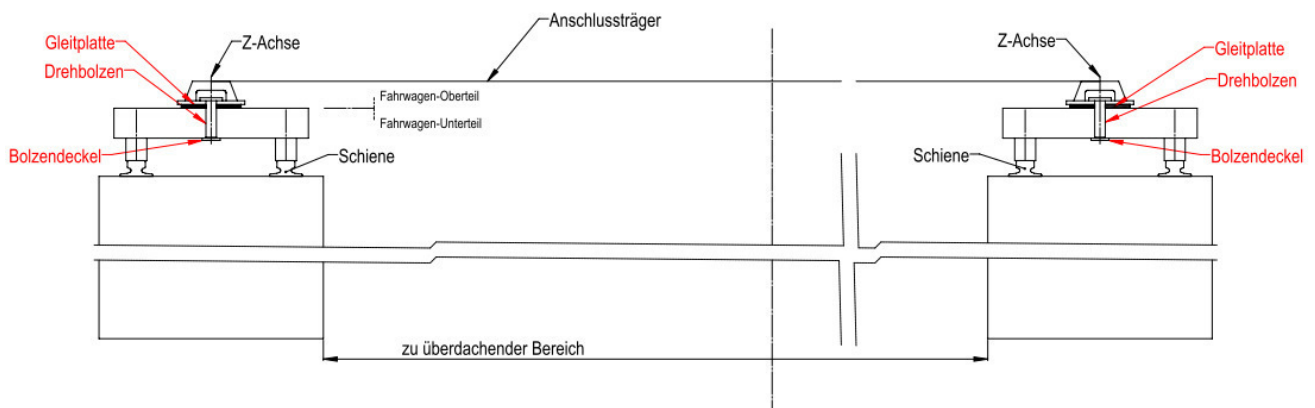


Abbildung 57: Drehgelenk mit Gleitplatte

Kugeldrehkranz

Die Kugeldrehkränze garantieren durch ihre Wälzföhrung eine wesentlich geringere Reibung und somit die bessere Drehbarkeit des Fahrwagen-Oberteils. Der Außenring des Kugeldrehkranzes wird in den Fahrwagen-Unterteil geschraubt und der Innenring mit dem Oberteil verbunden. Mit den nicht selbsthaltenden Axiallagern können keine abhebenden Kräfte übertragen werden, jedoch mit den selbsthaltenden Axiallagern können auch abhebende Kräfte übertragen werden. Zu beachten ist dabei, dass sowohl die Durchbiegung des Anschluss trägers, als auch die Kräfte in Y-Richtung ein Kippmoment zwischen den Axiallagerringen hervorruft. Dies ist bei dem Einsatz von Kugeldrehkränzen, bei schienengeführten wandelbaren Dächern, oft der entscheidende Faktor zur Dimensionierung eines Axiallagers.

Axialkugellager - nicht selbsthaltend

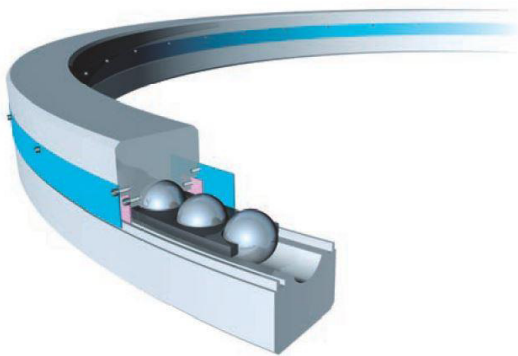


Abbildung 58: Kugeldrehkranz nicht selbsthaltend
(Quelle: Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH: Großwälzlager (2014). Dortmund, (S.18))

Axialkugellager - selbsthaltend



Abbildung 59: Kugeldrehkranz selbsthaltend
(Quelle: Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH: Großwälzlager (2014). Dortmund, (S.24))

8.7 Kombinationen

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten mehrere Bewegungsaufnahmen in einem System zu kombinieren. Dabei gibt es zwei wesentliche Arten, um solche Kombinationssysteme zu ermöglichen. Zum einen den Einsatz von mehreren einzelnen Bewegungsaufnahmen in den jeweiligen Richtungen und zum anderen den Einsatz von Systemen die mehrere verschiedene Bewegungsmöglichkeiten in einem System zusammenfassen.

Der Vorteil von den mehreren, einzelnen Bewegungssystemen liegt darin, dass jedem der Bewegungsrichtungen ein separates System zugeteilt ist und somit die Bewegungen voneinander getrennt sind und auch ein System unabhängig von dem anderen agieren kann. Nachteilig ist aber die komplizierte Bauart und oft platzraubende und schwere Konstruktion des Fahrwagens. Deswegen werden oft die kompakten Mehrbewegungssysteme eingesetzt.

Ein Beispiel für das Aneinanderreihen einzelner Bewegungsaufnahmen wäre der Fahrwagen (Lagerung) mit dem Gleitrohr System, welches über einen Drehbolzen und einer Gleitplatte mit dem Fahrwagen-Unterteil verbunden ist. Dazu wird der Anschluss des Trägers als Rotationsgelenk ausgeführt. So wird die Bewegung in Y-Richtung, Rotation um die X- und Z-Achse durch die Kombination der einzelnen Systeme ermöglicht (siehe Skizze – nur Loslagerseite dargestellt). Hierbei gibt es unzählige Varianten die einzelnen Systeme zu kombinieren.

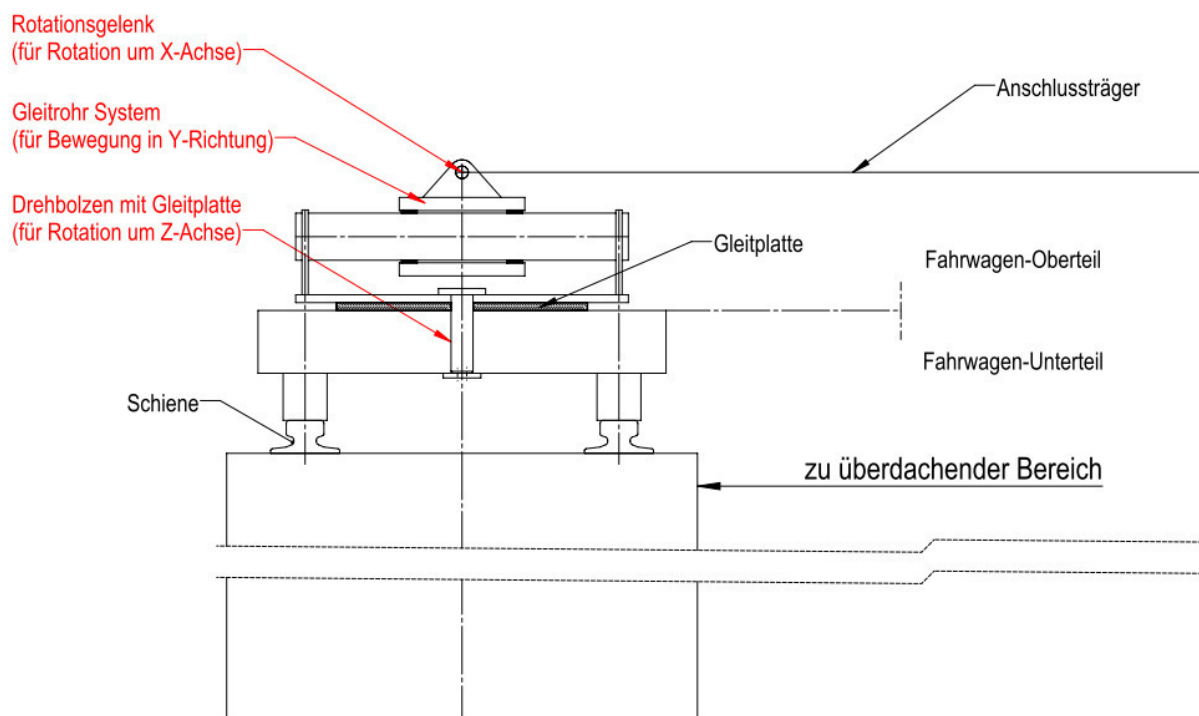


Abbildung 60: Kombinationssystem 1

Ein weiteres Beispiel für eine Kombination von Bewegungsaufnahmen ist ein spezielles Pendelsystem mit balligen Laufrädern. Durch das Verschieben des Pendelstab-Systems von einem Viereck zu einem Parallelogramm wird die Beweglichkeit in Y-Richtung ermöglicht (siehe Abbildung). Mit dem Einsatz der balligen Laufräder wird die Rotation um die X-Achse ermöglicht (siehe Abbildung) und durch den Einsatz von Gelenkgabelköpfen kann auch eine geringe Rotation um die Z-Achse realisiert werden. Auf der gegenüberliegenden Seite wird die Rotation um die X-Achse wieder durch die balligen Laufräder und die Rotation um die Z-Achse durch einen vertikalen Bolzen ermöglicht (diese gegenüberliegende Seite ist nicht in den Abbildungen dargestellt). So erhält man wieder das räumliche statische System wie in Abbildung 5 dargestellt.

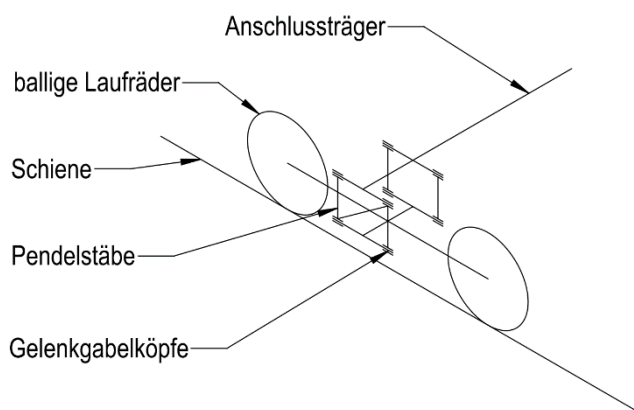
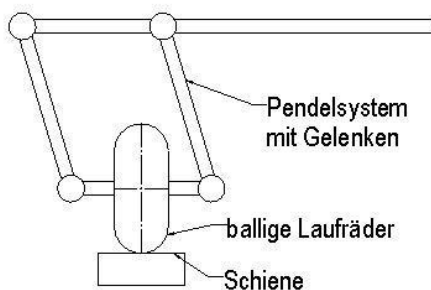
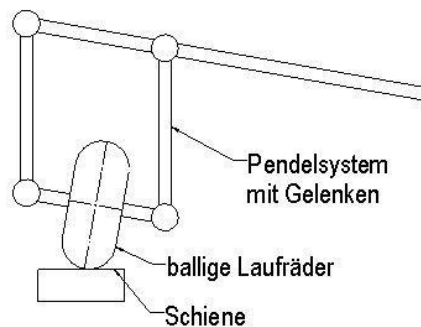


Abbildung 61: Kombinationssystem 2

Bewegung in Y-Richtung



Rotation um X-Achse



Rotation um Z-Achse

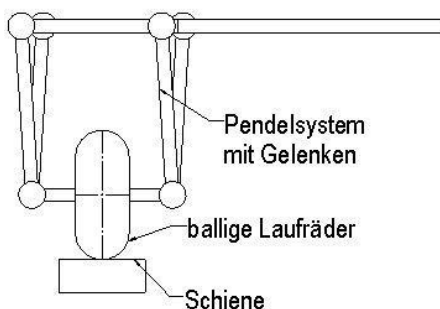


Abbildung 62: Kombinationssystem 2 - Bewegungen

Das nachfolgende Bild wurde aus einer technischen Zeichnung der Ausschreibung für ein schienengeführtes verschiebbares Dach entnommen, um zu zeigen, dass solche Systeme sehr wohl ihre praktische Anwendung finden.

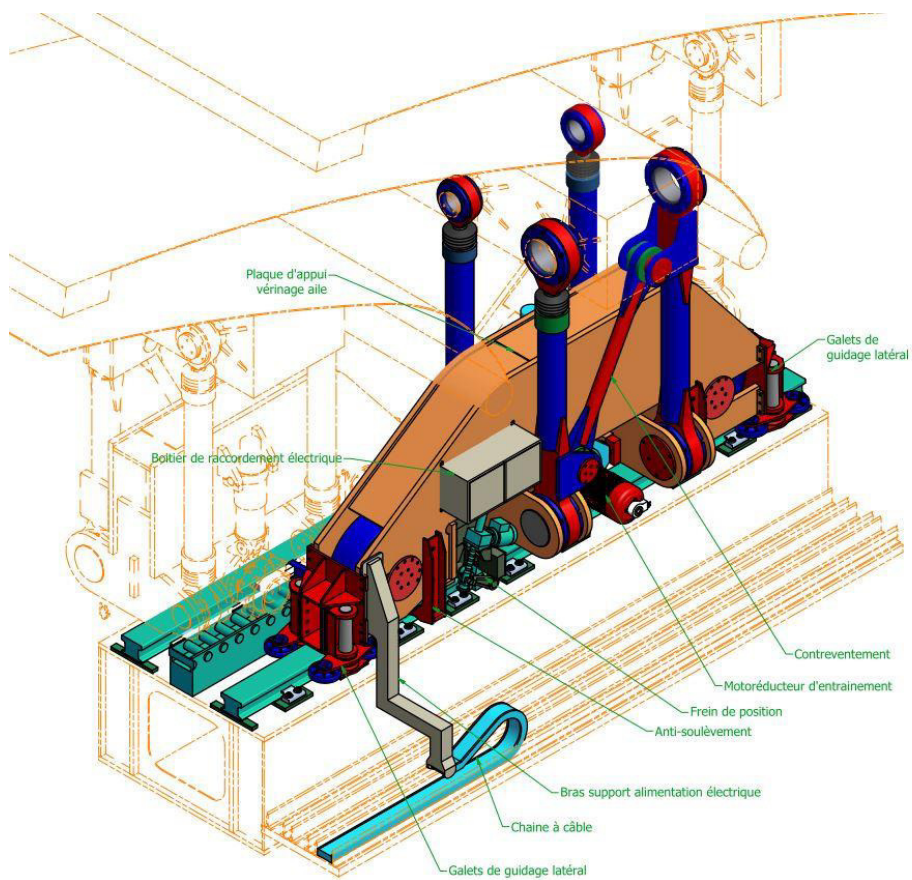


Abbildung 63: Fahrwagen – Roland Garros Center Court
(Quelle: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=870426&page=4>>, 27.10.2016)

8.7.1 Mehrbewegungssysteme

Elastomerlager

Die Elastomerlager werden oft im Brückenbau eingesetzt. Diese Lager bestehen aus einer Rohkautschukmischung die mit Stahlblechen verbunden werden, um die nötige Steifigkeit zu erreichen. In Z-Richtung nehmen die Elastomerlager sehr große Kräfte auf und können auch geringe Bewegungen in Y-Richtung und Rotationen um die Z-Achse und X-Achse ermöglichen. Jedoch ist die Bewegungsfreiheit bezogen auf die Lagergröße, wegen des Materials, in Y-Richtung doch sehr klein und so kommen die Elastomerlager nur bei Anforderungen mit geringen Bewegungen in Y-Richtung zum Einsatz. Um ein Gleiten (Bewegung in Y-Richtung) zu ermöglichen muss eine minimale Pressung von ca. 3 N/mm^2 (Z-Richtung) herrschen. Da diese Elastomerlager für sehr hohe Auflagelasten ausgelegt sind ist es sehr schwierig das richtige Lager mit dem Verhältnis von minimaler Auflagekraft zu der benötigten Verschiebbarkeit zu finden. Vorteilhaft ist der einfache Einbau des Lagers zwischen Fahrwagen-Oberteil und Unterteil. Zusätzlich sind die Elastomerlager langlebig, kostengünstig und wartungsarm.

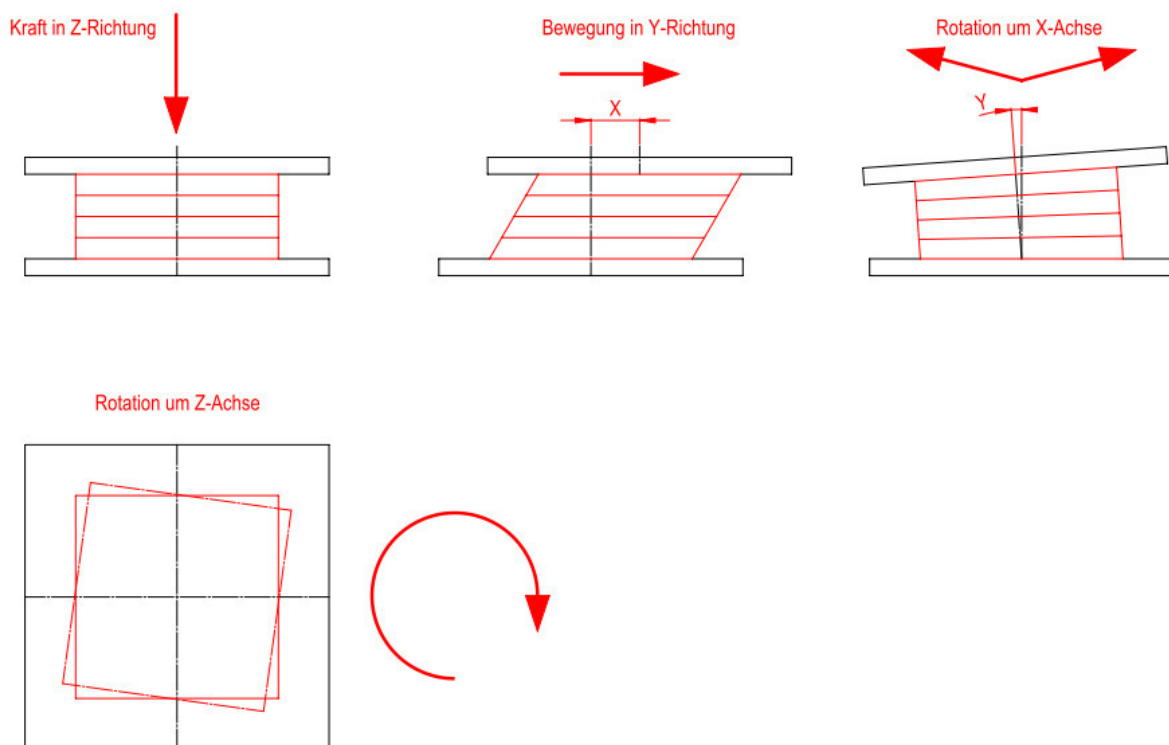


Abbildung 64: Elastomerlager

Kalottenlager

Kalottenlager bestehen aus einem Kugelabschnitt, der dazugehörigen Aufnahme und einer zusätzlichen Gleiteinrichtung. Kalottenlager können wiederum sehr hohe Vertikalkräfte (Z-Richtung) übertragen. Durch die Kalotte, den Kugelabschnitt, werden auch Rotationen um die Z-Achse und das Kippen (Rotation um die X-Achse) ermöglicht. Für die Bewegungsfreiheit in Y-Richtung sorgt die integrierte Gleiteinrichtung mit PTFE Elementen die weitaus mehr Bewegungen zulässt als das Elastomerlager. Das Kalottenlager ist ein Punktkipplager und daher ist ein Kippen um jede Achse möglich. So werden 3 Bewegungsmöglichkeiten in einem Lager vereint.

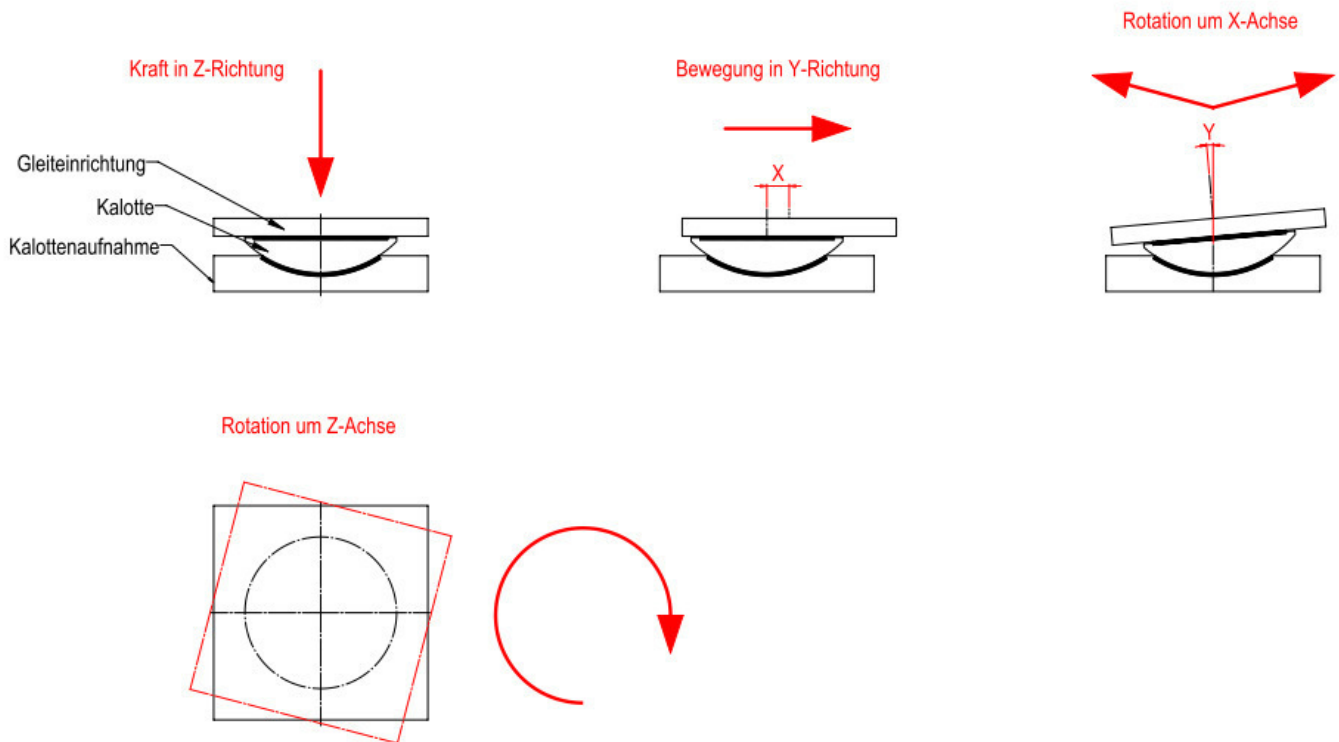


Abbildung 65: Kalottenlager

Topflager

Grundsätzlich sind Topflager eine Mischung aus Elastomerlagern und Kalottenlagern. Der Aufbau der Topflager besteht aus einem Aufnahmeumpf, indem ein Elastomerkissen unter Druck eingesetzt wird. Dieses Elastomerkissen verhält sich unter Druck wie eine Flüssigkeit und ermöglicht daher die Rotationen um die X- und Z-Achse. Zusätzlich besitzt auch das Topflager eine integrierte Gleiteinrichtung, welche die Bewegung in Y-Richtung ermöglicht. Da beim Topflager die Rotationsbewegungen von einem Elastomerkissen ermöglicht werden, sind die Größen der Rotationsmöglichkeit kleiner als die des Kalottenlagers. Das Elastomerkissen ist durch den Lagertopf eingeschlossen und daher nimmt nicht das Kissen sondern die integrierte Gleiteinrichtung die Bewegungen in Y-Richtung auf. Auch bei diesem System werden 3 Bewegungsmöglichkeiten in einem Lager vereint.

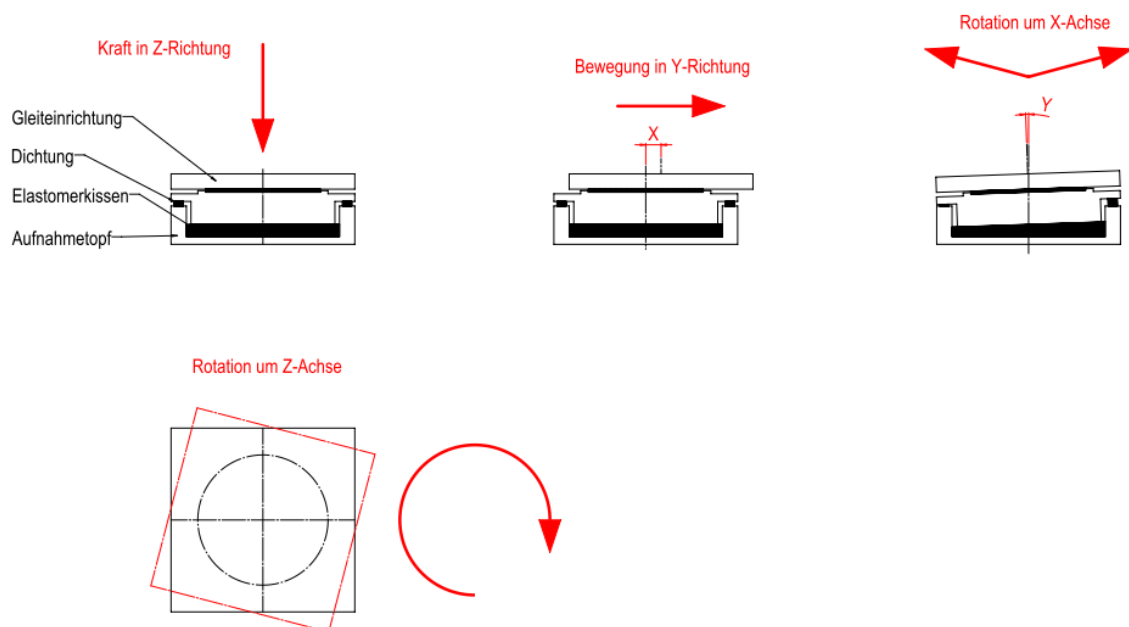


Abbildung 66: Topflager

8.7.2 Bewertung der Mehrbewegungssysteme

Durch die relativ geringe Bewegungsaufnahme in Y-Richtung können diese Lager oft nicht eingesetzt werden. Möglich ist es aber beispielsweise die Bewegungsaufnahme in Y-Richtung durch andere Systeme zu realisieren und trotzdem ein solches Lager einzusetzen. Dabei wäre das System kein Mehrbewegungssystem mehr, sondern ein Kombinationssystem.

Ein weiterer großer Nachteil ist, dass alle die oben genannten Mehrbewegungssysteme eine Rotation um die X-Achse ermöglichen und dadurch nicht bei einer 1-1 Schienenanordnung ihren Einsatz finden.

9 Bewertungssystem

9.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Bewertung der einzelnen Systeme, unter der Betrachtung von individuell festgelegten Auswahlkriterien. Zusätzlich wird ein Gewichtungsfaktor eingeführt, um die Priorität des Auswahlkriteriums zu erkennen. Die Bewertung der Systeme erfolgt nach der Methode der Punktebewertung von der VDI-Richtlinie 2225. Die Punkte der Teilnutzen, unter Berücksichtigung der Gewichtung, werden zu einem Gesamtnutzen addiert.

Werteskala nach VDI 2225:

0	nicht geeignet
1	gerade noch tragbar
2	ausreichend
3	befriedigend
4	gut
5	sehr gut (ideal)

Tabelle 2: Werteskala

Gewichtung:

0	unwichtig
0,3	weniger wichtig
0,5	mäßig wichtig
0,7	wichtig
1	sehr wichtig

Tabelle 3: Gewichtungen

Beispiel:

Kriterium K	Gewichtung (G)	System A	System B
Kriterium K1	1	3	2
Kriterium k2	0,7	2	5

Tabelle 4: Anschauungsbeispiel

$$\text{Gesamtnutzen (System A)} = G(K1) * \text{Wert (System A)} + G(K2) * \text{Wert (System A)}$$

$$\text{Gesamtnutzen (System A)} = 1 * 3 + 0,7 * 2 = 4,4$$

$$\text{Gesamtnutzen (System B)} = G(K1) * \text{Wert (System B)} + G(K2) * \text{Wert (System B)}$$

$$\text{Gesamtnutzen (System B)} = 1 * 2 + 0,7 * 4 = 5,5$$

Das System B weist den höheren Wert auf d.h., dass der Gesamtnutzen dieses Systems höher eingestuft wird als der des Systems A.

9.2 Erstellung des Bewertungssystems – Lagerauswahl

Bei der Erstellung des Bewertungssystems der Lagerauswahl wird noch kein Gewichtungsfaktor berücksichtigt. Der Gesamtnutzen ergibt sich aus der Summe der einzelnen Bewertungen. Die Gewichtung wird im späteren Abschnitt für die Anwendung des Bewertungssystems auf Beispiele eingesetzt, da die Gewichtung nicht objektiv und allgemein für alle Anwendungsfälle gleich eingeschätzt werden kann.

Bei der Ermittlung des Gesamtnutzens wird hier noch einmal der Rechenweg, wie unter Punkt „9.1 Allgemeines“ beschrieben, dargestellt. Für die weiteren Auswertungen wird der Rechenweg nicht mehr angeführt.

Schienenanordnung

NR.	Auswahlkriterien K	1-1 Anordnung	2-1 Anordnung	2-2 Anordnung
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	1
2	Montageaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2
3	Materialeinsatz ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	2	1
4	Platzbedarf ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2
5	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	3	5
6	Symmetrie	5	0	5
7	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	2	3	5

Tabelle 5: Bewertungssystem - Schienenanordnung

$$\text{Gesamtnutzen (1 - 1 Anordnung)} = 5 + 5 + 5 + 5 + 2 + 5 + 2 = \mathbf{29}$$

$$\text{Gesamtnutzen (2 - 1 Anordnung)} = 3 + 3 + 2 + 3 + 3 + 0 + 3 = \mathbf{17}$$

$$\text{Gesamtnutzen (2 - 2 Anordnung)} = 1 + 2 + 1 + 2 + 5 + 5 + 5 = \mathbf{21}$$

Begriffserklärung Auswahlkriterium K7:

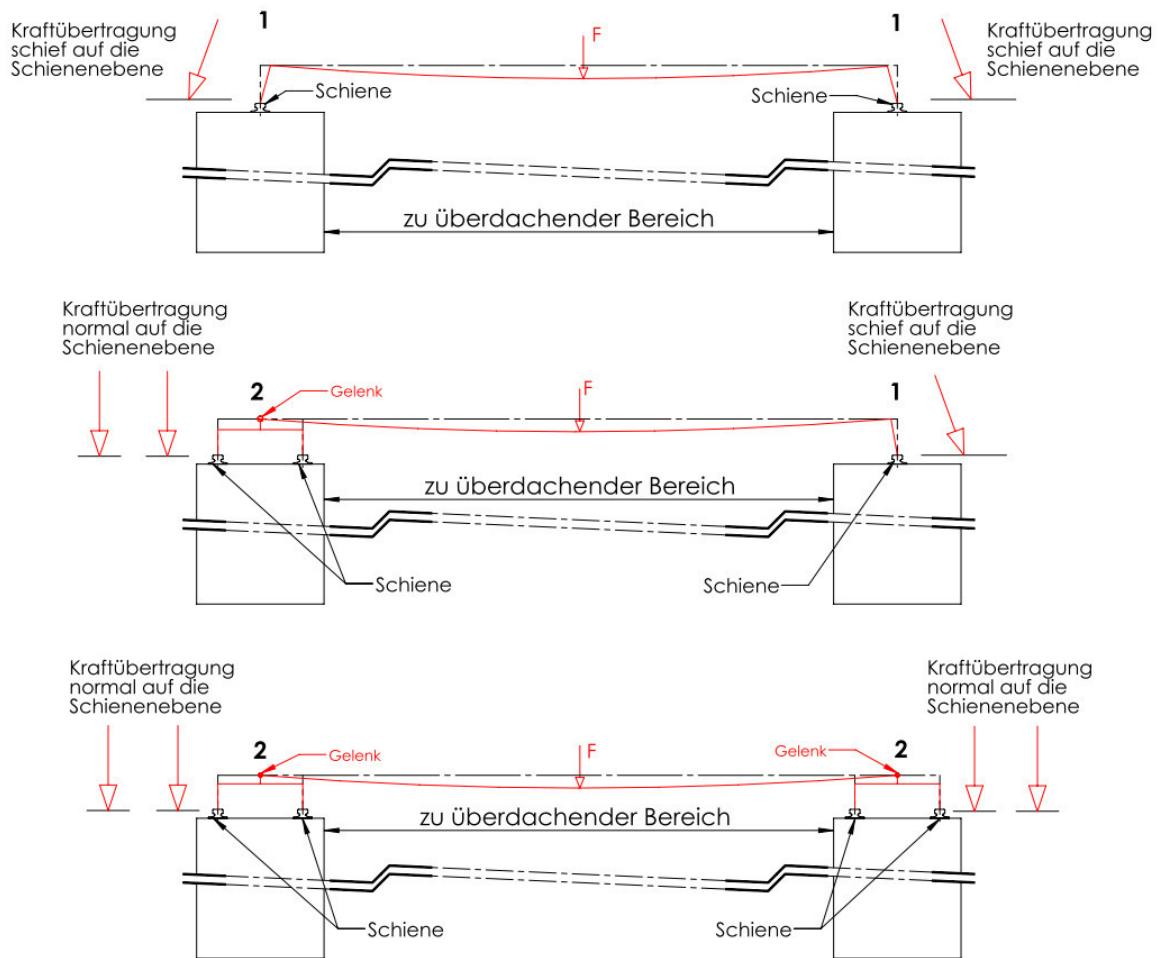


Abbildung 67: Begriffserklärung

Bei der 1-1 und 2-1 Schienenanordnung ergibt sich durch die Schrägstellung des Fahrwagens auf der Schiene auch eine Belastung der Schiene die nicht normal auf die Schienenoberfläche wirkt. Dadurch kann die Tragfähigkeit der Schiene nicht optimal ausgenutzt werden.

Schienenart

NR.	Auswahlkriterien K	Standard Profile	Vignolschiene	Kranschiene	Sonderbauform
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	3	1
2	Verfügbarkeit / Standardisierung	5	4	4	0
3	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	3	4	5
4	Gewicht in Bezug auf die Belastbarkeit ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	4	4	5
5	Biigsamkeit um die horizontale Achse (Dach bewegt sich auf einer Kreisbahn)	5	2	4	3
6	Biigsamkeit um die vertikale Achse (Dach fährt Kurven)	4	3	1	3
7	Korrosionsschutz ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	5	3	3	4
8	Montierbarkeit mit der Unterkonstruktion	3	5	5	3
9	Verbindung mit Lagerungspartner	2	5	5	4

Tabelle 6: Bewertungssystem - Schienenart

Gesamtnutzen (Standard Profile) = 34

Gesamtnutzen (Vignolschiene) = 32

Gesamtnutzen (Kranschiene) = 33

Gesamtnutzen (Sonderbauform) = 28

Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

NR.	Auswahlkriterien K	2 Auflagepunkte	3 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	1
2	Platzbedarf ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2
3	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	4	5
4	Materialeinsatz ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2
5	Länge des Fahrwagens ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2
6	Komplexität (Wippe benötigt) ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2

Tabelle 7: Bewertungssystem – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

Gesamtnutzen (2 Auflagepunkte) = 27

Gesamtnutzen (3 Auflagepunkte) = 19

Gesamtnutzen (4 Auflagepunkte) = 14

Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

NR.	Auswahlkriterien K	3 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte ohne Wippe
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	2	3
2	Platzbedarf im geparkten Zustand des Daches ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	2	2
3	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	5	4
4	Materialeinsatz ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	2	4
5	Länge des Fahrwagens ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	5	5
6	Kompläxität (Wippe benötigt) ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	2	5

Tabelle 8: Bewertungssystem – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

Gesamtnutzen (3 Auflagepunkte) = 24

Gesamtnutzen (4 Auflagepunkte) = 18

Gesamtnutzen (4 Auflagepunkte ohne Wippe) = 23

Art der Lagerung

NR.	Auswahlkriterien K	hydrodyn. GF	hydrostat. GF	aerostat. GF	Trocken- GF	Laufrollen	Umlauf- schuhe	Profilschienen- Führung
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	2	1	5	4	3	2
2	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	4	4	2	4	4	5	4
3	Reibungsverhalten (bei einer Fahrgeschwindigkeit von < 2 m/min)	1	3	4	2	4	4	5
4	Haftgleiteffekt	1	3	5	2	5	5	5
5	Standardisierung/Verfügbarkeit	2	1	0	1	5	4	4
6	Verschleiß ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	3	5	1	4	4	4
7	Wartung ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	2	4	5	4	4	4
8	Lebensdauer ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	2	1	3	5	5	5
9	Robustheit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	2	3	4	5	3	1
10	Platzbedarf ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	4	2	1	4	4	5	4
11	Komplexität ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	2	1	5	4	4	3
12	Anpassung der Lagerart auf geometrische Formen der Schiene (nicht nur auf ebener Fläche fahren)	3	3	1	5	4	1	2
13	Adaptierbarkeit (Lager mit Schiene, Antrieb,..)	2	1	0	3	4	3	5

Tabelle 9: Bewertungssystem – Art der Lagerung

Gesamtnutzen (hydrodyn. GF) = **33**

Gesamtnutzen (Laufrollen) = **56**

Gesamtnutzen (hydrostat. GF) = **30**

Gesamtnutzen (Umlaufschuhe) = **50**

Gesamtnutzen (aerostat. GF) = **28**

Gesamtnutzen (Profilschienen F.) = **48**

Gesamtnutzen (Trocken GF) = **45**

Antriebssystem

NR.	Auswahlkriterien K	Reibantrieb	Windenantrieb	Zahnstangenantrieb	Triebstockantrieb	hydr. Gleitsystem
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	3	4	3
2	Standardisierung/Verfügbarkeit	5	2	4	2	4
3	Antriebskraft ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	4	4	4	5
4	Steuerbarkeit mehrere Wagen	4	0	5	5	2
5	Komplexität (mitfahrender Antrieb, Elektronik) ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	5	1	1	2
6	Einstellungsmöglichkeit (Ausgleich der Schrägstellung – Rotation um Z-Achse)	4	5	3	3	4
7	Robustheit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	5	3	4	3
8	zusätzliche Komponenten (Seilführungsrollen, Zahnstange,..)	5	3	1	1	2
9	Abhängigkeit der Lagerungsart	0	5	5	5	5
10	Verhältnis der Antriebskraft (Reibung) zum Fahrwiderstand (siehe 7.6 Reibantriebe)	1	5	5	5	5

Tabelle 10: Bewertungssystem – Antriebssystem

Gesamtnutzen (Reibantrieb) = 32

Gesamtnutzen (Windenantrieb) = 37

Gesamtnutzen (Zahnst. –Antrieb) = 34

Gesamtnutzen (Triebstock – Antrieb) = 34

Gesamtnutzen (hydr. Gleitsystem) = 35

9.3 Erstellung des Bewertungssystems - Bewegungsaufnahme

Bei der Erstellung des Bewertungssystems der Bewegungsaufnahme wird ebenso noch kein Gewichtungsfaktor berücksichtigt. Der Gesamtnutzen ergibt sich wieder aus der Summe der einzelnen Bewertungen. Die Gewichtung wird im späteren Abschnitt für die Anwendung des Bewertungssystems auf Beispiele eingesetzt, da die Gewichtung nicht objektiv und allgemein für alle Anwendungsfälle gleich eingeschätzt werden kann.

Bewegung in Z-Richtung

NR.	Auswahlkriterien K	Schienezange	Abheberollen
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3
2	Komplexität ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3
3	Verhalten im statischen Zustand des Daches (offen/geschlossen)	4	3
4	Verhalten im dynamischen Zustand des Daches (während des Fahrens)	1	5
5	Verschleiß/Wartung ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	4

Tabelle 11: Bewertungssystem – Bewegung in Z-Richtung

Gesamtnutzen (Schienezange) = 17

Gesamtnutzen (Abheberollen) = 18

Bewegung in Y-Richtung

NR.	Auswahlkriterien K	Gleitplatte	Gleitrohrsystem	Umlaufschuhe	Pendelsystem
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	4	2
2	Reibungsverhalten	2	4	4	5
3	Haftgleiteffekt	2	3	4	5
4	Verschleiß/Wartung ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	3	4	5
5	Robustheit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	4	3	5
6	Platzbedarf ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	4	1
7	Abhebesicherung	0	5	0	3
8	Komplexität ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	4	2

Tabelle 12: Bewertungssystem – Bewegung in Y-Richtung

Gesamtnutzen (Gleitplatte) = 24

Gesamtnutzen (Gleitrohrsystem) = 28

Gesamtnutzen (Umlaufschuhe) = 27

Gesamtnutzen (Pendelsystem) = 28

Rotation um X-Achse

NR.	Auswahlkriterien K	Rotationsgelenk	ballige Laufräder	ballige Schiene	ballige Laufräder und ballige Schiene
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2	1
2	Belastbarkeit ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	5	3	3	3
3	Fertigungsaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	5	3	2	1
4	Abhängigkeit der Lagerungsart	5	0	5	0
5	Abhängigkeit der Schienenart	5	5	0	0
6	Aufnahmemöglichkeit von seitlichen Kräften ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	0	0	0	5

Tabelle 13: Bewertungssystem – Rotation um X-Achse

Gesamtnutzen (Rotationsgelenk) = 25

Gesamtnutzen (ballige Laufräder) = 14

Gesamtnutzen (ballige Schiene) = 12

Gesamtnutzen (ballige Laufräder und Schiene) = 10

Rotation um Z-Achse

NR.	Auswahlkriterien K	Drehgelenk mit Gleitplatte	Kugeldrehkranz - selbsthaltend	Kugeldrehkranz - nicht selbsthaltend
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	4	2	3
2	Belastbarkeit (Z-Richtung) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	4	4	5
3	Belastbarkeit (Y-Richtung) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	4	3	2
4	Momentenaufnahme (Rotation um X-Achse) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	4	3	2
5	Drehbarkeit (geringes Reibverhalten) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	5	5
6	Verschleiß/Wartung ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	2	4	4
7	Abhebesicherung	4	5	0

Tabelle 14: Bewertungssystem – Rotation um Z-Achse

Gesamtnutzen (Drehgelenk mit Gleitplatte) = 25

Gesamtnutzen (Kugeldrehkranz selbsth.) = 26

Gesamtnutzen (Kugeldrehkranz nicht selbsth.) = 21

Kombinationen und Mehrbewegungssysteme

NR.	Auswahlkriterien K	Kombinationen		Mehrbewegungssysteme		
		Gleitrohrsystem mit Drehbolzen und Gleitplatte und Rotationsgelenk	Pendelsystem mit balligen Laufrädern	Elastomerlager	Kalottenlager	Topflager
1	Kostenaufwand ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	2	5	3	4
2	Platzbedarf ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	1	5	5	5
3	Komplexität ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	2	5	4	4
4	Verschiebbarkeit Y-Richtung (geringer Bewegungswiderstand) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	4	5	3	4	4
5	Verschiebungsgröße Y-Richtung ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	5	4	1	3	2
6	Drehbarkeit X-Achse (geringer Bewegungswiderstand) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	2	4	2	4	3
7	Drehgröße X-Achse ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	5	3	1	3	2
8	Drehbarkeit Z-Achse (geringer Bewegungswiderstand) ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	3	4	2	4	3
9	Drehgröße Z-Achse ($\uparrow=5, \downarrow=0$)	5	2	2	4	2
10	Abhebesicherung	5	3	1	0	0
11	Verschleiß/Wartung ($\downarrow=5, \uparrow=0$)	3	4	5	4	5

Tabelle 15: Bewertungssystem – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme

Gesamtnutzen (Gleitrohrsystem) = 41

Gesamtnutzen (Pendelsystem) = 34

Gesamtnutzen (Elastomerlager) = 32

Gesamtnutzen (Kalottenlager) = 38

Gesamtnutzen (Topflager) = 34

10 Anwendung der Bewertungssysteme auf Beispiele

In diesem Abschnitt werden die vorher erarbeiteten Bewertungssysteme auf Beispiele angewandt. Dazu wird der oben beschriebene Gewichtungsfaktor mit in das Bewertungssystem integriert. Durch die verschiedenen Anforderungen jedes einzelnen schienengeführten beweglichen Daches kommt es auch zu unterschiedlichen Gewichtungen der Auswahlkriterien. Es werden absichtlich drei sehr unterschiedliche Beispiele behandelt, um die Bewertungssysteme auf den breiten Anwendungsbereich der schienengeführten verschiebbaren Dächern anzuwenden.

Ziel dabei ist es, durch diese Vorauswahl einen geeigneten Lösungsansatz zu finden, um in eine Detailplanung einzugehen.

10.1 Beispiel 1: Membrandach (Sattelflächendach)

Generelle Betriebsbedingungen (Anforderungsliste):

Art:	Sattelflächen-Membrandach
Zweck:	Hotel Terrassen Beschattung
Abmessungen LxBxH:	ca. 10000mm x 8000mm x 4000mm
Zu überdachende Fläche:	ca. 80 m ²
Anzahl der Fahrten: (Dach Öffnen und Schließen = 2 Fahrten)	365 pro Jahr
Dauer für einen Fahrzyklus: (Öffnen oder Schließen)	3 min
Temperaturbereich:	0°C – 40°C
Wasserdicht:	nein
Schneelasten:	keine
Korrosionsklasse:	C4
Max. Druckbelastung: (für den Fahrvorgang)	0,1 kN/m ²
Max. abhebende Belastung: (für den Fahrvorgang)	0,1 kN/m ²
Max. Druckbelastung: (im statischen Zustand des Daches)	0,75 kN/m ²
Max. abhebende Belastung: (im statischen Zustand des Daches)	0,35 kN/m ²
Steuerung:	Automatikbetrieb mit Fernsteuerung
Lebensdauer:	15 Jahre

Tabelle 16: Betriebsbedingungen Beispiel 1

MEMBRANDACH (SATTELFLÄCHENDACH)
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH GESCHLOSSEN

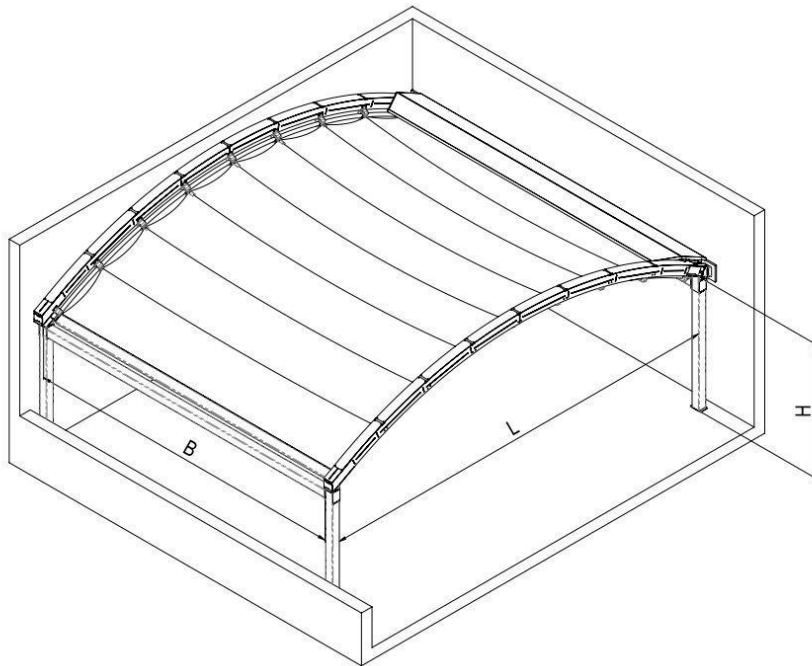


Abbildung 68: Membrandach - geschlossen

MEMBRANDACH (SATTELFLÄCHENDACH)
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH OFFEN

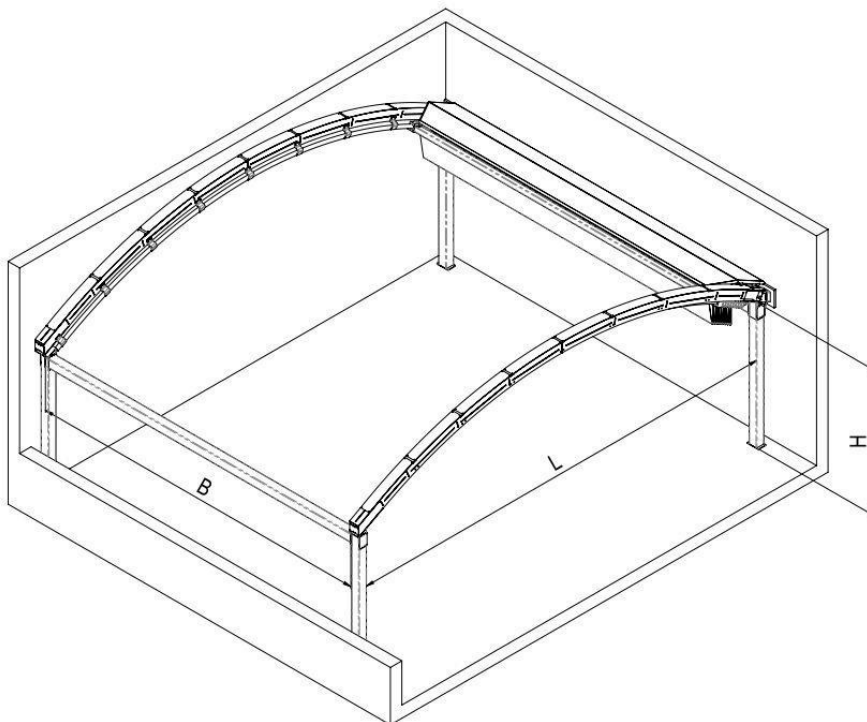


Abbildung 69: Membrandach - offen

Durch die gegebene Anforderungsliste kann nun mit der Anwendung der Bewertungssysteme auf das beschriebene Beispiel begonnen werden.

Schieneanordnung (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Montageaufwand	0,7	Der Montageaufwand der Schiene ist prozentual bei kleineren Projekten ebenso höher als bei Großprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
3	Materialeinsatz	0,7	Der Materialeinsatz der Schiene ist prozentual bei kleineren Projekten ebenso höher als bei Großprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
4	Platzbedarf	1	Durch die geringe Montagehöhe der Schiene ist sie optisch leicht erkennbar und sollte daher so klein als möglich gewählt werden.
5	Belastbarkeit	0,5	Es treten hier im Verhältnis nur kleinere Kräfte auf.
6	Symmetrie	0,7	Durch die Symmetrie können gleiche Teile verwendet werden.
7	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	0,7	Die Schiene sollte optimal ausgenützt werden.

Tabelle 17: Bewertungssystem Beispiel 1 - Schieneanordnung

Bei der Ermittlung des Gesamtnutzens wird hier noch einmal der Rechenweg, wie unter Punkt „9.1 Allgemeines“ beschrieben, dargestellt. Für die weiteren Auswertungen wird der Rechenweg nicht mehr angeführt.

Ergebnis

	1-1 Anordnung	2-1 Anordnung	2-2 Anordnung
Rechenvorgang mit Werten (Tabelle 5) und Gewichtungen (aus Tabelle 17)	$1*5 + 0,7*5 + 0,7*5 + 1*5 + 0,5*2 + 0,7*5 + 0,7*2$	$1*3 + 0,7*3 + 0,7*2 + 1*3 + 0,5*3 + 0,7*0 + 0,7*3$	$1*1 + 0,7*2 + 0,7*1 + 1*2 + 0,5*5 + 0,7*5 + 0,7*5$
Gesamtnutzen:	22,9	13,1	14,6

Tabelle 18: Auswertung Beispiel 1 - Schieneanordnung

Schienenart (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Verfügbarkeit / Standardisierung	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
3	Belastbarkeit	0,5	Es treten hier im Verhältnis nur kleinere Kräfte auf.
4	Gewicht in Bezug auf die Belastbarkeit	0,7	Schiene sollte optimal ausgenützt werden. Trägt zu den Kosten bei.
5	Biegsamkeit um die horizontale Achse (Dach bewegt sich auf einer Kreisbahn)	1	Durch die Sattelfläche bewegen sich die Fahrwagen auf einer Kreisbahn.
6	Biegsamkeit um die vertikale Achse (Dach fährt Kurven)	0	Keine Biegung um die vertikale Achse benötigt.
7	Korrosionsschutz	0,7	Aufgrund der Korrosionsklasse C4 wichtig.
8	Montierbarkeit mit der Unterkonstruktion	0,3	Aufgrund der geringe Stückzahlen/Menge eher weniger wichtig.
9	Verbindung mit Lagerungspartner	0,5	Aufgrund der geringen Stückzahlen/Mengen muss es nicht zwingend einen standardisierter Lagerungspartner geben.

Tabelle 19: Bewertungssystem Beispiel 1 - Schienenart

Ergebnis

	Standard Profil	Vignolschiene	Kranschiene	Sonderbauform
Gesamtnutzen:	22	18,2	20,7	15,7

Tabelle 20: Auswertung Beispiel 1 - Schienenart

Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Platzbedarf	1	Durch die geringe Montagehöhe sind die Fahrwagen optisch leicht erkennbar und sollte daher so klein als möglich gewählt werden.
3	Belastbarkeit	0,5	Es treten hier im Verhältnis nur kleinere Kräfte auf.
4	Materialeinsatz	0,7	Der Materialeinsatz des Fahrwagens ist prozentual bei kleineren Projekten ebenso höher als bei Großprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
5	Länge des Fahrwagens	1	Es ist sehr wichtig den Fahrwagen kurz zu halten, um den Platzbedarf im geparkten Zustand des Daches (alle Fahrwagen in der Garage) so gering als möglich zu halten.
6	Komplexität	0,7	Der Fahrwagen sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.

Tabelle 21: Bewertungssystem Beispiel 1 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

Ergebnis

	2 Auflagepunkte	3 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte
Gesamtnutzen:	23	15,2	10,3

Tabelle 22: Auswertung Beispiel 1 – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

Art der Lagerung (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Belastbarkeit	0,5	Es treten hier im Verhältnis nur kleinere Kräfte auf.
3	Reibungsverhalten (bei einer Fahrgeschwindigkeit von < 3,5 m/min)	0,5	Durch die geringen Kräfte ist nicht zwingend eine Wälzlagerung notwendig.
4	Haftgleiteffekt	0,3	Ruckartige Bewegungen wirken sich nur sehr gering auf die Funktion aus.
5	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
6	Verschleiß	0,3	Durch die leichte Zugänglichkeit zu der Lagerung (geringe Höhe) können verschlissene Teile mit wenig Aufwand ausgetauscht werden.
7	Wartung	0,7	Eine leichte Austauschbarkeit der Teile erleichtert die Wartung.
8	Lebensdauer	0,5	Durch die leicht durchzuführenden Wartungseinsätze ist die Lebensdauer nur mäßig wichtig.
9	Robustheit	0,5	Durch die geringe Fahrdauer kann das Dach nach Betrieb wieder in die Garagenposition gebracht werden und ist dadurch nicht direkt der Witterung ausgesetzt. Durch die leicht durchzuführende Wartung ist die Robustheit nur bedingt wichtig.
10	Platzbedarf	1	Durch die geringe Montagehöhe sind die Fahrwagen optisch leicht erkennbar und daher sollte die Lagerart so klein als möglich gewählt werden.
11	Komplexität	1	Die Lagerart sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
12	Anpassung der Lagerart auf geometrische Formen der	1	Durch die Verwendung von Standard-Stahlprofilen muss die

	Schiene (nicht nur auf ebener Fläche fahren)		Lagerart leicht auf die Form der Schiene anpassbar sein.
13	Adaptierbarkeit der Lager mit dem Antriebssystem	1	Die Paarung Lagerart und Antrieb sollten aufeinander abgestimmt sein, um eine kompakte Bauweise zu ermöglichen.

Tabelle 23: Bewertungssystem Beispiel 1 – Art der Lagerung

Ergebnis

	hydrodynamische Gleitführung	hydrostatische Gleitführung	aerostatische Gleitführung	Trocken-Gleitführung
Gesamtnutzen:	24,4	19,4	14,8	34,6
	Laufrollen	Umlaufschuhe	Profilschienenführung	
Gesamtnutzen:	38	32,8	31,8	

Tabelle 24: Auswertung Beispiel 1 – Art der Lagerung

Antriebssystem (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,5	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden. Die Stückzahlen der Antriebe sind aber sehr gering.
3	Antriebskraft	0,5	Es wird hier im Verhältnis nur eine geringe Antriebskraft benötigt.
4	Steuerbarkeit mehrere Wagen	0	Es ist hier nicht notwendig mehrere Fahrwagen anzutreiben.
5	Komplexität (mitfahrender Antrieb, Elektronik)	1	Das Antriebssystem sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Mitfahrende Antriebe oder Elektronik sollten aus optischen Gründen vermieden werden. Trägt zu den Kosten bei.
6	Einstellungsmöglichkeit (Ausgleich der Schrägstellung)	0,3	Durch die geringe Breite des Daches und die flexible Membrane ist die Einstellmöglichkeit weniger wichtig.
7	Robustheit	0,3	Durch die geringe Fahrdauer kann das Dach nach Betrieb wieder in die Garagenposition gebracht werden und ist dadurch nicht direkt der Witterung ausgesetzt. Durch die leicht durchzuführende Wartung ist die Robustheit nur bedingt wichtig.
8	zusätzliche Komponenten (Seilführungsrollen, Zahnstange,..)	0,5	Zusätzlich benötigte Komponenten tragen zu den Kosten bei. Durch die kleinen Abmessungen des Daches ergeben sich aber kleine Stückzahlen.
9	Abhängigkeit der Lagerungsart (muss eine bestimmte Lagerart verwendet werden?)	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Antriebsart verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
10	Verhältnis der Antriebskraft (Reibung) zum Fahrwiderstand	1	In der Garagenposition fährt das Dach auf einer Kreisbahn los. Zusätzlich ist die Membranbauweise sehr leicht und

			dadurch ist die Normalkraft und damit auch die Reibkraft klein.
--	--	--	---

Tabelle 25: Bewertungssystem Beispiel 1 – Antriebssystem

Ergebnis

	Reib Antrieb	Windantrieb	Zahnstangen Antrieb	Triebstock Antrieb	Hydraulisches Gleitsystem
Gesamtnutzen:	16,6	20,5	15,3	15,6	17,6

Tabelle 26: Auswertung Beispiel 1 – Antriebssystem

Bewegungen in Z-Richtung (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Komplexität	0,7	Die Abhebesicherung sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
3	Verhalten im statischen Zustand des Daches (offen/geschlossen)	0,5	Auch im statischen Zustand des Daches sind nur geringe abhebende Kräfte vorhanden.
4	Verhalten im dynamischen Zustand des Daches (während des Fahrens)	1	Durch das geringe Gewicht der Membrane kommt es unter dem Fahrvorgang zu abhebenden Kräften.
5	Verschleiß/Wartung	1	Durch die abhebenden Kräfte während der Fahrt sollte die Schiene nicht beschädigt werden, um einen frühzeitigen Austausch zu verhindern.

Tabelle 27: Bewertungssystem Beispiel 1 – Bewegung in Z-Richtung

Ergebnis

	Schienezange	Abheberollen
Gesamtnutzen:	13,5	15,6

Tabelle 28: Auswertung Beispiel 1 – Bewegung in Z-Richtung

Bewegungen in Y-Richtung (Beispiel 1)

Eine Bewegungsfreiheit in Y-Richtung ist hier nicht notwendig, da die Membrane flexible genug ist, um die geringen Bewegungen auszugleichen.

Rotation um X-Achse (Beispiel 1)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	1	Vor allem bei kleineren Dächern ist es wichtig den Kostenaufwand so gering als möglich zu halten, da der prozentuale Kostenanteil auf das Gesamtbudget höher ist als bei umfangreicheren Projekten.
2	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	0,5	Durch die kleinen Kräfte spielt auch eine Belastung schief auf die Schienenebene keine wesentliche Rolle.
3	Fertigungsaufwand	0,7	Der Fertigungsaufwand sollte so gering als möglich gehalten werden. Trägt zu den Kosten bei.
4	Abhängigkeit der Lagerungsart	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Bewegungsmöglichkeit verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
5	Abhängigkeit der Schienenart	0	Durch die Verwendung eines Standard Stahlprofils kann jede Bewegungsmöglichkeit verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
6	Aufnahmemöglichkeit von seitlichen Kräften	1	Durch die kleinen Kräfte könnten die seitlichen Führungsrollen eingespart werden.

Tabelle 29: Bewertungssystem Beispiel 1 – Rotation um X-Achse

Ergebnis

	Rotationsgelenk	ballige Laufräder	ballige Schiene	ballige Laufräder und ballige Schiene
Gesamtnutzen:	0	6,6	4,9	8,2

Tabelle 30: Auswertung Beispiel 1 – Rotation um X-Achse

Hier ist zu beachten, dass kein Rotationsgelenk eingesetzt werden darf, da es sich um eine 1-1 Schienenanordnung handelt.

Rotation um Z-Achse (Beispiel 1)

Eine Rotationsfreiheit um die Z-Achse ist hier nicht notwendig, da die Membrane flexible genug ist um die geringen Verdrehungen auszugleichen.

Kombinationen und Mehrbewegungssysteme (Beispiel 1)

Bei diesem Membrandach ist nur eine Rotation um die X-Achse notwendig, da die Membrane flexible genug ist um die restlichen Bewegungen aufzunehmen. Daher wird auch keine Kombination oder ein Mehrbewegungssystem benötigt.

Zusammenfassung der Ergebnisse (Beispiel 1)

Lagerauswahl	
Schienenanordnung:	1-1 Anordnung
Schienenart:	Standard Stahlprofil
Anzahl der Auflagepunkte:	2 Auflagepunkte
Art der Lagerung:	Laufrollen
Antriebssystem:	Windenantrieb
Bewegungsaufnahme	
Bewegung in Z-Richtung	Abheberollen
Bewegung in Y-Richtung	-
Rotation um X-Achse	Ballige Laufräder und Schiene
Rotation um Z-Achse	-
Kombinationen und Mehrbewegungssysteme	-

Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 1

Lösungsansatz (Beispiel 1)

Durch die Anwendung des Bewertungssystems kann nun ein geeigneter Lösungsansatz für dieses Beispiel erstellt werden. Der Lösungsansatz enthält die oben angeführten Ergebnisse zur Lagerauswahl und Bewegungsaufnahmen. Dieser Lösungsansatz stellt nicht die finale Lösung dar sondern soll als optimaler Einstieg in die Detailplanung des Projektes dienen.

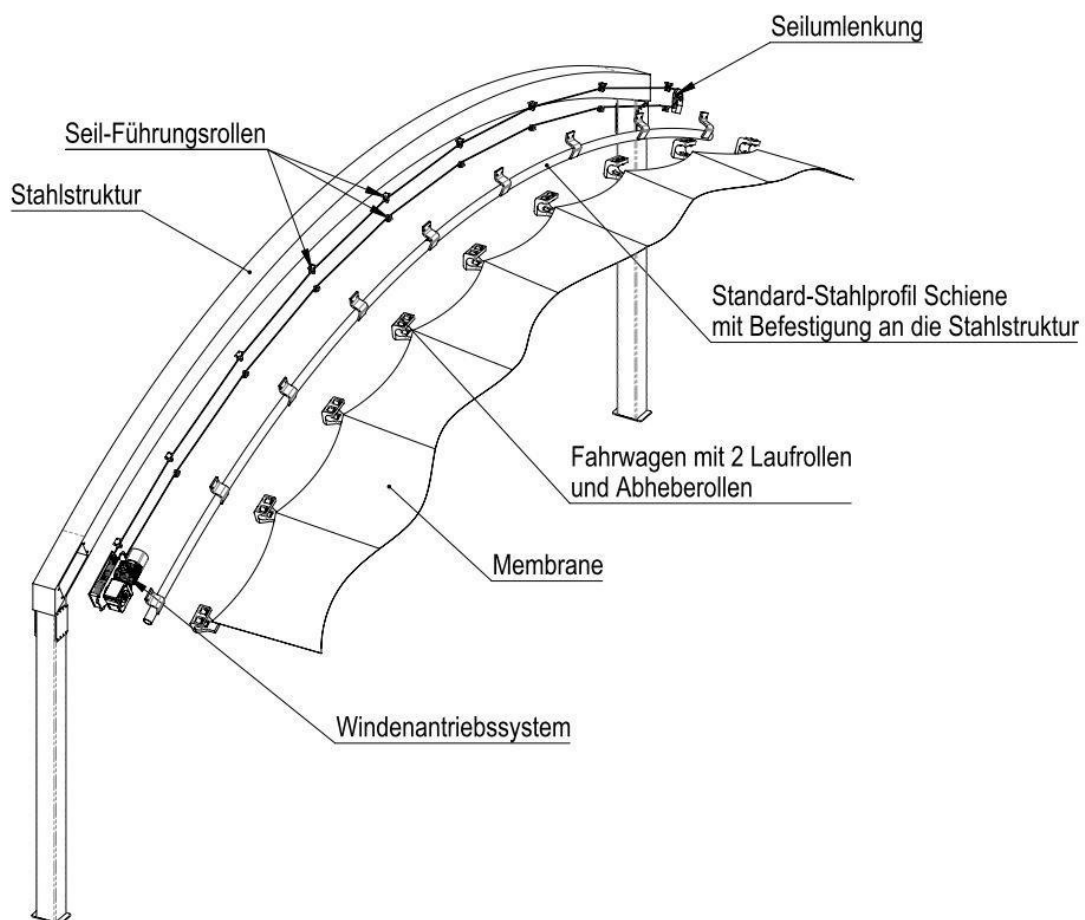


Abbildung 70: Lösungsansatz Beispiel 1 – isometrische Darstellung

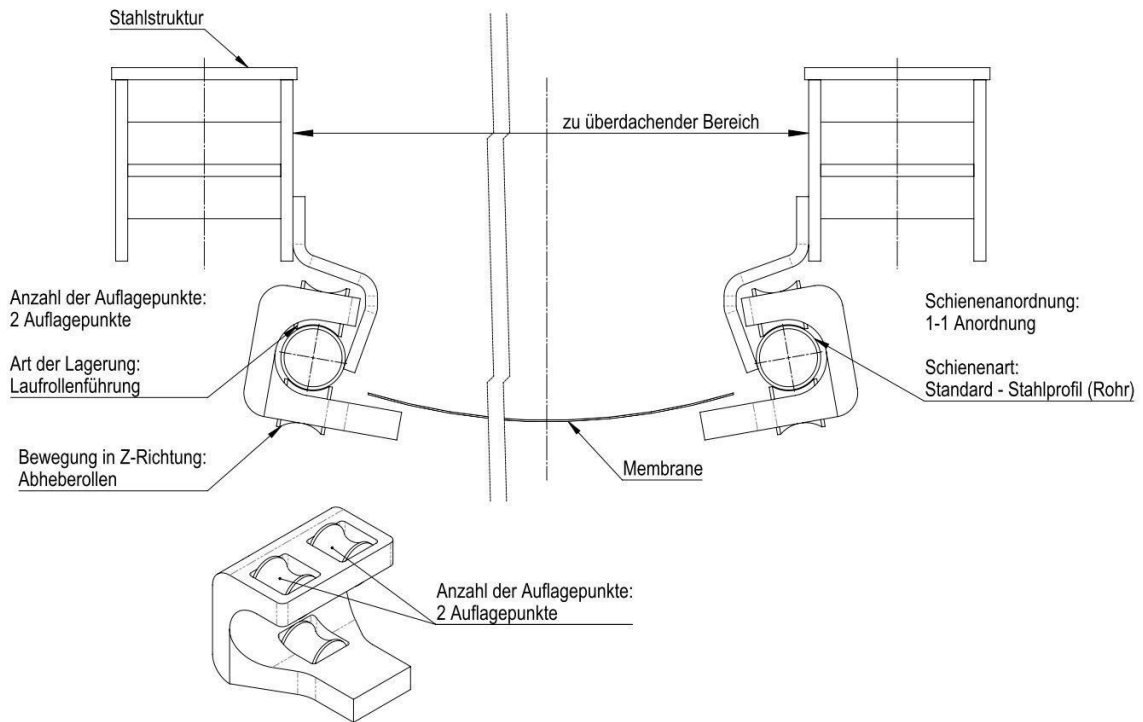


Abbildung 71: Lösungsansatz Beispiel 1 – Detail 1

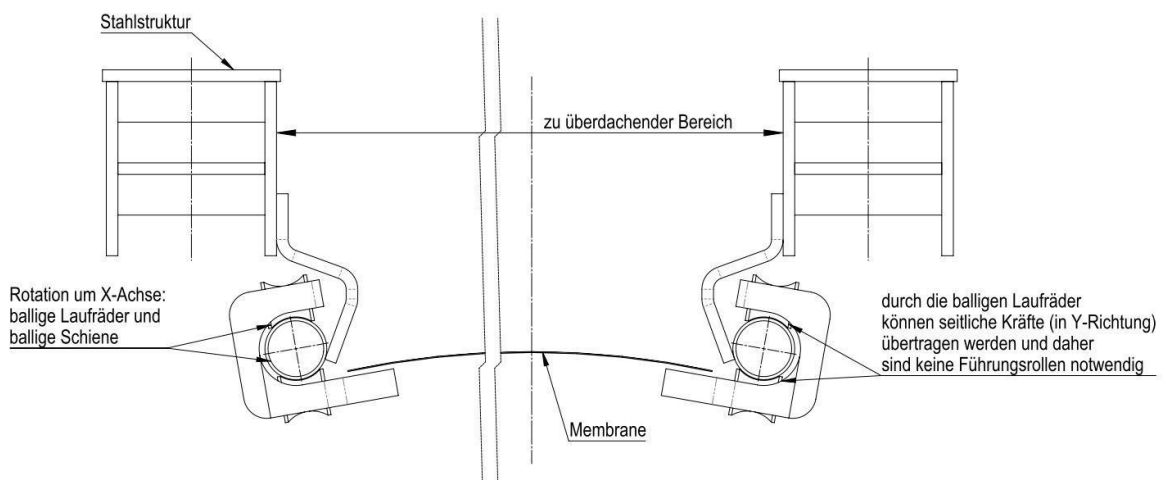


Abbildung 72: Lösungsansatz Beispiel 1 - Detail 2

10.2 Beispiel 2: Plattendach

Generelle Betriebsbedingungen (Anforderungsliste):

Art:	Plattendach
Zweck:	Stadion Überdachung
Abmessungen der zu überdachenden Fläche LxB:	ca. 60000mm x 40000mm
Zu überdachende Fläche:	ca. 2400 m ²
Anzahl der Fahrten: (Dach Öffnen und Schließen = 2 Fahrten)	50 pro Jahr
Dauer für einen Fahrzyklus: (Öffnen oder Schließen)	20 min
Temperaturbereich:	-10°C – 40°C
Wasserdicht:	ja
Schneelasten:	0,35 kN/m ²
Korrosionsklasse:	C4
Max. Druckbelastung: (für den Fahrvorgang)	0,35 kN/m ²
Max. abhebende Belastung: (für den Fahrvorgang)	0,2 kN/m ²
Max. Druckbelastung: (im statischen Zustand des Daches)	1 kN/m ² (inkl. Schneelast)
Max. abhebende Belastung: (im statischen Zustand des Daches)	0,5 kN/m ²
Anzunehmende Verschiebemöglichkeit (Y-Richtung)	+/- 100mm
Steuerung:	Automatikbetrieb
Lebensdauer:	20 Jahre

Tabelle 32: Betriebsbedingungen Beispiel 2

PLATTENDACH
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH GESCHLOSSEN
GEBÄUDE NICHT DARGESTELLT

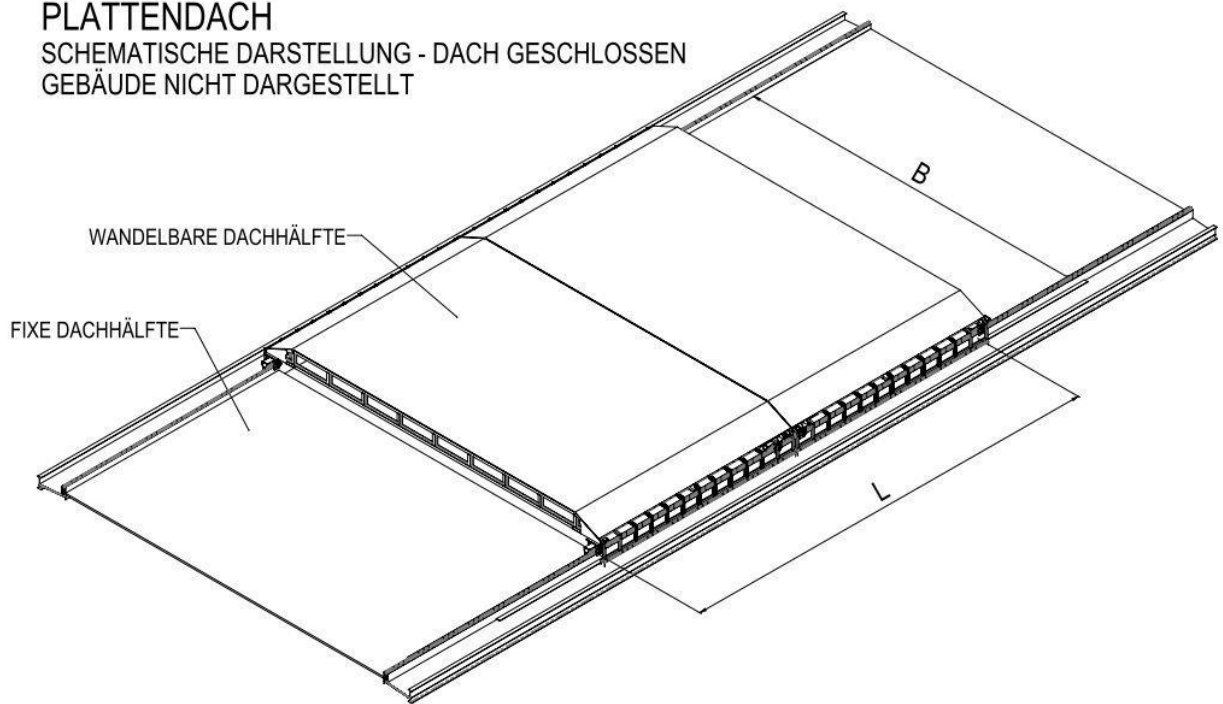


Abbildung 73: Plattendach - geschlossen

PLATTENDACH
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH OFFEN
GEBÄUDE NICHT DARGESTELLT

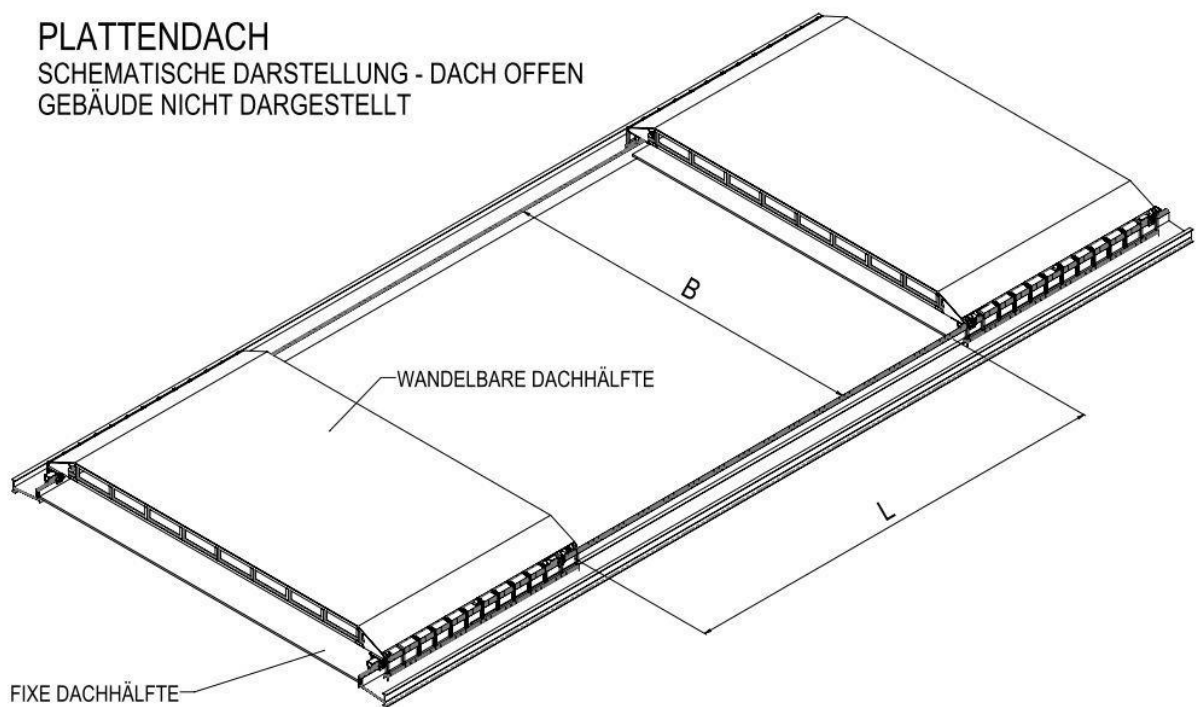


Abbildung 74: Plattendach - offen

Schienanordnung (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil der Schienenanzahl.
2	Montageaufwand	0,5	Der Montageaufwand der Schiene ist prozentual bei umfangreicheren Projekten ebenso niedriger als bei Kleinprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
3	Materialeinsatz	0,5	Der Materialeinsatz der Schiene ist prozentual bei umfangreicheren Projekten ebenso niedriger als bei Kleinprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
4	Platzbedarf	0,7	Es wird nur ein geringer Bauraum zur Verfügung gestellt.
5	Belastbarkeit	0,7	Es treten hier im Verhältnis mittelgroße Kräfte auf.
6	Symmetrie	0,5	Durch die Symmetrie können gleiche Teile verwendet werden.
7	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	1	Die Schiene sollte optimal ausgenützt werden.

Tabelle 33: Bewertungssystem Beispiel 2 - Schienenanordnung

Ergebnis

	1-1 Anordnung	2-1 Anordnung	2-2 Anordnung
Gesamtnutzen:	16,9	11,2	14,4

Tabelle 34: Auswertung Beispiel 2 - Schienenanordnung

Schienenart (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil der Schiene. Durch die 1-1 Anordnung sind die Mengen überschaubar.
2	Verfügbarkeit / Standardisierung	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
3	Belastbarkeit	0,7	Es treten hier im Verhältnis mittelgroße Kräfte auf.
4	Gewicht in Bezug auf die Belastbarkeit	0,7	Schiene sollte optimal ausgenützt werden. Trägt zu den Kosten bei.
5	Biessamkeit um die horizontale Achse (Dach bewegt sich auf einer Kreisbahn)	0	Keine Biegung um die horizontale Achse benötigt. Dach bewegt sich auf einer Ebene.
6	Biessamkeit um die vertikale Achse (Dach fährt Kurven)	0	Keine Biegung um die vertikale Achse benötigt.
7	Korrosionsschutz	0,7	Aufgrund der Korrosionsklasse C4 wichtig.
8	Montierbarkeit mit der Unterkonstruktion	0,5	Aufgrund der Schienenlänge und dem Aufstellungsort sollte eine einfache Montage gewährleistet sein.
9	Verbindung mit Lagerungspartner	0,5	Aufgrund der geringen Stückzahlen an Fahrwagen muss es nicht zwingend einen standardisierter Lagerungspartner geben.

Tabelle 35: Bewertungssystem Beispiel 2 - Schienenart

Ergebnis

	Standard Profil	Vignolschiene	Kranschiene	Sonderbauform
Gesamtnutzen:	15,5	16,3	17	13,8

Tabelle 36: Auswertung Beispiel 2 - Schienenart

Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Platzbedarf	0,5	Durch die 1-1 Schienenanordnung ist der Fahrwagen in der Breite begrenzt.
3	Belastbarkeit	0,7	Es treten hier im Verhältnis mittelgroße Kräfte auf.
4	Materialeinsatz	0,5	Der Materialeinsatz des Fahrwagens ist prozentual bei größeren Projekten kleiner als bei Kleinprojekten. Durch die geringe Anzahl an Fahrwagen jedoch weniger wichtig. Trägt zu den Kosten bei.
5	Länge des Fahrwagens	0,3	Durch die Montage der Fahrwagen mit der Plattenhälfte ergeben sich große Abstände zwischen den Wagen, die sich nicht verändern, dadurch spielt die Länge des Wagens nur eine untergeordnete Rolle.
6	Komplexität	0,7	Der Fahrwagen sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.

Tabelle 37: Bewertungssystem Beispiel 2 – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

Ergebnis

	2 Auflagepunkte	3 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte
Gesamtnutzen:	13,9	10,3	8

Tabelle 38: Auswertung Beispiel 2 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Schiene

Art der Lagerung (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Belastbarkeit	0,7	Es treten hier im Verhältnis mittelgroße Kräfte auf.
3	Reibungsverhalten (bei einer Fahrgeschwindigkeit von < 2 m/min)	0,5	Prinzipiell muss keine Wälzlagerung vorgesehen werden. Aber je besser das Reibverhalten der Lagerung, desto weniger Antriebskraft wird benötigt.
4	Haftgleiteffekt	1	Ruckartige Bewegungen bewirken möglicherweise unerwünschte Schwingungen der Plattenhälfte.
5	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
6	Verschleiß	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
7	Wartung	0,7	Eine leichte Austauschbarkeit der Teile erleichtert die Wartung.
8	Lebensdauer	0,7	Durch die aufwändig durchzuführenden Wartungseinsätze ist die Lebensdauer der Lagerung wichtig.
9	Robustheit	0,5	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems wichtig, um die Funktion des Daches zu gewährleisten. Jedoch sind die Fahrwagen nicht direkt der Witterung ausgesetzt, da sie sich unter der Plattenhälfte befinden.
10	Platzbedarf	0,3	Zwischen den Fahrwagen ergeben sich große Abstände, die sich nicht verändern, dadurch spielt der Platzbedarf der Lagerart nur eine untergeordnete Rolle.

11	Komplexität	1	Die Lagerart sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
12	Anpassung der Lagerart auf geometrische Formen der Schiene (nicht nur auf ebener Fläche fahren)	0,3	Durch die Verwendung von Kranschienen muss die Lagerart nicht auf spezielle Formen der Schiene anpassbar sein.
13	Adaptierbarkeit der Lager mit dem Antriebssystem	1	Die Paarung Lagerart und Antrieb sollten aufeinander abgestimmt sein, um eine kompakte Bauweise zu ermöglichen.

Tabelle 39: Bewertungssystem Beispiel 2 – Art der Lagerung

Ergebnis

	hydrodynamische Gleitführung	hydrostatische Gleitführung	aerostatische Gleitführung	Trocken-Gleitführung
Gesamtnutzen:	20,9	19,4	19	29
	Laufrollen	Umlaufschuhe	Profilschienenführung	
Gesamtnutzen:	37,3	34,2	33,5	

Tabelle 40: Auswertung Beispiel 2 – Art der Lagerung

Antriebssystem (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
3	Antriebskraft	0,7	Es wird hier im Verhältnis eine mittelgroße Antriebskraft benötigt.
4	Steuerbarkeit mehrere Wagen	0	Es ist hier nicht notwendig mehrere Fahrwagen anzutreiben, da alle Wagen mit der Plattenhälfte verbunden sind.
5	Komplexität (mitfahrender Antrieb, Elektronik)	0,7	Das Antriebssystem sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
6	Einstellungsmöglichkeit (Ausgleich der Schrägstellung – Rotation um Z-Achse)	0,5	Durch die große Breite des Daches bewirkt das Vorfahren oder Nachhinken eines Fahrwagens nur eine geringe Schrägstellung. Jedoch zum Abdichten der zwei Dachhälften müssen diese parallel zusammenfahren.
7	Robustheit	0,5	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems wichtig, um die Funktion des Daches zu gewährleisten. Jedoch sind die Fahrwagen nicht direkt der Witterung ausgesetzt, da sie sich unter der Plattenhälfte befinden.
8	zusätzliche Komponenten (Seilführungsrollen, Zahnstange,..)	0,7	Zusätzlich benötigte Komponenten tragen zu den Kosten bei. Durch die großen Fahrwege sollen diese vermieden werden.
9	Abhängigkeit der Lagerungsart (muss eine bestimmte Lagerart verwendet werden?)	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Antriebsart verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
10	Verhältnis der Antriebskraft (Reibung) zum Fahrwiderstand	0	Das Dach bewegt sich auf einer Ebene. Die Plattenhälften sind sehr schwer und daher gibt es keine Auswirkungen.

Tabelle 41: Bewertungssystem Beispiel 2 – Antriebssystem

Ergebnis

	Reib Antrieb	Winden Antrieb	Zahnstangen Antrieb	Triebstock Antrieb	Hydraulisches Gleitsystem
Gesamtnutzen:	16,5	16,3	11,5	11,1	14,1

Tabelle 42: Auswertung Beispiel 2 – Antriebssystem

Bewegungen in Z-Richtung (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Komplexität	0,5	Die Abhebesicherung sollte so einfach als möglich gestaltet werden.
3	Verhalten im statischen Zustand des Daches (offen/geschlossen)	0,3	Auch im statischen Zustand des Daches sind nur geringe abhebende Kräfte vorhanden.
4	Verhalten im dynamischen Zustand des Daches (während des Fahrens)	0	Abhebende Kräfte treten nur im statischen Zustand des Daches auf.
5	Verschleiß/Wartung	0,3	Abhebenden Kräfte treten nur im statischen Zustand des Daches auf und daher beschränkt sich der Verschleiß nur auf einen geringen Bereich.

Tabelle 43: Bewertungssystem Beispiel 2 – Bewegung in Z-Richtung

Ergebnis

	Schienezange	Abheberollen
Gesamtnutzen:	6,8	5,1

Tabelle 44: Auswertung Beispiel 2 – Bewegung in Z-Richtung

Bewegungen in Y-Richtung (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Reibungsverhalten	0,7	Je besser das Reibverhalten ist, desto kleiner können die seitlichen Führungsrollen der Loslagerseite dimensioniert werden, weil die Differenzkräfte geringer sind.
3	Haftgleiteffekt	0,5	Der Haftgleiteffekt muss nicht zwingend vermieden werden. Dieser Effekt wirkt sich aber wiederum negativ auf die Dimensionierung der Führungsrollen aus.
4	Verschleiß/Wartung	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
5	Robustheit	0,5	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems wichtig, um die Funktion der Bewegungsfreiheit zu gewährleisten. Jedoch sind die Fahrwagen nicht direkt der Witterung ausgesetzt, da sie sich unter der Plattenhälfte befinden.
6	Platzbedarf	0,7	Die niedrige Bauhöhe ist wichtig, da nur ein begrenzter vertikaler Abstand von Schiene bis Plattenhälfte zur Verfügung steht.
7	Abhebesicherung	0,7	Es treten nur geringe abhebende Kräfte auf. Jedoch aufgrund der 1-1 Schienenanordnung müssen große Momente übertragen werden.
8	Komplexität	0,7	Die Lagerart der Bewegungsaufnahme sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.

Tabelle 45: Bewertungssystem Beispiel 2 – Bewegung in Y-Richtung

Ergebnis

	Gleitplatte	Gleitrohrsystem	Umlaufschuhe	Pendelsystem
Gesamtnutzen:	14,8	17,6	16,7	17,2

Tabelle 46: Auswertung Beispiel 2 – Bewegung in Y-Richtung

Rotation um X-Achse (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	1	Es sollte sich keine Lastreduktion durch eine schiefe Belastung auf die Schienenebene ergeben. Die Schiene sollte optimal ausgenutzt werden.
3	Fertigungsaufwand	0,5	Der Fertigungsaufwand sollte so gering als möglich gehalten werden. Trägt zu den Kosten bei. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
4	Abhängigkeit der Lagerungsart	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Bewegungsmöglichkeit verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
5	Abhängigkeit der Schienenart	1	Durch die Verwendung einer Kranschiene kann keine ballige Schiene verwendet werden.
6	Aufnahmemöglichkeit von seitlichen Kräften	0	Da seitliche Führungsrollen schon montiert werden benötigt es keine spezielle ballige Schiene oder Laufräder, um Kräfte aufzunehmen.

Tabelle 47: Bewertungssystem Beispiel 2 – Rotation um X-Achse

Ergebnis

	Rotationsgelenk	ballige Laufräder	ballige Schiene	ballige Laufräder und ballige Schiene
Gesamtnutzen:	0	11	0	0

Tabelle 48: Auswertung Beispiel 2 – Rotation um X-Achse

Hier ist zu beachten, dass kein Rotationsgelenk eingesetzt werden darf, da es sich um eine 1-1 Schienenanordnung handelt. Nach den hier aufgelisteten Ergebnissen kommen nur ballige Laufräder in Frage. Jedoch aufgrund der geringen Durchbiegung des Plattendaches ist zu prüfen ob die Kranschiene ausreichend ballig ist, um eine Rotation um die X-Achse mit normalen Laufrollen zu ermöglichen.

Rotation um Z-Achse (Beispiel 2)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,5	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber nur wenige Fahrwagen.
2	Belastbarkeit (Z-Richtung)	0,7	Es treten hier im Verhältnis mittelgroße Kräfte auf.
3	Belastbarkeit (Y-Richtung)	0,5	Durch die Verwendung der wälzgelagerten Bewegungsmöglichkeit in Y-Richtung sind die aufzunehmenden seitlich Kräfte eher geringer.
4	Drehmomenten - Aufnahme (Rotation um X-Achse)	0,7	Durch die 1-1 Schienenanordnung kommt es bei Belastung zu einem relativ hohen Drehmoment.
5	Drehbarkeit (geringes Reibverhalten)	0,3	Prinzipiell muss keine Wälzlagerung vorgesehen werden.
6	Verschleiß/Wartung	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
7	Abhebesicherung	0,3	Auch im statischen Zustand des Daches sind nur geringe abhebende Kräfte vorhanden.

Tabelle 49: Bewertungssystem Beispiel 2 – Rotation um Z-Achse

Ergebnis

	Drehgelenk mit Gleitplatte	Kugeldrehkranz selbsthaltend	Kugeldrehkranz nicht selbsthaltend
Gesamtnutzen:	13,1	13,2	11,7

Tabelle 50: Auswertung Beispiel 2 – Rotation um Z-Achse

Kombinationen und Mehrbewegungssysteme (Beispiel 2)

Da diesem Dach eine 1-1 Schienenanordnung zugrunde liegt können keine Mehrbewegungssysteme eingesetzt werden. Es ergibt sich eine Kombination, wie in der unten stehenden Tabelle angeführt.

Zusammenfassung der Ergebnisse (Beispiel 2)

Lagerauswahl	
Schienenanordnung:	1-1 Anordnung
Schienenart:	Kranschiene
Anzahl der Auflagepunkte:	2 Auflagepunkte
Art der Lagerung:	Laufrollen
Antriebssystem:	Reibantrieb
Bewegungsaufnahme	
Bewegung in Z-Richtung	Schienezangen
Bewegung in Y-Richtung	Gleitrohrsystem
Rotation um X-Achse	Ballige Laufräder
Rotation um Z-Achse	Kugeldrehkranz selbsthaltend
Kombinationslager	-

Tabelle 51: Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 2

Lösungsansatz (Beispiel 2)

Durch die Anwendung des Bewertungssystems kann nun ein geeigneter Lösungsansatz für dieses Beispiel erstellt werden. Der Lösungsansatz enthält die oben angeführten Ergebnisse zur Lagerauswahl und Bewegungsaufnahmen. Dieser Lösungsansatz stellt nicht die finale Lösung dar sondern soll als optimaler Einstieg in die Detailplanung des Projektes dienen.

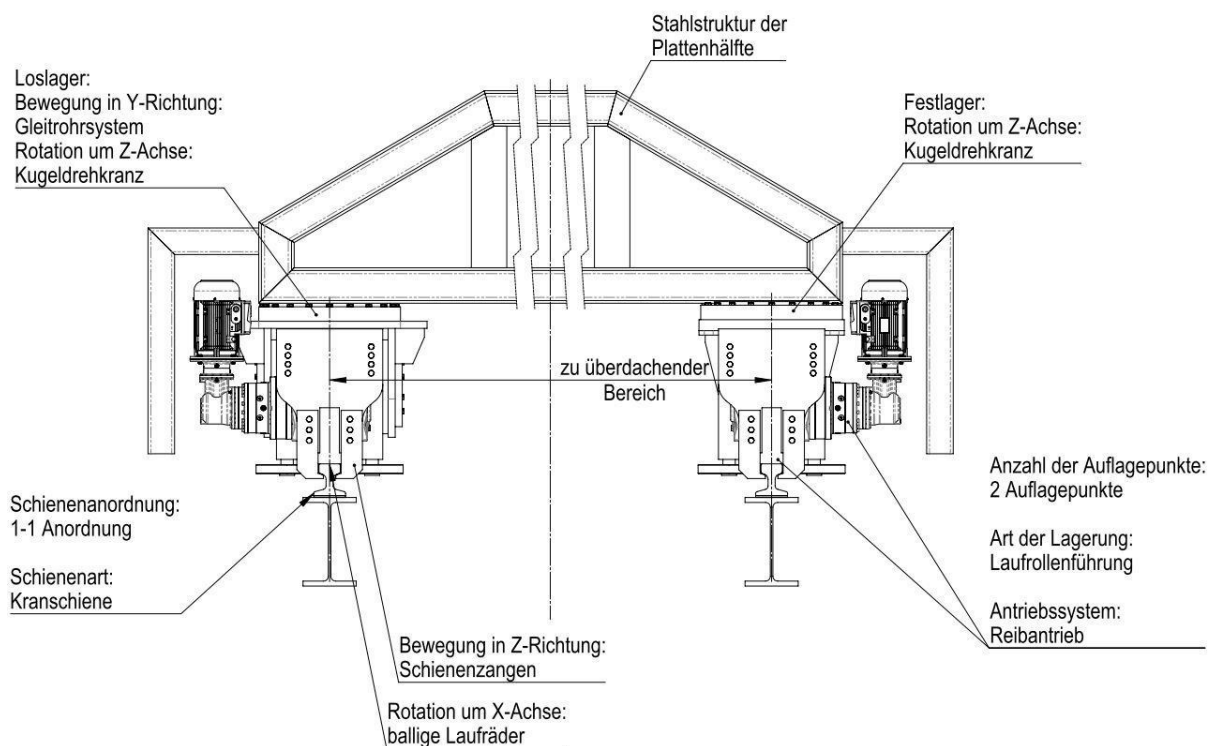


Abbildung 75: Lösungsansatz Beispiel 2 – Detail 1

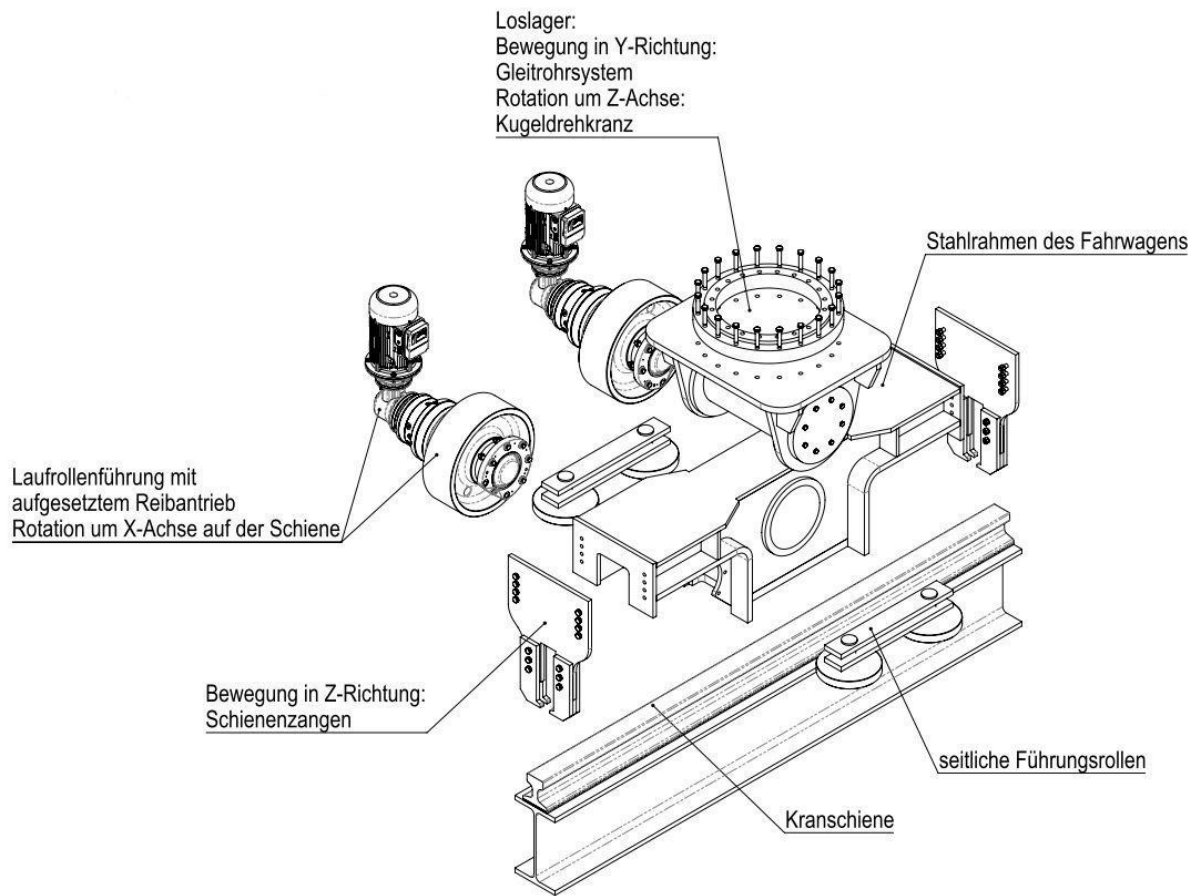


Abbildung 76: Lösungsansatz Beispiel 2 – Detail 2

10.3 Beispiel 3: Ziehharmonika Dach

Generelle Betriebsbedingungen (Anforderungsliste):

Art:	Bogentragwerk gestütztes Membrandach (Ziehharmonika Dach)
Zweck:	Stadion Überdachung
Abmessungen der zu überdachenden Fläche LxB:	ca. 11000mm x 90000mm
Zu überdachende Fläche:	ca. 9900 m ²
Anzahl der Fahrten: (Dach Öffnen und Schließen = 2 Fahrten)	30 pro Jahr
Dauer für einen Fahrzyklus: (Öffnen oder Schließen)	35 min
Temperaturbereich:	0°C – 50°C
Wasserdicht:	ja
Schneelasten:	keine
Korrosionsklasse:	C5
Max. Druckbelastung: (für den Fahrvorgang)	1 kN/m ²
Max. abhebende Belastung: (für den Fahrvorgang)	0,75 kN/m ²
Max. Druckbelastung: (im statischen Zustand des Daches)	2,5 kN/m ²
Max. abhebende Belastung: (im statischen Zustand des Daches)	1,5 kN/m ²
Anzunehmende Verschiebemöglichkeit (Y-Richtung)	+/- 250mm
Steuerung:	Automatikbetrieb
Lebensdauer:	20 Jahre

Tabelle 52: Betriebsbedingungen Beispiel 3

**BOGENTRAGWERK GESTÜTZTES MEMBRANDACH
(ZIEHHARMONIKA DACH)**
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH GESCHLOSSEN
GEBÄUDE NICHT DARGESTELLT



Abbildung 77: Ziehharmonika Dach - geschlossen

**BOGENTRAGWERK GESTÜTZTES MEMBRANDACH
(ZIEHHARMONIKA DACH)**
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG - DACH OFFEN
GEBÄUDE NICHT DARGESTELLT

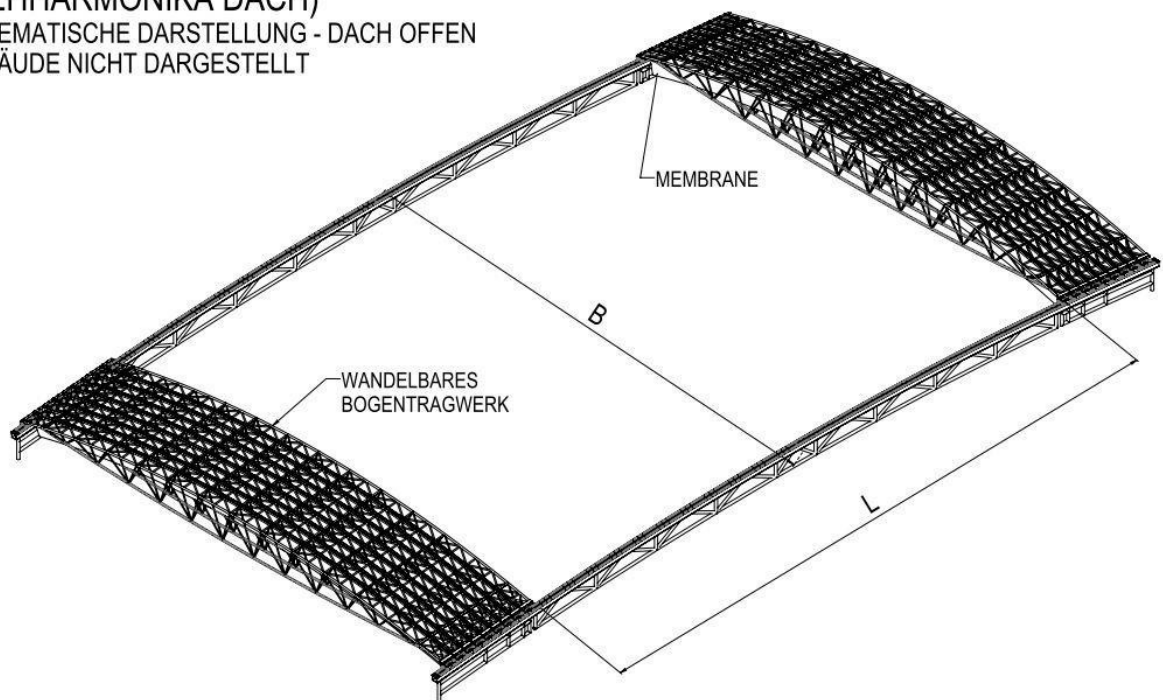


Abbildung 78: Ziehharmonika Dach - offen

Schienanordnung (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,3	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil der Schienenanzahl.
2	Montageaufwand	0,3	Der Montageaufwand der Schiene ist prozentual bei umfangreicheren Projekten ebenso niedriger als bei Kleinprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
3	Materialeinsatz	0,3	Der Materialeinsatz der Schiene ist prozentual bei umfangreicheren Projekten ebenso niedriger als bei Kleinprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
4	Platzbedarf	0,5	Es wird ausreichend Bauraum zur Verfügung gestellt.
5	Belastbarkeit	1	Es treten hier im Verhältnis sehr große Kräfte auf.
6	Symmetrie	0,5	Durch die Symmetrie können gleiche Teile verwendet werden.
7	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	1	Die Schiene sollte optimal ausgenützt werden.

Tabelle 53: Bewertungssystem Beispiel 3 - Schienenanordnung

Ergebnis

	1-1 Anordnung	2-1 Anordnung	2-2 Anordnung
Gesamtnutzen:	13,5	9,9	14,7

Tabelle 54: Auswertung Beispiel 3 - Schienenanordnung

Schienenart (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil der Schiene. Durch die 2-2 Anordnung ergeben sich jedoch große Mengen.
2	Verfügbarkeit / Standardisierung	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
3	Belastbarkeit	1	Es treten hier im Verhältnis sehr große Kräfte auf.
4	Gewicht in Bezug auf die Belastbarkeit	0,7	Schiene sollte optimal ausgenützt werden. Trägt zu den Kosten bei.
5	Biessamkeit um die horizontale Achse (Dach bewegt sich auf einer Kreisbahn)	1	Die Fahrwagen bewegen sich auf einer Kreisbahn.
6	Biessamkeit um die vertikale Achse (Dach fährt Kurven)	0	Keine Biegung um die vertikale Achse benötigt.
7	Korrosionsschutz	1	Aufgrund der Korrosionsklasse C5 sehr wichtig.
8	Montierbarkeit mit der Unterkonstruktion	0,7	Aufgrund der Schienenlänge durch die 2-2 Anordnung und dem Aufstellungsort sollte eine einfache Montage gewährleistet sein.
9	Verbindung mit Lagerungspartner	0,7	Aufgrund der vielen Stückzahlen an Fahrwagen sollte es einen standardisierten Lagerungspartner geben.

Tabelle 55: Bewertungssystem Beispiel 3 - Schienenart

Ergebnis

	Standard Profil	Vignolschiene	Kranschiene	Sonderbauform
Gesamtnutzen:	24,6	22,7	25,7	21,1

Tabelle 56: Auswertung Beispiel 3 - Schienenart

Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Platzbedarf im geparkten Zustand des Daches	0,7	Im geparkten Zustand müssen die Bogentragwerke so knapp als möglich zueinander fahren um den Garagenbereich klein zu halten.
3	Belastbarkeit	1	Es treten hier im Verhältnis sehr große Kräfte auf.
4	Materialeinsatz	0,5	Der Materialeinsatz des Fahrwagens ist prozentual bei größeren Projekten kleiner als bei Kleinprojekten. Trägt zu den Kosten bei.
5	Länge des Fahrwagens	0,5	Die Länge des Fahrwagens ist nur bedingt wichtig, jedoch im geparkten Zustand darf er nicht länger sein als das Bogentragwerk sein.
6	Komplexität	0,7	Der Fahrwagen sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.

Tabelle 57: Bewertungssystem Beispiel 3 – Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

Ergebnis

	3 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte	4 Auflagepunkte ohne Wippe
Gesamtnutzen:	16	12,7	15,5

Tabelle 58: Auswertung Beispiel 3 - Anzahl der Auflagepunkte bei einer Doppelschiene

Art der Lagerung (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Belastbarkeit	1	Es treten hier im Verhältnis sehr große Kräfte auf.
3	Reibungsverhalten (bei einer Fahrgeschwindigkeit von < 2 m/min)	0,7	Je besser das Reibverhalten der Lagerung, desto weniger Antriebskraft wird benötigt.
4	Haftgleiteffekt	1	Ruckartige Bewegungen bewirken möglicherweise unerwünschte Schwingungen der Bogentragwerke.
5	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
6	Verschleiß	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
7	Wartung	0,7	Eine leichte Austauschbarkeit der Teile erleichtert die Wartung.
8	Lebensdauer	0,7	Durch die aufwändig durchzuführenden Wartungseinsätze ist die Lebensdauer der Lagerung wichtig.
9	Robustheit	1	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems sehr wichtig, um die Funktion des Daches zu gewährleisten. Die Fahrwagen sind direkt der Witterung ausgesetzt.
10	Platzbedarf	0,7	Im geparkten Zustand müssen die Bogentragwerke so knapp als möglich zueinander fahren um den Garagenbereich klein zu halten. Daher ist es wichtig auch die Lagerart kompakt zu halten.

11	Komplexität	1	Die Lagerart sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
12	Anpassung der Lagerart auf geometrische Formen der Schiene (nicht nur auf ebener Fläche fahren)	0,3	Durch die Verwendung von Kranschienen muss die Lagerart nicht auf spezielle Formen der Schiene anpassbar sein.
13	Adaptierbarkeit der Lager mit dem Antriebssystem	1	Die Paarung Lagerart und Antrieb sollten aufeinander abgestimmt sein, um eine kompakte Bauweise zu ermöglichen.

Tabelle 59: Bewertungssystem Beispiel 3 – Art der Lagerung

Ergebnis

	hydrodynamische Gleitführung	hydrostatische Gleitführung	aerostatische Gleitführung	Trocken-Gleitführung
Gesamtnutzen:	25,5	23,4	22,5	35,2
	Laufrollen	Umlaufschuhe	Profilschienenführung	
Gesamtnutzen:	44,2	40,6	38,2	

Tabelle 60: Auswertung Beispiel 3 – Art der Lagerung

Antriebssystem (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Standardisierung/Verfügbarkeit	0,7	Durch die gute Standardisierung und Verfügbarkeit können die Lieferzeiten und Kosten gesenkt werden.
3	Antriebskraft	1	Es wird hier im Verhältnis eine sehr große Antriebskraft benötigt.
4	Steuerbarkeit mehrere Wagen	1	Für die genaue Positionierung jedes Bogentragwerkes ist es wichtig mehrere Wagen anzutreiben.
5	Komplexität (mitfahrender Antrieb, Elektronik)	0,5	Das Antriebssystem sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
6	Einstellungsmöglichkeit (Ausgleich der Schrägstellung – Rotation um Z-Achse)	0,5	Durch die große Breite des Daches bewirkt das Vorfahren oder Nachhinken eines Fahrwagens nur eine geringe Schrägstellung. Jedoch zum Abdichten der zwei Dachhälften müssen diese parallel zusammenfahren.
7	Robustheit	1	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems sehr wichtig, um die Funktion des Daches zu gewährleisten. Die Fahrwagen sind direkt der Witterung ausgesetzt.
8	zusätzliche Komponenten (Seilführungsrollen, Zahnstange,..)	0,7	Zusätzlich benötigte Komponenten tragen zu den Kosten bei. Durch die großen Fahrwege sollen diese vermieden werden.
9	Abhängigkeit der Lagerungsart (muss eine bestimmte Lagerart verwendet werden?)	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Antriebsart verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
10	Verhältnis der Antriebskraft (Reibung) zum Fahrwiderstand	1	In der Garagenposition fährt das Dach auf einer Kreisbahn los. Zusätzlich besitzen die Bogentragwerke eine große

			Windangriffsfläche und es kann somit zu abhebenden Kräften kommen. Die Normalkraft und dadurch auch die Reibkraft ist somit klein.
--	--	--	--

Tabelle 61: Bewertungssystem Beispiel 3 – Antriebssystem

Ergebnis

	Reib Antrieb	Windantrieb	Zahnstangen Antrieb	Triebstock Antrieb	Hydraulisches Gleitsystem
Gesamtnutzen:	24,5	24,6	24,6	24,9	24,3

Tabelle 62: Auswertung Beispiel 3 – Antriebssystem

Bewegungen in Z-Richtung (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Komplexität	0,5	Die Abhebesicherung sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.
3	Verhalten im statischen Zustand des Daches (offen/geschlossen)	1	Im statischen Zustand des Daches treten große abhebende Kräfte auf.
4	Verhalten im dynamischen Zustand des Daches (während des Fahrens)	1	Durch die große Windangriffsfläche des Bogentragwerks kommt es unter dem Fahrvorgang zu abhebenden Kräften.
5	Verschleiß/Wartung	1	Durch die abhebenden Kräfte während der Fahrt sollte die Schiene nicht beschädigt werden, um einen frühzeitigen Austausch dieser zu verhindern.

Tabelle 63: Bewertungssystem Beispiel 3 – Bewegung in Z-Richtung

Ergebnis

	Schienezange	Abheberollen
Gesamtnutzen:	13	15,6

Tabelle 64: Auswertung Beispiel 3 – Bewegung in Z-Richtung

Bewegungen in Y-Richtung (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Reibungsverhalten	0,7	Je besser das Reibverhalten ist, desto kleiner können die seitlichen Führungsrollen der Loslagerseite dimensioniert werden, weil die Differenzkräfte geringer sind.
3	Haftgleiteffekt	0,5	Der Haftgleiteffekt muss nicht zwingend vermieden werden. Dieser Effekt wirkt sich aber wiederum negativ auf die Dimensionierung der Führungsrollen aus.
4	Verschleiß/Wartung	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
5	Robustheit	1	Durch die aufwändig durchzuführende Wartung ist die Robustheit des Systems wichtig, um die Funktion der Bewegungsfreiheit zu gewährleisten. Die Fahrwagen sind direkt der Witterung ausgesetzt.
6	Platzbedarf	0,7	Eine niedrige Bauhöhe ist wichtig, um den Schwerpunkt des Bogentragwerks so nah wie möglich an die Schiene heranzubringen. Dies beeinflusst das Kippmoment des Tragwerks und somit die Lagerung.
7	Abhebesicherung	1	Es treten sehr große abhebende Kräfte auf.
8	Komplexität	0,7	Die Lagerart der Bewegungsaufnahme sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei.

Tabelle 65: Bewertungssystem Beispiel 3 – Bewegung in Y-Richtung

Ergebnis

	Gleitplatte	Gleitrohrsystem	Umlaufschuhe	Pendelsystem
Gesamtnutzen:	17,3	21,7	19	21

Tabelle 66: Auswertung Beispiel 3 – Bewegung in Y-Richtung

Rotation um X-Achse (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Kraftverteilung des Fahrwagens auf die Schiene bei Belastung des Daches	1	Es sollte sich keine Lastreduktion durch eine schiefe Belastung auf die Schienenebene ergeben. Die Schiene sollte optimal ausgenutzt werden.
3	Fertigungsaufwand	0,7	Der Fertigungsaufwand sollte so gering als möglich gehalten werden. Trägt zu den Kosten bei. Es gibt eine große Anzahl an Fahrwagen.
4	Abhängigkeit der Lagerungsart	0	Durch die Verwendung der Laufrollen kann jede Bewegungsmöglichkeit verwendet werden und dadurch spielt dieser Aspekt keine Rolle.
5	Abhängigkeit der Schienenart	1	Durch die Verwendung einer Kranschiene kann keine ballige Schiene verwendet werden.
6	Aufnahmemöglichkeit von seitlichen Kräften	0	Da seitliche Führungsrollen schon montiert werden benötigt es keine spezielle ballige Schiene oder Laufräder, um Kräfte aufzunehmen.

Tabelle 67: Bewertungssystem Beispiel 3 – Rotation um X-Achse

Ergebnis

	Rotationsgelenk	ballige Laufräder	ballige Schiene	ballige Laufräder und ballige Schiene
Gesamtnutzen:	17	0	0	0

Tabelle 68: Auswertung Beispiel 3 – Rotation um X-Achse

Durch den Einsatz einer 2-2 Schienenanordnung findet keine Rotation um die X-Achse zwischen der Schiene und dem Laufrad statt, deshalb werden die Rotationsgelenke verwendet.

Rotation um Z-Achse (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Belastbarkeit (Z-Richtung)	1	Es treten hier im Verhältnis sehr große Kräfte auf.
3	Belastbarkeit (Y-Richtung)	1	Durch die Verwendung der gleitgelagerten Bewegungsmöglichkeit in Y-Richtung sind die aufzunehmenden seitlich Kräfte hoch.
4	Drehmomenten - Aufnahme (Rotation um X-Achse)	1	Durch die große Breite der Bogentragwerke kommt es bei Belastung derer zu einem hohen Drehmoment.
5	Drehbarkeit (geringes Reibverhalten)	0,3	Prinzipiell muss keine Wälzlagerung vorgesehen werden.
6	Verschleiß/Wartung	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.
7	Abhebesicherung	1	Im statischen Zustand des Daches treten große abhebende Kräfte auf.

Tabelle 69: Bewertungssystem Beispiel 3 – Rotation um Z-Achse

Ergebnis

	Drehgelenk mit Gleitplatte	Kugeldrehkranz selbsthaltend	Kugeldrehkranz nicht selbsthaltend
Gesamtnutzen:	21,1	20,7	15,4

Tabelle 70: Auswertung Beispiel 3 – Rotation um Z-Achse

Kombinationen und Mehrbewegungssysteme (Beispiel 3)

NR.	Auswahlkriterien K	Gewichtung	Begründung
1	Kostenaufwand	0,7	Grundsätzlich sind die Kosten immer so gering als möglich zu halten. Jedoch je umfangreicher das Dach ist desto geringer ist der prozentuale Kostenanteil. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
2	Platzbedarf	0,7	Eine niedrige Bauhöhe ist wichtig, um den Schwerpunkt des Bogentragwerks so nah wie möglich an die Schiene heranzubringen. Dies beeinflusst das Kippmoment des Tragwerks und somit die Lagerung.
3	Komplexität	0,7	Das Bewegungssystem sollte so einfach als möglich gestaltet werden. Trägt zu den Kosten bei. Es gibt aber eine große Anzahl an Fahrwagen.
4	Verschiebbarkeit Y-Richtung (geringes Reibverhalten)	0,7	Je besser das Reibverhalten ist, desto kleiner können die seitlichen Führungsrollen der Loslagerseite dimensioniert werden, weil die Differenzkräfte geringer sind.
5	Verschiebungsgröße Y-Richtung	1	Die Verschiebemöglichkeit von +/- 250mm muss gewährleistet werden.
6	Drehbarkeit X-Achse (geringes Reibverhalten)	0,3	Es muss nur eine Durchbiegung der Plattenhälfte ermöglicht werden. Keine besonderen Anforderungen.
7	Drehgröße X-Achse	0,5	Durch die große Breite der Bogentragwerke kommt es zu geringen Rotationen.
8	Drehbarkeit Z-Achse (geringes Reibverhalten)	0,3	Es muss nur eine Schrägstellung der Plattenhälfte ermöglicht werden. Keine besonderen Anforderungen.
9	Drehgröße Z-Achse	0,3	Durch die große Breite der Bogentragwerke bewirkt das Vorfahren oder Nachhinken eines Fahrwagens nur eine sehr geringe Schrägstellung.
10	Abhebesicherung	1	Es treten sehr große abhebende Kräfte auf.
11	Verschleiß/Wartung	0,7	Durch die erschwerte Zugänglichkeit zu der Lagerung sollte der Verschleiß minimiert werden, um teure Wartungseinsätze zu vermeiden.

Tabelle 71: Bewertungssystem Beispiel 3 – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme

Ergebnis

	Gleitrohrsystem mit Rotationsgelenk und Gleitplatte mit Drehbolzen		Pendelsystem mit balligen Laufrädern
Gesamtnutzen:	26,7		21,3
	Elastomerlager	Kalottenlager	Topflager
Gesamtnutzen:	20,4	22,1	20,8

Tabelle 72: Auswertung Beispiel 3 – Kombinationen und Mehrbewegungssysteme

Zusammenfassung der Ergebnisse (Beispiel 3)

Lagerauswahl	
Schieneanordnung:	2-2 Anordnung
Schieneart:	Kranschiene
Anzahl der Auflagepunkte:	3 Auflagepunkte
Art der Lagerung:	Laufrollen
Antriebssystem:	Triebstockantrieb
Bewegungsaufnahme	
Bewegung in Z-Richtung	Abheberollen
Bewegung in Y-Richtung	Gleitrohrsystem
Rotation um X-Achse	Rotationsgelenk
Rotation um Z-Achse	Drehgelenk mit Gleitplatte
Mehrbewegungssysteme	Gleitrohrsystem mit Rotationsgelenk und Gleitplatte mit Drehbolzen

Tabelle 73: Zusammenfassung der Ergebnisse Beispiel 3

Lösungsansatz (Beispiel 3)

Durch die Anwendung des Bewertungssystems kann nun ein geeigneter Lösungsansatz für dieses Beispiel erstellt werden. Der Lösungsansatz enthält die oben angeführten Ergebnisse zur Lagerauswahl und Bewegungsaufnahmen. Dieser Lösungsansatz stellt nicht die finale Lösung dar sondern soll als optimaler Einstieg in die Detailplanung des Projektes dienen.

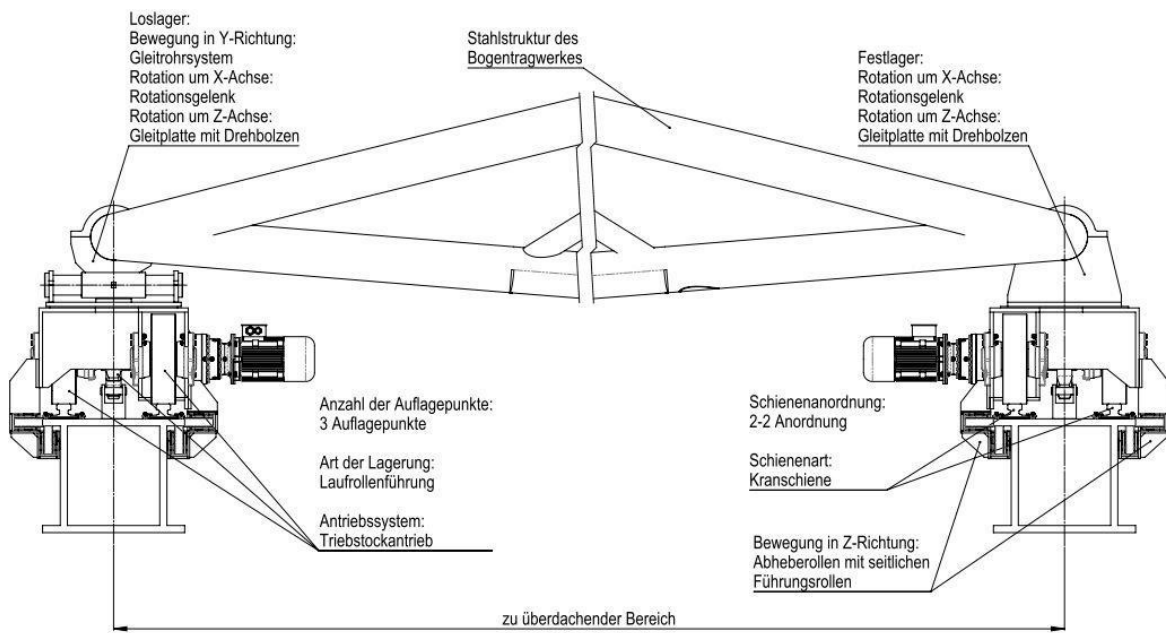


Abbildung 79: Lösungsansatz Beispiel 3 – Detail 1

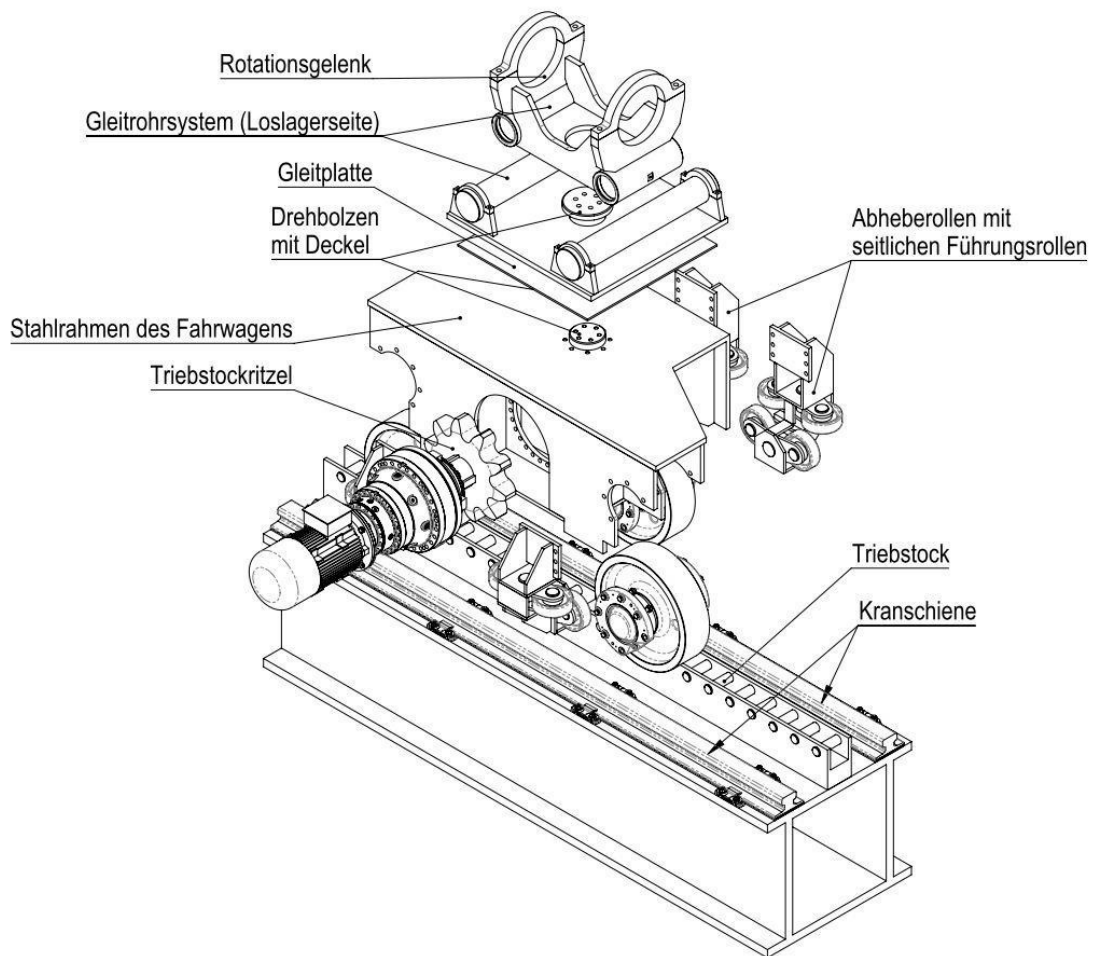


Abbildung 80: Lösungsansatz Beispiel 3 – Detail 2

11 Zusammenfassung

Das Thema der Diplomarbeit „Gestaltung der Lagerung und Bewegungsaufnahme eines schienengeführten verschiebbaren Daches“ resultierte aus den Anforderungen des Unternehmens, in dem ich tätig bin. Dieses Unternehmen hat sich auf die Durchführung von Projekten mit seilgeführten beweglichen Dächern spezialisiert. Aufgrund von firmeninternen Zielen will sich die Pfeifer Systems GmbH stetig weiterentwickeln und dadurch auch im Bereich der schienengeführten verschiebbaren Dächern tätig werden. Diese Arbeit soll als wissenschaftlicher Einstieg in dieses Thema dienen.

Im ersten Hauptteil der Arbeit wurden die theoretischen Grundlagen der Lagertypen und die auftretenden Bewegungen ausgearbeitet. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse wurden im zweiten Hauptteil zusammengefasst und durch die Erstellung eines Bewertungssystems ist es möglich die einzelnen Systeme miteinander zu vergleichen. Im dritten und letzten Teil der Diplomarbeit wurde dieses Bewertungssystem auf verschiedene Beispiele angewandt und ein entsprechender Lösungsvorschlag wurde aufgezeigt. Dabei ist zu sagen, dass in dieser Arbeit sicher nicht alle möglichen Lösungsvarianten dargestellt wurden aber ein wesentlicher und praxisrelevanter Teil wurde bearbeitet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Pfeifer Systems GmbH durch solche innovative Projekte auf dem strategisch richtigen Weg befindet. Denn durch den Einsatz von beweglichen Überdachungen ist eine weitaus vielseitigere Nutzung möglich und dadurch auch eine optimale wirtschaftliche Auslastung der Stadien bzw. Arenen gegeben.

12 Literaturverzeichnis

Alle Abbildungen die nicht mit einer Quellenangabe versehen sind wurden eigens von mir erstellt. Die dafür verwendete Software ist ein 3D-CAD Konstruktionsprogramm „Solidworks Professional 2016“ vom Softwareunternehmen Dassault Systems.

- Griemert, Rudolf / Römisch, Peter: Fördertechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen. 11. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014
- Gumba GmbH: Produktkatalog. Brückenlager. Aschheim: 2011
URL
<https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK Ewir9LnMspjXAhWEa1AKHUovBscQjBAILTAB&url=http%3A%2F%2Fwww.gumba.de%2Fother%2FKatalog%25202011.pdf&usg=AOvVaw1pH2p_qfox4TI9ZOe6pWAx>, 03.02.2016
- Jenni, Martin: Persönliche Gespräche. Mündliche Mitteilungen. Sateins: 2014-2017
- Rauchfuß, Lutz: Vorlesung. Grundlagen der Antriebstechnik. Fulpmes: 2015
- Scheffler, Martin / Feyrer, Klaus / Matthias, Karl: Fördermaschinen. Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge. Wiesbaden: Springer Vieweg, 1998
- Scheffler, Martin: Grundlagen der Fördertechnik – Elemente und Triebwerke. Wiesbaden: Springer Vieweg, 1994
- Thurner, Gabriel: Praxismodul I. Auslegung und Konstruktion „Fahrwagen“. Grins: 2014
- Thurner, Gabriel: Praxismodul II. Auswahl der geeigneten Lagerung (Fahrwagen) für die Bewegungen eines wandelbaren Daches. Grins: 2015
- Thurner, Gabriel: Praxismodul III. Aufnahmemöglichkeiten der auftretenden Bewegungen an der Lagerung (Fahrwagen) eines wandelbaren Daches. Grins: 2016
- Wittel, Herbert / Muhs, Dieter / Jannasch, Dieter / Voßiek, Joachim: Roloff/Matek Maschinenelemente. Normung Berechnung Gestaltung. 22. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015
- Wollnack, Jörg: Skriptum. Führungen und Lager. Hamburg: 2010
URL
<https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUK Ewijs_TO-pfXAhWBJFAKHRXMCgIQFgg3MAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.tuhh.de%2Fft%2Fwo%2FVorlesungen%2FWZMI%2FFuerungenLager.pdf&usg=AOvVaw2cBXuwjMHYBo6z3moGKWIQ>, 16.10.2015

13 Anhang

Materialdatenblatt IGOPAS-C6/100

faigle Kunststoffe GmbH
Landstrasse 31 | A-6971 Hard

T +43 (0) 5574 / 6811-0
F +43 (0) 5574 / 6811-22

kunststoffe@faigle.com
www.faigle.com



Materialdatenblatt Material: IGOPAS-C6/100

Mechanische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Streckspannung [sY] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53455 ASTM D 638	MPa (N/mm ²)	85 / 58
Bruchdehnung [eB] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53455 ASTM D 638	%	20 / 100
Zug- E- Modul [Et] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53457 ASTM D 638	MPa (N/mm ²)	3400 / 1900
max. zulässige Druckbelastung (dauernd)	Faigle	MPa (N/mm ²)	21 / 14
Charpy- Schlagzähigkeit [acU] (+23°C)	ISO 179 DIN 53453	kJ/m ²	NB / NB
Charpy- Kerbschlagzähigkeit [acN] (+23°C)	ISO 179 DIN 53453	kJ/m ²	5 / 23
Gleitreibungskoeffizient (p = 0.3N/mm ² / 0.6N/mm ² , v = 0.27m/s, gegen Stahl gehärtet und geschliffen)	-	-	0,36-0,43 / -
Thermische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
min. Einsatztemperatur (dauernd)	-	°C	-40
max. Einsatztemperatur (dauernd)	-	°C	90
max. Einsatztemperatur (kurzzeitig)	-	°C	170
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient (23 - 60°C)	ISO 11359	10 ⁻⁶ /K	80
Wärmeleitfähigkeit [λ] thermal conductivity (+23°C)	DIN 52612	W/(m×K)	0,29
Spez. Wärmekapazität [cp]	DIN 52612	kJ/(kg×K)	1,7
Brandverhalten	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Brennbarkeit nach UL94	IEC 60695-11-10	Class	HB

Materialdatenblatt
Material: IGOPAS-C6/100

Elektrische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Spez. Durchgangswiderstand	DIN IEC 60093 (DIN VDE 0303-30) ASTM D 257	O×cm	10 ¹⁴ / 10 ¹²
Spez. Oberflächenwiderstand	DIN IEC 60093 (DIN VDE 0303-30) ASTM D 257	O	- / 10 ¹²
Vergleichszahl der Kriechwegbildung [CTI]	DIN IEC 60112 (DIN VDE 0303-1)	-	600 / -
Elektrische Durchschlagfestigkeit	DIN EN 60243 (DIN VDE 0303-22)	kV/mm	30 / -
Physikalische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Dichte Rohdichte	ISO 1183 DIN 53479 ASTM D 792	g/cm ³	1,15 / -
Feuchteaufnahme bei Sättigung - Normklima (23°C, 50% RF)	ISO 62	%	2,4 / -
Wasseraufnahme bei Sättigung-Wasserlagerung 23°C	ISO 62 DIN 53495 ASTM D 570	%	7-9 / -

Diese Daten sind Richtwerte, die nach Herstellungsart der Probekörper und Beanspruchung Veränderungen unterworfen sind. Diese Angaben beruhen auf eigener Erfahrung und auf Herstellerangaben. Ihre Mitteilung erfolgt jedoch ohne Gewähr, da jeder Anwendungsfall anders ist, und mit Bezug auf seine speziellen Einfluss-Parameter betrachtet werden muß.

DVR: 0575607 / Firmenbuch: FN 303246 a / FB-Gericht Feldkirch / UID: ATU63895404 / ARA: 4998

Materialdatenblatt IGOPAS-C6/100X

faigle Kunststoffe GmbH
Landstrasse 31 | A-6971 Hard

T +43 (0) 5574 / 6811-0
F +43 (0) 5574 / 6811-22

kunststoffe@faigle.com
www.faigle.com



Materialdatenblatt Material: IGOPAS-C6/100 X

Mechanische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Streckspannung [sY] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53455 ASTM D 638	MPa (N/mm ²)	- / 50
Bruchdehnung [eB] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53455 ASTM D 638	%	- / 30
Zug- E- Modul [Et] (+23°C)	ISO 527-1/-2 DIN 53457 ASTM D 638	MPa (N/mm ²)	3100 / 1500
max. zulässige Druckbelastung (dauernd)	Faigle	MPa (N/mm ²)	15 / 12
Charpy- Schlagzähigkeit [acU] (+23°C)	ISO 179 DIN 53453	kJ/m ²	NB / -
Charpy- Kerbschlagzähigkeit [acN] (+23°C)	ISO 179 DIN 53453	kJ/m ²	- / 15
Gleitreibungskoeffizient (p = 0.3N/mm ² / 0.6N/mm ² , v = 0.27m/s, gegen Stahl gehärtet und geschliffen)	-	-	0,2-0,25 / -
Thermische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
min. Einsatztemperatur (dauernd)	-	°C	-40
max. Einsatztemperatur (dauernd)	-	°C	90
max. Einsatztemperatur (kurzzeitig)	-	°C	170
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient (23 - 60°C)	ISO 11359	10 ⁻⁶ /K	80
Spez. Wärmekapazität [cp]	DIN 52612	kJ/(kgxK)	1,7
Brandverhalten	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Brennbarkeit nach UL94	IEC 60695-11-10	Class	HB

Materialdatenblatt
Material: IGOPAS-C6/100 X

Elektrische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Spez. Durchgangswiderstand	DIN IEC 60093 (DIN VDE 0303-30) ASTM D 257	O×cm	10 ¹⁴ / 10 ¹²
Spez. Oberflächenwiderstand	DIN IEC 60093 (DIN VDE 0303-30) ASTM D 257	O	- / 10 ¹²
Elektrische Durchschlagfestigkeit	DIN EN 60243 (DIN VDE 0303-22)	kV/mm	30 / -

Physikalische Eigenschaften	Norm:	Einheit:	Trocken / Feucht:
Dichte Rohdichte	ISO 1183 DIN 53479 ASTM D 792	g/cm ³	1,14 / -
Feuchteaufnahme bei Sättigung - Normklima (23°C, 50% RF)	ISO 62	%	2,2 / -

Diese Daten sind Richtwerte, die nach Herstellungsart der Probekörper und Beanspruchung Veränderungen unterworfen sind. Diese Angaben beruhen auf eigener Erfahrung und auf Herstellerangaben. Ihre Mitteilung erfolgt jedoch ohne Gewähr, da jeder Anwendungsfall anders ist, und mit Bezug auf seine speziellen Einfluss-Parameter betrachtet werden muß.

DVR: 0575607 / Firmenbuch: FN 303246 a / FB-Gericht Feldkirch / UID: ATU63895404 / ARA: 4998

14 Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Grins, den 16.03.2018

Gabriel Thurner