

Verhalten der Sessel von Sesselbahnen im Wind

Autor(en): **Oplatka, Gabor / Richter, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 29

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76199>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Verhalten der Sessel von Sesselbahnen im Wind

Von Gabor Oplatka und Thomas Richter, Zürich

Der Bruch eines neuen Förderseils einer Sesselbahn infolge winderregter Schwingung gab den Anlass, sich mit dem Problemkreis auseinanderzusetzen.

Sessel, die bei abgestellter Bahn auf der Strecke verbleiben, können vom Wind an das Seil geschleudert werden. Sie werden dabei beschädigt und können das Seil von den Stützen werfen. Sie können sich auch umschlagen, d. h. ihr Gehänge befindet sich dann an der bahninneren Seite des Seiles, was nach dem Anfahren der Bahn zu einer Kollision mit der nächsten Stütze führt.

Sessel, die sich an den Grenzen von Wind-/Windschattengebieten befinden, können schon bei mässigem Wind in eine Kreiselbewegung geraten. Da diese mit einer periodischen Verdrehung des Sessels verbunden ist, erfahren Fahrzeug und Seil eine Wechselbeanspruchung, die in wenigen Stunden zum Bruch führen kann.

Die weitgehende Übereinstimmung der theoretischen Überlegungen, der Resultate der Modellversuche und der Beobachtungen an den Anlagen ermöglicht die Formulierung von Empfehlungen an die Planer, Konstrukteure und Betreiber von Sesselbahnen.

Einführung

Bei einem Grossteil der Sesselbahnen verbleiben die Sessel auch ausser Betrieb am Förderseil und sind dort dem Wind ausgesetzt. Dass durch Windeinwirkung an den Sesseln und an den Klemmen Beschädigungen entstehen können, war früher schon bekannt.

Den Anlass zur vorliegenden Untersuchung gab ein bis dahin noch nicht beobachteter Vorfall, nämlich der Riss eines Förderseils infolge winderregter Schwingung eines Sessels.

Die besagte Bahn war fertig montiert und stand zwei Tage bis zum Eintritt

der Havarie still. Während dieser zwei Tage wehte ein unterschiedlich starker Wind, und der betreffende Sessel muss in Schwingungen geraten sein, da er sich an der Grenze des Wind-/Windschattengebietes eines Häuschens befand. Die Drähte des neuen und tadellosen Seiles waren an den beiden Enden einer Klemme gebrochen und wiesen etwa zur Hälfte Ermüdungsrisse auf.

Eine grundlegende Untersuchung des Vorfalles schien um so mehr gerechtfertigt, als die neuen Sesselbahnen immer stärker in windgefährdete Gebiete (Grate, Kuppen) vorstossen, mit immer mehr Personen fassenden Sesseln ausgerüstet sind und somit für Windschäden immer empfindlicher werden.

Bild 1. Ein ausser Betrieb auf der Strecke verbleibender Sessel einer Sesselbahn ist dem Wind ausgesetzt. Nebst Beschädigung von Sessel und Klemme können sich auch Sesselumschläge, Seilentsgleisungen und Seilrisse ereignen



Windkanalversuche

Modellbeziehungen

Aufgrund der Abmessungen des Windkanals wurden die Versuche mit einem Modellsessel im Massstab 1:3 durchgeführt. Nach den Modellgesetzen ergibt sich für den vorliegenden Doppelsessel, dass ein Staudruck p im Windkanal einem Staudruck $2,25 p$ in der Wirklichkeit entspricht, um die gleiche Sesselauslenkung zu erzeugen. Ferner ist zu beachten, dass sich die numerischen Angaben nicht ohne weiteres auf andere Sesseltypen und -grössen übertragen lassen.

Gleichmässiger Wind

Wind von vorne

Befindet sich der Sessel in einem gleichmässigen, von vorne wehenden Windstrom, so wird er ausgelenkt und verbleibt dann in dieser Lage (Bild 2). Die Grösse der Auslenkung ist abhängig vom Staudruck sowie von der Stellung der Sitzfläche und der Rückenlehne (Bild 3). Am höchsten steigt der Sessel mit hochgeklappter Sitzfläche – eine Position, in der die Sesselbahn am Abend häufig abgestellt wird, damit die Sitzflächen nicht vollgeschneit werden. Eindeutig am günstigsten ist die Stellung mit hinuntergeklappter Rückenlehne bezüglich der Windanfälligkeit. Sitzfläche und Rückenlehne waren bei dem Versuch als Lattenrost ausgebildet. Ob Sitzfläche und Rückenlehne als enger Lattenrost oder als kompakte Flächen gebaut werden, spielt für die Steigfreudigkeit des Sessels eine nur untergeordnete Rolle. Wesentlich ist hingegen, dass der Sessel nicht als Schale ausgebildet ist, damit der Wind zwischen den beiden Flächen hindurchwehen kann.

Die neue Gleichgewichtslage des Sessels ist stabil. Wird er von aussen angestossen, so schwingt er um diese Gleichgewichtslage. Dabei werden die Schwingungen in Windrichtung um so stärker gedämpft, je grösser der Staudruck und die Windangriffsfläche sind. Die Schwingungen quer zur Windrichtung werden dagegen nahezu unabhängig vom Staudruck und der Windangriffsfläche nur schwach gedämpft (Bild 4).

Die Auslenkung des Sessels ist durch das Förderseil begrenzt. Befindet sich die neue Gleichgewichtslage höher als diese Begrenzung, was bei starkem Wind und/oder steilem Förderseil der Fall sein kann, so liegt der Sessel am Seil an. Er versucht, dem Seil rechts und links auszuweichen und gerät somit in eine selbsterregte Flatterbewe-

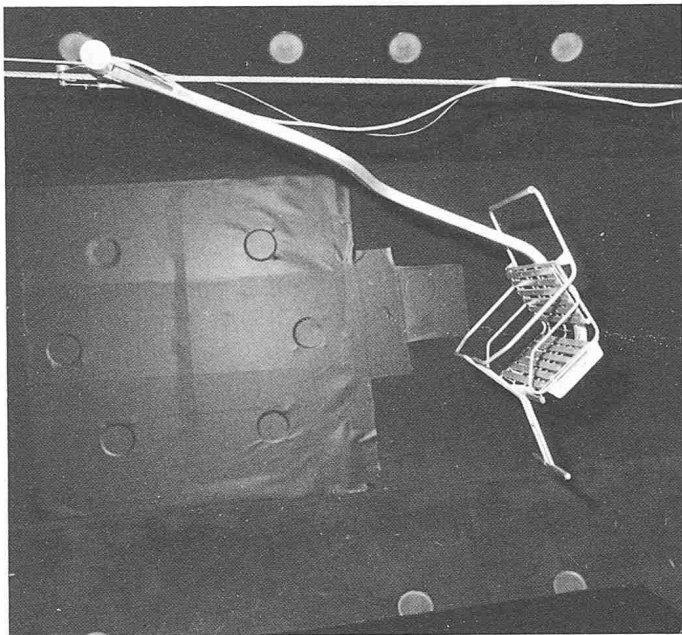


Bild 2. Im gleichmässigen Wind von vorne wird der Sessel stabil ausgelenkt

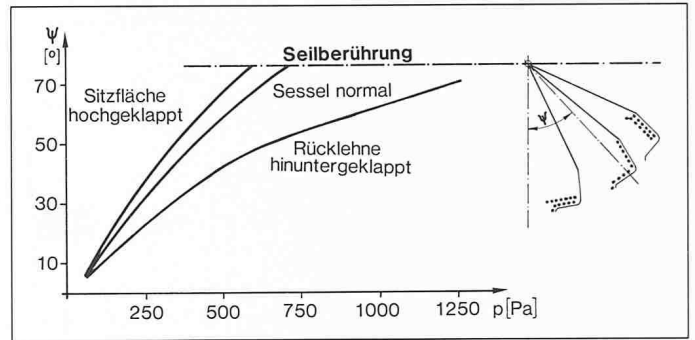


Bild 3. Die Auslenkung des Sessels Ψ in Abhängigkeit vom Staudruck p bei Wind von vorne. Sie ist am kleinsten bei hinuntergeklappter Rückenlehne und am grössten bei hochgeklappter Sitzfläche

Bild 4. Die Dämpfung der Längspendelung \mathfrak{D}_L nimmt bei Wind von vorne mit dem Staudruck p zu, während die Dämpfung der Querspendelung \mathfrak{D}_q viel kleiner und vom Staudruck praktisch unabhängig ist

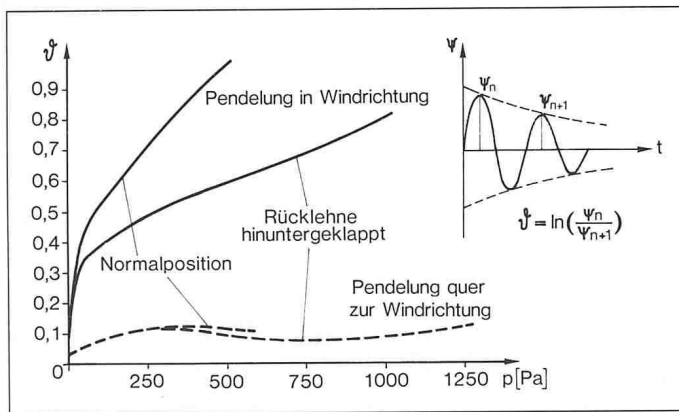
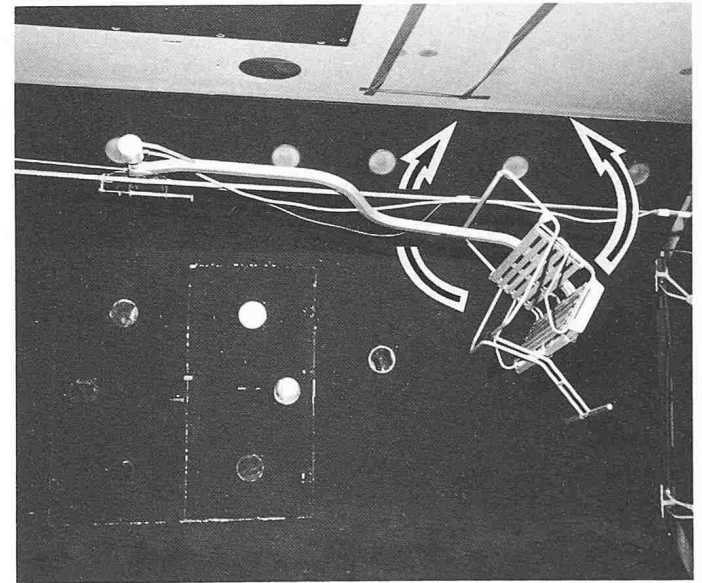


Bild 5. Möchte der Wind den Sessel stärker auslenken, als dies das Seil zulässt, so gerät dieser in eine Flatterbewegung, was zu einem Umschlag des Sessels führen kann



gung um das Seil herum. Diese kann so stark werden, dass der Sessel über das Seil hinwegdreht. Die Flatterbewegung kann auch zu einem Sesselumschlag führen (Bild 5). Der Sessel zeigt dann gegen die Fahrtrichtung, und der Klemmenschaft sowie das Gehänge befinden sich auf der Bahnninnenseite des Seiles (Bild 6). Wird die Bahn in Betrieb gesetzt, so kollidiert dieses Gehänge mit der nächsten Stütze.

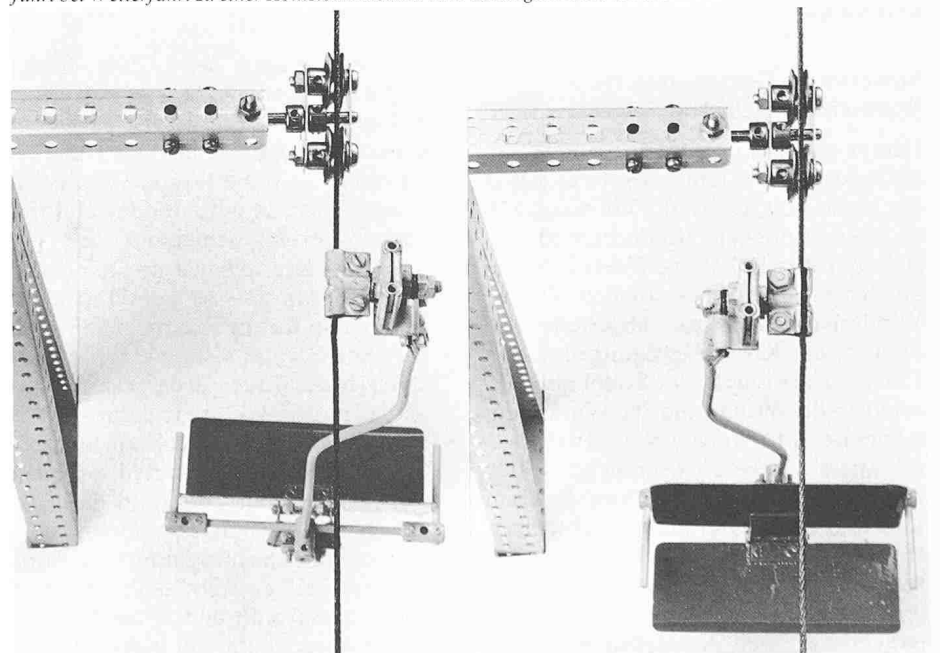
Bild 6. Links: Sessel in Normalposition vor einer Stütze. Nach einem Umschlag (rechts) zeigt der Sessel gegen die Fahrtrichtung. Klemmenschaft und Gehänge befinden sich auf der Bahnninnenseite des Seiles. Dies führt bei Weiterfahrt zu einer Kollision zwischen dem Gehänge und der Stütze

Wind von der Seite

Weht der gleichmässige Wind nicht von vorne, so ändert sich das Verhalten des Sessels und damit auch die Gefahr nicht wesentlich. Die Auslenkung aus der Vertikallage Ψ wird kleiner (Bild 7), und es kommt eine kleine seitliche Verschiebung hinzu.

Böiger Wind

Böiger Wind schleudert den Sessel gegen das Förderseil. Dadurch können Gehängerohr, Abschlussbügel oder,



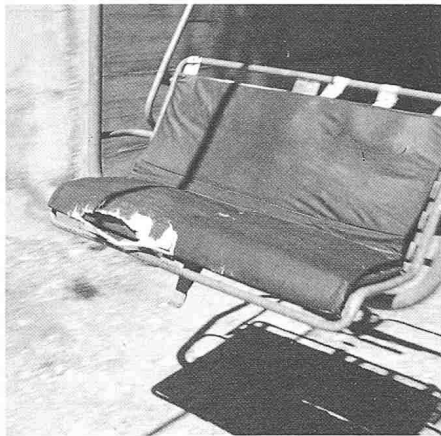
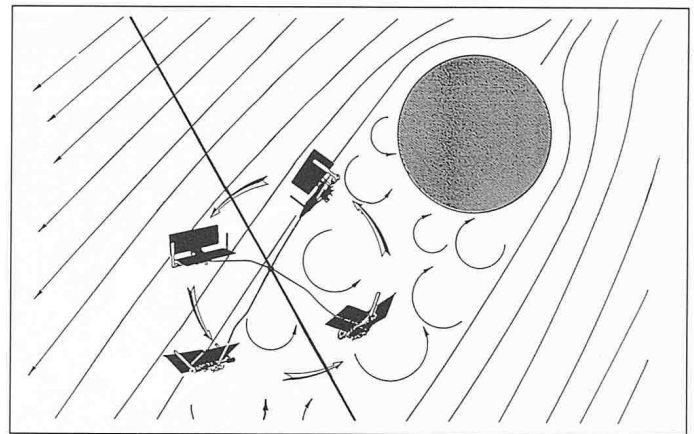
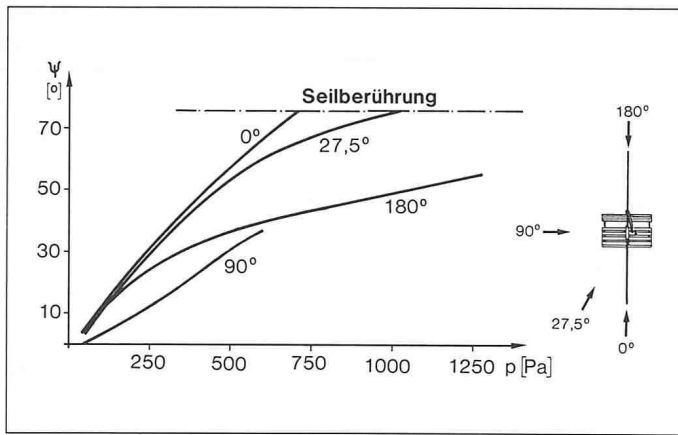


Bild 7 (oben links). Die Auslenkung des Sessels aus der Vertikalen Ψ in Abhängigkeit des Staudruckes p und der Windrichtung. Sitz und Rückenlehne in Normalposition

Bild 8 (links). Böiger Wind kann den Sessel gegen das Seil schleudern. Durch den Schlag wird der Sessel beschädigt, und das Seil kann von der Stütze gehoben werden

Bild 9 (oben rechts). Ein an der Grenze eines Wind-Windschattengebietes abgestellter Sessel führt Kreisbewegungen aus

wie das Bild 8 zeigt, die Vorderkante des Sessels in Mitleidenschaft gezogen werden. Von schwach belasteten Stützen kann das Förderseil durch die Aufprallkräfte abgeworfen werden. Prallt der Sessel exzentrisch an das Förderseil, so entstehen zusätzliche Belastungen für das Gehänge, die Klemme und das Förderseil. Dies kann, nebst einem Sesselumschlag (Bild 6), auch zu Verformung und Bruch der einzelnen Teile führen, was des öfteren schon vorgekommen ist.

Sessel an der Grenze eines Wind-/Windschattengebietes

Hinter einem im gleichmässigen Windstrom stehenden Hindernis (wie z. B. in der Natur Fels, Gebäude, Vollwandstütze oder ähnlichen Hindernissen) entsteht ein Windschatten. Wird ein Sessel an der Grenze eines solchen Wind-/Windschattengebietes abgestellt, so fängt er an, Kreisbewegungen auszuführen. Dabei gerät der Sessel abwechselnd in das Wind- und ins Windschattengebiet. Im Windgebiet wird dem Sessel Energie zugeführt, er pendelt aus; im Windschattengebiet kann er dann ungehindert wieder zurückschwingen (Bild 9). Der Sessel schaukelt sich bereits bei kleinen Windgeschwindigkeiten (20 m/s) zu grossen Kreisbewegungen auf, weil die Eigenfrequenzen

seiner Längs- und Querverdelung identisch sind und weil er unabhängig von der Windgeschwindigkeit immer in seiner Eigenfrequenz angeregt wird.

Diese Kreisbewegung nimmt an Amplitude so lange zu, bis die vom Wind zugeführte Energie mit der vom Sessel an die Umgebung in Form von Reibung abgegebenen Energie (Luftwiderstand, Reibung im Pendelgelenk und im Seil) ins Gleichgewicht kommt oder bis der Sessel an ein Hindernis (Seil, Stütze, Gebäude) anschlägt.

Beim Anschlagen wird dem Sessel Energie entzogen, weshalb er sich etwas beruhigt. Nach 1 bis 6 Kreisbewegungen wird jedoch die volle Amplitude erneut erreicht. Ist die Windgeschwindigkeit sehr hoch, so wird der Sessel unregelmässig herumgeschleudert.

Die von der Kreisbewegung hervorgerufenen Gefahren sind zum Teil identisch mit den bereits besprochenen:

- Der Sessel kann sich, wie in der Bilderserie des Bildes 10 dargestellt, umschlagen und kollidiert dann bei der Weiterfahrt mit der nächsten Stütze.
- Der Sessel schlägt ans Seil an, wird dabei beschädigt und kann das Förderseil von der Stütze werfen.

Eine weitere Beanspruchung von Fahrzeug und Seil entsteht dadurch, dass sich der Sessel während seiner Kreisbewegung auch um die eigene Hoch-

achse verdrehen muss. Dies deshalb, weil es sich beim System Seil/Klemme/Gehänge kinematisch um ein Kreuzgelenk handelt. Die eine Achse des Kreuzes bildet das Seil und die andere der Schaft der Klemme, um den das Gehänge pendelt. Für den Sessel bedeutet dies, dass während der Kreisbewegung zu jeder Position des Sessels ein anderer, ganz bestimmter Verdrehwinkel um seine Hochachse gehört. Die Winkelbeschleunigung ist am grössten, wenn der Sessel bei seiner Kreisbewegung dicht unter dem Seil durchgeht (Bild 11).

Das zur Winkelbeschleunigung des Sessels nötige Drehmoment stützt sich über die Klemme auf das Förderseil ab. Die Klemme wird verdreht, d. h. das Seil wird an den beiden Enden der Klemme gebogen. Da diese Torsionsschwingung eine höhere Eigenfrequenz als die Kreisbewegung hat und das elastische System nur schwach gedämpft ist, kommt es zu Überschwingungen und damit zur wechselnden Biegebeanspruchung des Förderseiles (Bild 12).

Die Grösse der Biegebeanspruchung des Seiles hängt abgesehen von der Auslenkung des Sessels, von dessen Trägheitsmoment um die Hochachse, von der Länge der Klemme und von der Seilzugkraft ab.

Die Lebensdauer des Seiles

Um Anhaltspunkte darüber zu erhalten, wie das Förderseil auf eine derartige im Windkanal ausgetestete Beanspruchung reagiert, namentlich wie seine Schädigung verläuft und nach welcher Anzahl von Biegewechseln der Seilbruch eintritt, wurde der eingangs erwähnte Schadenfall im Laboratorium simuliert. Zu diesem Zweck wurden intakte Abschnitte des Originalseiles (\varnothing 26 mm) mit der bei der Bahn vorhandenen Kraft (etwa $\frac{1}{3}$ der Bruchkraft) gespannt, und es wurde daran eine gleiche Klemme montiert. Die Klemme wurde wiederholt verdreht bis zum Bruch des Seiles (Bild 13). Die Grösse der Verdrehung wurde aufgrund der Deformation der Unfallklemme festgelegt. Es wurden zwei Versuche gemäss Tabelle 1 durchgeführt.

Die ersten Drahtbrüche traten – wie bei auf Ermüdung beanspruchten Seilen üblich – etwa bei einem Viertel der Lebensdauer auf. Sie lagen exakt an den Klemmenenden.

Da die Kreiselfrequenz eines Sessels in der Grössenordnung von 0,3 Hz liegt, kann die kritische Anzahl von Biegewechseln bei ungünstiger Konstellation innert weniger Stunden erreicht werden, selbst wenn man annimmt, dass eine grosse Auslenkung nur bei jeder fünften bis zehnten Kreisbewegung entsteht.

Empfehlungen

Für die Planung

- Windexponierte Gebiete (Grate) bei der Trassewahl meiden, speziell für steile Bahnen. Diese sind durch den Wind besonders gefährdet, weil bei ihnen der Sessel schon bei kleiner Auslenkung in die Nähe des Förderseiles kommt.
- Die Grenzen von Wind-/Windschattengebieten, wie sie hinter Vollwandstützen, Gebäuden, Felskanten und dergleichen entstehen, verursachen Sesselschwingungen und sollten deshalb gemieden werden.
- Garagierung der Sessel ausser Betrieb.

Für die Konstruktion

- Die Rückenlehne des Sessels hinunterklappbar und in dieser Position arretierbar machen. Der Luftwiderstand des Sessels wird so am kleinsten.
- Die Massenträgheit des Sessels um die Hochachse klein halten, damit das

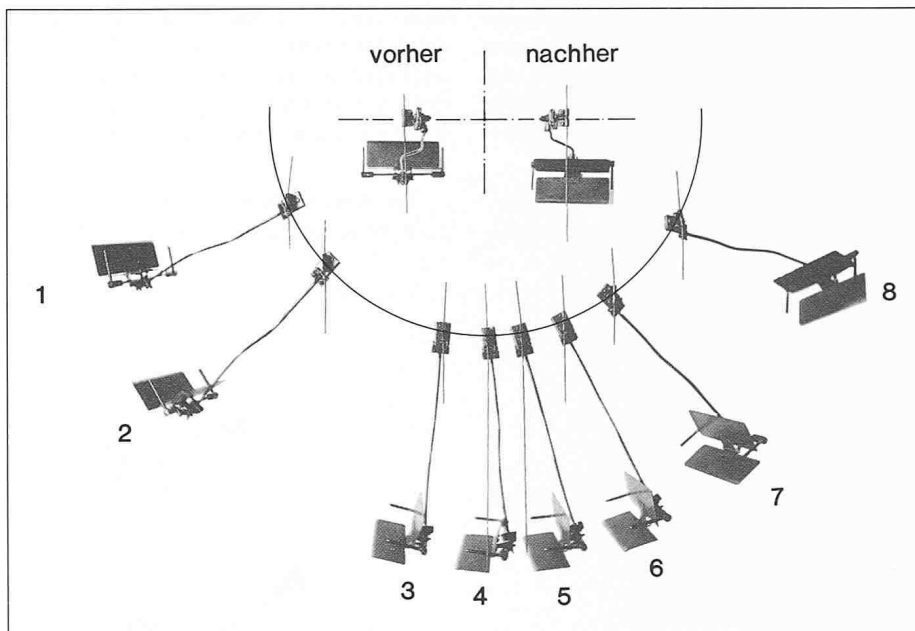


Bild 10. Als Folge der Kreisbewegungen kann sich der Sessel auch umschlagen mit den im Bild 6 geschilderten Konsequenzen

Bild 11. Kreisförmig angeordnete Momentaufnahme der Kinematik der Kreisbewegung. Der Sessel führt dabei eine ungleichförmige Verdrehung um die eigene Hochachse aus. Gut sichtbar ist die Rotation des Sessels zwischen den Positionen 5 und 7

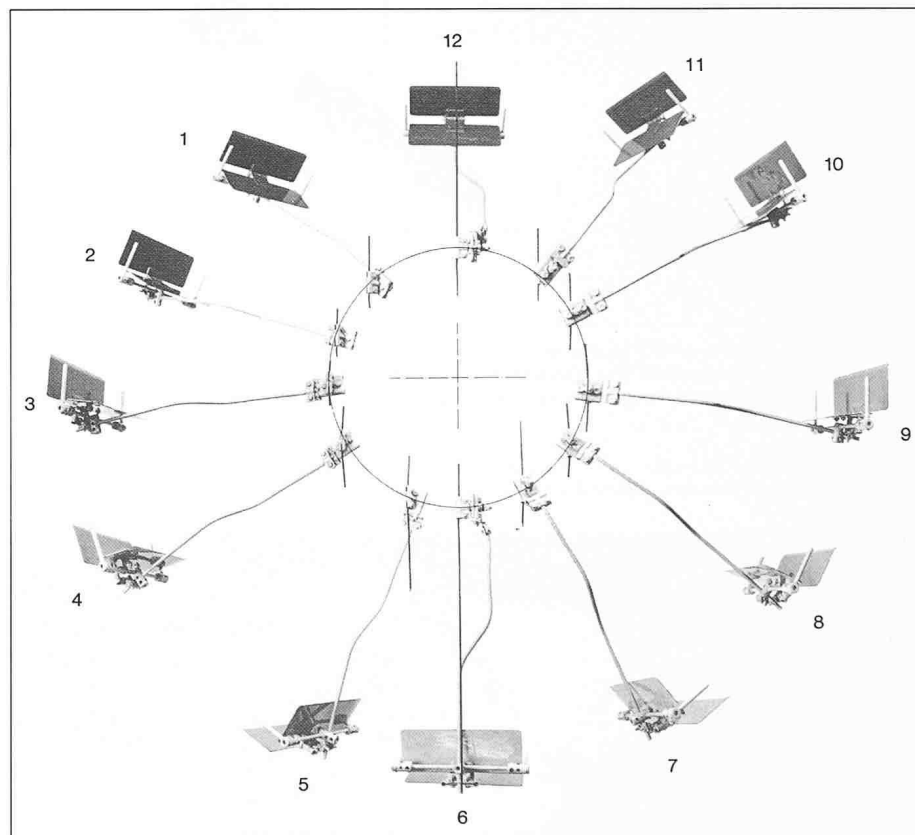


Tabelle 1. Wechselbiegefestigkeit des Seils bei Verdrehen der Klemme

Versuch	Verdrehung der Klemme gegenüber dem Seil		
	Grösse	Anzahl bis zum	
		ersten Drahtbruch	Seilbruch
a	10° bis 43°	$1,5 \times 10^3$	$5,5 \times 10^3$
b	-23° bis +40°	$0,13 \times 10^3$	$0,5 \times 10^3$

für die Winkelbeschleunigung nötige Moment klein bleibt. Deshalb soll das Fassungsvermögen der Sessel nach Möglichkeit klein gewählt, und grosse Massen sollen in die Mitte des Sessels verlegt werden.

Den Abschlussbügel so ausbilden, dass er beim Kreiseln des Sessels mög-

lichst früh am Seil anschlägt. Damit wird dem Sessel die Energie frühzeitig entzogen. Es wird auch verhindert, dass der Schwerpunkt des Sessels beim Kreiseln dicht unter dem Seil durchgeht.

Im Pendelgelenk kann ein Dämpfer eingebaut werden. Dieser soll beim un-

ausgelenkten Sessel so stark wirken, wie es der Betrieb zulässt, jedoch in seiner Wirkung nachlassen, wenn der Sessel bis in die Nähe des Seiles ausgelenkt ist.

Die Klemme an ihrer dem Schaft zugewandten Seite lang gestalten, damit sich das vom Gehänge eingeleitete Drehmoment auf das Seil an einem langen Hebelarm abstützt. (Die übrigen Seiten der Klemme können wegen der bei diesem Bahnsystem vorhandenen Scheibenüberfahrten nicht verlängert werden.)

Die Seilzugkraft gross wählen, damit das vom Gehänge eingeleitete Drehmoment im Seil eine geringere Biegeauslenkung hervorruft.

Die Rollenauflegekräfte sollen gross sein, um Förderseilentgleisungen zu vermeiden.

Gitterstützen sind Vollwandstützen vorzuziehen, weil sie einen geringeren Windschatten erzeugen.

Für den Betrieb

Die Grenze des Wind-/Windschattens kann entschärft werden, z. B. durch das Aufstellen einer Palisade.

An der Grenze des Wind-/Windschattens keinen Sessel abstellen. Notfalls sind bei den kritischen Stellen die Sessel vom Förderseil zu entfernen. Anschliessend muss die Anlage immer in derselben Position abgestellt werden.

In Bereichen, wo starke Sesselschwingungen auftreten, die Sessel miteinander unten durch ein Seil verbinden. Dadurch wird die Schwingung jedes einzelnen Sessels gestört, so dass sich keiner aufschaukeln kann.

Nach *starkem Wind* muss man sich vor dem Wiederanfahren vergewissern, dass sich keiner der Sessel verhängt oder umgeschlagen hat.

Besteht der Verdacht, dass Sessel längere Zeit geschwungen haben, so muss geprüft werden, ob Drähte an den Klemmenenden gebrochen sind.

Adresse der Verfasser: Prof. Dr. G. Oplatka und dipl. Ing. Th. Richter, Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik der ETH Zürich, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

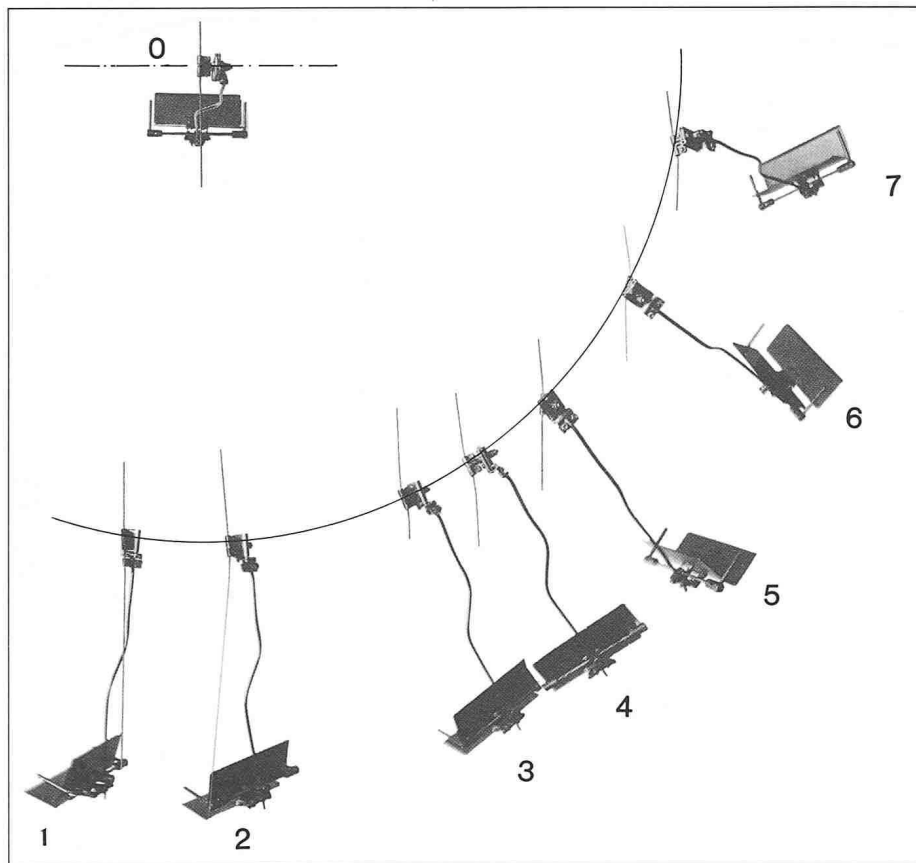
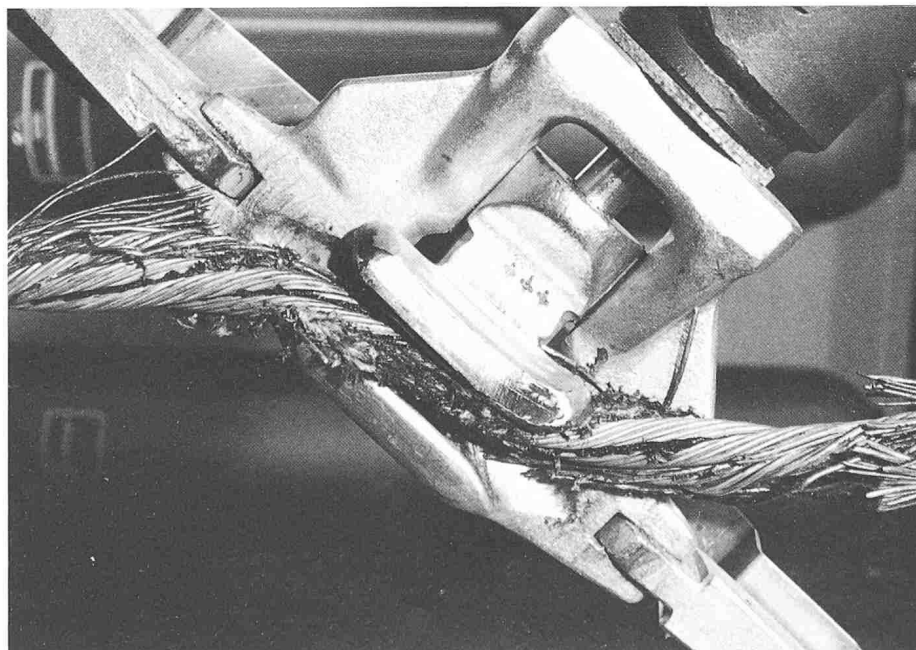


Bild 12. Detail einer am Modell beobachteten realen Kreisbewegung. Die Reaktionskraft der höherfrequenten Torsionsschwingung des Sessels stützt sich über die Klemme auf das Seil ab. Es kommt dabei zur Verdrehung der Klemme und damit zu wechselnder Biegebeanspruchung des Förderseiles bei den Enden der Klemme

Bild 13. Zustand des Seiles kurz vor dem Bruch bei der Simulation des Schadenfalles im Labor. Eine am intakten Originalseil montierte gleiche Klemme wurde, wie beim Kreiseln des Sessels im Wind, wiederholt verdreht



Die Autoren hoffen, mit diesen Erkenntnissen zur weiteren Festigung der Sicherheit der Sesselbahnen beigetragen zu haben und sprechen dem Institut für Aerodynamik der ETHZ (Prof. Thomann) und der Firma Doppelmayr AG, Wolfurt (A), welche sie bei dieser Arbeit unterstützt haben, ihren Dank aus.