Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 85 (1967)

Heft: 6

Artikel: Über die Stabilität des Laufwerks von Zweiseilbahnen bei Tragseilbremsung

Autor: Wettstein, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69367

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zur 5. Baumaschinenmesse in Basel vom 18. bis 26. Februar 1967

Vor knapp dreissig Jahren gewährten die Behörden von Basel-Stadt der Schweizer Mustermesse Subventionen für den Bau neuer Messehallen nur unter der Bedingung, dass Aushub- und Aufbau-Arbeiten in grösstmöglichem Ausmass von Hand durchzuführen seien, um bei dieser Gelegenheit so viele Arbeitslose als möglich zu beschäftigen. Nichts kennzeichnet besser die Bedeutung der Baumaschinen als dieser für die damalige Zeit verständliche Entscheid: Arbeitskräfte ersetzen Baumaschinen.

Längst hat sich das Blatt gewendet: Baumaschinen haben Arbeitskräfte zu ersetzen. Die Rationalisierung und der schärfer gewordene Wettbewerb im Bauwesen zwingen den Unternehmer, nach der leistungsfähigsten Maschine Umschau zu halten. Es gibt keinen Bereich im Hoch- und im Tiefbau, der nicht aus dem Einsatz zeitgemässer Maschinen Nutzen ziehen könnte. Dem Unternehmer, der zur Baumaschinenmesse nach Basel kommt, wird eine internationale Auswahl geboten: an 100 Ständen zeigen schweizerische Aussteller als Fabrikanten oder als Generalvertreter ausländischer Werke Baumaschinen und Baugeräten von mehr als 600 Lieferwerken aus Europa und Übersee auf einer Hallenfläche von 60000 m².

Am auffallendsten kommt bei der 5. Baumaschinenmesse zum Ausdruck, in welchem Ausmass sich die vor etwa 20 Jahren begonnene Vollmechanisierung der Baustellen durchgesetzt hat. Den Anstoss dazu haben, namentlich im Tiefbau, Maschinen amerikanischen Ursprungs gegeben; längst aber haben angesehene schweizerische und europäische Firmen diese Entwicklung nachvollzogen und bürgen heute mit ihrem guten Namen für den Wert ihrer Fabrikate. Die Ausrüstung der Baufirmen mit geeigneten Maschinen wird von den Unternehmern jedoch nicht bloss aus der Sicht des zweckmässigen Bauvorgangs beurteilt. Vielmehr stellt sich auch das Problem, dem immer besser ausgebildeten und deshalb entsprechend entlöhnten Bauarbeiter und Maschinenführer ein Werkzeug anzuvertrauen, mit welchem er grosse Leistungen zu erzielen vermag. Ein drittes schliesslich kommt hinzu: das auf die Zeit vor der eigentlichen Bausaison gelegte Datum der Messe ermöglichen auch dem stark beanspruchten Bau-Unternehmer einen Besuch. Gute Gründe also, der Baumaschinenmesse in Basel alle Aufmerksamkeit zu schenken!

G. E. Kindhauser, Messeleiter der 5. Baumaschinenmesse, veranstaltet vom Verband Schweiz. Baumaschinen-Fabrikanten und -Händler.

Über die Stabilität des Laufwerks von Zweiseilbahnen bei Tragseilbremsung

Von **H. Wettstein,** dipl. Ing., Institut für Bau- und Transportmaschinen, an der ETH, Zürich

DK 531.391:625.921.4:621-592

Einleitung

Ein für die Beurteilung der Laufwerkstabilität von Seilbahnen besonders wichtiger Fall – welcher unseres Wissens noch nicht untersucht worden ist – soll zunächst anschaulich erläutert werden. Die Ergebnisse einer theoretischen Untersuchung werden in einer praktisch anwendbaren Form dargestellt. Sie scheinen so wichtig zu sein, dass heute schon diese Mitteilung erfolgt, obwohl die Ableitungen erst in einer grösseren Arbeit enthalten sein werden, die als Mitteilung des Instituts für Bau- und Transportmaschinen an der ETH in absehbarer Zeit erscheinen soll.

Möglichkeit einer Entgleisung

Zu den die Sicherheit eines Tragseilbremsvorganges beeinträchtigenden Faktoren gehört insbesondere die Gefahr einer Entgleisung des Laufwerks. Eine solche stellt man sich meist als Abhebung der einen Hauptwiege vor, wobei sich der Hauptträger des Laufwerkes unter der Wirkung der durch die Restseilzug- und Fangbremskraft ausgeübten Momente sowie desjenigen der Pendeldämpfung sozusagen auf der anderen Hauptwiege aufstellt. Dass es Fälle gibt, wo auch bei völligem Verschwinden dieser Momente ein Abspringen beider Rollenwiegen (d.h. des ganzen Laufwerkes) eintreten würde, soll im folgenden durch eine anschauliche Überlegung gezeigt werden.

Die Gefahr eines solchen Abspringens besteht immer dann, wenn das Laufwerk nach einem Bergseilriss durch die restliche Seilkraft (bei Bergfahrt gegebenenfalls unterstützt durch die Fangbremskraft) abwärts beschleunigt wird. Ein vereinfachtes Modell eines solchen Vorganges zeigt Bild 1. Hier sollen der Schwerpunkt des Fahrwerkes auf der Drehachse des Gehänges liegen und die Wirkungslinien der Seilzug- und der Bremskräfte durch diese Achse gehen; ihre Summe sei mit C bezeichnet. Weiter greifen am Fahrzeug noch die vom Tragseil auf das Laufwerk ausgeübte Normalkraft N (und ein hier vorerst vernachlässigtes Moment dieser Normalkraft) sowie das Gewicht mg an. Unter der Wirkung dieser Kräfte wird das Laufwerk abwärts beschleunigt, während die Kabine relativ dazu bergwärts auspendelt. Wenn das Auspendeln so schnell erfolgt, dass die Kabine nicht mehr nach unten ausweichen kann, so muss sich das Laufwerk von der

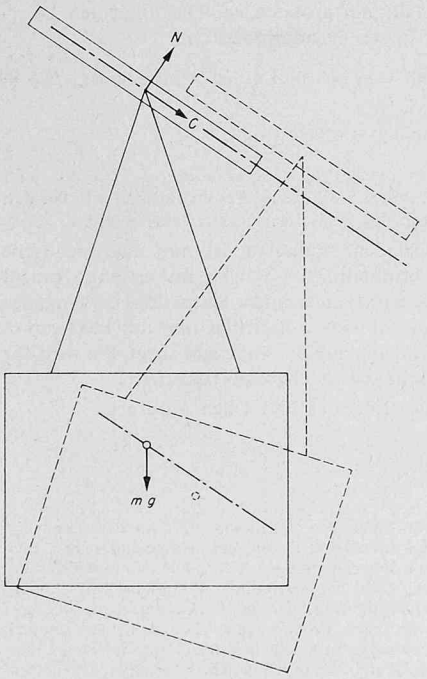

Bild 1 (links). Am Fahrzeug angreifende Kräfte nach einem Zugseilriss oben und — gestrichelt — typische Stellung des Fahrzeuges während der anschliessenden Bewegung. Man beachte, dass das Gehänge das Laufwerk von der Fahrbahn wegstösst

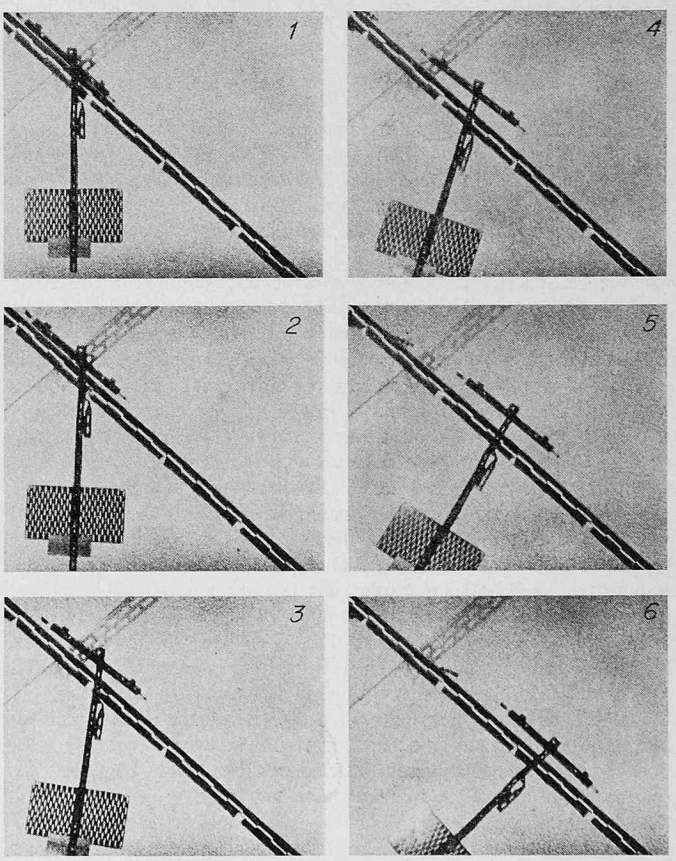

Bild 2 (rechts). Bei Riss des bergseitigen Zugseiles kann die talseitige Zugseilkraft ein Abspringen des Laufwerkes und dessen Entgleisung verursachen (Aufnahmen K. Pfister, Photographisches Institut der ETH)

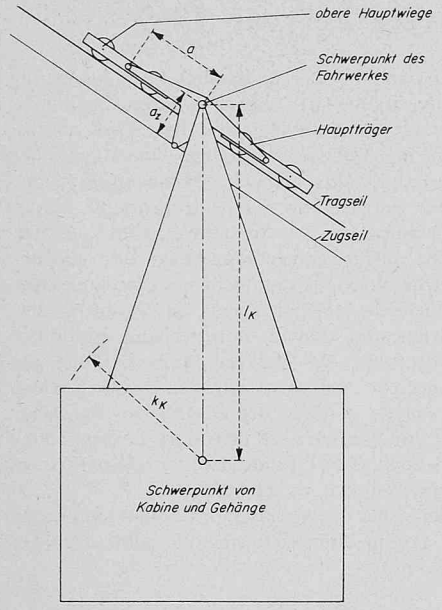

Bild 3 (links). Zur Beurteilung der Abhebegefahr notwendige Daten des Fahrzeuges

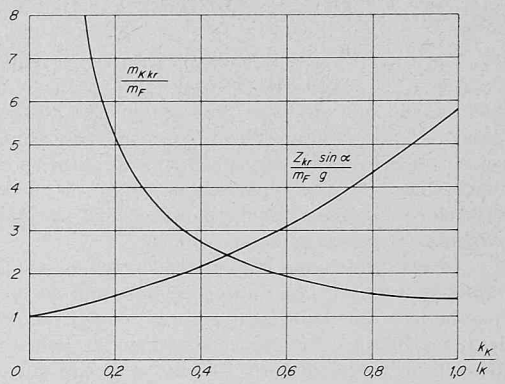

Bild 4 (rechts). Ermittlung des kritischen Beladungszustandes und — für diesen Zustand — der kritischen Talseilzugkraft Z_{kr}, für die das Fahrwerk gerade vollständig entlastet wird, jedoch noch ohne abzuheben

Fahrbahn abheben (gestrichelte Lage in Bild 1). Dies ist dann der Fall, wenn C genügend gross wird: ist C sehr gross, so wird sich das Fahrzeug rasch drehen, während sein Schwerpunkt in der (Abwärts-)-Richtung normal zur Fahrbahn höchstens die Beschleunigung $g \cdot \cos \alpha$ erhält, also nicht beliebig rasch ausweicht. Allerdings wird das Tragseil der Abhebebewegung des Fahrwerkes im allgemeinen folgen können. Aber bei einer durch Bergseilriss ausgelösten Tragseilbremsung in der Nähe eines Mastes oder auf diesem ist das Seil an der Folgebewegung verhindert. Die Untersuchung beschränkt sich daher auf den gefährlichen Fall einer «starren» Fahrbahn.

Ein Modellversuch mit einem auf schräger Schiene laufenden Fahrzeug, bei dem der Talseilzug durch eine gespannte Feder simuliert wurde, bestätigte die obige Überlegung. Bild 2 zeigt Filmaufnahmen unmittelbar nach dem Bergseilriss. Nach den Modellgesetzen würde dieser Versuch beispielsweise einer Grossausführung entsprechen mit den Daten:

Fahrbahnneigung	44°	Talseilzugkraft	8400 kp
Fahrwerkmasse	500 kg	l_K (s. Bild 3)	3,7 m
Kabinenmasse	1100 kg		

Die sechs Momentaufnahmen gelten dann bezogen auf die Grossausführung für die Zeitpunkte 0, 0,08, 0,15, 0,22, 0,29, und 0,36 Sekunden vom Moment des Seilrisses an gerechnet. Man wird beruhigt feststellen, dass die gefährlich aussehende Abhebung durch eine extrem hohe Talseilzugkraft zustandekommt. Diese wurde im Modellversuch so hoch gewählt, um instruktive Bilder zu erhalten. Die theoretische Untersuchung zeigt aber, dass schon eine Talseilzugkraft von 1600 kp bei einem Bergseilriss eine Abhebung von rd. 2 cm in der Grossausführung verursachen würde. Die Kenntnis der Grenzbedingungen, bei deren Überschreiten eine Abhebegefahr besteht, ist daher sehr wichtig, wenn auch betont werden muss, dass bei «normalen» Seilbahnanlagen durchaus keine dieser Grenzen überschritten wird. Bei extremen Verhältnissen ist aber unbedingt Vorsicht am Platze. Wenn beispielsweise bei einer steilen Bahn mit Antrieb in der Talstation die Talseilkraft aus Adhäsionsgründen noch besonders gross gemacht wird, so kann der beschriebene Effekt allein (d.h. auch wenn keine das Laufwerk «aufstellenwollende Momente» da sind) für ein Abspringen verantwortlich gemacht werden. In besonders ungünstigen Seilrissfällen erfolgt das Abspringen unter Umständen so rasch, dass sich die Fangbremsen erst über dem Tragseil schliessen. Wenn der Seilriss bei Bergfahrt eintritt, so wird ein «rechtzeitiges» Schliessen der Fangbremsen den Abhebevorgang nur noch verstärken, weil dabei auch die Bremskraft abwärts gerichtet ist. Der ungünstigste Seilrissfall ist daher der Bergseilriss bei Bergfahrt an der steilsten Stelle (unmittelbar unter einem Mast). Ein Seilriss ist aber – wenn überhaupt – gerade in diesem Fall zu erwarten, weil dann die Zugspannung im Bergseil häufig am höchsten ist und dieses durch die zwischen Mastrollen und Vergusskopf des Laufwerks hin- und herlaufenden Schwingungen noch zusätzlich beansprucht wird.

Beurteilung der Abhebegefahr

Die Ergebnisse der theoretischen Untersuchung wurden in Diagrammen zusammengefasst, deren Benutzung in der Folge anhand eines Zahlenbeispiels erklärt werden soll. Zunächst seien die in diesem Zusammenhang wichtigen Daten der untersuchten Anlage zusammengestellt:

Fahrbahn: Die steilste Stelle mit dem Neigungswinkel von $\alpha = 44°$ befinde sich unterhalb eines Mastes, dessen Tragseilschuhradius R = 25 m beträgt.

Fahrzeug: (vgl. Bild 3)

Masse des Fahrwerks	m_F	=	800 kg
Masse von Kabine einschl. Gehänge (= «Pendel»)			
leer	m_{Kl}	=	1000 kg
voll	m_{Kv}	=	3000 kg
Abstand Gehängedrehpunkt—Pendelschwerpunkt	l_K	=	5 m
Trägheitsradius des Pendels bezüglich seiner horizontalen, senkrecht zur Bewegungsebene stehenden Schwerachse	k_K	=	2 m
Abstand zwischen den Drehpunkten der unteren und der oberen Hauptwiege des Laufwerkes	$2\,a$	=	2,4 m
Abstand der Zugseilbefestigung vom Laufwerkschwerpunkt senkrecht zur Fahrbahn gemessen	a_z	=	0,2 m
Fahrgeschwindigkeit	v	=	5 m/s
Talseilzugkraft an der steilsten Stelle	Z	=	3500 kp
Fangbremskraft bei Bergseilriss	B	=	4000 kp
Einfallzeit der Fangbremse			0,05 s

Mit diesen Daten kann die Beurteilung der Entgleisungsgefahr in den ungünstigsten Seilrissfällen (Bergseilriss unterhalb oder auf dem Mast an der steilsten Stelle) erfolgen.

Die Abhebegefahr ist abhängig vom Beladungszustand der Kabine. Daher wird der Begriff einer «kritischen Pendelmasse»[1]) m_{Kkr} gebildet, für welche die Abhebegefahr am grössten ist. Die folgenden Überlegungen gelten dann für diesen Beladungszustand.

Mit $k_K/l_K = 2/5 = 0{,}4$ erhält man aus Bild 4 den Ausdruck $m_{Kkr}/m_F = 2{,}75$ oder

$$m_{Kkr} = 2{,}75 \cdot 800 \text{ kg} = 2200 \text{ kg}$$

Die «kritische Nutzladung» beträgt also $m_{Kkr} - m_{Kl} = 1200$ kg oder 60% der maximalen Nutzladung. Sie liegt in diesem Beispiel wie bei den meisten Seilbahnen innerhalb des zulässigen Nutzladungsbereichs.

Für das «kritisch» beladene Fahrzeug ist nun eine «kritische Talseilzugkraft» Z_{kr} zu ermitteln, für welche im ersten Moment (d.h. bevor die Fangbremse wirkt) nach einem Bergseilriss der eingangs beschriebene Effekt gerade für eine Totalentlastung des Laufwerkes (Verschwinden von N, gerade noch kein Abheben) sorgt. Sie wird für das folgende als rechnerische Zwischengrösse benötigt.

Man erhält mit $k_K/l_K = 0{,}4$ wieder aus Bild 4 den Ausdruck

$$\frac{Z_{kr} \sin \alpha}{m_F\, g} = 2{,}2$$

[1]) Vereinfachend wird im folgenden angenommen, dass der Trägheitsradius der beladenen Kabine (unabhängig von der Nutzladung) bezüglich ihrer horizontalen, normal zur Bewegungsebene stehenden Schwerachse konstant ist. Diese Voraussetzung kann bei bestimmter Verteilung der (starren) Ladung (z. B. Steine) einmal erfüllt sein. Da sie die Untersuchung des «gefährlichsten» Falles ermöglicht, wird sie hier getroffen. Wenn die Ladung nicht starr ist (bei Personenbahnen), wird man den Resultaten unserer Untersuchung eine gewisse Ungenauigkeit zubilligen müssen.

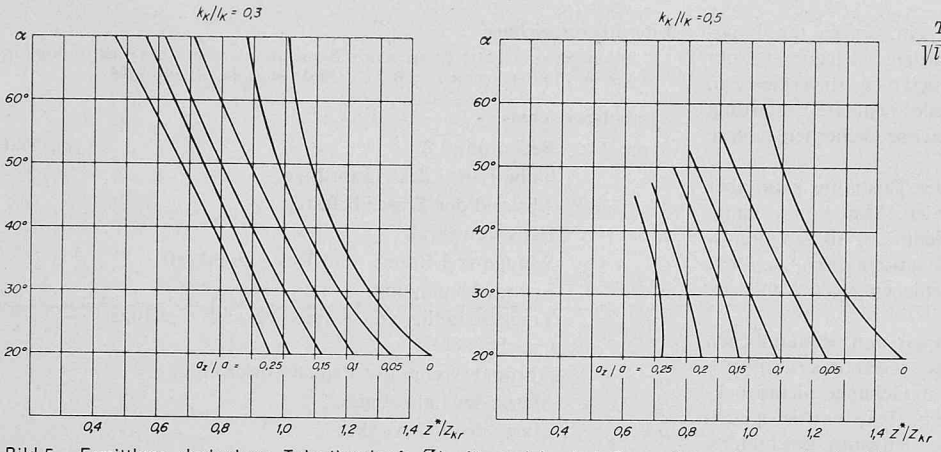

Bild 5. Ermittlung derjenigen Talseilzugkraft Z^*, für welche bei Bergseilriss die maximale Abhebung u von einer starren Fahrbahn (Mastnähe) den Wert 0,005 l_K (= einige Zentimeter) noch nicht überschreitet

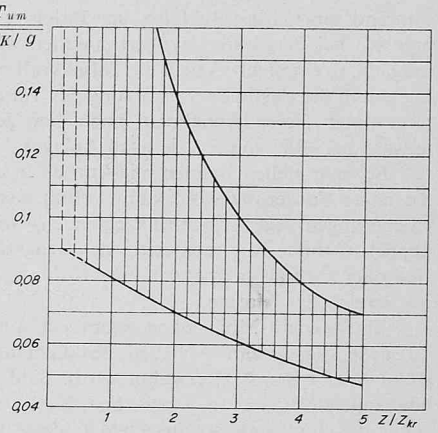

Bild 6. Raschheit der Abhebung: Bereich für die Zeit T_{um}, nach der eine Abhebehöhe von 0,005 · l_K erreicht wird (vertikal schraffiert)

und durch Auflösen nach Z_{kr}:

$$Z_{kr} = 2{,}2 \cdot m_F \cdot g/\sin\alpha = 2{,}2 \cdot 800 \text{ kp}/\sin 44° = 2530 \text{ kp}$$

Da die vorliegende Talseilzugkraft (3500 kp) höher ist, wird man bei Bergseilriss an der steilsten Stelle mit einer Abhebung rechnen müssen.

Beträgt die Abhebung nur einige Millimeter, so ist sie sicher ungefährlich. Es liegt daher nahe, eine gerade noch tolerierbare Abhebehöhe u_m des Drehpunktes von seiner gedachten geraden Bahn einzuführen, welche nicht überschritten werden darf. Dann existiert auch eine zugehörige Talseilzugkraft Z^*, unter deren alleiniger Wirkung (d.h. ohne Fangbremskraft) die Abhebung gerade den Wert u_m erreicht.

Für eine ganze Reihe von Fällen ist der Quotient Z^*/Z_{kr} berechnet und in Bild 5 dargestellt worden, wobei u_m gleich 0,005 l_K gesetzt wurde. Ein Parameter von verhältnismässig geringem Einfluss ist dabei der Trägheitsradius k_K, weshalb die Verhältnisse nur für zwei Werte von k_K/l_K (0,3 und 0,5) untersucht wurden. Von grösserem Einfluss sind der Neigungswinkel α und der «Zugseilkrafthebelarm» a_z. Die Kurve für $a_z/a = 0$ zeigt für Z^*/Z_{kr} erwartungsgemäss grössere Werte als 1 (für $Z^*/Z_{kr} = 1$ würde die Abhebehöhe Null). Dagegen verringert sich Z^* wesentlich, wenn mit wachsendem a_z/a das Moment der angreifenden Zugkraft die Abhebewirkung vergrössert.

In unserem Zahlenbeispiel ergeben sich folgende Werte:

Mit $\alpha = 44°$ und $a_z/a = 0{,}2/1{,}2 = 0{,}167$ liest man aus Bild 5

für $k_K/l_K = 0{,}3$

$Z^*/Z_{kr} = 0{,}84$

und für $k_K/l_K = 0{,}5$

$Z^*/Z_{kr} = 0{,}76$

ab. Aus diesen beiden Werten kann für $k_K/l_K = 0{,}4$ linear interpoliert werden. Man erhält also:

$$Z^*/Z_{kr} = 0{,}8 \quad \text{oder} \quad Z^* = 0{,}8 \cdot 2530 \text{ kp}$$

$$Z^* = 2030 \text{ kp}$$

Da die Talseilzugkraft im Beispiel höher ist, würde bei Bergseilriss die Abhebehöhe u_m überschritten.

Um zu entscheiden, ob die Fangbremsen rechtzeitig einfallen würden, wird man noch fragen, wie rasch die Abhebung vor sich geht. Bild 6 gibt an, in welchem Bereich die Zeit T_{um} (vom Moment des Bergseilrisses an gerechnet[2]) liegt, nach der die Abhebehöhe $u_m = 0{,}005\ l_K$ erreicht wird.

Mit $Z/Z_{kr} = 3500/2530 = 1{,}38$ erfährt man aus Bild 6, dass T_{um} zwischen $0{,}077 \cdot \sqrt{l_K/g}$ und einem (extrapolierten) Wert von rd. $0{,}25 \cdot \sqrt{l_K/g}$ liegt. Mit $\sqrt{l_K/g} = 0{,}714$ s wird also

$$0{,}055 \text{ s} \leqslant T_{um} \leqslant 0{,}18 \text{ s}$$

Eine (hier nicht näher ausgeführte) Rechnung ergab $0{,}073 \text{ s} \leqslant T_{um} \leqslant 0{,}089$ s.

Diese «Abhebezeit» liegt so, dass die Fangbremse bei Talfahrt noch rechtzeitig einfallen würde. Bei Bergfahrt würde aber Gefahr bestehen, besonders weil bei Fangbremsen ohne Seilrille das Tragseil leicht zwischen den Backen herausrutschen kann.

Ein möglicher Einwand gegen die bisher stillschweigend getroffene Annahme konstanten Talseilzuges während der ersten Bewegungsphase soll hier noch diskutiert werden: Während der Zeit T_{um} (welche in den gefährlichen Fällen kleiner als 0,1 s ist), muss sich das Talseil wegen der Talwärtsbeschleunigung des Laufwerkes (Grössenordnung 40 m/s²) um die Länge von z.B. ½ · 40 m/s² · (0,1 s)² = 0,2 m verkürzen. Dies geschieht durch Abnahme der elastischen Dehnung. (Durchhangvergrösserung unter dem Einfluss der Schwerkraft wäre schon bei wesentlich kleinerer Laufwerkbeschleunigung wegen den d'Alembert'schen Massenkräften mit einer Totalentlastung des Seiles verbunden.) Bei betriebsmässig gespannten Zugseilen beträgt die totale elastische Dehnung rd. 0,2%. Wenn also die Zugseilkraft (und damit die Dehnung) während der Zeit T_{um} (z.B. 0,1 s) um 30% zurückgehen würde, so entsprächen die 0,2 m Verkürzung einer beteiligten Seillänge von 0,2 m · 100/(0,3 · 0,2) = 330 m. Eine solche Seillänge wird das talseitige Zugseil meistens aufweisen. Ausserdem reicht die Longitudinalwellengeschwindigkeit im Seil (Grössenordnung 3500 m/s) für einen Fortschritt der Entlastungswelle von rd. 350 m innert 0,1 s aus. Die genauere Untersuchung dieses Problems liefert als gute Näherung für die zeitliche Abnahme der Zugseilkraft einen e^{-t/T_0}-Verlauf. Dabei ist t die vom Moment des Seilrisses an verstrichene Zeit und T_0 eine Zeitkonstante der Grössenordnung 0,3 s, welche von den Massen m_F und m_K, von k_K, von der Massenbelegung und der Elastizität des Seiles abhängt. Die Annahme konstanten Talseilzuges während der ersten Bewegungsphase in unserer Rechnung verursacht daher eine kleine «Sicherheitsmarge» bei den Resultaten Z^*.

Mastüberfahrt

Soll die Abhebesicherheit bei einem Bergseilriss während der Mastüberfahrt beurteilt werden, so sind unsere Überlegungen in folgender Weise zu modifizieren: Die kritische Talseilzugkraft wird zunächst wie bisher ermittelt, dann aber noch mit dem Faktor

$\left(1 - \dfrac{v^2}{g\,R\cos\alpha}\right)$ — im Beispiel beträgt dieser Faktor 0,858 — multipliziert[3]). Die Bedeutung der so erhaltenen (kleineren) Kraft ist wieder die einer «kritischen Talseilzugkraft», für welche nach einem Bergseilriss das Fahrwerk im ersten Moment gerade noch der (kreisförmigen) Kontur des Tragseilschuhs folgt (sofern diese Talseilkraft im Fahrwerkschwerpunkt angreift). Bilder 4 und 5 sind nicht mehr verwendbar — es sei denn, man gebe sich mit einem Hinweis auf Grössenordnungen zufrieden. Zu Bild 6 ist zu bemerken, dass sich die angegebenen Zeiten je nach Geschwindigkeit und Tragseilschuhradius um 10 bis 30% verringern.

Sicherheitsmassnahmen

Um eine bezüglich Laufwerkstabilität bei Tragseilbremsung sichere Bahn zu konstruieren, wird es genügen, den Talseilzug um etwa 20% kleiner als die (für die steilste Stelle ermittelte) Grösse Z^* anzunehmen. Dann wird die Laufwerkstabilität bei Bergseilrissen auch

[2]) Erfolgt der Seilriss nicht schlagartig, so wird die Abhebung geringer und T_{um} länger. Solche «langsamen» Seilrisse können vorkommen, wenn zum Beispiel die zuerst gerissene Litze auf einer gewissen Länge aus dem Seilverband austritt und dadurch den noch intakten Litzen eine Verlängerung ermöglicht, wobei deren Zugspanne zunächst ab- und dann (wegen der «federartigen Belastung») wieder zunimmt bis zum Bruch der nächsten Litze.

[3]) α ist hier der Neigungswinkel der Fahrbahntangente am Ort des Fahrzeugs.

während einer Mastüberfahrt gewährleistet sein, sofern die Fangbremsen bei Bergfahrt verzögert einfallen würden. Ist letzteres nicht möglich, so empfiehlt es sich, die Talseilkraft noch mehr zu verkleinern. Die durch die elastische Verkürzung des Talseiles bedingte Entlastung birgt unter diesen Annahmen noch eine gewisse Sicherheitsreserve (etwa 5 bis 40% von Z^*, je nach Anlage).

Bei sehr steilen Bahnen mit Antrieb in der Talstation kann aber die letzte Forderung wohl kaum erfüllt werden. Man könnte dann «Sicherungen gegen Abheben» einbauen, welche z.B. als fangbremsähnlich Gebilde, die rechtzeitig das Tragseil umschliessen, denkbar sind oder auch als permanent angebrachte «Schienen gegen Abheben» im Bereich der Masten.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich aus der nun verständlichen Tatsache, dass beim Abheben das Gehänge gegen das Laufwerk stösst (was z.B. in [1] erwähnt wird). Sind im Gehänge nichtdruckübertragende Elemente [4]) (z.B. Seil, Kette) eingebaut und ist gleichzeitig das Laufwerk so ausgebildet, dass der eingangs geschilderte Aufstelleffekt durch die Talseilzugkraft und auch ein seitliches Kippen[5]) bei Gehängeentlastung nicht auftreten, so kann das Fahrzeug auch bei höheren Talseilkräften als sicher gelten.

Zusammenfassung

Wenn auf ein Seilbahnlaufwerk grosse abwärtsgerichtete Kräfte (Restzugseilkräfte, Bremskräfte bei Bergfahrt) wirken, kann dieses von der Fahrbahn abspringen. Ein Modellversuch (Bild 2) veranschaulicht dieses Verhalten. Es werden Kurven angegeben (Bilder 4, 5, 6), die eine Abschätzung der Gefährdung ermöglichen. Daraus ergibt sich, dass bei zwar extremen, aber immerhin möglichen Verhältnissen Sicherheitsmassnahmen notwendig werden.

4) Dieser Punkt ist Gegenstand einer Patentanmeldung.

5) Dies kann z. B. durch eine geeignete am Gehänge befestigte Führung verwirklicht werden.

Literaturverzeichnis

[1] Ehrensperger, «Betrachtungen zur Bremscharakteristik der Laufwerkbremsen von Luftseilbahnen», SBZ 83 (1965) Heft 34, S. 581—596.

Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung	vgl. Bild
a	halbe Länge des Hauptträgers	3
a_z	Abstand der Zugseilbefestigung	3
B	Fangbremskraft	
C	Summe von Brems- und Restzugseilkraft	1
g	Erdbeschleunigung	
k_K	Trägheitsradius von Kabine einschl. Gehänge (= «Pendel»)	3
l_K	Abstand Drehpunkt-Pendelschwerpunkt	3
m	Masse des Fahrzeuges	1
m_F	Masse des Fahrwerkes	
m_{Kl}, m_{Kv}	Masse des Pendels leer bzw. voll	
m_{Kkr}	«kritische Pendelmasse» (gefährlichste Beladung)	4
N	vom Tragseil auf das Laufwerk ausgeübte Normalkraft	1
T_{um}	Zeit (vom Moment eines Bergseilrisses an), nach der die Abhebehöhe u_{rm} erreicht wird	6
u_m	zulässige Abhebehöhe, hier $= 0{,}005 \cdot l_K$ gewählt. vgl. auch T_{um}, Z^*	
v	Fahrgeschwindigkeit	
Z	(gegebene) Talseilzugkraft an der steilsten Stelle einer Bahn	
Z_{kr}	«kritische Talseilzugkraft» (Abhebe-Grenzwert)	4
Z^*	Talseilzugkraft, unter deren Wirkung gerade die Abhebehöhe u_m erreicht wird.	5

Arbeitsverfahren und Baumaschinen für die Bodenstabilisierung

DK 625.731.002.5

Von Prof. **Viktor Kuonen,** ETH, Zürich

Einleitung

Die Bodenstabilisierung ist eine junge Baumethode. In der Schweiz ist sie erst seit 5–6 Jahren in Anwendung. Weitgehend wurde sie – wie in unseren Nachbarländern auch – im kleinen Strassenbau mit teilweise behelfsmässigen Maschinen erprobt und hat darauf auch im Nationalstrassenbau Eingang gefunden.

Es geht bei der Bodenstabilisierung darum, einen Boden zu verbessern. Um ihn aber verbessern zu können, müssen seine bodenmechanischen Eigenschaften bekannt sein. Wie die Verbesserung erzielt werden kann, ergibt sich aus der Wirkungsweise der verschiedenen Stabilisierungsmittel.

Der Rahmen dieser Ausführungen gestattet uns nicht, auf die einzelnen Stabilisierungsarten, auf die Wirkungsweise der diversen Stabilisierungsmittel und der stabilisierten Schichten als Elemente im Strassenaufbau einzugehen. Ebenso ist es nicht möglich, in diesem Artikel auf Einzelheiten einzugehen, welche den Anwendungsbereich der einzelnen Stabilisierungsarten abgrenzen. Es soll vielmehr dargelegt werden, welche *Arbeitsverfahren* üblich sind, welche *Arbeitsgänge* notwendig sind und welche Maschinen für eine einwandfreie *Arbeitsausführung* gebraucht werden.

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Bodenstabilisierung zwischen zwei Mischverfahren: dem *Ortsmischverfahren* (mix-in-place) und dem *Zentralmischverfahren* (mix-in-plant).

Das Ortsmischverfahren

Beim Ortsmischverfahren wird das Stabilisierungsmittel (Zusatzboden, Kalk, Zement, bituminöse Bindemittel usw.) mit dem anstehenden oder zugeführten Boden durch einen fahrbaren Mischer (Bodenfräse, Scheibenegge, Ein- oder Mehrwellenmischer etc.) bearbeitet. Die Maschine fährt also sozusagen durch den zu stabilisierenden Boden.

Vorbereitung des Bodens

Bevor die Durchmischung von Boden und Stabilisierungsmittel erfolgt, sind je nach angestrebter Qualität der Stabilisierung und entsprechender Maschinenwahl noch eine Reihe von Arbeitsgängen notwendig. Während Scheibenegge, Grader u.ä. auf grössere Steine nicht empfindlich sind, wird bei den eigentlichen Wellenmischern die Mischintensität durch Steine über 60/80 mm stark beeinträchtigt und der Maschinenverschleiss vergrössert. Aus diesem Grunde sind bei einem später vorgesehenen Einsatz von Wellenmischern alle Komponenten zu entfernen, welche die genannte Grösse überschreiten.

Ein Herauslesen von Hand kommt nur in seltensten Fällen in Frage. Meistens wird das Überkorn mit Hilfe von Wurzel- oder Felsrechen oder auch mit Hilfe von Aufreissern entfernt, wobei auf vernässten, feinkörnigen Böden eine geringe Menge (1÷2 Gew.-%) Branntkalk (CaO) vorgestreut wird. Der Kalk hilft die Steine herauslösen.

Wird der zu stabilisierende Boden zugeführt, so besteht auch die Möglichkeit, den Boden durch eine Sortieranlage (evtl. über einen einfachen, stationären «Rechen») zu schicken oder gar das Überkorn auf das gewünschte Maximalkorn zu brechen. Beim Zuführen eines Bodens ist vor allem darauf zu achten, dass beim Laden, beim Transport oder beim Einbringen keine Entmischung stattfindet (z.B. «Kiesnester»).

Wird im Ortsmischverfahren mit Wellenmischern stabilisiert, so ist die zu stabilisierende Schicht profilgerecht vorzuplanieren. Das ist notwendig, weil die Wellenmischer keine oder nur eine geringe Planierfähigkeit aufweisen. Am besten erfolgt diese Planierarbeit mit einem Grader. Diese Arbeit wäre aber illusorisch, wenn die Schicht nicht auch gleichzeitig verdichtet würde, um überall eine mehr oder weniger gleich grosse Lagerungsdichte und Tragfähigkeit zu erhalten.

Ein Boden, der einen zu hohen Wassergehalt besitzt, muss vorgängig soweit ausgetrocknet werden, dass er später auf alle Fälle optimal verdichtet werden kann. Bei kleinen Differenzen zwischen vorhandenem und optimalem Wassergehalt genügt oft eine Belüftung des Bodens mit Hilfe von Gradern oder Scheibeneggen. Bei grossen Differenzen zwischen den beiden genannten Wassergehalten wird der Boden oft mit Hilfe von Branntkalk und intensiver Durchmischung soweit ausgetrocknet, dass anschliessend auch Stabilisierungsarten zur Anwendung kommen können, die selbst keine Reduktion des Wassergehaltes erzielen (z.B. flüssige Bindemittel).

Böden mit einem zu geringen Wassergehalt sind soweit zu befeuchten, dass sie (inkl. Bindemittel) auf den optimalen Verdichtungswasser-