

Untersuchungen an Fangvorrichtungen im Betriebe befindlicher Aufzüge.

Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs.

Der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin
vorgelegt am 5. Januar 1914

von

Dipl.-Ing. Rudolf Mades
aus Grevenbroich.

Genehmigt am 5. März 1914.

Referent: Geh. Reg.-Rat Professor O. Kammerer.
Korreferent: Geh. Reg.-Rat Professor E. Reidel.

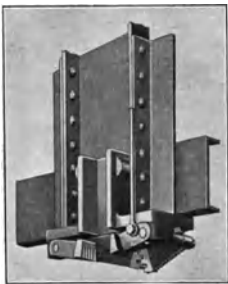
Untersuchungen an Fangvorrichtungen im Betriebe befindlicher Aufzüge.

Von **Rudolf Mades.**

Den Anstoß zu den nachstehend behandelten Untersuchungen gab eine im Jahre 1901 gebaute Versuchseinrichtung, bei der die Fangkeile auf Rollen gelagert und abgefedert waren. Mit Hilfe dieser Einrichtung konnte die Wirkungsweise von Fangvorrichtungen untersucht werden, wie es sonst an den im Betriebe befindlichen Aufzügen nicht möglich ist.

Die Wirkungsweise der auf dem Grundsatz der bremsenden Fänger beruhenden Fangvorrichtungen, Abb. 1, und der Exzenter-Fangvorrichtungen sind von Prof. Undeutsch an Förderkörben untersucht, und es ist festgestellt worden, daß sie die Führungen entweder schwer beschädigen und stoßweise arbeiten, wenn sie grob gezahnt sind, oder abrutschen, wenn sie fein gezahnt sind, weil sich die Verzahnung mit Spänen vollsetzt.

Abb. 1.
Fangvorrichtung mit bremsenden Fängern für Holzschienen.



Nach der Polizeiverordnung vom 30. Mai 1913 über die Einrichtung und den Betrieb von Aufzügen (Fahrstühlen) ist für jeden Personenaufzug oder Lastenaufzug mit Personenbeförderung außer der vorgeschriebenen Sicherheit der tragenden Teile noch eine Fangvorrichtung vorgeschrieben, die den Aufzug beim Bruch eines oder beider Tragsseile oder bei übermäßiger Geschwindigkeit stillsetzen soll. Die meisten dieser Fangvorrichtungen beruhen auf dem Grundsatz der selbsthemmenden Keilwirkung oder auf dem der bremsenden Fänger. Nach den bekannten Gesetzen ist ein Keil dann selbsthemmend, wenn die Tangente des Keilwinkels gleich dem Reibungswinkel zwischen dem Keil und den Führungen, vermindert um den Reibungswinkel an der Rückseite des Fangkeiles, ist. Zudem muß man diesen Winkel noch verkleinern, um eine gewisse Sicherheit zu erzielen, weil die Reibungsziffern ziemlich erheblich schwanken. Man wird infolgedessen bestrebt sein, die Reibungsziffer μ_1 zwischen dem Fangkeil und der Führung möglichst groß, dagegen die Reibungsziffer μ_2 für die Rückseite des Fangkeiles möglichst klein zu machen. Daher hat man die Keile an ihrer Rückseite auf Rollen gelagert und die den Führungen zugekehrte Seite aufgeraut. Die Aufrauung ist natürlich nur dann zulässig, wenn die Fangvorrichtung nicht gleichzeitig zur Führung des Aufzuges benutzt wird.

Da die auf dem Grundsatz der bremsenden Fänger beruhenden Fangvorrichtungen und die Exzenter-Fangvorrichtungen schon an Förderkörben untersucht worden sind, und die bei Aufzügen in derselben Weise, nur mit geringeren Kräften wirken werden, so erübrigt es sich, diese Fangvorrichtungen noch einmal zu untersuchen. Für die nachstehend beschriebenen Versuche standen ein Lastenaufzug mit Personenbeförderung vom Jahre 1902 von 750 kg Tragkraft, Abb. 2 und 2a, und eine Versuchseinrichtung mit gefederten, auf Rollen gelagerten Fangkeilen von 750 kg Tragkraft zur Verfügung, Abb. 9 und 10. Die Fahrgeschwindigkeit des Aufzuges betrug 0,25 m/sk, die der Versuchseinrichtung 0,5 m/sk. Es sei ausdrücklich betont, daß sich die beiden Aufzüge in vorzüglichem Zustand und unter guter Wartung befanden.

Bisher waren die Versuche meist mit einem Verzögerungsmesser, bestehend aus einer Feder und einem Gewicht, vorgenommen worden. Dieser Weg wurde bei den Versuchen nicht beschritten, vielmehr wurden Weg-Zeit-Diagramme aufgenommen, und zwar deshalb, weil die Bewegung der Fangkeile gleichzeitig und auf dieselbe Zeit bezogen,

Abb. 2.
Fahrzelle von unten gesehen mit Fangvorrichtung.

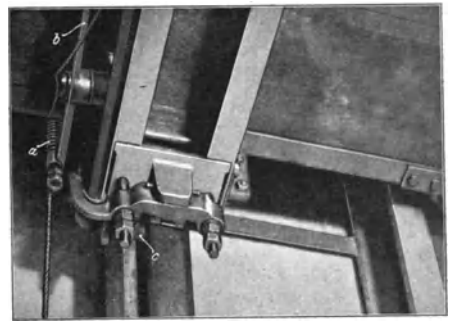
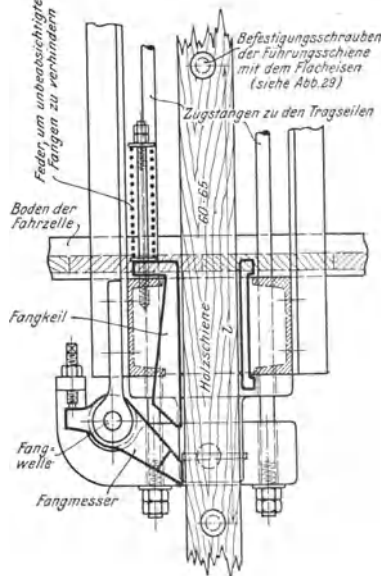


Abb. 2a. Fangvorrichtung mit Keilen und Messern.



wie der Weg des Aufzuges, untersucht werden sollte. Dieses Verfahren hat zu neuen Aufschlüssen über die Wirkungsweise der Fangvorrichtungen geführt. Die Diagramme wurden auf zeichnerischem Wege ausgewertet. Die Versuchseinrichtung bestand aus einer mittelbar wirkenden Auslösevorrichtung für 2 t Tragkraft, Abb. 3 bis 6. Dabei konn-

Abb. 3.

Auslösevorrichtung für zwei Seile.

geschlossen

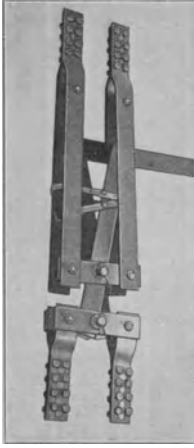


Abb. 4.

geöffnet

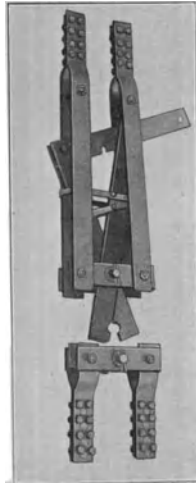


Abb. 5.

Auslösevorrichtung für ein Seil.

geschlossen

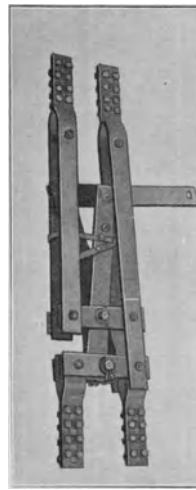
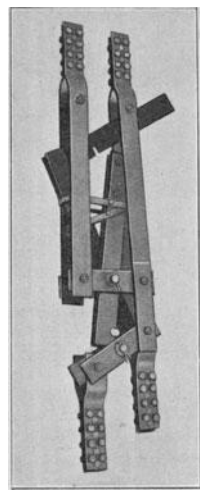


Abb. 6.

geöffnet

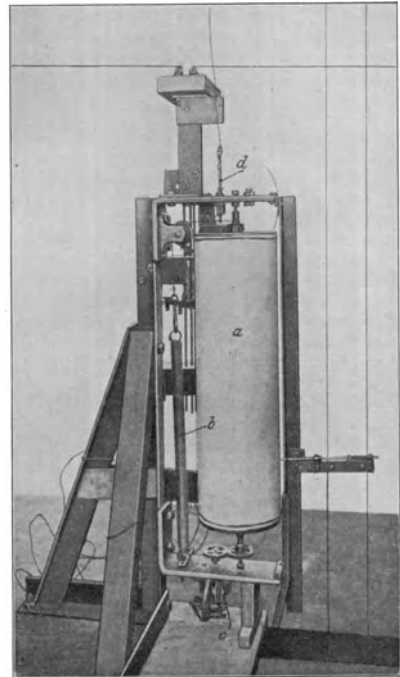
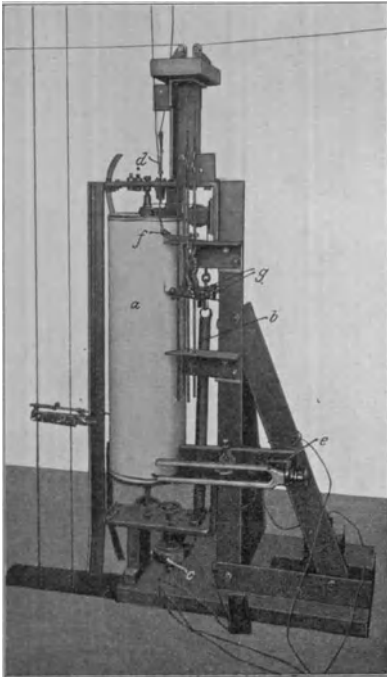


ten beide Seile gleichzeitig, aber auch nur ein Seil, sowohl in der Ruhelage, als auch während der Abwärtsfahrt augenblicklich abgekuppelt werden. Die Auslösevorrichtung konnte schon mit einer Handkraft von 28,5 kg betätigt werden und wirkte so plötzlich, daß in den Diagrammen kein Unterschied zwischen dem Beginn der theoretischen Fallkurve und dem Zeitpunkt der Auslösung zu erkennen ist.

Die Meßeinrichtung bestand aus einer Meßtrommel *a*, Abb. 7 und 8, von 160 mm Dmr. und 500 mm Länge mit einem Diagrammbogen von 500×500 qmm Fläche. Die Trom-

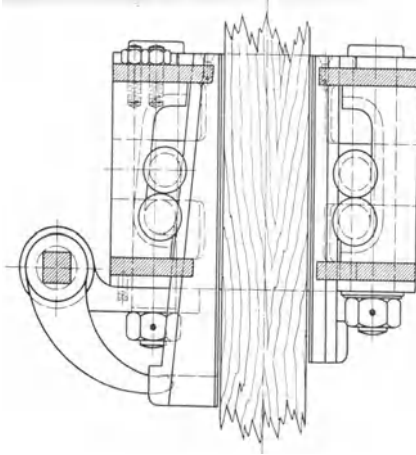
mel wurde von einer kräftigen Feder *b* beschleunigt, und sobald sie nach einer Drehung von 40 mm, am Umfang gemessen, ihre höchste Winkelgeschwindigkeit erreicht hatte, durch ein Uhrwerk mit einem Bremsregler *c* bei gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit erhalten. Die Trommel *a* machte eine volle Umdrehung und wurde kurz vor der Auslösung des Aufzuges durch den Zug *d* entkuppelt. Die Zeit einer Umdrehung wurde meist auf eine Sekunde eingestellt, da außer dem Fangvorgang, der meist 0,2 sk dauerte, noch Nachwirkungen bis zu einer Sekunde eintraten. Die Zeit

Abb. 7 und 8. Meßeinrichtung.



wurde mit einer geeichten Stimmgabel e von 100 Doppelschwingungen in 1 Sekunde gemessen. Die Diagramme wurden unmittelbar auf Papier aufgenommen. Der Schreibweg der Stimmgabel wurde dadurch sichtbar gemacht, daß auf dem unteren Rande des Diagrammbogens ein Streifen in Spiritus gelösten, feinen Rußes aufgetragen wurde, den man nach Aufnahme des Diagrammes fixierte, während es sich noch auf der Trommel befand, so daß sich das Papier nicht verziehen konnte. Ferner wurden noch gemessen: der Augenblick der Auslösung f und die Bewegungen der beiden Fang-

Abb. 9. Fangvorrichtung mit Keilen.



keile g . Als Weg des Aufzuges wurde seine relative Bewegung gegenüber den Führungen an der Fangstelle gemessen.

Zunächst wurde die Versuchseinrichtung mit gefederten, auf Rollen gelagerten Keilen, s. Abb. 9 und 10, untersucht, und zwar sollte erst ein Seil in der Ruhelage gelöst und dann die Belastung allmählich gesteigert werden. Darauf sollten zwei Seile in der Ruhelage, zunächst beim leeren Aufzug, dann mit steigender Belastung gelöst werden. Ferner sollten dieselben Versuche während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit angestellt werden. Nur auf Grund dieser Versuchsreihe kann man sich ein Bild vom Wirken der Fangvorrichtung des Aufzuges machen.

Zunächst wurde zur Feststellung, ob die Fangvorrichtung überhaupt betriebsfähig war, ein Probediagramm genommen, und zwar wurden beide Seile in der Ruhelage beim unbelasteten Aufzug gleichzeitig gelöst. Der Aufzug fing nach einem Fallweg von 107 mm. Gleich beim ersten Diagramm zeigte es sich, daß die Fangkeile große Sprünge ausführten. Allerdings erwiesen sich die Schreibstiftführungen für die Aufzeichnung der Fangkeilbewegungen als zu kurz, sie wurden infolgedessen sofort auf einen größeren Schreibweg umgebaut. Das Diagramm, Abb. 11, zeigt, daß der Aufzug bis zu 50 mm frei fällt; von da ab ist eine Abweichung von der Fallkurve, also eine Bremsung, festzustellen.

Durch zeichnerische Auswertung ergab sich eine größte Verzögerung von $24,9 \text{ m/sk}^2$ und bei einem Eigengewicht von 1100 kg ohne Belastung, also einem Gesamtgewicht von 1100 kg, eine größte Stoßkraft von 2739 kg.

$$v_1 = \frac{ds}{dt} = 0,496 \text{ m/sk}; \quad v_2 = \frac{ds}{dt} = 0;$$

$$t = 0,02 \text{ sk}; \quad p_{\max} = \frac{dv}{dt} = \frac{0,498}{0,02} = 24,9 \text{ m/sk}^2;$$

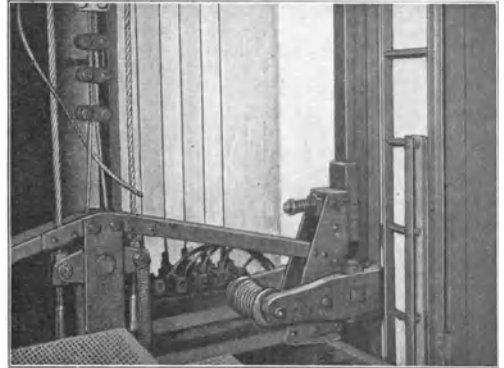
$$P_{\max} = \frac{1100}{9,81} \cdot 24,9 = 2739 \text{ kg.}$$

Ferner ist aus dem Diagramm zu ersehen, daß der Aufzug, nachdem er zum Stillstand gekommen, wieder um 24 mm hochgefliegen ist und

sich dann erst nach 0,48 sk auf einen mittleren Fallweg von 92 mm eingestellt hat. Wie sich nachher ergab, war der Aufzug durch die elastische Nachwirkung der durch die Stoßkraft zusammengepreßten Führungen hochgeschleudert worden, was durch die Rollen auf der Rückseite der Fangkeile begünstigt wurde. Bei einem wiederholten Versuch legte der Aufzug einen Fallweg von höchstens 115 mm zurück, ferner stiegen die Verzögerung auf $103,5 \text{ m/sk}^2$ und die Stoßkraft auf 11400 kg. Der Aufzug wurde genau an derselben Stelle wie beim erstenmal gefangen. Die Erhöhung der Stoßkraft, die von den beiden Führungen aufgenommen werden muß, ist demnach darauf zurückzuführen, daß die Führungen durch

Abb. 10.

Ansicht der Fahrzelle von oben mit gefederter Lagerung der Fangkeile.



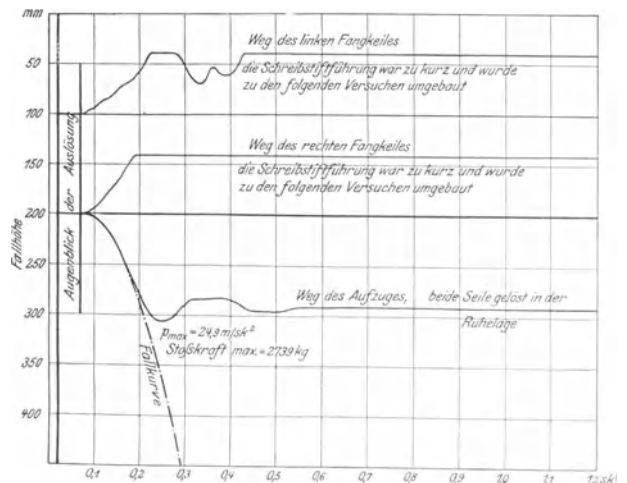
den ersten Versuch an der Fangstelle zusammengedrückt waren und beim zweiten Versuch nicht mehr die frühere Elastizität besaßen. Die Fangkeilbewegungen zeigen, daß die Fangkeile noch nicht zur Ruhe gekommen waren, als der Aufzug schon stillstand, Abb. 12.

Beim dritten Versuch stieg die höchste Verzögerung auf 128 m/sk^2 , die Stoßkraft auf 14050 kg; die Fangkeilbewegungen waren noch heftiger geworden als beim zweiten Versuch. Die Erhöhung der Stoßkraft war demnach geringer als beim zweiten Versuch, woraus hervorgeht, daß die Führungen nahezu vollständig zusammengedrückt waren, da immer an derselben Stelle gefangen wurde, Abb. 13.

Weitere aufgenommene Diagramme ergaben, daß die Stöße und die Bewegungen der Fangkeile immer heftiger

Abb. 11.

Versuchseinrichtung mit gefederten auf Rollen gelagerten Fangkeilen.

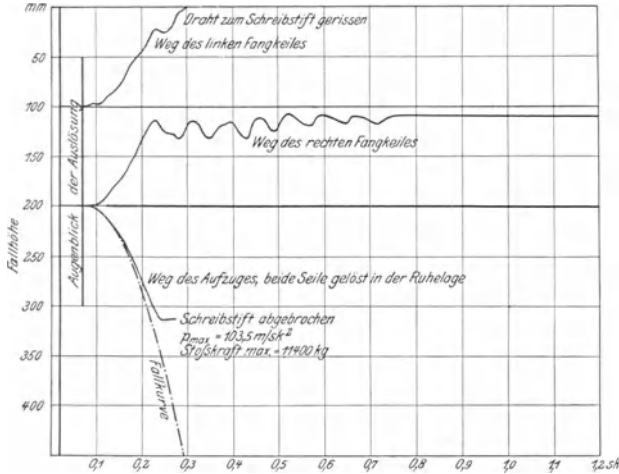


Eigengewicht 1100 kg. Tragkraft 750 kg. Ohne Belastung. Gesamtgewicht 1100 kg

wurden. Da diese sehr ungleichmäßig arbeiteten, pendelte der Aufzug mehrmals hin und her und schlug heftig gegen die Führungen, von denen er dann zurückgeschleudert wurde. Wenn zwischen den Pendelbewegungen des Aufzuges und den Schwingungen der Führungen Resonanz und zwischen den Fangkeilbewegungen Synchronismus eintritt, was sehr leicht gesehen kann, da die Fangkeile von gleicher Bauart und gleichem Gewicht sind, so können sehr verwickelte Ver-

Abb. 12.

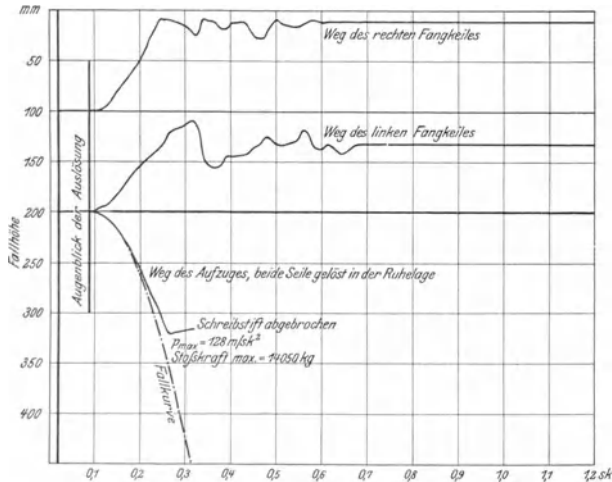
Versuchseinrichtung mit gefederten auf Rollen gelagerten Fangkellen.



Eigengewicht 1100 kg. Tragkraft 750 kg. Ohne Belastung. Gesamtgewicht 1100 kg

Abb. 13.

Versuchseinrichtung mit gefederten auf Rollen gelagerten Fangkellen.



Eigengewicht 1100 kg. Tragkraft 750 kg. Ohne Belastung. Gesamtgewicht 1100 kg.

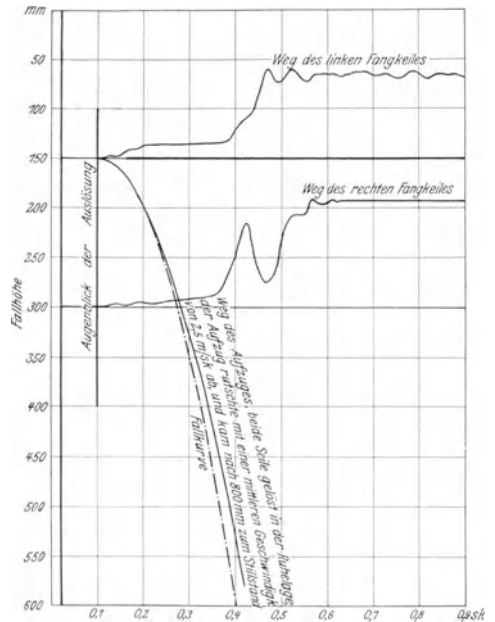
hältnisse entstehen. Bei diesem Aufzug trat allerdings der Fall nicht ein. Das Diagramm Abb. 22 und 17, das von dem zweiten Versuchsaufzug aufgenommen wurde, zeigt aber, daß Synchronismus zwischen den Fangkeilbewegungen nicht ausgeschlossen ist. Eine Reihe von Versuchen wurde noch nach Loslösung beider Seile in der Ruhelage ohne Last angestellt. Die Schläge wurden mit der Zeit so heftig, daß der leichte Schreibstift von seiner Führung an der Meßtrommel absprang, obwohl er durch eine äußerst kräftige Feder angedrückt wurde. Schließlich rutschte beim achten Sturzver-

such der Aufzug durch und zwar nicht mit der Fallgeschwindigkeit, sondern mit rd. 2,5 m/sk und stand nach einem Weg von 800 mm still, Abb. 14.

Die Vorgänge sind dadurch zu erklären, daß die Keile auf der den Führungen zugekehrten Seite aufgeraut waren. Infolgedessen ist die Reibungsziffer hier als verhältnismäßig hoch anzunehmen. Die Reibungsziffer der Rückseite war wegen der Rollenlagerung nahezu gleich null. Die Tangente des Keilwinkels ist also hier ungefähr gleich der Reibungsziffer der aufgerauten Vorderseite. Da die Keilneigung 1:10 betrug, ist die Reibungsziffer größer als 0,1 gewesen. Infolge der fortgesetzten Versuche hat die Aufrauung allmählich abgenommen und sich mit Spänen vollgesetzt, so daß die Keilfläche glatter wurde. Die Reibungsziffer wurde also geringer, und der Aufzug mußte, sobald die Reibungsziffer kleiner als die Tangente des Keilwinkels wurde und keine Selbsthemmung mehr vorhanden war, abrutschen. Dies

Abb. 14.

Versuchseinrichtung mit gefederten auf Rollen gelagerten Fangkellen.



Eigengewicht 1100 kg.

Tragkraft 750 kg.

Ohne Belastung.

Gesamtgewicht 1100 kg.

geschah mit verminderter Geschwindigkeit, weil immerhin eine gewisse Bremskraft auftrat. Die Führungen waren durch die Keile zusammengequetscht, so daß die Unterkante der Fangkeile ein Widerlager fand und der Aufzug nicht durch die selbsthemmende Wirkung der Fangkeile, sondern durch einfachen Hobelwiderstand, wie bei bremsenden Fingern, schließlich stillgesetzt wurde. Da die Fangkeile, soweit sie sich bewegen konnten, in die Führungen hineingedrückt waren, hatte es keinen Zweck, die Untersuchung dieser

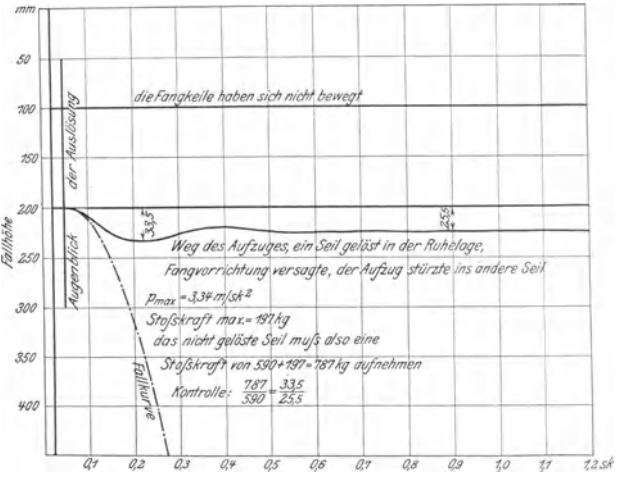
Versuchseinrichtung mit Belastung fortzusetzen. Die Versuche, den Aufzug während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit abzukuppeln, mußten daher ganz unterbleiben, da die Bedingungen hier noch schärfer sind. Das Ergebnis ist also, daß eine Keilneigung von 1:10 selbst bei Rollenlagerung noch zu groß ist; die Aufrauung der Vorderseite ist nicht zulässig, da ihre Wirkung schon nach mehrmaligem Fangen ausbleibt und keine Sicherheit verbürgt. Zudem liegen nicht einmal die Reibungsziffern für glatte geölte Flächen, geschweige denn die für willkürlich

rauh gemachte Flächen fest. Daß das Durchrutschen des Aufzuges nicht nur auf dem einmaligen Zusammentreffen ungünstiger Umstände beruhte, wurde durch mehrere Versuche festgestellt, bis sich ergab, daß mit der Bauart keine weiteren Ergebnisse erzielt werden konnten, es sei denn, man hätte die Keilneigung noch kleiner als 1 : 10 gemacht. Die Fangvorrichtung wurde bei diesen Versuchen durch eine Feder an dem doppelarmigen Hebel betätigt, nachdem beide Seile abgekuppelt waren. Ferner war noch ein Regler angebracht, der sie bei Ueberschreitung der normalen Geschwindigkeit betätigen sollte, indem er ein Fallgewicht mit einer Feder auslöste. Nachdem schon einige Versuche vorgenommen waren, verstellte man den Hebel auf der Fangwelle, um die Reglerprobe zu machen. Der Aufzug wurde also bei den letzten Versuchen nicht durch den doppelarmigen Hebel in Bewegung gesetzt, sondern erst, nachdem er eine gewisse Fallgeschwindigkeit erreicht hatte, wurde die Fangvorrichtung durch den Regler betätigt. Dies zeigt sich auch im Unterschied zwischen den Diagrammen Abb. 13 und Abb. 14. Im Diagramm Abb. 13 beginnt die Fangkeilbewegung gleichzeitig mit der Auslösung des Aufzuges. Dagegen tritt sie im Diagramm Abb. 14 erst nach 0,28 sk voll in Wirkung. Allerdings ist eine geringe Bewegung sofort nach der Auslösung des Aufzuges festzustellen, da der Hebel, der auf der Fangwelle gedreht worden war, die Fangvorrichtung noch nicht ganz verriegelt hatte, so daß sich die Fangkeile 10 bis 20 mm weit bewegen konnten, bis der Regler das Fallgewicht freigab. Die Fangkeile dieser Versuchseinrichtung hatten, abweichend vom üblichen, unverhältnismäßig große Flächen von je $5 \times 30 = 150$ qcm. Trotzdem wurden die Führungen zerquetscht, was bei einer Quetschgrenze des Holzes von 345 kg/qcm auf einen wagerechten Druck von 51750 kg schließen läßt. $150 \cdot 345 = 51750$ kg.

In der Polizeiverordnung über die Einrichtung und den Betrieb von Aufzügen ist für die Fangvorrichtungen nicht vorgeschrieben, daß sie die Führungen nicht beschädigen dürfen. Auch ist nichts über die Druck- und Knicksicherheit der Führungen bei den größten auftretenden Stoßkräften bestimmt. Daß die Fangvorrichtungen, die auf dem Grundsatz der bremsenden Fänger und der Exzenter-Fangvorrichtungen beruhen, die Führungen schwer beschädigen, ist einleuchtend. Diese Tatsache ruft aber einen gefährlichen Zustand hervor; denn die Führungen werden geschwächt; und es ist keine Gewähr für ihre Auswechslung gegeben, so daß, wenn der Aufzug zufällig an derselben beschädigten Stelle durch irgendwelche Ursache abstürzt, die Fangvorrichtung kein Material findet, woran sie sich festhalten kann. Der Aufzug wird also entlang der beschädigten Strecke der Führungen frei durchfallen und abstürzen, wenn er eine solche Geschwindigkeit erlangt, daß die Fangvorrichtung nicht mehr in stande ist, den Aufzug anzuhalten. Die Festsetzung der Druck- und Knicksicherheiten für die Führungen in der Polizeiverordnung würde umfassende Versuche voraussetzen, nicht aber die Vorschrift, die Fangvorrichtung so zu gestalten, daß die Führungen nicht beschädigt werden.

Unter Beschädigung ist natürlich auch ein

Abb. 15. Lastenaufzug für Personenbeförderung. Gelifert 1902.



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Ohne Belastung. Gesamtgewicht 590 kg.

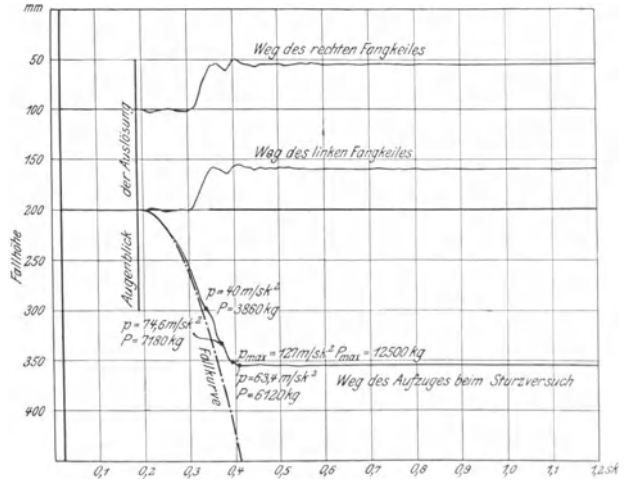
Abb. 16. Umführung der Seile an der Oberkante des Aufzuges. Die Seile wurden durch vorstehende Schraubenköpfe festgeklemmt.



Zusammenquetschen der Führungen zu verstehen, bei dem sie so dünn werden, daß die Keile nicht mehr voll wirken können, selbst wenn sie so weit wie möglich verschoben sind.

Als nächster Aufzug wurde ein Lastenaufzug mit Personenbeförderung von 750 kg Tragkraft vom Jahre 1902 untersucht, Abb. 2 und 2a. Bei dieser Fangvorrichtung wurden die Keile durch Messer, die in die Führungen eindringen, zwangsläufig hochgedrückt. Hier ist also die Selbsthemmung der Keile nicht durchaus erforderlich, da die Messer ganz erhebliche Kräfte übertragen können. Da die Fangvorrichtung

Abb. 17. Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gelifert 1902.



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Belastung beträgt 375 kg. Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

Abb. 18. Geschwindigkeitsregler. Das Antriebseil ist mit dem Aufzug gekuppelt (s. Abb. 2).

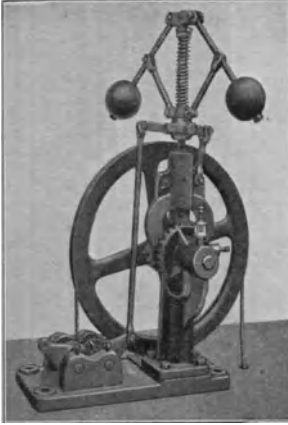


Abb. 19. Fahrzelle von unten gesehen, mit eingebauter Feder, um den Aufzug künstlich zu fangen.

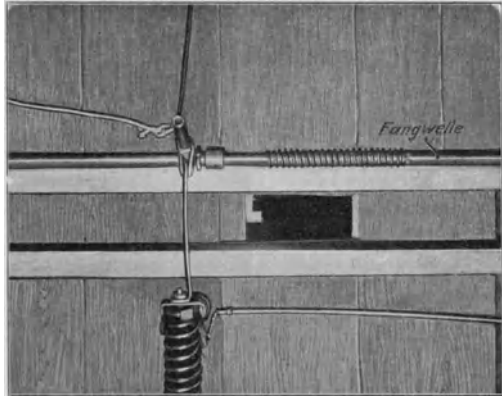
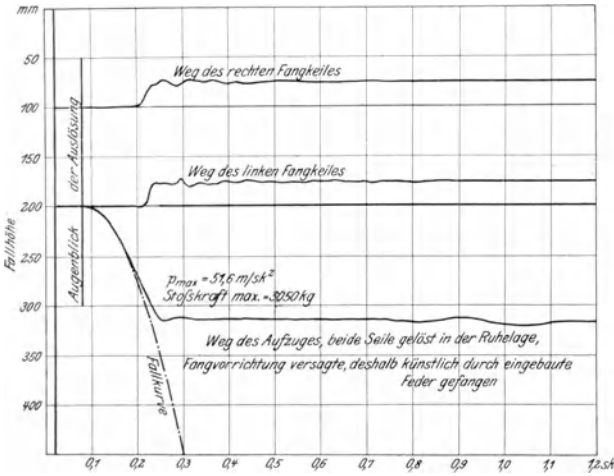


Abb. 20. Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gellefert 1902.



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Ohne Belastung. Gesamtgewicht 590 kg.

züge prüfen. Denn die Fangproben, die behördlich vorgeschrieben sind, hätten niemals diesen Fehler aufgedeckt. Das Diagramm, s. die späteren Abb. 23 und 25, zeigt, daß der Aufzug der behördlichen Vorschrift vollständig genügt, was auch aus dem Revisionsbuch und der letzten Prüfung, die den Aufzug in demselben Zustande vorfand, hervorgeht. Die baupolizeilichen Bestimmungen schreiben nämlich vor:

»Die Zuverlässigkeit der Fang- oder Bremsrichtungen ist außerdem bei leerem Fahrkorbe zu erproben. Bei dieser Probe müssen entweder die Tragorgane von dem Fahrkorbe losgelöst, oder es muß mindestens eins bei der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit soweit gelockert werden, wie es erforderlich ist, um die Fangvorrichtung in Tätigkeit zu setzen.«

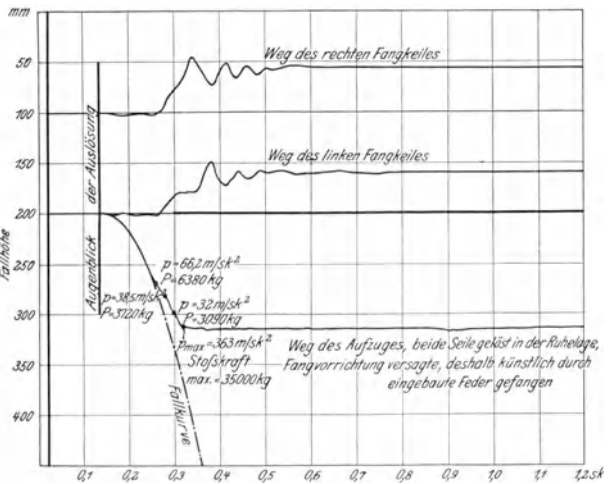
Außerdem wurde versucht, ein Seil während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit, ferner beide Tragseile zu lösen und den Aufzug frei stürzen zu lassen. Es zeigte sich, wie aus Diagramm Abb. 17 hervorgeht, daß der Aufzug fing, und zwar wurde die Fangvorrichtung durch

Abb. 21.

Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gellefert 1902.

gleichzeitig als untere Führung des Aufzuges dient, sind die Keile nicht aufgeraut und werden durch ziemlich kräftige Federn, die ein unbeabsichtigtes Fangen verhindern, in ihrer gewöhnlichen Lage gehalten, s. Abb. 2 und 2a. Abb. 15 erläutert den Versuch, den Aufzug in der Ruhelage ohne Last unter Lösung nur eines Seiles abstürzen zu lassen. Die Fangkeile haben sich überhaupt nicht bewegt, der Aufzug ist in das zweite Seil gefallen, das insgesamt eine Stoßkraft von 787 kg einschließlich der Vorspannung durch das halbe Eigengewicht des Aufzuges aufzunehmen hatte. Das Diagramm, Abb 15, ist also lediglich ein Schwingungs- und Dehnungsdiagramm des nichtgelösten Seiles. Daß die Fangvorrichtung versagte, ist auf einen schweren Montagefehler zurückzuführen, Abb. 16. Die Seile wurden nämlich durch vorstehende Schraubenköpfe an jeder Bewegung verhindert; nicht einmal die Stoßkraft von 787 — 395 = 392 kg war imstande, sie an den Schraubenköpfen vorbeizuziehen. Derselbe Uebelstand ist auch an andern Lastenaufzügen mit Personenbeförderung von 1 t Tragkraft derselben Firma festgestellt worden.

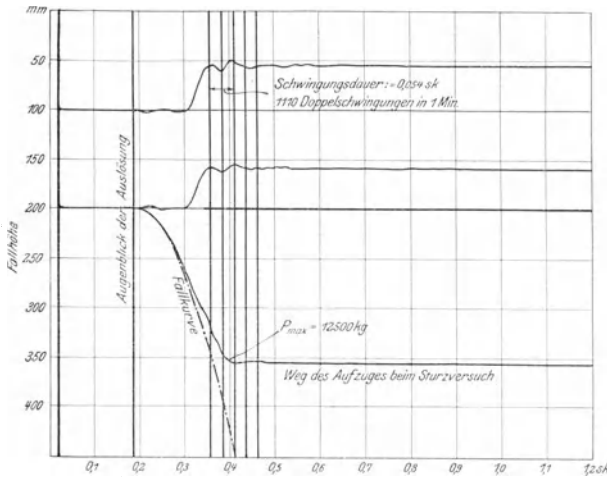
Der Vorwurf trifft nicht nur die ausführende Firma, sondern auch die Behörden, die die Auf-



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Belastung beträgt 375 kg. Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

Abb. 22.

Synchronismus der Fangkettenbewegungen erzeugt Resonanz zwischen diesen Bewegungen und den Bewegungen des Aufzuges, der dadurch sprungweise fällt oder abstürzt.
Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gellefert 1902.



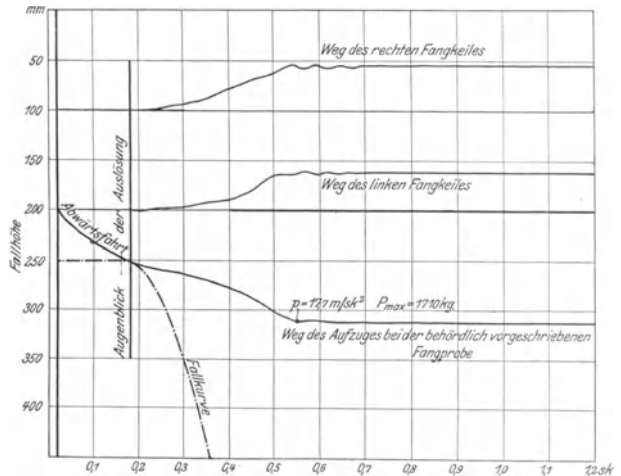
Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Belastung beträgt 375 kg.
Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

in der Ruhelage, dann mit steigender Last; Lösung beider Seile in der Ruhelage ohne Last, dann mit steigender Last; Lösung eines Trageiles während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit ohne Last, dann mit steigender Last. Gleichzeitig wäre zu untersuchen, bei welcher Geschwindigkeit der Regler die Fangvorrichtung betätigt und ob er dies auch in der beabsichtigten Weise tut. Erst dann hat man ein Bild von der Wirkungsweise der Fangvorrichtung.

Oft ist, z. B. von Prof. Undeutsch der Versuch gemacht worden, den Aufzug, oder in diesem Falle den Förderkorb, erst eine gewisse Strecke frei fallen zu lassen und dann die Fangvorrichtung nach einer gewissen Fallhöhe zu entriegeln, nachdem man sie vorher verriegelt hatte, so daß sie erst nach dieser Fallhöhe, nachdem der Aufzug eine gewisse Fallgeschwindigkeit erreicht hat, in Tätigkeit tritt. Dieser Versuch ist nicht unbedingt erforderlich, da die Reglerprobe schon den Nachweis bringt, daß der Aufzug gefangen wird, bevor er eine unzulässige Geschwindigkeit annimmt.

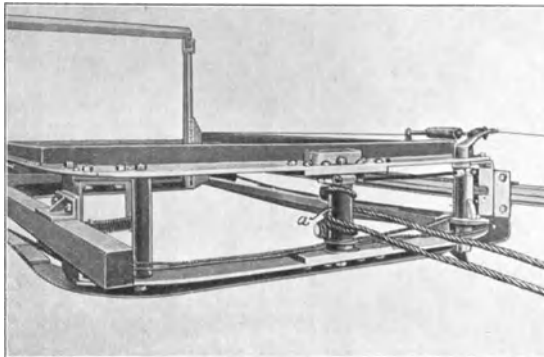
Abb. 23.

Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gellefert 1902.



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Belastung beträgt 375 kg.
Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

Abb. 24.



den Regler, Abb. 18, betätigt, aber nicht so, wie es vom Konstrukteur beabsichtigt war, nämlich daß die Muffe des Reglers das Seil durch Hebel und ein Gesperre festklemmen sollte, sondern indem das Beharrungsvermögen des Reglers die Kraft der Feder a an dem doppelarmigen Hebel b , Abb. 2, überwand und die Fangvorrichtung durch die Messer c bestätigte. Der Regler ist also gar nicht in Tätigkeit getreten, da er das Seil nicht festklemmt hatte. Man hätte ebensogut ein Schwungrad oder eine Bremscheibe anbringen können, deren Beharrungsvermögen oder Bremskraft die Federkraft überwinden hätte.

Es ist also festgestellt worden, daß die Fangvorrichtung einschließlich des Reglers vollkommen versagt hat; und doch erfüllt die Fangvorrichtung die behördlichen Vorschriften, wie aus dem Revisionsbuch hervorgeht.

Es ist demnach dringend zu wünschen, daß diese Vorschriften im ausgesprochenen Sinne geändert werden, zum mindesten müßte man verlangen, daß die Wirkungsweise jeder neu entworfenen Fangvorrichtung erst auf einem Versuchstande gründlich untersucht wird; die regelmäßigen Prüfungen könnten sich dann nur auf die Untersuchung des ordnungsmäßigen Arbeitens beschränken, natürlich auch auf die Untersuchung, ob nicht Montagefehler vorliegen.

Solche Versuchstände wären zweckmäßig in dem Versuchsfeld einer technischen Hochschule einzurichten, damit die Versuchsergebnisse der Gesamtheit zugute kommen.

Die Prüfung einer Bauart müßte folgende Versuche umfassen: Lösung eines Trageiles ohne Last

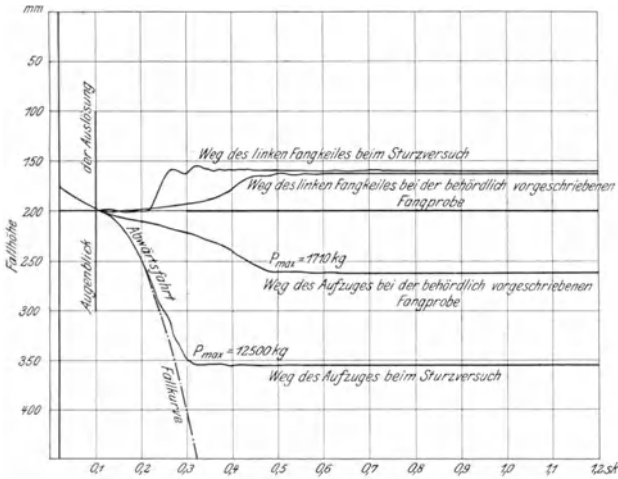
Nachdem also einwandfrei festgestellt war, daß die Fangvorrichtung versagte, wurde eine 300 kg-Feder eingebaut, die, wenn sie ausgelöst wurde, die Fangwelle drehte. Bei den folgenden Versuchen wurde gleichzeitig mit dem Aufzug auch diese Feder ausgelöst und damit die Fangvorrichtung betätigt, Abb. 19. Der Aufzug wurde also erst künstlich gefangen, damit die Wirkungsweise der Messer und Keile trotz des Montagefehlers untersucht werden konnte.

Zunächst wurde untersucht, ob die Keilnagel-

Abb. 25.

Vergleich zwischen der behördlich vorgeschriebenen Fangprobe während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit und dem Sturzversuch bei Lösung beider Seile in der Ruhelage.

Lastenaufzug mit Personenbeförderung. Gelffert 1902.



Eigengewicht 590 kg. Tragkraft 750 kg. Belastung beträgt 375 kg.
Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

Selbsthemmung hervorrief, indem die Messer c, Abb. 2, herausgenommen und durch Hebel ersetzt wurden, die unmittelbar an den Fangkeilen anlagen und bei Drehung der Fangwelle die Fangkeile zwangläufig an die Führungen andrückten. Die zwangläufige Kraft betrug für jeden Fangkeil 300 kg; erst mit dieser Kraft konnte der Aufzug gehalten werden, wenn man die Seile langsam nachließ, d. h. es ist keine Selbsthemmung vorhanden, sondern der Aufzug mußte mit einer Kraft, die seinem Eigengewicht entspricht, abgestützt werden. Das ist nach den vorangegangenen Versuchen auch erklärlich, da die Keilneigung bei diesem Aufzuge 1,25 : 10 betrug. Sie hätte gleich dem Reibungswinkel zwischen einem glatten Bronzekeil und der geschmierten Holzführung, vermindert um den Reibungswinkel zwischen dem Bronzekeil und Schweißisen im Betriebszustande sein müssen, d. h. bei der Montage ist die Rückseite des Fangkeiles geschmiert worden; aber es ist zu bedenken, daß im Betriebe Staub hineingelangt, der den Reibungswinkel wesentlich erhöhen kann, so daß die Sicherheit, die in der Selbsthemmung liegen könnte, sehr gefährdet ist. Trotzdem haben Aufzüge dieser Bauart und mit dieser Keilneigung bei Fangproben, die in der Fabrik vorgenommen wurden, richtig gefangen, wovon ich mich persönlich überzeugt habe. Hierin liegt kein Widerspruch; denn die Führungen waren nicht im Betriebszustande. Die geringe Rauheit, die noch an den unbenutzten Führungen vorhanden war, genügte eben, um die Reibungsziffer so zu erhöhen, daß Selbsthemmung bei einer Keilneigung von 1,25 : 10 eintrat. Ich bin der festen Überzeugung, daß diese Aufzüge, wenn sie einige Zeit im Betriebe sind, nicht mehr fangen oder mindestens nach mehrmaligem Fangen versagen. Die Unfallstatistik zeigt, daß solche Fälle eingetreten sind. Die Aufzugsbaufirmen lehnen es meist ab, die Fangproben unter Lösung beider Seile mit Vollast vorzunehmen, und werden hierin noch von der Behörde, die diese Fangprobe nicht bedingungslos vorschreibt, unterstützt.

Nachdem sich gezeigt hatte, daß der Aufzug ohne die Messer nicht fangen würde, wurden sie wieder eingebaut, und die Versuche fortgeführt,

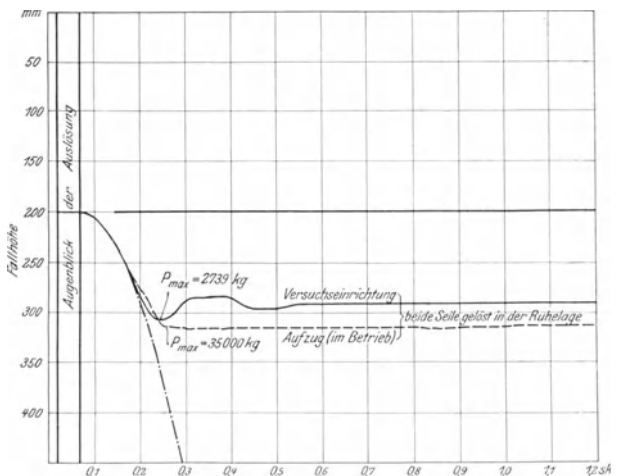
aber unter Benutzung der Feder, die den Aufzug künstlich fangen sollte. Das erste Diagramm Abb. 20, ergibt eine größte Verzögerung von 51,6 m/sk², also eine Stoßkraft von höchstens 3050 kg. Auch hier ist zu beachten, daß der Aufzug wieder etwas hochgeschleudert worden ist, so daß nicht mit Sicherheit feststeht, ob der Aufzug auch in zuverlässiger Weise an den Führungen festhing. Ferner trat die Bewegung der Fangkeile erheblich verzögert ein, und zwar 0,12 sk später, als die Auslösung des Aufzuges, weil sich zwischen den Messern und den Fangkeilen ein ziemlich großer Spielraum befand, der aber erforderlich war, damit die Messer voll wirken konnten; denn wäre der Spielraum nicht vorhanden, so würden die Messer, da sie sofort Widerstand finden, am Holze abrutschen können, so daß ein ganz unübersehbarer Zustand entstanden wäre.

Trotzdem zeigt sich, daß der Weg, den der Aufzug genommen hat, schon nach 0,10 sk von der Fallkurve abgewichen, d. h., daß schon eine Bremskraft aufgetreten ist, und zwar weil die Messer wie Stelzen und bremsende Fänger gewirkt haben; allerdings reichte diese Wirkung noch nicht aus, um den Aufzug stillzusetzen, sondern die Keilwirkung mußte erst noch hinzukommen. Die Messer und die Keile teilen sich also in die Verzögerungsarbeit. Dieser Versuch war ohne Last unter Lösung beider Seile in der Ruhelage durchgeführt worden. Beim nächsten Versuch, der mit halber Last vorgenommen wurde, zeigte sich, daß die Stöße schon ganz beträchtlich geworden waren, Abb. 21.

Die größte Verzögerung betrug 363 m/sk², die Stoßkraft höchstens 35 000 kg bei einem fallenden Gesamtgewicht von 590 + 375 = 965 kg. Die Fangkeile führten Sprünge aus, deren Höhe bis zu 50 vH ihres zulässigen Weges beträgt. Da die beiden Fangkeile gleich gebaut sind, also gleiche Masse haben, lag der Gedanke nahe, daß zwischen ihren Bewegungen Synchronismus auftreten könnte. Dieser Synchronismus wie überhaupt das Springen der Keile, ruft ein sprunghaftes Fallen des Aufzuges hervor, Abb. 22 und 17. Infolgedessen treten nicht ruhig wirkende Bremskräfte, sondern Stoß-

Abb. 26.

Vergleich zwischen gefederten auf Rollen gelagerten Fangkeilen und ungefederten hart arbeitenden Fangkeilen.



Versuchseinrichtung mit gefederten auf

Rollen gelagerten Fangkeilen.

Eigengewicht 1100 kg.

Tragkraft 750 kg.

Ohne Belastung.

Gesamtgewicht 1100 kg.

Lastenaufzug mit Personenbeförderung.

Gelffert 1902.

Eigengewicht 590 kg.

Tragkraft 750 kg.

Belastung beträgt 375 kg.

Gesamtgewicht 590 + 375 = 965 kg.

kräfte von sehr schwankenden Augenblickswerten auf, so daß z. B., wie Abb. 17 zeigt, die größte Stoßkraft nicht am Ende des Fallweges, sondern vorher auftreten kann. In diesem Falle betrug sie bei einer größten Verzögerung von 127 m/sk^2 $12\,500 \text{ kg}$.

Das bedeutet gegenüber dem Versuch nach Abb. 21 mit $35\,000 \text{ kg}$ Stoßkraft einen gewaltigen Unterschied, der deutlich zeigt, von welchen Zufälligkeiten die größte Stoßkraft

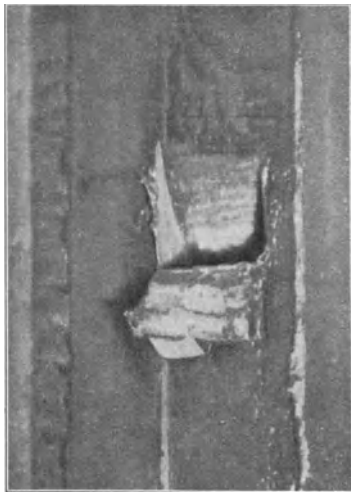
Abb. 27 und 28.

Wirkung des linken Fangkeiles. Aufzug künstlich gefangen.

Abb. 27. Ohne Last.



Abb. 28. Halbe Last.



abhängig ist. Beim Synchronismus der Fangkeilbewegungen kann der Fall eintreten, daß der Aufzug, anstatt immer kleinere Sprünge, Abb. 21 und 17, immer größere macht, d. h. abstürzt. Das Diagramm, Abb. 23, zeigt die behördlich vorgeschriebene Fangprobe während der Abwärtsfahrt mit normaler Geschwindigkeit von rd. $0,25 \text{ m/sk}$. Hierbei ergab sich eine größte Verzögerung von $17,7 \text{ m/sk}^2$, entsprechend einer Stoßkraft von 1710 kg . Ferner ist zu erkennen, daß das Diagramm vollständig von der Fallkurve abweicht, so daß

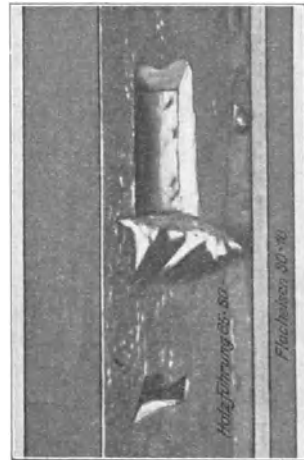
dieser Versuch nicht als ein Fangversuch, vielmehr nur als ein Stillsetzen des abwärtsfahrenden Aufzuges anzusprechen ist. Da der Aufzug hierbei nicht durch die eingebaute Feder künstlich gefangen wurde, sondern im normalen Betriebszustande war, und durch Zug am Reglerseil zum Fangen gebracht wurde, so gibt dieses Diagramm den Beweis dafür, daß eine Fangvorrichtung, die behördlich mehrmals schon abgenommen und nachgeprüft worden ist, durchaus betriebsunfähig sein kann und zwar gerade dann, wenn sie gebraucht wird, d. h. bei dem Bruch eines oder gar beider Tragselle. Daß der Bruch der Tragselle trotz der vorgeschriebenen Sicherheit schon bei viel geringerer Belastung eintreten kann, zeigt Abb. 24. Die Tragselle sind um eine Trommel a von viel zu geringem Durchmesser geschlungen, so daß sie schon dadurch eine erhebliche Biegungs-Vorspannung erhalten.

Das ist nicht etwa ein vereinzelter Fall, sondern Abb. 24 stellt eine normale Bauart der betreffenden Firma dar. Nun wird gerade den meisten dieser Fangvorrichtungen der Vorteil nachgerühmt, daß sie schon bei gefahrdrohender Längung eines Seiles betätigt werden. Das geschieht bei diesem Aufzug nicht, da beide Seile, wie Abb. 16 zeigt, festgeklemmt

Abb. 29.

Wirkung des rechten Fangkeiles. Sturzversuch.

Halbe Last.



sind. Der Aufzug wird daher abstürzen, wenn die Seile unbrauchbar geworden sind, ohne daß vorher durch ein Fangen die gefahrdrohende Längung eines Seiles angezeigt worden ist. Da außerdem der Regler nicht in ordnungsmäßiger Weise arbeitet, ist ein Unfall unausbleiblich.

Abgesehen davon, daß die behördliche Fangprobe keine Gewähr für das einwandfreie Arbeiten der Fangvorrichtung bietet, zeigt sich noch ein Unterschied in den Stoßkräften, Abb. 25, die beim behördlichen Versuch 1710 , beim Sturzversuch dagegen $12\,500$ bis $35\,000 \text{ kg}$ betragen können und dies erst bei halber Last.

In diesem Fall ergab eine Nachrechnung der Holzführungen auf Knickung nur eine $1,1$ -fache Sicherheit,

$$\sigma = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} = \frac{9,85 \cdot 100\,000 \cdot 110}{75^2} = \frac{35\,000}{2} = 1,1,$$

$l = \text{Knicklänge (s. Abb. 2a)},$

d. h. die Führungen, die aus einem Flacheisen von (80×10) und einem Hartholzbalken von $(60 \times 65) \text{ gmm}$ Querschnitt bestanden, wären zerknickt, wenn man die Versuche mit der vollen Last von 750 kg ausgeführt hätte. In Abb. 26 ist gezeigt, daß man durch federnde Lagerung der Fangkeile die Stoßkräfte ganz beträchtlich mildern kann. Sie betragen bei

der Versuchseinrichtung mit einem Gesamtgewicht von 1100 kg, Abb. 9 und 10, nur 2739 kg, beim Aufzug Abb. 2 dagegen bei einem Gesamtgewicht von 965 kg 35000 kg. Wie groß die Beschädigungen der Führungen sein können, ergeben Abb. 27 bis 29.

Zusammenfassung.

Es werden Fangversuche an einer Versuchseinrichtung mit gefederten auf Rollen gelagerten Fangkeilen eingehend

behandelt. Als kennzeichnend wurde gefunden, daß durch das Springen der Keile der Fangvorgang abweichend von der bisherigen Annahme stattfindet. Es wird dies an Hand von Diagrammen erläutert. Ferner wurde ein Lastenaufzug mit Personenbeförderung untersucht, mit Keilen, die durch Messer zwangsläufig hochgedrückt werden sollen. Auch bei diesem Aufzug trat das heftige Springen der Keile ein. Es wird daher der Vorschlag gemacht, die Polizeiverordnung im entsprechenden Sinne zu ändern.