

Druck der Strangulationschlinge.

Von
Dr. Gustaf Hultkvist, Stockholm.

Mit 8 Textabbildungen.

Die Frage des Druckes der Schlinge auf den Hals beim Erhängen und Erdrosseln ist für das Verständnis des Mechanismus des Strangulationstodes von großer Bedeutung. Abgesehen von einigen experimentellen Versuchen, den Druck zu messen, der erforderlich ist, um Flüssigkeit durch die Pulsadern des Halses zu pressen, während eine Schlinge um ihn zugezogen ist, ist indes in der gerichtlich-medizinischen Literatur keine Untersuchung über diese Frage zu finden. Durch diese Versuche bekommt man jedoch keine Vorstellung von den mechanischen Gesetzen, die für die Schlinge gelten.

Nach gewissen Äußerungen in den Handbüchern zu schließen, hat man den Druck der Schlinge beim Erhängen der Schwere des Körpers gleichgestellt. So findet man in *Hofmann-Haberda*s Lehrbuch über die vorgenannten Versuche erwähnt, daß es bei Kindesleichen gelang, Flüssigkeit durch die Carotiden zu treiben, wenn man einen Druck anwandte, der „das Gewicht des Körpers überwindet“. In *Schmidt-manns* Handbuch spricht *Ziemke* von diesen Versuchen, bei welchen der Injektionsdruck imstande ist, „das Gewicht des suspendierten Körpers zu überwinden“. Es ist indes der Druck der *Schlinge* auf den Hals, der bei Injektion der Flüssigkeit überwunden werden muß, nicht das Körpergewicht. Zwischen der Spannung, die bei freiem Herabhängen des Körpers, z. B. in einer laufenden Schlinge, in dem oberhalb des Knotens befindlichen geraden Teil des Stranges vorhanden ist, und dem Druck, den die Schlinge in radiärer Richtung auf den Hals ausübt, muß man nämlich genau unterscheiden. Die Spannung im Strang oberhalb des Knotens ist natürlich beim freien Hängen dem Körpergewicht gleichzusetzen, es ist aber offenbar der radiäre Druck auf den Hals, der für das Verständnis des Strangulationsmechanismus von Bedeutung ist.

Wie ich zeigen werde, ist die Schlinge eine mechanische Vorrichtung, die unter den Verhältnissen, die beim Erhängungstod vorkommen, auf den Körper (Hals) stets einen Gesamtdruck ausübt, der beträchtlich größer ist als das Körpergewicht. Beim Erdrosseln mit einem rund um

den Hals gehenden Strick bringt dieser einen Druck zustande, der mehrmals größer ist als der Zug am Strick. Der Gesamtdruck, der auf den Hals einwirkt, ist — außer von der Körperschwere oder dem Zug am Strick — nicht nur davon abhängig, ein wie großer Teil des Halsumfanges von der Schlinge umfaßt wird, sondern auch in hohem Grade von der verschiedenen Spannung, die bei verschiedener Form der Schlinge entsteht.

Im Jahre 1913 nahm ich an der Untersuchung eines gerichtlich-medizinischen Falles teil, für dessen Beurteilung es von Bedeutung war, eine Vorstellung von der Stärke des Druckes zu bekommen, den eine Schlinge unter verschiedenen Verhältnissen ausüben kann. Der Fall ist von mir in Svenska Läkaresällskapets Handlingar (Acta societatis medicorum suecanae) 1916 (Seite 1038, mit einer Zusammenfassung in deutscher Sprache Seite 1072) beschrieben, woselbst über die Versuche berichtet ist, die ich damals mit Federwagen vornahm, um mich über die Hauptzüge der mechanischen Verhältnisse betreffs des Druckes der Schlinge beim Erhängen zu orientieren.

Bei experimentellen Versuchen über den Druck der Schlinge an Leichen wirkt die Reibung zwischen dem Strang und der Haut sehr störend. Für den größten Teil der Analyse der Druckverhältnisse bei Schlingen können wir jedoch zunächst von allem absehen, was mit der Reibung zu tun hat. Am Ende dieses Aufsatzes sollen einige Worte über ihre Bedeutung gesagt werden.

Ich hoffe, daß auch Leser, die, wie ich selbst, keine mathematische Schulung haben, nach meiner Darstellung des Problems die Druckverhältnisse verstehen werden, die für die Schlinge gelten. Um dieses Ziel zu erreichen, will ich mich im folgenden einer möglichst elementaren mathematischen Argumentation bedienen, die einem Mathematiker natürlich sehr umständlich und unnötig ausführlich erscheinen muß.

Bevor ich auf die Druckverhältnisse eingehe, die für die Strangulationsschlinge gelten, wenn diese auf einen Hals einwirkt, halte ich es für zweckmäßig, die Druckverhältnisse klarzulegen, die herrschen, wenn ein Gegenstand, der im Querschnitt ein regelmäßiges Sechseck zeigt, in Schlingen verschiedener Form aufgehängt wird, und wenn eine Serie regelmäßiger Vielecke dem Druck um sie herumgelegter elastischer Bänder ausgesetzt werden. Danach wird der Druck der Strangulationsschlinge leichter verständlich sein.

Wenn ein fester Körper mit dem Querschnitte eines regelmäßigen Sechsecks so hängt, wie es Abb. 1a zeigt, so ruht der Gegenstand nicht auf den beiden abfallenden Seiten, die sozusagen den Boden des Sackes bilden, den die Schlinge bildet; die Schwere des Gegenstandes wird vielmehr nur in den Ecken *C*, *D* und *E* vom Stricke getragen. Nur in diesen 3 Punkten übt der Strick einen Druck auf den Gegenstand aus.

Wir können uns nämlich an jeder dieser Ecken einen sehr kleinen spitzen Knopf denken (Abb. 1 b) und werden dann einsehen, daß der Gegenstand ausschließlich auf diesen 3 Knöpfen ruhen muß. Verringert sich deren Größe mehr und mehr, bis sie sich schließlich in den Eckpunkten selbst verlieren, so kann sich der erwähnte Druck, der durch die Schwere des Gegenstandes verursacht ist, nicht explosionsähnlich von jedem der verschwindenden Knöpfen zu den geraden Teilen des Strickes längs der eben erwähnten 2 Seiten verschieben, sondern der Druck lastet weiterhin unverändert auf den 3 Eckpunkten. Der geringe Zwischenraum zwischen der glatten Oberfläche und dem geraden Strick verschwindet allerdings gleichzeitig mit dem Knopf, so daß Oberfläche und Strick unendlich nahe aneinander liegen, aber der Strang drückt nicht auf die Oberfläche. Bei einer experimentellen Untersuchung würden wir leicht ein dünnes Papier zwischen Strick und Gegenstand stecken können, wo der Strick geradlinig an einer Oberfläche entlanggeht. Dies würde an einer der 3 Ecken, C, D und E, nicht gelingen.

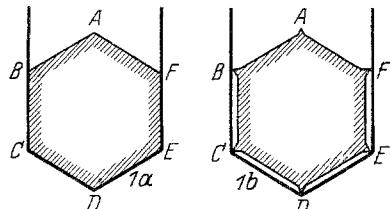


Abb. 1 a u. b.

Denken wir uns den aufgehängten Gegenstand aus Wachs hergestellt, das langsam erwärmt wird, so finden wir, daß zuerst die Ecken beeinflußt werden, indem der Strick durch den Druck in sie hineinschneidet.

Liegt der sechseckige Wachszylinder z. B. in einer Rinne aus dünnem Gummi, so werden sich bei Erwärmung — gleichzeitig mit der Abrundung der Ecken durch den auf ihnen lastenden Druck — die ebenen Flächen im unteren Teil der Rinne ausbuchen, weil sie dem Druck durch die Schwere des schmelzenden Wachses ausgesetzt sind, wobei die Rinne nach hydrostatischen Gesetzen umgeformt wird.

Das feste Sechseck in Abb. 1 a ruht also nur auf den Punkten C, D und E, wo der Strick es trägt, der durch die Schwere des Gegenstandes gespannt wird. Die Spannung, die die Schwere hervorruft, muß hier gleich der halben Schwere des Gegenstandes sein, weil die freien gestreckten Teile des Strickes, in welchen der Gegenstand hängt, parallel sind. Die Spannung muß auch über den ganzen Strick gleich verteilt sein, da die Friktion fehlt.

Die beiden Kräfte, die die Spannung im Stricke hervorrufen, heben einander auf, da sie längs derselben Geraden nach entgegengesetzten Richtungen wirken, d. h. da der Strick gerade ist. An jedem der Punkte C, D und E, wo die Kräfte gezwungen sind, nicht in der gerade entgegengesetzten Richtung zu wirken, sondern miteinander einen Winkel bilden, entsteht eine gegen das Zentrum gerichtete Resultierende. Da der

Gegenstand ein regelmäßiges Sechseck ist, und der Strick vier von seinen Seiten genau folgt, bildet der Strick an jeder der 3 Ecken einen Winkel von 120° , und alle Resultierenden müssen, da die Kräfte gleich groß sind, gegen den Mittelpunkt des Gegenstandes gerichtet sein. Wie aus den Kräfteparallelogrammen in Abb. 2 hervorgeht, wird für jede der Ecken C, D und E der gegen den Mittelpunkt gerichtete Druck, die Resultierende (R), so groß wie die Spannung (S) im Strange $\frac{R}{2} = S \cos 60^\circ$;

$R = S$. Der ganze Druck (T) auf den Gegenstand = $3S$. Da die Spannung der halben Schwere gleich war, ist der Gesamtdruck, wenn der Gegenstand 10 kg wiegt, gleich 15 kg.

Hängt der Gegenstand in einer Schlinge mit einem festen Knoten bei K (Abb. 3a), so daß die beiden nach unten gehenden Teile des Strickes beim Knoten einen Winkel von 60° bilden, so wirkt der Strick derart auf 4 Ecken ein. In jeder der Ecken B, C, D, E wirkt eine Kraft gegen den Mittelpunkt = die Spannung im Stricke, $T = 4S$. Die Spannung S ist indes in diesem Falle größer als die halbe Schwere des Gegenstandes, weil die freien

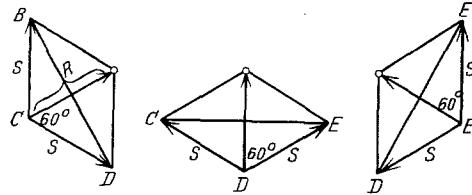


Abb. 2.

nach unten gehenden Teile des Strickes beim Knoten einen Winkel von 60° bilden, so wirkt der Strick derart auf 4 Ecken ein. In jeder der Ecken B, C, D, E wirkt eine Kraft gegen den Mittelpunkt = die Spannung im Stricke, $T = 4S$. Die Spannung S ist indes in diesem Falle größer als die halbe Schwere des Gegenstandes, weil die freien

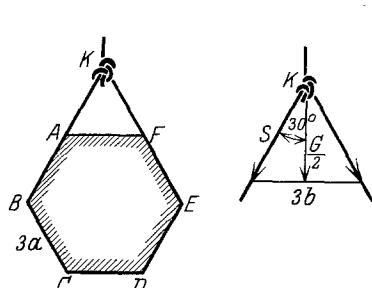


Abb. 3a u. b.

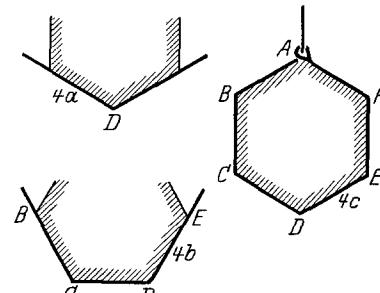


Abb. 4a—c.

Teile des Strickes nicht mehr miteinander parallel sind. Wenn die Schwere des Gegenstandes G ist, beträgt (s. Abb. 3b) die Spannung

$$S = \frac{G}{2 \cos 30^\circ}.$$

Der Gesamtdruck in allen 4 Ecken auf den 10 kg wiegenden Gegenstand wird bei dieser Art des Aufhängens $= \frac{4 \cdot 10}{2 \cos 30^\circ} = 23,096 \text{ kg}$.

Ruht der Gegenstand mit einer seiner Ecken (D) auf einem Band so, wie es aus Abb. 4a hervorgeht, so ist der Druck auf die Ecke

gleich der Spannung im Bande. $S = \frac{G}{2 \cos 60^\circ} = 10 \text{ kg} = \text{der Schwere des Gegenstandes.}$

Wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, ist der Gesamtdruck auf den Gegenstand, wenn der Strick denselben Winkel bildet wie die Ecke = der Anzahl der beeinflußten Ecken mal der Spannung im Bande. Die Spannung wird aus dem Winkel (v) erhalten, den die geraden freien Bandteile miteinander bilden. $S = \frac{G}{2 \cos \frac{v}{2}}$. Es ist dann leicht,

den Druck in den Abb. 4b und 4c zu bestimmen. In Abb. 4b ist der Druck $\frac{2 \cdot 10}{2 \cos 30^\circ} = 11,548 \text{ kg}$. In Abb. 4c hängt der Gegenstand in einer Laufschlinge. Alle 3 Winkel sind an ihrem Knoten, da die Friktion fehlt, gleich groß (120°). 5 Ecken werden in der vorerwähnten Weise vom Strick umfaßt, der Gesamtdruck ist also $\frac{5 \cdot 10}{2 \cos 60^\circ} = 50 \text{ kg}$.

Bei diesen Beispielen für verschiedene Arten des Aufhängens variiert also der Gesamtdruck des 10 kg schweren, im Querschnitt sechseckigen Gegenstandes zwischen 10 und 50 kg. 10 kg müssen natürlich der geringste mögliche Druck sein, der Maximaldruck kann aber weit über 50 kg liegen, wenn ein fester Knoten an eine der ebenen Flächen angelegt wird, und kann theoretisch unendlich groß werden.

Um uns noch weiter über den Druck der Schlinge zu orientieren, wollen wir den Druck untersuchen, den eine rundherumgehende, zugzogene Schlinge zustande bringt, wenn sie auf verschiedene Gegenstände einwirkt, die im Querschnitt eine regelmäßige eckige Form aufweisen, und als Beispiel den Druck nehmen, den ein ringförmiges Gummiband ausübt, wenn es um solche Gegenstände gespannt wird.

Der gesamte, gegen den Gegenstand gerichtete Druck (T) ist = der Anzahl der Ecken \times dem Druck in jeder Ecke. In jeder Ecke ist der Druck = der Spannung (S) des Bandes $\times 2 \times \cos$ des $1/2$ Winkels der Ecke.

Der gesamte Druck (T) ist also auf ein

gleichseitiges Dreieck	$3 \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ S$	$= 5,196 S$
Quadrat	$4 \cdot 2 \cdot \cos 45^\circ S$	$= 5,656 S$
5-Eck	$5 \cdot 2 \cdot \cos 54^\circ S$	$= 5,880 S$
6-Eck	$6 \cdot 2 \cdot \cos 60^\circ S$	$= 6,000 S$
12-Eck	$12 \cdot 2 \cdot \cos 75^\circ S$	$= 6,2117 S$
24-Eck	$24 \cdot 2 \cdot \cos 82^\circ 30' S$	$= 6,2653 S$
48-Eck	$48 \cdot 2 \cdot \cos 86^\circ 15' S$	$= 6,2787 S$
96-Eck	$96 \cdot 2 \cdot \cos 88^\circ 7' 30'' S$	$= 6,2820 S$

Wenn die Anzahl der Ecken immer weiter zunimmt, wird T — für einen Kreis — gleich $2\pi S$.

Setzt man bei diesen Gegenständen den Druck in Beziehung zur Länge der ganzen Schlinge, so wird er allerdings bei einer kleineren Schlinge per Längeneinheit größer sein als bei einer größeren; der nach innen gerichtete Druck besteht aber, wie schon gesagt, nur an den Ecken. Wird der Gegenstand dagegen von einer kontinuierlichen, nach außen konvex gekrümmten Linie begrenzt, so entsteht überall ein nach innen gerichteter Druck, und man kann dann von einem wirklichen Druck per Längeneinheit sprechen.

Wir gehen nun zu dem Druck auf gebuchete Oberflächen (Abb. 5) über und nehmen folgendes an: dl ist ein unendlich kleiner Teil einer gekrümmten Linie, r der Krümmungsradius dieses Teiles und $d\alpha$ sein Winkel am Zentrum. Der Druck auf ihn ist $t dl$, wenn t der Druck per Längeneinheit ist. Ist S die Spannung des Strickes, so ist $t dl = 2 S \sin \frac{d\alpha}{2}$; $\sin \frac{d\alpha}{2} = \frac{dl}{2r}$; $t dl = \frac{2 S dl}{2r}$; $t = \frac{S}{r}$.

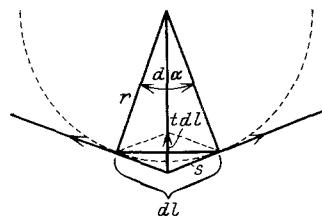


Abb. 5.

Am ganzen Umfang eines Kreises wird also der Druck $T = \frac{S 2 \pi r}{r} = S 2 \pi$.

Aus dem Ausdruck $t = \frac{S}{r}$ geht hervor, daß für $r = \infty$ (die gerade Linie) $t = 0$ ist, und daß für $r = 0$ (das mathematische Eck) $t = \infty$ wird.

Berechnen wir den Gesamtdruck des Strickes auf einen Gegenstand, der von einer unregelmäßig konvexen Oberfläche begrenzt wird, so müssen wir uns den Strick wieder, wie oben erwähnt, in kleine Elemente $dl_1, dl_2, dl_3 \dots$ mit den Krümmungsradien $r_1, r_2, r_3 \dots$ zerlegt denken. Der Druck auf jedes solche Element ist nach dem schon Gesagten $= \frac{S dl_1}{r_1} + \frac{S dl_2}{r_2} + \dots$. Werden diese Druckwerte für die ganze Strecke addiert, so ist

$$T = \frac{S dl_1}{r_1} + \frac{S dl_2}{r_2} + \frac{S dl_3}{r_3} + \dots = S \left(\frac{dl_1}{r_1} + \frac{dl_2}{r_2} + \frac{dl_3}{r_3} + \dots \right).$$

Zwischen $\frac{dl}{r}$ und dem Winkel $d\alpha$ besteht das Verhältnis $\frac{dl}{r} = d\alpha^\circ \times \frac{\pi}{180}$.

Wird dieser Wert für $\frac{dl}{r}$ in den Ausdruck eingesetzt, so erhält man

$$T = S \frac{\pi}{180} (d\alpha_1^\circ + d\alpha_2^\circ + d\alpha_3^\circ \dots) \quad \text{oder} \quad T = S \frac{\pi \alpha^\circ}{180},$$

Bei einer Erhängung, wie sie im soeben erwähnten Falle stattgefunden haben sollte, kann ein beträchtlich größerer Druck entstehen als bei den gewöhnlichen Hängschlingen. Wenn der Strick mehr und mehr gestreckt wird, wächst der Druck ungeheuer. Schon bei 150° ist der Gesamtdruck 11 mal größer als das Körpergewicht.

Bisher wurde nur der Gesamtdruck auf den Gegenstand besprochen. Der Druck, der auf verschiedenen Gebieten natürlich sehr verschieden sein kann, läßt sich für jeden Teil nach der früher erwähnten Formel $t = \frac{S}{r}$ berechnen.

Will man also berechnen, wie sich der Druck auf den Hals bei Erhängungsschlingen verschiedener Typen verteilt, so kann man die Schlinge folgendermaßen eingipsen: Man legt eine Gipsbinde einschichtig um den Hals, bevor der Knoten gemacht wird, und nachdem der Knoten geschlungen, und der Körper aufgehängt worden ist, legt man über den Strick eine dicke Gipsbindenschicht. Wenn der Gips hart geworden ist, und man ihn nebst der Schlinge an zwei entgegengesetzten Stellen durchschnitten hat, läßt sie sich leicht fortnehmen. Darauf kann die Schlinge photographiert oder auf ein Papier gezeichnet werden, auf dem man die Messungen mit einem Zirkel vornimmt. Abb. 7 zeigt einen solchen Abguß einer Laufschlinge, in der eine ungefähr 67 kg wiegende Leiche aufgehängt worden war. Durch die große Friktion am Knoten ergab sich ein Winkel von nur 70° . Abb. 8 zeigt die Form der Schlinge (ihren inneren Rand) nach einer in natürlicher Größe gerade von oben aufgenommenen Photographie des Abgusses. Dem Rande der Schlinge entlang wurden Teilstriche im gegenseitigen Abstand von 1 cm aufgetragen. Es zeigte sich, daß die Innenseite des Strickes ungefähr 32 cm lang war. Der Krümmungsradius der vier unteren medialen Zentimeter betrug 3,5 cm, der beiden ihnen auf jeder Seite nächstgelegenen Zentimeter betrug 4 cm, und derjenige der weiter auf jeder Seite folgenden Zentimeterpaare ungefähr 5, 7, 10, 15, 20, 25 cm. Wenn die Krümmung stark ist, läßt sich der Radius ziemlich leicht messen. Besonders in den oberen Teilen der Schlinge dagegen sind die Maße sehr unsicher.

Der Druck auf die Längeneinheit (t) war = der Spannung (S), dividiert durch den Radius (r). S war $= \frac{G}{2 \cos \frac{\nu}{2}} = \frac{67}{2 \cos 35^\circ} = \text{ung. } 41 \text{ kg.}$

Die vier unteren medialen Zentimeter der Schlinge üben also einen Druck von $\frac{4 \cdot 41}{\pi \cdot r} = \text{ung. } 46,9 \text{ kg aus.}$ Der Druck aller 32 Längen-

einheiten beträgt $= 4 \cdot 41 \left(\frac{1}{3,5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} + \frac{1}{25} \right)$
 $= 4 \cdot 41 \cdot 1,13 = 185,3$ kg. Berechnet man den Gesamtdruck nach der
 Formel $T = \frac{G(180 + v)\pi}{2 \cos \frac{v}{2} \cdot 180}$, so erhält man ungefähr 177 kg.

Der Druck, den eine gewisse Länge der Schlinge hervorruft, ist unabhängig von demjenigen, den andere Teile ausüben. Im Zusammen-

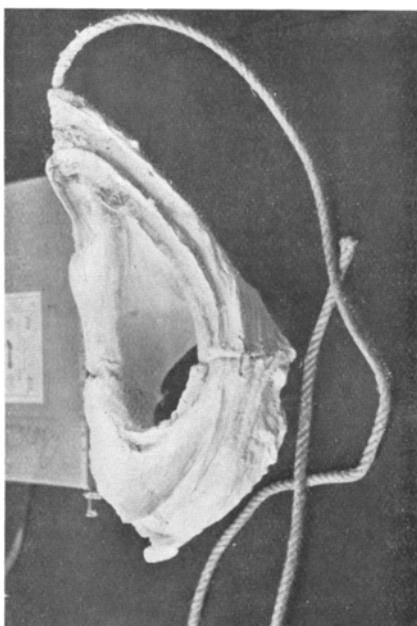


Abb. 7.

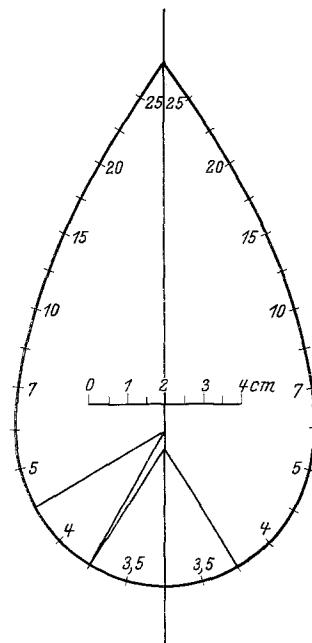


Abb. 8. Die Ziffern längs der Schlinge geben den mittleren Krümmungsradius für die beiden nächstliegenden Zentimeter an.

hang hiermit soll die Bedeutung der Formveränderungen der Weichteile hervorgehoben werden. Diese sind als ein Ausdruck für den Widerstand zu betrachten, den die Gewebe der verschiedenen Teile des Halses dem Druck leisten. Wenn Gleichgewicht eingetreten ist, nachdem die Schlinge einen Teil der Weichteile beiseite gedrückt hat, so ist die Krümmung der Schlinge an jedem Teil des Halsumfangs ein Ausdruck dieses Widerstandes, d. h. des Druckes auf die betreffende Stelle.

Die Druckverhältnisse bei der Erdrosselungsschlinge sind nach dem bisher Gesagten sehr einfach zu berechnen. Erfolgt der Zug am Strange in einander gerade entgegengesetzten Richtungen, so wird

die Spannung gleich der ziehenden Kraft und der Gesamtdruck auf den Hals = $2\pi S$.

Bei derartigem Ziehen mit den Händen in entgegengesetzten Richtungen ergibt sich eine auch nicht annähernd so große Spannung des Stranges wie beim Aufhängen eines erwachsenen Individuums. Die Spannung läßt sich dadurch erhöhen, daß man erst einen Fingerknoten macht und danach die beiden Strangteile gegen sich selbst zieht, wobei der Gegenstand daran gehindert werden muß, sich zu heben, wenn er leicht ist, und der Strang stark angezogen werden soll. Durch dieses Ziehen nach derselben Richtung an beiden Teilen des Stranges und durch den Winkel am Knoten ist eine bedeutend höhere Spannung zu erreichen, als wenn man in entgegengesetzten Richtungen zieht. Da man die Strangteile, während man an ihnen zieht, dadurch weiter voneinander entfernt, erfolgt eine Verschiebung des Knotens gegen den Gegenstand. Durch die Reibung am Knoten kann die Spannung in der den Gegenstand umfassenden Schlinge zum beträchtlichen Teil bewahrt bleiben, wenn man mit dem Zuge nachläßt. Bei mehrmaliger Wiederholung dieses Manövers kann man die Verluste im endgültigen Spannungs- und Druckresultat, die durch die Dehnung des Stranges und die Nachgiebigkeit des Objektes aufgetreten wären, vermindern.

Die Druckverteilung bei der Erdrosselungsschlinge folgt natürlich denselben Formeln wie bei der Erhängungsschlinge.

Was schließlich die Reibung betrifft, so soll man sie bei Beurteilung ihrer Bedeutung für den Druck auf den Hals, besonders beim Erhängen, in die Friktion der Strangteile beim Knoten einer Laufschlinge und in die Friktion zwischen der Haut und dem Strang aufteilen.

Der Winkel am Knoten einer Laufschlinge hängt, falls man den Strick sich selbst zuziehen läßt, wesentlich von der Friktion an dieser Stelle ab. Gewöhnlich ist der Winkel, wenn die Körperschwere allein die Schlinge zuzieht, $75-90^\circ$ (s. Abb. 6), aber oft auch kleiner, besonders beim einfachen Laufknoten (Abb. 7 und 8). Bei Fehlen der Friktion am Knoten und gegen den Hals würde der Winkel 120° betragen. Da der Winkel am Knoten gemessen werden kann, braucht man diese Friktion bei Berechnung des Druckes nicht zu berücksichtigen, weil ihre Einwirkung schon in der Winkelgröße enthalten ist.

Die Friktion des Stranges gegen die Haut ist gewöhnlich sehr groß und würde den Druck des untersten Teiles der Schlinge höchst bedeutend verringern können, wenn der Hals ein vollständig fester Körper wäre. Da die Haut indes bis zu einer gewissen Grenze sehr leicht gegen die inneren Teile des Halses verschiebbar ist, kann der unter der Schlinge selbst liegende Teil der Haut im Verhältnis zu den Gewebepartien, denen sie aufliegt, als ein Teil des Strickes betrachtet werden, was jedoch nur

für eine Verschiebung von einigen Zentimetern gilt. Danach kann die Haut infolge der Friktion in gewissem Grade als Aufhängungsband wirken, das den Zug des Strickes auf die *oberflächlichen* Teile des Halses verteilt, was seinerseits bewirkt, daß sich die Spannung in den tieferen Teilen der Schlinge und damit auch der Druck vermindert. Die Art und Weise, in der die Friktion dabei Spannung und Druck verringert, versteht man vielleicht am leichtesten, wenn man sich die Schlinge aus einem Heftplasterband bestehend denkt, wobei ja die Friktion gegen die Haut extrem groß ist, und daß man denjenigen Teil fortschneidet, der dem Knoten gerade gegenüberliegt. Man könnte sich dann denken, daß der Körper in dem übrigen, an den Seitenpartien des Halses festgeklebten Teil der Schlinge hängt. Diese ist an der Haut verankert, die nach unten gegen den Brustkorb und die Achseln gestreckt wird. Es würde dann kein Druck auf den Hals zu entstehen brauchen. Natürlich ist bei einer Erhängungsschlinge keine so starke Friktion vorhanden, man muß aber damit rechnen, daß ein auf der Oberfläche unebener Strick durch die Friktion gegen die Haut einen geringeren Druck hervorrufen kann als den, der entstehen würde, wenn die Friktion unbedeutend wäre.

Die Friktion zwischen Strick und Haut kann den Druck auch dadurch verringern, daß der Winkel am Knoten einer Laufschlinge durch die Friktion leicht asymmetrisch wird. Dadurch verringert sich die nach den angegebenen Formeln berechnete Spannung des Strickes und also auch der Druck, da der Körper zu einem wesentlichen Teil nur im laufenden Teil am Laufknoten hängen kann.

Von der Wirkung der Friktion kann man sich eine Vorstellung machen, indem man an einer um den Hals gelegten Laufschlinge zieht, die aus einem zylindrischen Gummistrang hergestellt ist, an dem ein Zentimetermaß aufgezeichnet wurde. Statt des Knotens soll ein an der Außenseite rinnenförmiger Metallring an der Schlinge angebracht sein, um die Friktion an diesem Platz zu verringern, weil sie dort in diesem Zusammenhang nicht von Interesse ist. Zwischen dem trockenen Gummiband und der Haut des Halses besteht eine bedeutende Friktion. Bei einem solchen Versuch sieht man, daß sich die Abstände zwischen den Zentimeterzeichen zu Beginn des Zuges ziemlich gleichmäßig verlängern, während sich die Haut leicht gegen das darunterliegende Gebebe verschiebt. Bei stärkerem Ziehen verlängern sich die Abstände in den tieferen Teilen der Schlinge merklich weniger als in den oberen. Dies dürfte nur auf der starken Friktion beruhen können, sozusagen auf der Verankerung des Stranges in der Haut an den Seitenpartien des Halses. Wenn man dagegen Strang und Haut mit Vaseline einreibt, wird die Ausdehnung, d. h. die Spannung, des Stranges in der ganzen Schlinge gleichförmiger.

Offenbar verhält es sich so, daß bei Stricken mit starker Friktion der Druck auf den Hals beim Hängen beträchtlich kleiner sein kann, als es aus den vorerwähnten Berechnungen hervorgeht. Je geringer die durch den Strick hervorgerufene Friktion ist, desto mehr nähert sich der Druck den berechneten Werten. Die Erfahrung lehrt indes, daß die Strickfurche gerade dem Knoten gegenüber am tiefsten zu sein pflegt. Die Schlinge hat im allgemeinen dort den kürzesten Krümmungsradius, woraus folgt, daß der Druck an dieser Stelle am höchsten ist. Nach dieser Beobachtung hat man Grund zu der Annahme, daß der Friktion als druckverminderndem Faktor in der Regel keine allzu große Bedeutung beigemessen werden darf.

Experimentell zu zeigen, daß der Druck den genannten Formeln folgt, scheint mit großen Schwierigkeiten verbunden zu sein. Ich versuchte einerseits schmale Gummischläuche, die durch Tuchhüllen geschützt waren, um dem Druck zu widerstehen, zwischen den Strick und die Haut zu legen, andererseits solche Schläuche mittels langer gebogener Nadeln in verschiedenen Tiefen unter dem Strick ins Gewebe hineinzuziehen. Nachdem Wasser durch die Schläuche gepumpt worden war, wurde der für das Durchtreiben von Flüssigkeit erforderliche Druck auf einem an der Pumpe angekoppelten Manometer abgelesen. Auch wenn die Schlinge der Einfachheit halber um einen Arm oder ein Bein gelegt wurde, variierten die Werte höchst beträchtlich, teils infolge der Friktion zwischen dem Schlauch einerseits und Strang und Haut andererseits, teils deshalb, weil die Schläuche leicht über oder neben einer Hautfalte oder einer festeren Gewebepartie zu liegen kommen und deshalb entweder einer besonderen Zusammenklemmung ausgesetzt oder vor der zusammenklemmenden Wirkung des Stranges geschützt waren. Bei solchen am Halse ausgeführten Versuchen würden dadurch, daß der Kehlkopf und das Zungenbein und die dazugehörenden Ligamente ein Gerüstwerk darstellen, die Verhältnisse aller Wahrscheinlichkeit nach noch viel komplizierter werden.

Wenn man in der Literatur studiert, wie die Wirkungen des Druckes der Hängeschlinge beurteilt wurden, so findet man, daß der in bezug auf den Druck oft höchst bedeutende Unterschied zwischen verschiedenen Schlingen und bei verschieden starkem Zuziehen von Laufschlingen offenbar nicht berücksichtigt wurde. Als Beispiel will ich nur die Resultate vergleichen, zu welchen *Brouardel* bzw. *Schwarzacher* in bezug auf den am Strangulationsstrick ausgeübten Zug kamen, der erforderlich ist, um die Carotiden zum Verschluß zu bringen. Der erstere fand 5 kg erforderlich, nach Versuchen des letzteren waren bei einem Gefäßbinnendruck von 230 cm Wasser 3,5 kg ausreichend. Wenn wir annehmen, daß der Winkel am Knoten beim Versuch *Brouardels*

70° und bei dem *Schwarzachers* 100° betrug, so war der Gesamtdruck auf den Hals, wenn wir wiederum von der Friktion absehen, $\frac{5(180 + 70)\pi}{2 \cos 35^\circ \cdot 180}$ bzw. $\frac{3.5(180 + 100)\pi}{2 \cos 50^\circ \cdot 180}$, also in den beiden Fällen 13,3 kg.

So können die 3,5 kg *Schwarzachers* infolge eines größeren Winkels am Knoten den gleichen Druck hervorgerufen haben wie die 5 kg *Brouardels*.

Mehrere von den Befunden, die beim Erhängen mehr oder weniger direkt durch die Schlinge verursacht waren, zeigen bekanntlich in bezug auf ihr Auftreten ein sehr regelloses Verhalten. So die Brüche an Zungenbein- und Kehlkopfhörnern, Intimarupturen usw., die man mit der symmetrischen oder asymmetrischen Lage der Schlinge, mit pathologischen Prozessen in den rupturierenden Geweben usw. in Zusammenhang zu bringen versucht hat, ohne aber eine einwandfreie Regelmäßigkeit nachweisen zu können. Solche Befunde, die eine Folge davon sind, daß der Druck, den die Schlinge hervorruft, sehr groß ist, dürften in bezug auf ihr Vorkommen im wesentlichen Maße von den beträchtlichen Variationen dieses Druckes abhängen, die, wie ich zeigte, durch die Form der Schlinge bedingt sind, jedoch einigermaßen durch die Friktion modifiziert werden, die zwischen Schlinge und Haut entsteht*.

* Ein anderer Befund von anscheinend sehr launenhaftem Vorkommen ist die Cyanose im Gesicht. Diese hat aber wahrscheinlich nichts Wesentliches mit den durch Form, asymmetrische Lage der Schlinge u. dergl. verursachten Variationen des Druckes zu tun. Die wesentliche Ursache für das Auftreten der Cyanose dürfte darin bestehen, daß ein gewisses Zeitintervall zwischen der Venen- und Arterienkompression vergangen war. Ein solches Intervall kann entweder dadurch entstanden sein, daß die Schlinge allmählich mit den Händen zugezogen worden war, bevor die Körperschwere wirken konnte, oder dadurch, daß das Individuum die Körperschwere langsam und vorsichtig die Schlinge um den Hals ziehen ließ, vielleicht bis Bewußtlosigkeit eintrat, wonach erst das ganze Körpergewicht voll zur Wirkung kam. Ich habe folgenden Fall beobachtet, bei dem meiner Ansicht nach eine dieser Erklärungen das wahrscheinlichste war. — Ein junger Mann, der wegen Diebstahls verhaftet worden war, wurde um $1\frac{1}{2}$ Uhr nachmittags in seiner Zelle mit gebeugten Knien hängend, bewußtlos und mit stark cyanotischem Gesicht angetroffen. Nach künstlichen Atmungsbewegungen erwachte er rasch zum Bewußtsein. Als ich ihn am folgenden Tage sah, wies er große subconjunctivale Blutungen an beiden Augen auf. Er berichtete, daß er am Vormittage desselben Tages, an dem er versuchte sich zu erhängen, beim Sackennähen zufällig ein Band gefunden hatte, das zum Erhängen verwendbar war; es habe ihn auf den Gedanken gebracht, daß er sich vielleicht erhängen könne, wenn er eine allzu strenge Strafe bekäme, und was es für ein Gefühl sei, wenn man sich erhänge. Ferner erinnerte er sich daran, daß er um 2 Uhr zu Mittag gegessen hatte. Von dem was sich nachher ereignete, wußte er nichts. Er hielt es für ganz ausgeschlossen, daß er sich wirklich erhängen wollte, dagegen für möglich, daß er versuchen wollte, wie man sich fühle, wenn man einen Strick um den Hals habe, weil er schon am Vormittage daran gedacht hatte. — Es ist wahrscheinlich

Literaturverzeichnis.

- ¹ *Brouardel*, La pendaison etc. Paris **1897**. — ² *Hofmann-Haberda*, Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. **1927**. — ³ *Hultkvist*, Sv. Läk.sällsk. Hdl. **1916**. — ⁴ *Lochte*, Vjschr. gerichtl. Med. **35** (1919). — ⁵ *Schwarzacher*, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **11** (1928). — ⁶ *Ziemke*, Schmidtmanns Handbuch der gerichtlichen Medizin. **1907**.

kein Zufall, daß *Lochte* unter 7 Fällen von Erhängungen im Leibriemen 6 Fälle von Gesichtscyanose fand, die doch bei Erhängen ein ziemlich ungewöhnlicher Befund ist. Unter den wenigen Fällen von ausgeprägter Gesichtscyanose, die ich selbst bei Erhängten sah, fand sich einer, bei dem diese Erscheinung sehr ausgesprochen war, und in diesem Fall war ein Leibriemen zur Verwendung gekommen. Unter den Behelfen, von welchen am häufigsten zum Erhängen Gebrauch gemacht wird, kann das betreffende Individuum bei keinem so leicht mit den Händen eine Laufschlinge zuziehen, bevor er seine Körperschwere wirken läßt, wie bei Anwendung eines Leibriemens, wenn die Schnalle anstatt des laufenden Knotens gebraucht ist. Auch ohne Hilfe der Hände kann bei Benutzung eines Leibriemens infolge der unbedeutenden Friction an der Schnalle bei Vornüberbeugen des Körpers leicht ein gleichmäßiges und weiches Zuziehen der Schlinge eintreten, was außerdem infolge der Breite und Glätte des Leibriemens ohne Beschwerden vorsichgehen kann. Die Annahme, daß es sich in manchen Fällen von Gesichtscyanose um ein vor dem Erhängen selbst mit den Händen vorgenommenes Zuziehen der Schlinge handeln kann, stimmt gut mit der Beobachtung überein, daß das Gesicht bei Erdrosselten in der Regel cyanotisch ist.