

GLÜCKAUF

Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift

77. Jahrgang

26. April 1941

Heft 17

Die Berechnung der Drahtseile.

Von Geh. Regierungsrat Professor Dr.-Ing. e. h. Ludwig Klein VDI., Hannover.

»Das Drahtseil ist ein vielfach verwendetes, sehr verwickeltes, durch die erlittene Verarbeitung und Verseilung der Drähte von vornherein durch Spannungen beanspruchtes Maschinenelement, dessen Lebensdauer durch die gegenseitige Beeinflussung der Drähte, Alterung und vor allem durch die Zahl und Größe der ermüdenden Biegungen, denen es im Betriebe ausgesetzt wird, begrenzt wird¹.« Seine Berechnung ist wiederholt versucht, aber nicht gelöst worden. Über eine Zusammenfassung der durch Versuche gefundenen Bruchbiegezahlen² ohne Begründung durch die dabei herrschenden Biegebeanspruchungen ist man bisher nicht hinausgekommen.

Beanspruchung der Drahtseile.

Man weiß, daß die einzelnen Drähte auf Zug, Verdrehung und Biegung mit σ_z , σ_D und σ' beansprucht sind, hat aber die Größe der Gesamtbeanspruchung nicht errechnet:

1. Beanspruchung auf Zug $\sigma_z = 1,05$ bis $1,15 \frac{Q}{i \frac{\pi}{4} \delta^2}$ kg je mm².

Hier ist Q die angehängte Last, vermehrt um die Beschleunigungskräfte, die beim Anfahren und durch Längsschwingungen in das Seil kommen, i die Anzahl der Drähte, δ der Drahtdurchmesser, σ_z die zugelassene Zugbeanspruchung, meistens zwischen 5 und 20 kg/mm²; 1,05 bis 1,15 trägt dem sogenannten Verseilverlust³ Rechnung. Diese Mehrbeanspruchung der Drähte entsteht durch den seitlichen Druck, den sie infolge ihrer Schräglage aufeinander ausüben, der sich mit Q zusammensetzt⁴.

2. Die Beanspruchung auf Verdrehung σ_D in den Drähten kann man angenähert nach den für Schraubenfedern üblichen Gleichungen bestimmen. Sie ist aber so klein, etwa 0,4 bis 0,8 kg/mm², daß sie gegenüber der Größe und Ungenauigkeit der beiden anderen Beanspruchungen vernachlässigt werden muß.

3. Die Beanspruchung auf Biegung σ' der Drähte im Seil ist hart umstritten und auch heute noch nicht geklärt. Ten Bosch, Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich⁵, schlägt vor, der Anregung Heckers⁶ zu folgen und die Größe des Seilbiegewiderstandes als Maßstab für die Lebensdauer der Drahtseile einzuführen, »weil die Biegebeanspruchung der Drahtseile nicht bestimmbar ist«.

Meebold⁷, Leiter der Seilprüfstelle Saarbrücken, schlägt vor, die Drahtseile nur auf Zug zu berechnen, weil »die Beanspruchung auf Biegung auch nicht annähernd

richtig angegeben werden kann«. J. M. Bernhard¹ kommt aus denselben Gründen zu dem gleichen Ergebnis. Eine »Berechnung«, bei der der wesentlichste Teil der Beanspruchung vernachlässigt wird, kann aber nicht befriedigen. Das Bestreben, die Biegebeanspruchung zu errechnen, ist daher durchaus gerechtfertigt.

Reuleaux hat das Verdienst, schon 1861 nachgewiesen zu haben, daß beim Biegen eines Drahtes von der Dicke δ um einen Kreis vom Durchmesser D im Draht eine Biegungsspannung

$$\sigma' = E \frac{\delta}{D}$$

auftritt (E = Elastizitätsmodul des Drahtes). Damit ergibt sich eine Gesamtbeanspruchung des Drahtes zu

$$\sigma = \sigma_z + E \frac{\delta}{D}.$$

Leider haben Bach und seine Mitarbeiter diese Formel (von 1881 bis 1924) energisch bekämpft und dadurch Unsicherheit und Unrichtigkeit in die Drahtseilberechnung gebracht, wie Benoit² ausführlich nachgewiesen hat.

Die Beanspruchung der Drahtseildrähte nach der Reuleauxschen Gleichung erschien Bach im Vergleich zu den damals bewährten sonstigen Beanspruchungen viel zu hoch. Er setzte daher ohne wissenschaftliche Begründung eine »Berichtigungsziffer« $3/8$ hinzu, die in fast alle Lehrbücher, ja sogar in das Gesetz über Aufzugsseile eingegangen ist. Bach hat die besondere Güte des Drahtwerkstoffs und die durch die beschränkte Lebensdauer der Drahtseile begründete hohe Belastbarkeit der Seildrähte, also die »Dauerbiegebeanspruchung«, nicht beachtet. Sie war auch 1881 noch nicht so erforscht, wie heute. Benoit und seinem Mitarbeiter Woernle ist es zu verdanken, daß diese Berichtigungsziffer heute verschwunden ist. Die beiden Forscher haben schon 1915² durch eingehende Versuche nachgewiesen, daß unter gleichen Biege- und Belastungsverhältnissen ein Drahtseil weniger Biegungen bis zum Bruch aushält als seine einzelnen Litzen und diese wieder weniger als ihre Drähte. Damit war erwiesen, daß die Drähte in der Litze und im Seil nicht niedriger, sondern höher beansprucht sind als im unverseilten Zustand und daß die Beanspruchung nicht kleiner, sondern größer ist, als der Reuleauxschen Gleichung entspricht.

Dann sind vom Deutschen Drahtseilausschuß unter Führung von Woernle³ und vom Englischen Drahtseilausschuß unter Führung von Scoble⁴ eine große Anzahl von Versuchen an etwa 8 mm dicken Drahtseilen mannigfachster Art durchgeführt worden. Bei diesen Versuchen wurden die Bruchbiegezahlen der Seile beim Laufen über Rollen von verschiedenen Durchmessern, in verschiedenen

¹ Bernhard, J. M.: Die neue Berechnung der Drahtseile, Fördertechn. 32 (1939) S. 121.

² Benoit, G.: Die Drahtseilfrage. Leipzig 1915.

³ Woernle, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage, Z. VDI 73 (1929) S. 417; 75 (1931) S. 1485; 77 (1933) S. 802.

⁴ Proc. Inst. Mech. Engrs. 1920, S. 835; 1924, S. 1193; 1928, S. 353; 1930, S. 553; 130 (1935) S. 373; Klein, L.: Über Bruchbiegezahlen von Drahtseilen, Fördertechn. 23 (1930) S. 1.

¹ Altpeter: Die Drahtseile, ihre Konstruktion und Herstellung. 3. Aufl. Halle (Saale) 1938.

² Klein, L.: Die Berechnung der Drahtseile, Fördertechn. 30 (1937) S. 321.

³ Höfer, K.: Der Verseilverlust von Stahldrahtseilen, Z. VDI 83 (1939) S. 775.

⁴ Bernhard, J. M.: Die verschiedene Beanspruchung der Drähte am Seil, Drahtwelt 28 (1935) S. 803.

⁵ Ten Bosch: Der heutige Stand der Drahtseilforschung, Schweiz. Bauz. 1936.

⁶ Über den Biege- und Verdrehwiderstand von Drahtseilen, Dissertation Hannover 1933.

⁷ Meebold, R.: Die Drahtseile in der Praxis. Berlin 1938.

Rillen und unter wechselnden Lasten bestimmt und wertvolle Ergebnisse erhalten. Im besonderen bestätigten sich die Erfahrungen der Praxis, daß die Bruchbiegezahlen für die normalen Betriebsverhältnisse in der Größenordnung von etwa 200000 liegen, also verhältnismäßig klein sind. Es ist aber nicht gelungen, an Hand dieser Versuche die in den Drähten herrschenden Spannungen zu bestimmen. Die neuesten Versuche mit Stahldrähten im Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf beweisen, daß Spannungen, die bei so wenigen Biegungen zu Bruch führen, eine große ruhende Grund- oder Mittelspannung voraussetzen. Die Spannungen durch die angehängte Last und durch das Umbiegen um Rollen allein reichen dazu nicht aus.

Über den Ursprung der in den Seildrähten außerdem vorhandenen Grundspannungen besteht auch kein Zweifel. Schon Wehage¹ hat 1880 darauf hingewiesen, daß die Drähte bei der Seilherstellung um sehr kleine Radien, die er zu etwa 14 mm bestimmte, gebogen werden und daß sie im Seil die dabei erhaltene Biegungsspannung behalten. Sehr genau ist dann Bock² auf die Krümmung der Drähte bei der Seilherstellung eingegangen und hat die Krümmungsradien in Abhängigkeit von den Seilabmessungen errechnet. Seine Formeln sind zwar richtig, aber recht umfangreich und verwickelt und wahrscheinlich aus diesem Grunde nicht angewendet worden. Da man aber zur Bestimmung der Dehnungen und der Biegebeanspruchung durch die Seilherstellung die Krümmungsradien gebraucht, habe ich ihre Berechnung vereinfacht, wobei ich mich mit einer guten Annäherung begnügte und sie nur für die äußersten Drahtteilchen durchführte. Diese sind nach Wehage und Bock am schärfsten gebogen und daher am meisten gefährdet. Erfahrungsgemäß brechen ja auch im Betrieb häufig die äußeren Drähte zuerst. Zur Ableitung meiner Formeln denke ich mir das Drahtseil (Dmr. = d) so hergestellt, daß zunächst »Parallellitzen« (Dmr. = b) durch Nebeneinanderlegen gerader unverseilter Drähte (Dmr. = δ) gebildet und diese Litzen um die Seilseele in Schraubenform mit dem Schlagwinkel α'' herumgelegt werden. Nachträglich verdrehe ich diese Parallellitzen in sich ebenfalls zu einer Schraubenlinie mit dem Schlagwinkel α' und erhalte so ein normales Seil. Die Krümmungsradien ρ von Schraubenlinien sind bekannt³.

Sie sind für den ersten Arbeitsvorgang und für die äußersten Drähte $\rho'' = \frac{d-\delta}{2 \sin^2 \alpha''}$. Bei dieser Krümmung ist ein kurzes Drahtstückchen δx abgelenkt worden um

δy'' (Abb. 1), das man aus der Ähnlichkeit der Dreiecke MAB und ABC annähernd bestimmen kann:

$$\delta y'' : \delta x = \delta x : \rho''; \delta y'' = \frac{\delta x^2}{\rho''}.$$

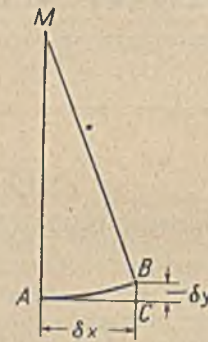


Abb. 1.

Werden nun die Drahtbündel, also die Parallellitzen (Dmr. = b), in sich zu Schraubenlinien mit dem Schlagwinkel α' verdreht, so werden die Stückchen δx der äußersten Fasern der Drähte nochmals durchgebogen mit dem Radius ρ' um δy':

$$\rho' = \frac{b-\delta}{2 \sin^2 \alpha'}, \delta y' = \frac{\delta x^2}{\rho'}.$$

ρ' ist nach der Litzenachse, ρ'' nach der Seilachse hin gerichtet. Beide stehen also unter einem Winkel von 0 bis 360° gegeneinander. Die größte, also schärfste Durchbiegung δy erleiden die Teilchen, für die ρ' und ρ'' gleiche Richtung haben, für die daher δy' und δy'' sich unmittelbar zu δy addieren:

$$\delta y = \delta y' + \delta y''.$$

Eine Durchbiegung von dieser Größe δy entsteht aber auch beim Abbiegen um einen resultierenden Radius ρ, der bestimmbar ist zu:

$$\delta y = \frac{\delta x^2}{\rho}; \delta y = \delta y' + \delta y'' = \frac{\delta x^2}{\rho'} + \frac{\delta x^2}{\rho''} = \frac{\delta x^2}{\rho};$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho'} + \frac{1}{\rho''}; \rho = \frac{\rho' \cdot \rho''}{\rho' + \rho''}.$$

Die Werte dieser Annäherungsgleichung weichen nur sehr wenig von denen ab, die Wehage konstruktiv (14,0 mm gegen 13,9 mm und 17,1 mm gegen 17,2 mm) und Bock in genauer Rechnung gefunden haben (vgl. Zahlentafel 1), so daß die Annäherung befriedigt.

Zahlentafel 1. Krümmungsradien ρ und Biegungsdehnungen ε der Drähte durch die Seilherstellung.

Seilart	Durchmesser			Schlagwinkel		Kleinsten Krümmungsradius der Drähte				Dehnung der äußersten Drahtfasern %
	Draht	Litze	Seil	Draht in Litze	Litze in Seil	in gerader Litze ρ'	Parallel-litze im Seil ρ''	im fertigen Seil nach Klein	nach Bock	
	mm	mm	mm	°	°	mm	mm	mm	mm	
	δ	b	d	α'	α''	$\frac{b-\delta}{2 \sin^2 \alpha'}$	$\frac{d-\delta}{2 \sin^2 \alpha''}$	$\frac{\rho' \cdot \rho''}{\rho' + \rho''}$	ρ	$\varepsilon = 50 \frac{\delta}{\rho}$
6 × (6 + 1) δ + 1 . . . Krz	2,0	6,2	18,6	9° 3'	14° 28'	86,2	133,0	52,30	47,8	1,9
6 × (6 + 1) δ + 1 . . . Gl	2,0	6,2	18,6	11° 5'	15° 13'	56,2	120,0	38,40	38,7	2,6
6 × 19 δ + 1 H. . . . Krz	1,0	5,0	16,0	12° 15'	16° 9'	44,5	97,0	30,50	28,5	1,6
6 × 19 δ + 1 H. . . . Gl	1,0	5,0	16,0	13° 35'	16° 3'	36,2	97,8	26,40	26,2	1,9
5 × 19 δ + 1 H. . . . Krz	0,4	1,0	5,5	17° 27'	16° 59'	8,9	29,9	6,86	6,53	2,9

Außer den Abbiegungen in der Schraubenlinie werden die Drähte bei der Seilherstellung noch dadurch gebogen, daß sie und die Litzen auf Spulen von verhältnismäßig kleinen Durchmessern (D_s', D_s'') gewickelt werden, um in die Verseilmaschine eingesetzt zu werden. Es ist wahrscheinlich, daß für einige Stellen der Drähte diese

Durchbiegungen sich unmittelbar zu denen der Schraubenkrümmung addieren. Diese Stellen sind dann am gefährdetsten. Sie sind um einen resultierenden Krümmungsradius ρ gebogen, der bestimmbar ist zu:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho'} + \frac{1}{\rho''} + \frac{1}{1/2 D_s'} + \frac{1}{1/2 D_s''}$$

Dehnung.

Aus dem Krümmungsradius ρ und der Dicke des Drahtes ergibt sich nach Abb. 2 die Dehnung der äußersten Drahtfaser l um Δl:

¹ Wehage: Spannungen in verbogenen Körpern, Ziviling. 26 (1880) S. 80.

² Bock, E.: Die Bruchgefahr der Drahtseile, Glückauf 45 (1909) S. 1545; Dissertation Hannover 1909.

³ Hütte, Taschenbuch. 26. Aufl. Bd. 1. Berlin 1936. S. 120.

$$\Delta l: \frac{1}{2} \delta = l: \varrho; \quad \Delta l = \frac{1}{2} \frac{\delta}{\varrho}; \quad \text{für } l=100 \text{ wird } \Delta l = \varepsilon \text{ ‰};$$

$$\varepsilon = \frac{100}{2} \frac{\delta}{\varrho} = 50 \cdot \frac{\delta}{\varrho} \text{ ‰}.$$

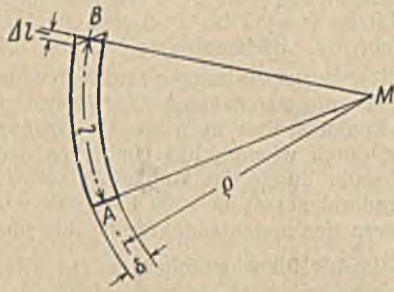


Abb. 2.

Für $\frac{1}{\varrho}$ die Werte aus den vorhergehenden Rechnungen eingesetzt, wird:

$$\varepsilon = 50 \delta \left(\frac{1}{\varrho'} + \frac{1}{\varrho''} + \frac{2}{D_s'} + \frac{2}{D_s''} \right) \text{ ‰};$$

$$\varepsilon = 50 \delta \left(\frac{2 \sin^2 \alpha'}{d - \delta} + \frac{2 \sin^2 \alpha''}{d - \delta} + \frac{2}{D_s'} + \frac{2}{D_s''} \right) \text{ ‰};$$

$$\varepsilon = 100 \left(\frac{\delta}{d - \delta} \sin^2 \alpha' + \frac{\delta}{d - \delta} \sin^2 \alpha'' + \frac{\delta}{D_s'} + \frac{\delta}{D_s''} \right) \text{ ‰}.$$

Spannungen.

Die Spannungen sind zwangsläufig abhängig von den Dehnungen und aus diesen bestimmbar. Sie können aber für den vorliegenden Fall nicht mehr nach dem Hookeschen Gesetz ($\sigma: E = \varepsilon: 100$) bestimmt werden, weil es ja nur innerhalb der Proportionalitätsgrenze, also bis etwa $\varepsilon = 0,2 \text{ ‰}$, gilt. Man muß sie deshalb aus dem durch Versuche bestimmten »wahren« Spannungs-Dehnungs-Diagramm ermitteln. Für die Drahtseilherstellung werden heute Stahl-drähte mit Zugfestigkeiten von 130 bis 180 kg/mm² und darüber verwendet. In Abb. 3 sind die im Festigkeitslaboratorium der Technischen Hochschule Hannover gefundenen Spannungs-Dehnungs-Diagramme λ für zwei Stahldrähte von 128 und 180 kg/mm² Festigkeit und für eine Meßlänge von 100 mm wiedergegeben. Solche

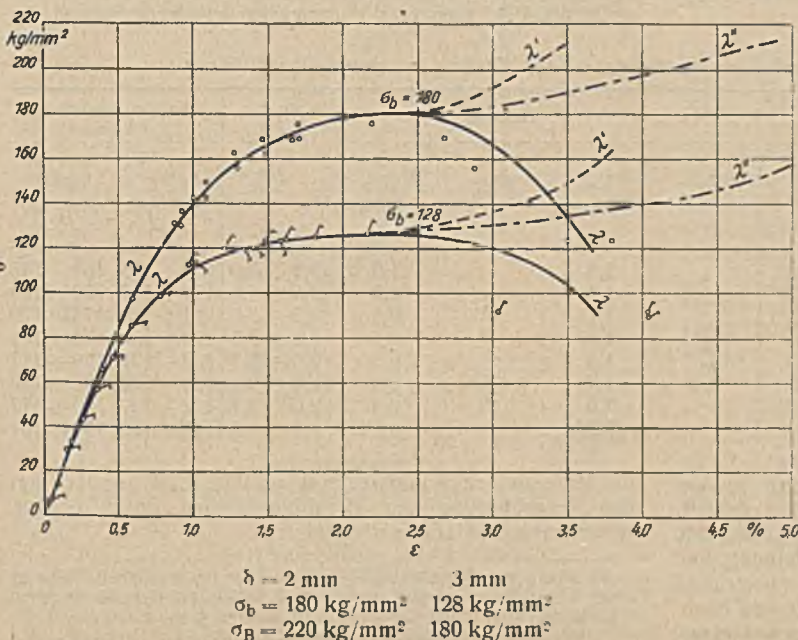


Abb. 3. Spannungs-Dehnungs-Diagramme für zwei Seildrähte.

Spannungs-Dehnungs-Diagramme zeigen aber, besonders in der Nähe der Streck- und Bruchgrenzen, nicht die wahre Abhängigkeit der Spannung¹ von der Dehnung, weil die Spannungen für diese Diagramme aus den Zugkräften unter Zugrundelegung des Ausgangsquerschnittes errechnet sind. Im Verlauf des Zugversuches tritt aber bekanntlich eine erhebliche Kontraktion des Querschnittes ein. Sie beträgt für weichen Flußstahl etwa 60 ‰, so daß der tatsächlich beanspruchte Querschnitt nur 40 ‰ des der Rechnung zugrunde gelegten und dementsprechend die Beanspruchung das 2½fache der errechneten ist. Bei den kalt gezogenen Drahtseildrähten mit 0,6 ‰ C ist sie zwar geringer, aber immer noch sehr beachtlich. Versuche an Drahtseildrähten haben die Werte der Zahlentafel 2 ergeben.

Zahlentafel 2. Bruchdehnung und -einschnürung von Drahtseildrähten.

Draht-Durch-me-ser mm	Festig-keit kg mm ²	Bruchdehnung bei Meßlängen				Einschnü-rung ‰
		200 mm ‰	100 mm ‰	50 mm ‰	20 mm ‰	
2,5	80/90	2,4	3,0	4,8	10	68 ÷ 72
3,2	130/140	3,1	3,8	5,0	10	45 ÷ 48
3,0	160/170	2,3	3,2	4,9	10	54 ÷ 56
3,0	180/190	2,2	3,0	4,7	9	50 ÷ 51

Dementsprechend ist die »wahre« Zerreißfestigkeit etwa 2mal so groß, wie die unberichtigte Schaulinie λ anzeigt; sie muß daher entsprechend, z. B. auf λ' , gehoben werden.

Noch eine andere Berichtigung ist notwendig: Die Dehnungen der Probedrahtstücke wurden mit Hilfe des Martens-Kennedy-Gerätes bestimmt. Dabei war die Meßstrecke 100 mm lang. Die gefährdetsten Drahtstückchen im Seil, die an der größten Dehnung teilnehmen, sind aber sehr kurz und dünn. Sachs und Fiek¹ heben in ihrer kritischen Betrachtung des Zugversuches hervor: »Die ermittelte Dehnung ist in hohem Maße von der Gestalt der Probestücke abhängig. In der Regel ist die prozentuale Dehnung um so größer, je geringer die Meßlänge ist.« Für die dünnen kurzen Stückchen des Seildrahtes, die an der Biegung und Dehnung teilnehmen, ist der Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung versuchsmäßig noch nicht nachgewiesen; einen Anhaltspunkt geben die in der Zahlentafel 2 angegebenen Versuche. Ich nehme an, daß ihre verhältnismäßige Dehnung mindestens 2mal so groß ist wie die der 100 mm langen Probestücke der Abb. 3 und habe dementsprechend die Spannungs-Dehnungskurve λ' von der Höchstlast ab um etwa 100 ‰ auf λ'' gestreckt.

Aus dem so erhaltenen »wahren« Diagramm lassen sich nun zu den ermittelten Dehnungen $\Sigma \varepsilon \text{ ‰}$ die wirklichen Spannungen σ' entnehmen. Für die Drahtseile der Zahlentafeln 1 und 3 habe ich die Krümmungen und Dehnungen berechnet, aus dem berichtigten Diagramm die zugehörigen Biegungsspannungen entnommen und eingeschrieben. Man sieht, daß die Krümmungen der Drähte schon in den Litzen recht scharf sind, sie schwanken von $\rho' = 9$ bis $\rho' = 90 \text{ mm}$. Durch das Schlagen der Litzen zum Seil kommen neue Krümmungen mit Radien von 30 bis 130 mm hinzu, wodurch die Gesamtkrümmungen auf Radien von 7 bis 50 mm steigen. Dementsprechend sind auch die Dehnungen und Beanspruchungen groß: $\Sigma \varepsilon = 2$ bis 4 ‰ ergibt $\sigma = 120$ bis 140 kg/mm² bzw. 170 bis 185 kg/mm². Man muß dabei bedenken, daß die wahren Zerreißfestigkeiten des benutzten Drahtmaterials infolge der Verringerung des

¹ Sachs, G., und O. Fiek: Der Zugversuch. Leipzig 1926.

Querschnittes nicht 130 bzw. 180 kg/mm², sondern etwa 180 bzw. 220 kg/mm² sind und daß die errechneten Werte nur an den gefährdetsten Drahtteilen beim Zusammenreffen der ungünstigsten Verhältnisse zu erwarten sind.

Die Drähte werden aber bei der Seilherstellung, wie schon erwähnt, nicht bloß durch ihre Umformung zu Schraubenlinien verbogen, sondern auch dadurch, daß man sie auf Spulen wickelt, auf denen sie in die Verseilmaschine eingelegt werden. Man kann annehmen, daß die Durchmesser der Drahtspulen etwa 100- bis 200mal, die der Litzenspulen etwa 250- bis 500mal so groß sind wie der Drahtdurchmesser. Dementsprechend erleiden die äußeren Drahtfasern weitere Dehnungen von 1 bis 0,5% bzw. 0,4 bis 0,2%. Daß die Verbiegungen durch die Drahtspulen erheblich sind, erkennt man, wenn man die von den Spulen kommenden Drähte vor dem Verseilkopf durchschneidet (Abb. 4). Sie springen nach allen Seiten willkürlich auseinander. Unter Berücksichtigung der Verbiegungen auf den Spulen vom Durchmesser D_s' bzw. D_s'' wird die resultierende Dehnung der gefährdetsten Drahtteilchen:

$$\Sigma \varepsilon \% = 100 \left(\frac{\delta}{D_s'} + \frac{\delta}{d-\delta} \sin^2 \alpha' + \frac{\delta}{D_s''} + \frac{\delta}{d-\delta} \sin^2 \alpha'' \right) \%$$

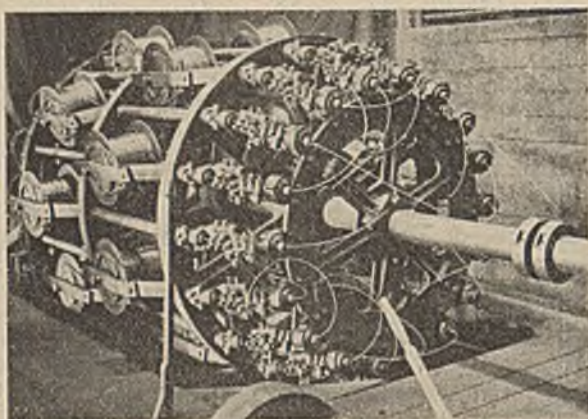


Abb. 4. Krümmung der Drähte bei ausgeschalteten Richtrollen.

Um die Größenordnung dieser Dehnungen zu zeigen, habe ich einige neuere Seilmacharten (Nr. 1 bis 7 der Zahlentafel 3) nachgerechnet und die Ergebnisse eingetragen.

Zahlentafel 3. Dehnung ε und Beanspruchung σ' der Drähte bei der Seilherstellung.

Nr.	Seilart	Drahtdicke δ mm	Schlagwinkel		Dehnung ε					Drahtbeanspruchung σ' kg/mm ²	
			α'	α''	$100 \frac{\delta}{D_s'}$ %	$100 \frac{\delta}{d-\delta} \times \sin^2 \alpha'$ %	$100 \frac{\delta}{D_s''}$ %	$100 \frac{\delta}{d-\delta} \times \sin^2 \alpha''$ %	$\Sigma \varepsilon$ %	$\sigma_b = 128$ kg/mm ²	$\sigma_b = 180$ kg/mm ²
1	6×7δ+1H Krz	0,5 bis 3	9° 54'	15° 03'	0,5 bis 1	1,5	0,4	1,0	3,2 ÷ 3,9	130 ÷ 135	181 ÷ 185
2	6×7δ+1H Gl		10° 47'	15° 03'		1,8		1,0	3,5 ÷ 4,2	131 ÷ 137	183 ÷ 189
3	6×19δ+1H Krz		12° 20'	14° 41'		1,1		0,5	2,3 ÷ 3,0	124 ÷ 128	173 ÷ 179
4	6×19δ+1H Gl		13° 28'	14° 41'		1,4		0,5	2,6 ÷ 3,3	125 ÷ 130	176 ÷ 181
5	6×37δ+1H Krz		14° 06'	14° 55'		1,0		0,3	2,0 ÷ 2,7	122 ÷ 127	169 ÷ 177
6	6×37δ+1H Gl		16° 39'	14° 55'		1,4		0,3	2,4 ÷ 3,1	124 ÷ 129	173 ÷ 180
7	6×61δ+1H Krz		15° 58'	16° 12'		1,0		0,3	2,0 ÷ 2,7	122 ÷ 127	169 ÷ 177
8	6×61δ+1H Gl		10°	10°		0,38		0,12	1,2 ÷ 1,9	116 ÷ 122	150 ÷ 167

Lebensdauer der Drahtseile. Der Auflagedruck in der Rollenrinne z. B., um nur eine Beanspruchung herauszugreifen, wird den zunächst allein aufliegenden äußersten Draht in das Seil hineindrücken. Dies ruft Reibung und Knickung des Drahtes hervor, wie Abb. 5 übertrieben zeigt. Der Auflagedruck und die daraus folgenden Beanspruchungen für den einzelnen Draht werden um so kleiner, auf je mehr Drähte sie sich verteilen, d. h. je enger sich

Die Zahlentafel zeigt, daß die Dehnungen und damit auch die Spannungen, die im Drahtseil bleiben, recht erheblich werden können. Die größten werden veranlaßt durch die Schraubenform der Drähte in den Litzen ($\varepsilon = 1$ bis 1,8%), dann folgen die beim Aufwickeln der Drähte auf die Drahtspulen ($\varepsilon = 0,5$ bis 1%), dann die beim Verseilen der Litzen ($\varepsilon = 0,3$ bis 1%) und zuletzt die durch das Bewickeln der Litzenspulen ($\varepsilon = 0,2$ bis 0,4%).

Schon diese Beanspruchungen sind ungewöhnlich groß, teils größer als die sogenannten »Zerreißeigenschaften« σ_b . Im Betrieb kommen aber noch weitere Spannungen hinzu, zunächst durch wiederholtes Umbiegen der Seile um Rollen und dann durch das Anhängen von Lasten. Bei einem Rollendurchmesser $D = 500$ bis 1000δ werden die äußeren Fasern der umlaufenden Seildrähte nochmals um $\varepsilon = 100 \frac{\delta}{D}$ 0,2 bis 0,1% gedehnt.

Die Beanspruchung der Drahtseile durch die angehängten Lasten beträgt etwa 5 bis 20 kg/mm², jedoch ist sie für die durch die Biegung schon hochbeanspruchten Drahtteilchen nicht in ihrem ganzen Betrag der Biegebungsbeanspruchung zuzuzählen. Es ist zu beachten, daß nur ein sehr kleiner Teil der Drahtquerschnitte durch die Biegung hoch beansprucht ist, während der größte Teil viel weniger, teils sogar auf Druck beansprucht wird. Nur die mittlere zusätzliche Zugbelastung ist 5 bis 20 kg/mm². Erfahrungsgemäß bleiben die Querschnitte bei der Belastung eben, d. h. alle Drahtfasern verlängern sich gleich viel. Da nun der weitaus größte Teil des Querschnittes nicht nennenswert vorbelastet ist, folgt die Ausdehnung dem Hookeschen Gesetz und wird:

$$\varepsilon \% = \frac{100 \sigma_z}{E} = \frac{500 \text{ bis } 2000}{20000} = 0,025 \text{ bis } 0,1 \%$$

Zusammen mit der Dehnung durch das Umbiegen um Rollen (0,1 bis 0,2%) erleiden die durch die Herstellung des Seiles schon hoch vorbelasteten Drahtteilchen eine zusätzliche Dehnung von 0,13 bis 0,3%.

Im Betrieb kommen noch weitere Beanspruchungen hinzu: Reibungen und Abnutzungen der Drähte aneinander in Längs- und Querrichtung des Seiles, Auflagedrücken in der Rollenrinne und an der Rollenwand der Rollen, Knickung der Drähte beim Überkreuzen darunterliegender Drähte, Stauchungen und Durchbiegungen eingeklemmter Drahtstückchen, z. B. durch den Auflagedruck in den Rollen², u. a. m. Auch Einflüsse atmosphärischer Art, saure Grubenwässer, Rost u. dgl., auf die besonders der Leiter der Seilprüfstelle Bochum, Dr.-Ing. e. h. Herbst³, von 1920 bis 1938 mehrfach hingewiesen hat, beeinflussen die

die Rille an den Seilquerschnitt anschließt. Woernle⁴ hat die Vergrößerung der Bruchbiegezahlen durch engere Rillen versuchsmäßig nachgewiesen.

¹ Klein, L.: Über Bruchbiegezahlen von Drahtseilen, *Fördertechn.* 23 (1930) S. 1; Die innere Reibung von Drahtseilen, *Fördertechn.* 27 (1934) S. 124 u. 30 (1937) S. 196. — ² Meebold, a. a. O. S. 20.

³ Herbst, H.: Bedeutung und Ursachen innerer Drahtbrüche bei Drahtseilen, *Glückauf* 74 (1938) S. 849, 878. — ⁴ a. a. O.

Auch Berieselung und Zinküberzüge¹ verringern die Wechselfestigkeit der Drahtseildrähte erheblich.



Abb. 5. Biegung und Knickung der Seildrähte in der Rollenrinne.

Die Berechnung ergibt also für die am meisten gefährdeten Drahtteilchen eine sehr hohe Grund- oder Dauerbiegebeanspruchung durch die Seilherstellung, etwa in der Größe der sogenannten »Zerreißeigkeits«, und dazu noch eine sich oft wiederholende Schwing-, Wechsel- oder Schwellbeanspruchung im Betrieb. Aus der Höhe dieser Beanspruchung folgt, daß für die Haltbarkeit und Sicherheit der Drahtseile nicht die »statische Zerreißeigkeits«, sondern die »Dauerbeanspruchung« zugrunde gelegt werden muß. Dies ist seit langem erkannt und sollte durch die Bruchbiegezahlen ermöglicht werden. Es fehlte aber bei den Versuchen zur Bestimmung der Bruchbiegezahlen die Berücksichtigung der »Grundbeanspruchungen«, bei denen die »Schwing- oder Wechselbeanspruchungen« so oft ausgehalten wurden, als die »Bruchbiegezahlen« angeben. Erst die Versuche vom Pomp und seinen Mitarbeitern im Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf haben die Grundlagen hierfür geschaffen. In den Abb. 6, 7 und 8 habe ich deren Ergebnisse¹ — nach ihren zum größten Teil noch nicht veröffentlichten, mir freundlichst zur Verfügung gestellten Versuchen — in sogenannten Wechsellastschleifen zusammengestellt. Ich habe die Darstellung des Kaiser-Wilhelm-Instituts beibehalten, bei der die nicht durch Versuche gesicherten Teile der Kurven gestrichelt sind und die Kurven nach der »Zerreißeigkeits« hinlaufen. Bei Berücksichtigung der Querschnittsverringern gegen Ende der Zerreißeversuche laufen die Kurven nach einer erheblich höheren Beanspruchung hin, etwa

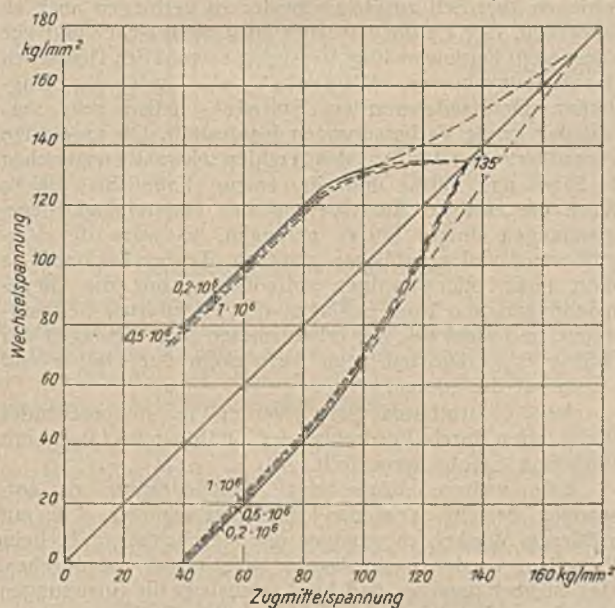


Abb. 6. Wechsellastschleifen für einen Draht von $\sigma_b = 135 \text{ kg/mm}^2$ und Lastwechsel $0,2 \cdot 10^6$; $0,5 \cdot 10^6$; $1 \cdot 10^6$.

¹ Pomp und Hempel: Dauerprüfung von Stahldrähten, Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. Eisenforsch. 19 (1937) S. 237; Pomp und Duckwitz: Dauerprüfungen an Stahldrähten, Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. Eisenforsch. 13 (1931) S. 79; Pomp und Hempel: Dauerprüfung von Stahldrähten, Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. Eisenforsch. 20 (1938) S. 4; Jünger, A.: Über Dauerfestigkeit der Werkstoffe, Rdsch. Dtsch. Techn. 20 (1940) Nr. 39, S. 2; 40, S. 1 u. 41, S. 2.

nach der Strichpunkt-Linie in Abb. 6. In diesen Wechsellastschleifen sind die Mittelspannungen auf der Abszisse, die unteren und oberen Spannungsgrenzen auf der Ordinate aufgetragen; die unter einem Winkel von 45° zur Abszisse und Ordinate gezogene Linie stellt die Mittelspannungen dar. Auch bei den Versuchen von Pomp und Hempel hat sich wie schon bei früheren Versuchen gezeigt, daß die Wechsellastspannungen σ_a eines Drahtes für gleiche Bruchlastwechselzahl weitgehend, bis zu einer Mittelspannung von etwa $0,7$ der »Zerreißeigkeits«, von der Mittelspannung nahezu unabhängig sind, aber mit zunehmender Bruchbiegezahl abnehmen. Beispielsweise hielt der 165er Draht bei 100 kg/mm^2 ruhender Grund- oder Mittelspannung eine zusätzliche Wechsellastspannung von $\sigma_a \pm 27 \text{ kg/mm}^2$ noch 2000000-, eine solche von $\pm 31,5 \text{ kg/mm}^2$ noch 200000 mal aus.

Annäherungsweise war für den 165er Draht:

$$\sigma_a \pm (32 - 0,0000025 n_B) \text{ kg/mm}^2$$

n_B Bruchlastwechselzahl.

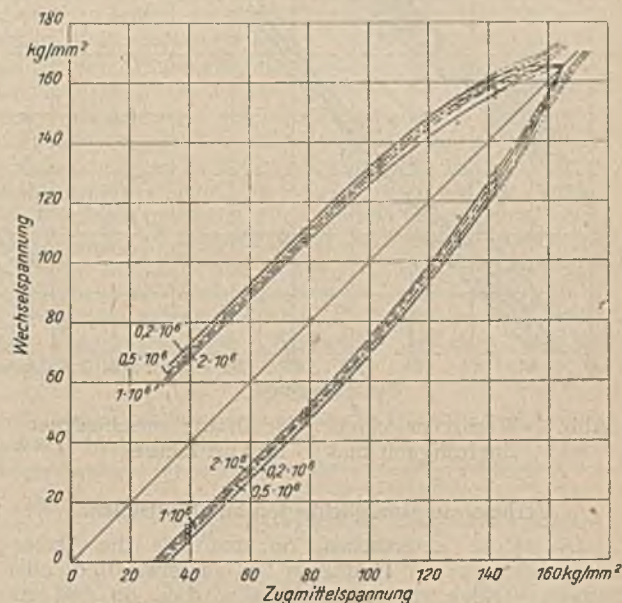


Abb. 7. Wechsellastschleifen für einen Draht von $\sigma_z = 165 \text{ kg/mm}^2$ und Lastwechsel $0,2 \cdot 10^6$; $0,5 \cdot 10^6$; $1 \cdot 10^6$; $2 \cdot 10^6$.

Diese Gleichung kann allgemeine Gültigkeit nicht beanspruchen. Man wird, um richtige Werte zu erhalten, für jeden Draht die Wechsellastschleife bestimmen müssen. Soviel scheint aber gesichert zu sein, daß man mit den Mittelspannungen der Drähte nicht über $0,7$ der Zerreißeigkeits hinausgehen soll. Unterhalb dieser Grenze können die Lastwechselzahlen n_B recht groß (200000 bis 2000000) werden, wenn nur die Wechsellastbeanspruchung nicht größer wird, als den Wechsellastschleifen bzw. der Gleichung entspricht. Die Abb. 6–8 zeigen, daß die zusätzlichen Wechsel- oder Schwingbelastungen für kleinere Bruchbiegezahlen (200000 gegen 2000000) und kleinere Drahtfestigkeiten, also für weichere Drähte ($\sigma_b = 135$ gegen 194 kg/mm^2), größer sind, im übrigen aber nicht allzuviel voneinander abweichen.

Nunmehr ist zu untersuchen, wie groß die Dauer- und die Wechselbeanspruchungen der Drähte im Drahtseil werden. Es darf angenommen werden, daß die Dauerbeanspruchung durch das Biegen bei der Seilherstellung und daß die Wechsellastbeanspruchungen durch die im Betrieb angehängte Last und das Laufen über Leitrollen, Trommeln und dergleichen hervorgerufen werden.

¹ Nach unveröffentlichten, mir freundlichst zur Verfügung gestellten Ergebnissen aus den Arbeiten von Pomp und Duckwitz sowie Pomp und Hempel in den Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. Eisenforsch. 13 (1931) S. 79; 19 (1937) S. 239 u. 20 (1938) S. 1.

In der Zahlentafel 3 sind zu den errechneten Dehnungen die aus dem wahren Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Abb. 3) für $\sigma_b = 128$ bzw. 180 kg/mm^2 sich ergebenden Spannungen eingetragen. Sie sind durchweg größer als $0,7\sigma_b$, größer als 90 bzw. 130 kg/mm^2 . Sie liegen sehr hoch in Gebieten der Wechsellastschleifen, die nicht durch Versuche gesichert sind und die nur kleine Wechsellasten und verhältnismäßig kleine Bruchbiegezahlen zulassen.

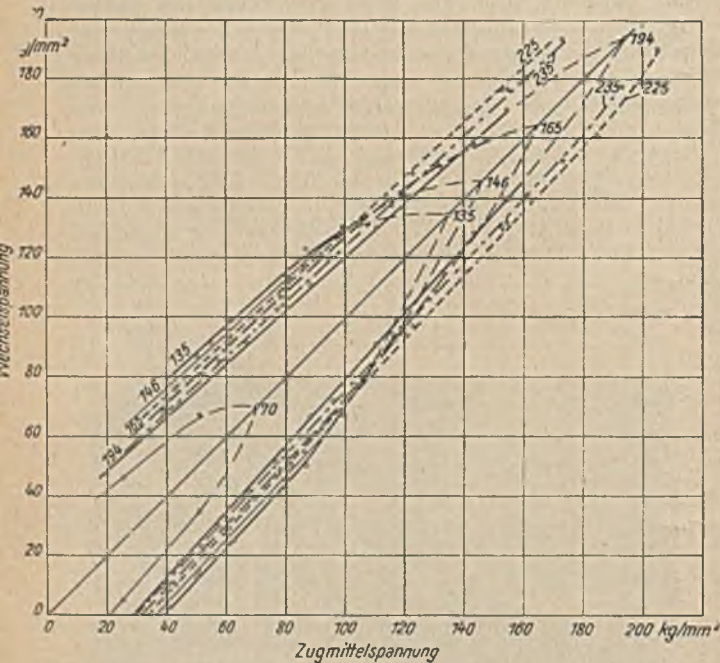


Abb. 8. Wechsellastschleifen für Drähte verschiedener Zugfestigkeit und $1 \cdot 10^6$ Lastwechsel.

Verbesserungsmöglichkeiten an Drahtseilen.

Es ist zu untersuchen, ob und wie die Dauerbeanspruchungen der Drähte im Seil auf etwa $0,7\sigma_b$ oder darunter verkleinert werden können, d. h. ob und auf welche Weise man die Lebensdauer und Belastbarkeit der Drahtseile erhöhen kann.

Konstruktive Maßnahmen.

Eine Möglichkeit geht aus den vorstehend entwickelten Gleichungen für die Dehnung ε hervor:

$$\varepsilon = 100 \left(\frac{\delta}{d - \delta} \sin^2 \alpha'' + \frac{\delta}{b - \delta} \sin^2 \alpha' + \sum \frac{\delta}{D_s} + \sum \frac{\delta}{D} \right) \%.$$

Danach nehmen die Dehnungen und damit auch die Spannungen in den Drähten zu mit dem \sin^2 des Schlagwinkels, mit der Drahtdicke, mit abnehmender Drahtzahl, abnehmendem Litzen- und Seildurchmesser und mit kleiner werdenden Spulen- und Rollendurchmessern (D_s und D). Man muß also die Schlagwinkel und Drahtstärken klein, Drahtzahl, Litzen- und Seildurchmesser sowie Rollendurchmesser groß machen.

Senkt man die Schlagwinkel z. B. von 16° auf 14° , 12° oder 10° , so sinkt die Dehnung um 23 bzw. 43 bzw. 60 %, also recht erheblich. Da aber der Schlagwinkel immer so groß bleiben muß, daß die Seile genügend fest verschlossen sind, um das Eindringen von Rost, Feuchtigkeit und anderen schädlichen Einflüssen zu verhindern, kann man mit ihm nicht beliebig weit heruntergehen.

Auch die Verkleinerung der Drahtdicke und die dadurch bedingte Vergrößerung der Drahtzahl wirken günstig auf die Verringerung der zusätzlichen Dehnungsbeanspruchung ein. Z. B. verringert eine Erhöhung der Drahtzahlen in den Litzen von 7 auf 19, 37 oder 61 die Dehnung um 50, 67 bzw. 75 %. Sie ist aber begrenzt durch die damit verbundene Vergrößerung des Rostens,

der Reibung und der Abnutzung der Drähte aneinander im Betrieb sowie durch die Steigerung des Preises.

Ähnlich günstig wirkt die Vergrößerung des Durchmessers, z. B. durch Übergang zum Litzenseil, z. B. bei den verschlossenen Seilen. Die Vergrößerung der Spulen- und Rollendurchmesser ist ebenfalls zweckmäßig. Sie wird begrenzt durch den Platz in der Verseilmaschine bzw. durch die Betriebsverhältnisse.

Führt man beispielsweise das Seil Nr. 7 der Zahlentafel 3, das 366 Drähte hat, als Seil Nr. 8 mit Schlagwinkeln von nur 10° aus, so sinkt dadurch die Dehnung der Drähte bei der Litzenherstellung auf 0,38 % und bei der Seilherstellung auf 0,12 %. Die Summe aller Dehnungen geht dabei auf $\Sigma \varepsilon = 1,2$ bis 1,9 % zurück. Nach Abb. 3 entspricht in dem 180er Seil dieser Dehnung eine Spannung von 150 bis 167 kg/mm^2 , bei welcher nach Abb. 8 noch Schwingbelastungen von ± 15 bis $\pm 12 \text{ kg/mm}^2$ zulässig erscheinen. Dies reicht aber für die im Betrieb auftretenden Biege- und Zugbeanspruchungen und Abnutzungen noch nicht aus, außerdem liegen sie noch nicht in dem durch Versuche gesicherten Teil der Wechsellastschleife der Abb. 8.

Über diese Möglichkeiten hinaus kann man versuchen, die Dauerbeanspruchung der Drähte durch entsprechende Seilherstellung noch weiter zu senken.

Wenn auch bisher die Beanspruchungen der Drähte bei der Seilherstellung und im Betrieb rechnerisch nicht berücksichtigt wurden, so waren sich die Drahtseilhersteller doch bewußt, daß sie groß und gefährlich sind, und haben verschiedene Verfahren zu ihrer Verringerung entwickelt. Durch Vor- oder Nachbehandlung der Drähte, Seile und Litzen wurde eine Verringerung der Beanspruchung erstrebt.

Vorbehandlung.

Eine der bekanntesten Arten, die Litzen vorzubehandeln, ist das Trulay-Verfahren. Man versucht dabei, die fertigen Litzen, indem man sie durch ein Rollensystem laufen läßt, ehe sie zum Seil geschlagen werden, in die Form zu bringen, in der sie im Seil liegen werden. Es ist aber sehr schwer und gelingt nur unvollkommen, sie in allen Teilen richtig vorzuformen und sie beim Schlagen zum Seil zusätzlich weder zu verbiegen noch zu verdrehen. Der Erfolg ist daher auch nicht sicher und vor allem recht ungleichmäßig. Versuche, sowohl des Deutschen Drahtseilausschusses, Woernle¹, als auch des Englischen Drahtseilcommittee, Scoble¹, haben sehr verschieden große Verbesserungen festgestellt. Die erreichten Vergrößerungen der Bruchbiegezahlen schwankten zwischen 0–25 % und 50 % und in einem Falle bis 100 %. Wäre die restlose Ausschaltung der Herstellungs-Biegespannungen durch Trulay gelungen, so wäre die Vergrößerung viel erheblicher gewesen. Trulay bekämpft ja aber, mehr oder weniger vollkommen, nur die Biegespannungen, die beim Schlagen der Litzen zum Seil auftreten, und nicht die viel erheblicheren beim Schlagen der Drähte zu Litze und beim Aufwickeln der Drähte und Litzen auf die Spulen.

Anderer drallarme Seile werden in entsprechender Weise oder durch Verdrehen der Drähte und Litzen mit ähnlichem Erfolg hergestellt.

Eine weitere Möglichkeit, die Seildrähte zu entspannen, besteht darin, die Litzen erst schärfer, d. h. mit größerem Winkel, zu schlagen und sie nachher, z. B. beim Verseilen, wieder nachzulassen, also etwas aufzudrehen. Das ist aber unsicher und kann höchstens die Spannungen beseitigen, die durch das Schlagen der Drähte zur Litze hineingekommen sind, nicht aber diejenigen, welche die Drähte und Litzen von den Spulen mitbringen, und nicht die, welche die Litzendrähte beim Verseilen erleiden. Außerdem kann es den Nachteil haben, daß die Litzen nicht mehr fest genug verschlossen sind, um Witterungseinflüsse usw. von dem Seilinneren genügend sicher fernzuhalten.

¹ a. a. O.

Nachbehandlung.

Die Nachbehandlung der Drähte, Litzen und Seile scheint mir erfolgreicher zu sein.

Die Westfälische Union AG. in Hamm (Westf.) hat vorgeschlagen¹, den Drähten und Litzen die Krümmungen und Spannungen, die sie in die Verlitz- bzw. Verseilmaschinen mitbringen, in diesen zu nehmen, ehe sie zur Litze bzw. zum Seil geschlagen werden. Sie läßt sie zu diesem Zweck durch Rollenrichter, ähnlich den bekannten Drahtrichtern, laufen, die zwischen die Spulen und den Verseilpreßkopf eingebaut sind. Hier können die Richtrollen infolge der kleinen Geschwindigkeit der Drähte und Litzen am sichersten und besten wirken. Die Torsionsspannungen, die bei stillstehenden Drahtrichtern in der Verseilmachine durch das Rückdrehen der Spulen in die

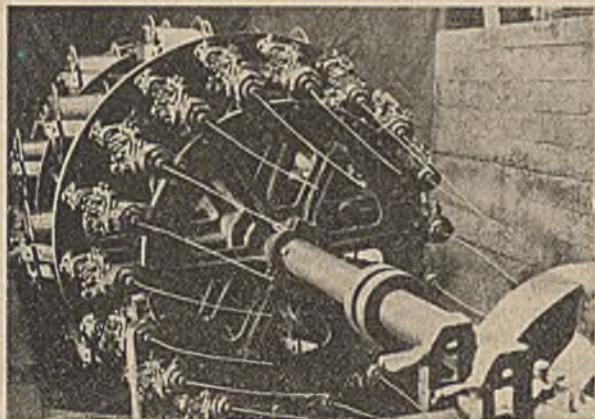


Abb. 9. Krümmung der Drähte bei eingeschalteten Richtrollen.

Drähte hineingekommen sind, werden bei dem Verseilen nach dem Vorschlag der Westfälischen Union AG. dadurch vermieden, daß jede Spule mit einem Drahtrichter durch Kreuzgelenk gekuppelt ist, wodurch alle Spulen und Drahtrichter die gleiche Rückdrehung haben. Den Erfolg dieser Drahtrichter erkennt man sehr gut durch einen Vergleich der Abb. 4 und 9. Für beide sind die Drähte zwischen den Spulen und dem Verseilkopf durchgeschnitten worden. Spreizen sie bei ausgeschalteten Richtrollen (Abb. 4) nach allen Seiten auseinander, so bleiben sie bei deren Benutzung (Abb. 9) gerade. Durch die Richtrollen sind ihnen die Krümmungen ganz, die Verformungs- und Biegespannung größtenteils genommen, so daß die Dehnung der hart gezogenen Drähte merkbar abnimmt. Baut man das Rollenrichtgerät auch in die Verseilmaschinen der Litzen zwischen Spulen und Preßkopf ein, so kann man ebenfalls den größten Teil der Biegungsspannungen entfernen, die durch das Schlagen zur Litze und das Aufwickeln auf die Litzen spulen in die Drähte gekommen sind. Selbst wenn man wegen seiner großen Steifigkeit darauf verzichtet, auch noch das fertige Seil durch ein solches Rollenrichtgerät laufen zu lassen, so kann man die Summe der Dehnungen, die z. B. bei den Seilen 2 bis 8 der Zahlentafel 4 in den Drähten der fertigen Seile noch enthalten sind, auf etwa den fünften Teil heruntbringen. Damit sinken dann nach der Abb. 3 die Dauerbeanspruchungen durch das Biegen der Drähte bei der Herstellung der Seile 1 bis 7 auf etwa 75 bis 100 kg/mm². Die Wechsellastschleifen für 1000000 Biegungen (Abb. 8) zeigen, daß für diesen Fall die Wechsellastspannungen, die durch das Anhängen von Lasten und durch das Laufen des Seiles über Rollen hinzukommen, zusammen noch ± 20 bis ± 35 kg/mm² betragen dürfen. Es kann also eine erhebliche Vergrößerung der Lebensdauer und der Tragfähigkeit erreicht werden.

Zahlentafel 4. Dauerbeanspruchung σ' und zulässige Schwingbeanspruchung σ_a entspannter Drahtseile ($\sigma_b = 130$ und 180 kg/mm²) für 1000000 Lastwechsel.

Seil, Nr. und Art		Dehnung $\frac{1}{5} \Sigma \varepsilon$ %	$\sigma_b = 128 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma_b = 180 \text{ kg/mm}^2$	$n_B = 1\,000\,000$	
			σ' kg/mm ²	σ' kg/mm ²	$\sigma_b = 130 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma_b = 180 \text{ kg/mm}^2$
					σ_a	σ_a
					kg/mm ²	kg/mm ²
1	6 × 7 + 1	0,6 bis 0,8	85 – 101	97 – 121	± 35 bis ± 30	± 21 bis ± 20
2	6 × 7 + 1	0,7 „ 0,9	94 – 107	110 – 131	± 32 „ ± 27	± 20 „ ± 18
3	6 × 19 + 1	0,5 „ 0,6	75 – 85	84 – 97	± 36 „ ± 36	± 22 „ ± 21
4	6 × 19 + 1	0,5 „ 0,7	75 – 94	84 – 110	± 36 „ ± 33	± 22 „ ± 20
5	6 × 37 + 1	0,4 „ 0,5	69 – 75	62 – 84	± 36 „ ± 36	± 25 „ ± 22
6	6 × 37 + 1	0,5 „ 0,6	75 – 85	84 – 97	± 36 „ ± 36	± 22 „ ± 21
7	6 × 61 + 1	0,4 „ 0,5	69 – 75	62 – 84	± 36 „ ± 36	± 25 „ ± 22
8	6 × 61 + 1	0,2 „ 0,4	33 – 62	37 – 69	± 38 „ ± 36	± 27 „ ± 25

Berechnung eines Drahtseiles.

Nachdem gezeigt worden ist, wie die Herstellungs-Biegebeanspruchungen der Drahtseile bestimmt und ermäßigt werden können, soll nun noch angegeben werden, wie Drahtseile bei Berücksichtigung der Biegebeanspruchungen berechnet werden können.

Zunächst unterliegt es keinem Zweifel, daß sie nach der »Dauerfestigkeit« und nicht nach der statischen »Zerreißeigenschaft« zu berechnen sind. Die vielen Bestimmungen der Bruchbiegezahlen würden hierfür Unterlagen geben, wenn dabei nicht nur die Wechsel-, sondern auch die Dauer- oder Mittelspannungen sowie die Schlagwinkel bestimmt und angegeben worden wären. Damit die Herstellungsbeanspruchungen klein bleiben, verwende man möglichst nur Seile mit 222 oder 366 Drähten und kleinen Schlagwinkeln von höchstens 14°. Man bevorzuge 222er Seile wegen der geringeren Abnutzung im Betrieb. Ferner benutze man nur Seile, denen durch entsprechende Behandlung, z. B. nach DRP. 665027, min-

destens vier Fünftel der Spannungen, die die Drähte in den Ziehscheiben, den Drahtspulen und der Verlitzmaschine erlitten haben, genommen worden sind. Dann verbleiben im Seil noch die in der Zahlentafel 4 angegebenen Dehnungen und Spannungen. Zu diesen Vorspannungen gestatten die Wechsellastschleifen (Abb. 8) für 1000000 Lastwechsel die in der Zahlentafel 4 eingeschriebenen Schwingbeanspruchungen σ_a . Ich wähle 1000000 Lastwechsel und gleich große positive und negative Zusatzlasten, weil für diese Verhältnisse durch die Versuche des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung, Düsseldorf, genügend sichere Unterlagen vorliegen. In der Praxis verlangt man von den Drahtseilen meist keine so großen Bruchbiegezahlen; auch schwankt die Beanspruchung durch die angehängte Last nicht bis zu σ_a , sondern von der ruhenden Grund- oder Mittelspannung σ_m nach unten höchstens um die Biegungsspannung σ' , solange $\sigma_m - \sigma' > 0$ ist. Die Verhältnisse sind also günstiger, als ich sie bei der Berechnung zugrunde lege. Die Wechsellastspannungen können dann größer als $\pm 20 \div 35 \text{ kg/mm}^2$ zugelassen werden. Die Vergrößerung kommt in voller Höhe der Größe der anhängbaren Last zugute.

¹ DRP. 665027 Direktor Rath, Lippstadt, und Zusatz-DRP. 699485.

Die Wechsel- oder Zusatzbeanspruchung muß sich nun teilen in die Biegebeanspruchung σ'' für das Laufen über Seilrollen (Zahlentafel 5) und in die Zugbeanspruchung durch die angehängte Last. Die zusätzliche Biegebeanspruchung σ' durch das Laufen über Rollen ergibt sich aus der zusätzlichen Biegedehnung $\varepsilon = 100 \frac{\delta}{D} \%$ bei der Vorspannung σ' aus dem wahren Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Abb. 3), z. B. ist für ein 130er Seil mit 222 Drähten (Seil 6) nach der Zahlentafel 4 die Biegebeanspruchung durch die Herstellung $\sigma' = 75$ bis 85 kg/mm^2 und die Dehnung $\frac{1}{3} \Sigma \varepsilon = 0,5$ bis $0,6 \%$. Nach dem wahren Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Abb. 3) vergrößert die zusätzliche Dehnung die Spannung um die in Zahlentafel 5 angegebenen Werte von σ'' . Von der zulässigen, zusätzlichen Schwingbeanspruchung $\sigma_z = 36 \text{ kg/mm}^2$ bleiben dann für die Zugbeanspruchung durch die Last noch übrig:

$$\sigma_z = \sigma_a - \sigma'' = 36 - \sigma'',$$

wie in der Zahlentafel 5 eingetragen.

Zahlentafel 5.

D: $\delta = \dots$	1000	750	500	375	280	200
$\varepsilon \%$ = $100 \frac{\delta}{D} \dots$	0,1	0,13	0,2	0,27	0,36	0,5
$\sigma'' = \text{kg/mm}^2 \dots$	$10 \div 8$	$11 \div 10$	$17 \div 16$	$23 \div 19$	$29 \div 24$	$36 \div 29$
$\sigma_z = \text{kg/mm}^2 \dots$	$26 \div 28$	$25 \div 26$	$19 \div 20$	$13 \div 17$	$7 \div 12$	$0 \div 7$

Beispiel: Das Seil eines vielbenutzten Windwerks für 5000 kg Last sei zu berechnen.

Annahmen: Das Seil habe Stahldrähte von $\sigma_b = 130 \text{ kg/mm}^2$; es sei nach DRP. 665 027 und 699 485 entspannt auf $\sigma' = 75$ bis 85 kg/mm^2 , Rollendurchmesser D = 500 δ ; $\Sigma \varepsilon = 0,2$; $\sigma'' = 17$ bis 16 kg/mm^2 , Bruchbiegezahl 1 000 000; Drahtzahl im Seil 222.

Die Wechsellastschleife nach Abb. 3 ergibt eine zulässige Wechselbeanspruchung $\sigma_a = 36 \text{ kg/mm}^2$ und eine

zulässige Zugbeanspruchung $\sigma_z = 36 - (16 \text{ bis } 17) = 20$ bis 19 kg/mm^2 . Notwendiger Stahlquerschnitt des Seiles:

$$i \frac{\pi \delta^2}{4} = \frac{1,1 Q}{\sigma_z} = \frac{1,1 \cdot 5000}{19} = 290 \text{ mm}^2;$$

$$i = 222; \frac{\pi \delta^2}{4} = 1,31 \text{ mm}^2; \delta = 1,29 \text{ mm}.$$

Man wähle das Seil: $i = 222$; $\delta = 1,3$; $d = 28 \text{ mm}$; D = 650 mm (rechnerische Bruchbelastung 38 300 kg).

Dieses Seil ist dünner, als es sonst für 5000 kg Last für Hebezeuge errechnet wird ($\sigma_z = 5$ bis 10 kg/mm^2 ; $d = 52$ bis 40 mm). Es hält 1 000 000 Lastwechsel gegenüber 100 bis 200 000 aus. Seine Betriebszeit ist also etwa 5- bis 10mal so groß, d. h. es hält so lange wie sonst 5÷10 Seile. Läßt man kleinere Bruchbiegezahlen zu, so werden die Seile noch dünner, leichter und billiger. Wieviel, kann erst nach versuchsmäßiger Aufstellung der betreffenden Wechsellastschleifen bestimmt werden. Allerdings ist Voraussetzung, daß die Drähte im Seil durch geeignete Maßnahmen weitgehend von den Herstellungsspannungen befreit worden sind und daß sie sich dann wenigstens annäherungsweise ebenso verhalten wie unverseilte.

Zusammenfassung.

Es ist gezeigt worden, wie sich die Biegungsspannungen der am meisten gefährdeten Drahtteilchen aus den Abmessungen des Drahtseils sowie den Spulendurchmessern der Verseilmaschine auf einfache Weise errechnen lassen. Die Beanspruchungen der Seile durch das Laufen über Rollen und durch das Anhängen von Lasten werden bestimmt und sodann Verfahren und ihre Erfolgsmöglichkeiten besprochen, welche die Herstellungsspannungen in den Drähten ganz oder teilweise vermeiden oder nachträglich beseitigen und dadurch die Lebensdauer sowie Belastbarkeit der Drahtseile wesentlich vergrößern. Zum Schluß wird an einem Beispiel gezeigt, wie Drahtseile nach der Dauerfestigkeit zu berechnen sind.

Die Kohlenoxydbestimmung mit Jodpentoxyd in Brandgasen. II.

Von Dr. Heinrich Winter und Dr. Bernhard Braukmann, Bochum.

(Mitteilung aus dem Berggewerkschaftlichen Laboratorium, Bochum.)

Außer Anfragen aus Kreisen des Ruhrbergbaues lassen auch die Zuschriften von Kattwinkel¹ und von Brösse² erkennen, welche Bedeutung der von uns in dem Aufsatz unter obiger Überschrift³ angeschnittenen Frage beigemessen worden ist. Es hat sich herausgestellt, daß einzelne Punkte vielleicht noch ausführlicher hätten besprochen werden müssen. Nach Abschluß der von uns angekündigten Versuche über die Einwirkung von Wasserstoff auf Jodpentoxyd bei verschiedenen Temperaturen soll deshalb auf die in den Zuschriften erörterten Fragen noch einmal eingegangen werden.

Zunächst sei noch darauf hingewiesen, daß wir etwa in dem Sinne von Knochenhauer⁴ »die in einem abgeschlossenen Brandfelde stehenden und sich entwickelnden Oase« als Brandgase ansprechen. Gase aber mit größeren Mengen von Kohlenoxyd, schweren Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff, wie sie A. Mayer⁵ bei seinen Brandversuchen in einer Braunkohlengrube erhalten hat, sind hier nicht gemeint; sie bedürfen einer besonderen analytischen Untersuchung. Auch ist zumal die »Wasserstoff-Frage« bei Grubenbränden von so großer Tragweite, daß sie demnächst in einem besonderen Aufsatz zusammenfassend und kritisch behandelt werden soll.

Die hier zu besprechenden Punkte seien nunmehr in der von Brösse gewählten Reihenfolge erörtert.

Reinigung des Spülgases.

Der glühende Platinstern zur Reinigung der Spülluft von CO wurde von uns im Laufe der Zeit weggelassen, weil kein CO in unserer Laboratoriumsluft nachzuweisen war, wie die stetig wiederholten Blindanalysen ergaben. Wo aber die für jeden Untersuchungstag unerläßliche Blindanalyse verrät, daß CO in der Laboratoriumsluft auftritt, muß man durch entsprechende Maßnahmen für eine vollständig CO-freie Spülluft sorgen.

Was den Ersatz der Ente durch eine Waschflasche¹ angeht, so muß dazu ausdrücklich festgestellt werden, daß auch in der Ente alles CO quantitativ erfaßt wird. Dagegen bietet das Heizen des Reaktionsgefäßes mit dem ebenfalls von Kattwinkel² vorgeschlagenen Aluminiumblockofen zweifellos Vorteile gegenüber dem Ölbad.

Analysentemperatur.

Es ist richtig, daß früher die CO-Analyse bei Temperaturen von 100–130° durchgeführt wurde; nach der Arbeit von Tauß und Jungmann³ aber erhitzte man dann meist das Jodpentoxyd zunächst auf eine Temperatur von 196°, da bei dieser der Umwandlungspunkt der Anhydrosäure in Jodpentoxyd liegt⁴. Während die beiden Forscher auch beim Überleiten des Analysengases auf der hohen Temperatur bleiben, wenn es sich um CO-

¹ Glückauf 77 (1941) S. 22.

² Glückauf 77 (1941) S. 179.

³ Glückauf 76 (1940) S. 575.

⁴ Z. Oberschl. Berg- u. Hüttenmann. Ver. 49 (1910) S. 569.

⁵ Glückauf 76 (1940) S. 53.

¹ Kattwinkel, Glückauf 69 (1933) S. 1068.

² Glückauf 77 (1941) S. 23.

³ Gas- u. Wasserfach 70 (1927) S. 1049.

⁴ Groschuff: Z. anorg. Chem. 47 (1915) S. 331.

Luftgemische handelt — Abgase von Diesellokomotiven könnte man hierzu rechnen —, gehen sie mit der Temperatur auf 120–130° herunter, wenn das Gas neben CO auch Wasserstoff, Methan oder andere Gase enthält. Sie trocknen in diesem Falle das Jodpentoxyd erst bei 196°, leiten das Gas dann bei 120–130° durch die Apparatur und erhitzen bald danach wieder auf 196°, um bei dieser Temperatur mit Luft nachzuspülen. Nach der Angabe von Brösse muß man annehmen, daß unter diesen Temperaturverhältnissen vielfach die CO-Analyse durchgeführt wird. Dazu sei zunächst bemerkt, daß der Wechsel der Temperatur bei jeder Analyse von 196° auf 120–130° und wieder herauf auf 196° doch sehr lästig und zeitraubend ist. Wenn es eben möglich ist, wird man bei einer Temperatur bleiben, und das ist die von 196°, weil man bei dieser ja zur Trocknung des Jodpentoxyds und beim Luftnachspülen arbeiten muß.

Da nun Methan, wenn es nicht als fast reines Gas vorliegt, auch bei 196° noch nicht merklich auf Jodpentoxyd einwirkt, ist es berechtigt, daß man auch die CO-Bestimmung in methanhaltigen Gasen bei 196° vornimmt, ohne während des Gasdurchleitens mit der Temperatur auf 120° herunterzugehen. Wenn man also durch die Untersuchung am Wettergerät festgestellt hat, daß kein Wasserstoff vorliegt oder daß es sich überhaupt nur um verhältnismäßig geringe Mengen brennbarer Gase handelt, kann man die Analyse ohne weiteres nach unseren Angaben durchführen. Wie die Verhältnisse bei Gegenwart von Wasserstoff liegen, wird weiter unten erläutert. Daß wir in unserem Aufsatz nicht darauf eingegangen sind, ist in der Tatsache begründet, daß in langen Jahren in Tausenden von Analysen ein — wenn auch nur geringer — Gehalt an Wasserstoff in Gasen, die nach der Jodpentoxydmethode auf CO untersucht wurden, nur äußerst selten nachweisbar war. Wie eingangs schon bemerkt, soll auf diesen Punkt, den Wasserstoffgehalt in Brandgasen, demnächst noch näher eingegangen werden.

Zunächst noch einiges zur Klärung der Reaktion von Wasserstoff mit Jodpentoxyd. Tauß und Jungmann¹ geben an, daß bei 196° genügend lange getrocknetes Jodpentoxyd nachher mit Wasserstoff unterhalb 130° nicht mehr reagiert, »oder vielmehr die Zersetzung des Jodpentoxyds im Wasserstoffstrom bei dieser Temperatur nicht größer ist als die im Luftstrom bei 196°«. Weiter sagen sie, daß dies reine Jodpentoxyd im Wasserstoffstrom auch bei 160° nur eine minimale Jodabscheidung gibt, nämlich 0,006%. Die Angabe von Froboese², daß von Wasserstoff aus Jodpentoxyd bei 70° nur spurenweise, bei 160° dagegen beträchtliche Mengen Jod freigemacht werden, stimmt mit unseren Beobachtungen ziemlich gut überein, kann aber nicht mit herangezogen werden, weil diesen Ergebnissen noch nicht der Befund der Arbeit Groschuffs³ zugrunde gelegen hat. Davies und Hartley⁴ geben an, daß Wasserstoff weder allein noch in Gegenwart von Kohlenoxyd bei 120° auf Jodpentoxyd einwirkt, wenn es in Verhältnissen von 0–1 Volumen auf 500 vorhanden ist. Sonstige Hinweise über diese Reaktion, z. B. bei Bunte und Schneider⁵, auf die sich Brösse bezieht, oder Bayer⁶, gründen sich offenbar auf die Untersuchungen von Tauß und Jungmann.

Unsere bereits erwähnten Untersuchungen über die Einwirkung von Wasserstoff auf Jodpentoxyd führten zu folgenden Ergebnissen. Als Untersuchungsgas verwandten wir eine Wasserstoff-Luftmischung, die 1% Wasserstoff enthielt, weil in dieser Größenordnung der Wasserstoffgehalt von uns bekannten Brandgasen liegt; sie kommen daher vor allem für eine Untersuchung mit Jodpentoxyd auf Kohlenoxyd in Frage. Höherprozentige Proben sollten

grundsätzlich nicht nach diesem Verfahren analysiert werden¹; für diese reicht die Fehlergrenze des Orsatgerätes vollauf aus. Wir haben nun zunächst eine Reihe von Analysen durchgeführt, indem wir 500 cm³ desselben Gases aus einem großen Behälter bei derselben Temperatur von 196° untersuchten. Als Mittel von etwa zehn Analysen erhielten wir einen scheinbaren CO-Gehalt von 0,066%. Die Abweichungen betrugen einige Zehntel Kubikzentimeter titrierter Jodlösung. Mit fallender Temperatur wurde auch die Einwirkung des Wasserstoffs auf das Jodpentoxyd schwächer und zeigte bei 130° einen scheinbaren CO-Gehalt von etwa 0,015% an. Bis 85° war dann die Reaktion kaum merklich geringer. Bei der angegebenen Menge Gas und der bekannten Jodlösung wurden bei 90° durchschnittlich 1 cm³ Jodlösung als Differenz gegenüber der Blindanalyse titriert, also ein Betrag, der schon außerhalb der Fehlergrenze liegt. Zwischen elektrolytischem Wasserstoff und solchem aus der Bombe konnte hierbei kein Unterschied festgestellt werden. Unmittelbar vor und nach der Analyse durchgeführte Blindanalysen ergaben völlige Übereinstimmung, zeigten also, daß der Wasserstoff keinerlei Nachwirkungen auf Jodpentoxyd ausübt. Hierzu muß ausdrücklich erwähnt werden, daß die Untersuchungen mit einer lange in Gebrauch befindlichen Ente durchgeführt wurden, die vor allen Analysen bei tiefen Temperaturen erst auf 196° erhitzt worden war, der Temperatur, bei der auch die Blindanalysen stattfanden, die niemals auch nur geringe Jodabscheidung erkennen ließen.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen, die aus Zeitgründen auf den hier in Betracht kommenden Bereich beschränkt wurden, kann man folgendes feststellen: Eine exakte CO-Bestimmung läßt sich in Gegenwart von Wasserstoff nach dem Jodpentoxydverfahren nicht durchführen, auch nicht in dem Temperaturbereich, in dem Kohlenoxyd schon sicher quantitativ mit Jodpentoxyd reagiert, d. h. wenig unter 100°.

Bevor man aber dieses Verfahren bei wasserstoffhaltigen Gasen verwirft, muß man sich überlegen, wie groß denn der Fehler durch die Wasserstoffbeimischung wird, und zwar unter der Annahme, daß in den Brandgasen etwa gleiche Anteile Kohlenoxyd und Wasserstoff enthalten sind. Man wird nach unseren Ergebnissen z. B. statt 1% CO dann etwa 1,07% finden, wenn man bei 196° arbeitet, und 1,02% bei 100° Analysentemperatur. Dies bedeutet, daß man damit innerhalb der Fehlergrenze bleibt, die man für viele Gasuntersuchungsverfahren als selbstverständlich annimmt, abgesehen davon, daß es bei der Auswertung einer Brandgasanalyse ohne Belang ist, ob das Gas 1% CO enthält oder 1,07%. Wesentlich ist, daß man nie weniger CO findet, als wirklich vorhanden ist, und daß der Wasserstoff nach einem anderen Verfahren — am Wettergerät oder am Orsat — genau bestimmt wird. Wenn man sich danach dazu entschließt, das Jodpentoxydverfahren auch bei wasserstoffhaltigen Gasen beizubehalten, dann ist die zweite Frage, ob man bei 100° oder bei 196° arbeiten soll, nur noch von untergeordneter Bedeutung und kann von der zur Verfügung stehenden Zeit abhängig gemacht werden. Dabei sei noch einmal darauf hingewiesen, daß man bei höherprozentigen Gasen — CO und H₂ je über 1% — diese Methode, auch bei Verdünnung der Gase, nicht mehr anwenden sollte, sondern daß dann das Orsatgerät zuständig ist.

Sperrflüssigkeit.

Warum an Stelle des Wassers als Sperrflüssigkeit beim Überleiten des Gases in die Vorrichtung die in der Handhabung unsaubere und lästige Kochsalzlösung treten soll, ist nicht einzusehen. Die Löslichkeit der Kohlensäure in Wasser kann kein Grund sein, weil Kohlensäure ja im Wettergerät vor der Untersuchung auf Kohlenoxyd festgestellt wird. Wenn sich aber bei hochprozentigen Gasen Anteile des CO₂ in dem Wasser lösen, beeinträchtigt dies

¹ Mitt. Chem.-Techn. Inst. T. H. Karlsruhe I (1923) S. 20.

² Z. analyt. Chem. 54 (1915) S. 1.

³ a. a. O.

⁴ J. Soc. Chem. Ind. 45 (1926) S. 164; Fuel 5 (1926) S. 528.

⁵ Zum Oaskurs. München 1929. S. 126.

⁶ Gasanalyse. 2. Aufl. Stuttgart 1941. S. 125.

¹ Vgl. Müller-Neuglück: Glückauf 75 (1939) S. 337.

das Ergebnis der CO-Analyse durchaus nicht, höchstens werden dadurch die Lösungen in den Absorptionsgefäßen für CO₂ etwas geschont. Die Löslichkeit von CO in Wasser aber ist derartig gering, daß sie auch bei sehr genauen Analysen unberücksichtigt gelassen werden kann. Während ein Volumen Wasser bei 20° . . 0,878 Gasvolumen CO₂ löst, ist die entsprechende Menge für CO . . 0,023. Auf Grund der Überlegung, daß ein verhältnismäßig geringer Querschnitt als Oberfläche des Wassers mit dem Gas in Berührung kommt, wird man das Wasser hier nicht als bedenklich oder gar als Fehlerquelle bezeichnen dürfen. Neben der Hauptforderung, die man an Sperrflüssigkeiten stellen muß, daß sie nämlich keine zu untersuchenden Gase in wesentlichen Mengen lösen dürfen, müssen Sauberkeit und Einfachheit in der Handhabung verlangt werden.

In diesem Zusammenhang erscheint der Hinweis auf eine diesen Stoff behandelnde Arbeit von F.G. Hoffmann¹ angebracht, da hier besonders kohlen säurehaltige Gase berücksichtigt werden, in denen CO₂ noch zu bestimmen ist. Hoffmann fand als geeignetste Flüssigkeit eine Natriumchloridlösung, die 22 Teile NaCl und 78 Teile Wasser enthält (also nicht gesättigt!), wobei ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht wird, daß Ansäuern keine Vorteile bietet, daß Zusatz von Salzsäure sogar die Löslichkeit von Kohlensäure noch erhöht. Aber auch diese Sperrflüssigkeit löst noch merkliche Teile CO₂, was besonders bei dem zuweilen üblichen gemeinsamen Verbrennen von Wasserstoff und Methan im Orsatgerät zu gefährlichen Trugschlüssen führen kann, wenn nämlich von der Kochsalzlösung absorbiertes CO₂ irrtümlich als Wasserstoff gewertet wird.

Kaliumjodid oder Natriumthiosulfat als Vorlage.

Die Frage nach der Vorlage, ob Kaliumjodid oder Natriumthiosulfat-Stärke, ist, wie auch Brösse sagt, umstritten. Er sieht die Vorteile der Kaliumjodidvorlage in dem schnelleren Erkennen, daß ein Gas kein CO enthält, und in der Möglichkeit des qualitativen Nachweises von CO unterhalb der quantitativ erfaßbaren Menge. Beides ist auch mit der anderen Vorlage möglich, wenn man zunächst nur Stärkelösung vorlegt und erst im Augenblick der Bläuung Thiosulfat zusetzt; der qualitative Nachweis ist hier mindestens so scharf wie bei der KJ-Vorlage. Dieser ist aber u. E. ohne Belang, wenn man bedenkt, daß als Fehlergrenze bei der quantitativen CO-Bestimmung nach dem Jodpentoxydverfahren allgemein 0,003% angegeben wird. Andererseits ist zu beachten, daß, wie wir auch in unserem Aufsatz ausdrücklich bemerkt haben, auf jeden Fall jedes Brandgas erst im Wettergerät analysiert wird, wodurch man über den zu erwartenden CO-Gehalt einen gewissen Anhalt hat. Die exakte CO-Bestimmung eines niedrigprozentigen Gases wird dann etwa 30 bis höchstens 40 min in Anspruch nehmen. Die Nachteile der KJ-Vorlage aber liegen zunächst, worauf auch Müller-Neugluck² hinweist, in der leichten Zersetzlichkeit, besonders durch Lichteinwirkung; man muß sie für jeden Versuchstag neu ansetzen. Dagegen ist — auch die 1/300 normale — Thiosulfatlösung erheblich länger haltbar, und ihr Faktor wird an jedem Analysentag erneut festgestellt.

¹ Angew. Chem. 39 (1926) S. 23; Feuerungstechn. 14 (1926) S. 98.

² Glückauf 75 (1939) S. 341.

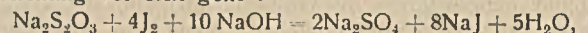
Dazu kommt, daß Kaliumjodid heute verhältnismäßig knapp ist und nach Möglichkeit durch leichter zugängliche Chemikalien, wie Natriumthiosulfat, ersetzt werden sollte.

Ansäuern der Jodlösung.

Brösse sieht weiter in dem Ansäuern der Jodlösung einen Gegensatz zu den Angaben von Treadwell und Lunge-Berl und ist damit wahrscheinlich der Ansicht, daß sich der Säurezusatz erübrigt. Dazu sei grundsätzlich bemerkt, daß die Anwesenheit von nicht zu starker Säure in der Jodlösung die Titration mit Thiosulfat nicht beeinflusst, da die Umsetzungsgeschwindigkeit dieser mit der Jodlösung viel größer ist als die Zersetzungsgeschwindigkeit der freien unterschwefligen Säure¹. Riesenfeld² gibt an: Jodlösung wird in saurer Lösung von Thiosulfat entfärbt; dabei entsteht Tetrathionat:

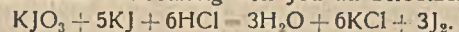


Zwar verläuft diese Reaktion — jodstoffreies Jodid vorausgesetzt — auch in neutraler Lösung noch glatt, während die Umsetzung in alkalischer Lösung nach folgender Gleichung vor sich geht³:



also unter Bildung von Sulfat. Selbst in großer Verdünnung sind Thionate sehr empfindlich gegen OH-Ionen⁴, so daß man sorgfältig darauf achten muß, daß die Lösung neutral reagiert.

Wurde aber, darauf macht Treadwell⁵ ausdrücklich aufmerksam, die Jodlösung mit jodathaltigem Jodid bereitet, so muß man der verdünnten Jodlösung eine entsprechende Menge verdünnter Säure zugeben, um dadurch das Jodat unter Freisetzung von Jod zu zersetzen:



Da nun heute wohl kaum noch ein Industrielaboratorium die Jodlösung selbst mit Jod ansetzt, sondern fast allgemein die praktischen Fixanalysen Substanzen Anwendung finden, so muß darauf besonders hingewiesen werden. Diese enthalten nämlich in Röhrchen genau abgewogene Mengen Jodat mit einer ausreichenden Menge Jodid. Wenn man hiermit eine Jodlösung ansetzt, ist es selbstverständlich aus dem oben dargelegten Grunde unbedingt nötig, eine ausreichende Menge Säure zuzusetzen. Es bleibt also zu beachten, daß die von uns angegebene Säuremenge keinesfalls schaden kann, ganz gleich wie die Lösung angesetzt wurde, daß das Fehlen der Säure aber entweder Schwierigkeiten bei der Titration hervorrufen kann oder sogar zu vollständig falschen Werten führt.

Zusammenfassung.

Die bei der Kohlenoxydbestimmung mit Jodpentoxyd in Brandgasen zu beachtenden Vorsichtsmaßregeln, zumal die Reinigung des Spülgases, Analysentemperatur, Sperrflüssigkeit, Vorlage und das Ansäuern der Jodlösung werden zusammenfassend und kritisch besprochen.

¹ Berl-Lunge: Chem.-Techn. Untersuchungsmethoden, Bd 1. Berlin 1931. S. 163.

² Riesenfeld: Anorganisches Chemisches Praktikum. Leipzig 1923. S. 326.

³ Abel, Z. anorg. Chem. 74 (1912) S. 395.

⁴ Chapin, J. Am. Chem. Soc. 38 (1916) S. 625.

⁵ Treadwell: Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie, Quantitative Analyse. Leipzig 1923. S. 555.

PATENTBERICHT

Gebrauchsmuster-Eintragungen¹,

bekanntgemacht im Patentblatt vom 10. April 1941.

5b. 1500012. Gebr. Eickhoff, Maschinenfabrik und Eisengießerei, Bochum. Schrägmaschine. 5.12.39. Protektorat Böhmen und Mähren.

¹ In den Gebrauchsmustern und Patentanmeldungen, die am Schluß mit dem Zusatz »Österreich und »Protektorat Böhmen und Mähren versehen sind, ist die Erklärung abgegeben, daß der Schutz sich auf das Land Österreich bzw. das Protektorat Böhmen und Mähren erstrecken soll.

5b. 1500234. Gebr. Eickhoff, Maschinenfabrik und Eisengießerei, Bochum. Kerbmaschine für geringmächtige Flöze. 5.8.40.

10b. 1500035. Carl Schunck, Köln-Sülz. Feueranzünder. 30.11.40.

81e. 1500003. »Semperit« Österreichisch-Amerikanische Gummiwerke AG., Wien. Förderband für heißes Gut. 26.2.41.

81e. 1500085. Firma Hermann Hemscheidt, Wuppertal-Elberfeld, und Erbb Maschinenbau, Haßlinghausen. Abdichtung für um feste Achsen umlaufende Räder, Rollen, Walzen, besonders für die Tragrollen von Förderbändern. 10.2.41.

81e. 1500376. Continental-Gummi-Werke AG., Hannover. Förderband. 24.2.41.

Deutsche Patente.

(Von dem Tage, an dem die Erteilung eines Patentes bekanntgemacht worden ist, läuft die fünfjährige Frist, innerhalb deren eine Nichtigkeitsklage gegen das Patent erhoben werden kann.)

35a (10). 704570, vom 22. 9. 38. Erteilung bekanntgemacht am 27. 2. 41. Martha Woernle, geb. Hahn, und Dipl.-Ing. Hugo Müller in Stuttgart. *Schachtförder-einrichtung für mehrseilige Schachtförderanlagen, Aufzüge u. dgl.* Erfinder: Dr.-Ing. Richard Woernle † und Dipl.-Ing. Hugo Müller in Stuttgart.

Bei Fördereinrichtungen für mehrseilige Schachtförderanlagen, bei denen der Antrieb durch eine Treib-scheibe erfolgt und auf beiden Förderkörben oder auf dem Förderkorb und dem Gegengewicht Belastungsausgleicher angeordnet sind, sind an den Belastungsausgleichern Kommunizierungsventile oder andere Sperrvorrichtungen und am Schacht Steuerkurven für die Ventile vorgesehen. Die Sperrvorrichtungen und Steuerkurven sind so an-

geordnet, daß bei der Förderung beide Belastungsausgleicher einerseits zwischen einem in weiten Grenzen beliebig wählbaren Punkt des Förderweges und der Hängebank sowie zwischen dieser und dem wählbaren Punkt in Tätigkeit sind, andererseits von einem zweiten, beliebig wählbaren Punkt des Förderweges bis zum Füllort und vom Füllort bis zu dem zweiten Punkt stillgesetzt sind, d. h. nicht wirken. Die beiden wählbaren Punkte können dabei zeitlich, örtlich oder zeitlich und örtlich zusammenfallen. In den Belastungsausgleichern können Druckmesser vorgesehen werden, die einerseits den in den Ausgleicherzylindern herrschenden Druck oder den Druckunterschied messen, der zwischen dem an der Hängebank und an dem Füllort in den Ausgleicherzylindern herrschenden Druck und dem Druck vorhanden ist, der in den Ausgleicherzylindern an den wählbaren Umsteuerungspunkten herrscht, andererseits die Umsteuerung der Ausgleicher auf Tätigkeit und Stillsetzung bewirken.

ZEITSCHRIFTENSCHAU

(Eine Erklärung der Abkürzungen ist in Nr. 1 auf den Seiten 25–27 veröffentlicht. * bedeutet Text- oder Tafelabbildungen.)

Geologie und Lagerstättenkunde.

Allgemeines. Winter, Heinrich: Die chemischen Beziehungen zwischen Kohle und Erdöl. Glückauf 77 (1941) Nr. 15 S. 235/38. Hinweis auf das Vorkommen von Erdöl, Erdwachs und Asphalt in der Kohle verschiedener Steinkohlengruben. Erörterung der zwischen der Kohle bzw. ihren schonenden Abbauprodukten und dem Erdöl vorhandenen Beziehungen an Hand der beiden Stoffen gemeinsamen Kohlenwasserstoffe sowie ihrer sauerstoff-, stickstoff- und schwefelhaltigen Derivate vom Standpunkte neuer Forschungen.

Ruhrgebiet. Kukuk, Paul, und Dora Wolansky: Gliederung und Ausbildung der oberen Kreide im mittleren Ruhrgebiet unter Berücksichtigung der wichtigsten Leitversteinerungen. Glückauf 77 (1941) Nr. 14 S. 219/21*. Besprechung einer Schautafel, auf der in übersichtlicher Form die Gliederung und Ausbildung der Oberkreideschichten dargestellt sind. Die petrographische Beschaffenheit der Oberkreideschichten, die faziellen Unterschiede und die bezeichnenden Leitversteinerungen.

Bergtechnik.

Allgemeines. Keyser, Theo: Probleme des belgischen Kohlenbergbaues. Bergbau 54 (1941) Nr. 7 S. 97/98. Kurzer Überblick über die ungünstige Lage des belgischen Kohlenbergbaues im Vergleich zu anderen Kohlengruben, die im besonderen durch die geringe Mächtigkeit der Flöze und die Häufigkeit von Störungen bedingt ist. Die arbeitstägliche Förderung je Fördereinheit schwankt in Belgien zwischen 330 und 3500 t; der Durchschnitt beträgt 1200 t (Ruhrgebiet 3000 t). Die Leistung je Mann und Schicht (Gesamtbelegschaft) beläuft sich auf durchschnittlich 0,77 t (Ruhrgebiet 1,6 t). Die zukünftigen Aufgaben: Verbesserung des technischen Standes der Gruben, Verbesserung der Absatzorganisation und der Verkehrswege, im besonderen der Wasserwege.

Müller, O.: Maschinentechnische Neuerungen im amerikanischen Steinkohlenbergbau. Techn. Bl. (Düsseld.) 31 (1941) Nr. 13 S. 187/89*. Kurze Beschreibung verschiedener Schrammaschinen, Lademaschinen, Fördereinrichtungen und einiger anderer Betriebsmittel.

Lewis, Robert S.: New developments and equipment in metal mining. Min. Congr. J. 26 (1940) Nr. 11 S. 14/19*. Allgemeiner Überblick über die Entwicklung und technische Neuerungen des amerikanischen Erzbergbaues. Kurze Betrachtungen über Klimatisierung der Gruben, Abbaufahren, Förderung im Abbau mit Schüttelrutschen und mit Lokomotiven in den Strecken, Schachtförderung, Wasserhaltung u. a.

Bucky, Philip B.: A practical way of attacking problems of structure and ground support. Engineering and Mining Journal 141 (1940) Nr. 7 S. 40/43*. Die Untersuchung des Verhaltens des Gebirges über Abbaueinrichtungen mit Hilfe kleiner Modelle, die zur Schaffung

vergleichbarer Bedingungen mit einer ihrer Größe entsprechenden Geschwindigkeit in einer Zentrifuge bewegt werden. Grundlagen und Durchführung des Verfahrens. Beispiele.

Schürfen. Schimmel, H.: Über ortsbewegliche Rotarybohranlagen. Öl u. Kohle 37 (1941) Nr. 11 S. 185 bis 192*. Neue Bauarten von Bohrtürmen aus Röhren, motorisierte Schürfböhrgeräte mit verspanntem oder freistehendem Teleskopmast usw.

Reich, H.: Über die Grundlagen magnetischer Bohrkernorientierung. Öl u. Kohle. 37 (1941) Nr. 13 S. 213/17*. Grundsätzliches über die Gesteinsmagnetisierung. Anwendungsmöglichkeit der magnetischen Kernorientierung. Ergebnisse eigener Untersuchungen über die magnetischen Eigenschaften an Bohrkernen und Folgerungen für das Verfahren. Magnetische Bestimmung von oben und unten bei einem Bohrkern. Schrifttum.

Börner, Rudolf: Der gegenwärtige Stand spezifischer Braunkohlen-Untersuchungen durch das Geoskopverfahren (Stand Ende 1940). Braunkohle 40 (1941) Nr. 12 S. 133/36* u. Nr. 13 S. 146/51*. Zusammenfassung und Handhabung des Meßgeräts. Auswertung der Meßergebnisse in verschiedenen Untersuchungsgebieten. Überblick über die Anwendbarkeit des Geoskopverfahrens im mittel- und ostdeutschen Braunkohlenbergbau. Schrifttum.

Förderung. Malter, F.: Eine neue Wagenumsetzvorrichtung für Füllstellen: »Die Kleinkurve«. Glückauf 77 (1941) Nr. 15 S. 238/40*. Beschreibung der im Betriebe erprobten Einrichtung. Anwendungsbeispiele.

Bewetterung. Wijffels, F. C. M.: Stijgende en dalende Ventilatie. Geol. Mijnbouw 2 (1940) Nr. 11 S. 233/62*. Eingehende Erörterung der Vorteile, die die abfallende Wetterführung gegenüber der aufsteigenden bietet. Der Einfluß der abfallenden Wetterführung auf die Bildung und Ablagerung von Kohlenstaub im Abbau, auf das Grubenklima und die Abführung des ausströmenden Methans. Ergebnisse von Messungen in aufsteigend und abfallend bewetterten Betrieben. Die besondere Bedeutung der abfallenden Wetterführung im Hinblick auf das Vorrücken des Abbaues in größere Teufen.

Hanot, Ch.: Le problème de la chaleur et de l'humidité dans les exploitations charbonnières à grande profondeur. Rev. Univ. Mines 84 (1941) Nr. 3 S. 93/103*. Allgemeiner Überblick über die Möglichkeiten der Klimaverbesserung in heißen, tiefen Kohlengruben. Die Quellen der Erwärmung und der Feuchtigkeitsaufnahme der Wetter; bergmännische und technische Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung. Schrifttum.

Kohlen- und Gesteinstaub. Owings, C. W., W. A. Selvig und H. P. Greenwald: Methods of sampling and analyzing coal-mine dusts for incombustible content. Information Circ. Bur. Min. Nr. 7113 (1940) 12 S*. Verfahren zum Nehmen von Staubproben in Steinkohlengruben und zur Untersuchung von Stauben auf ihren Gehalt an Unverbrenlichem. Beschreibung von Probennehmern; Durchführung der Probenahme und weitere

¹ Einseitig bedruckte Abzüge der Zeitschriftenschau für Kartellzwecke sind vom Verlag Glückauf bei monatlichem Versand zum Preise von 2,50 RM für das Vierteljahr zu beziehen.

Behandlung der Staubproben. Aufbau und Arbeitsweise des vom Bureau of Mines entwickelten Volumeters zur Bestimmung des Gehalts an Unverbranntem. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Hartmann, Irving, und H. P. Greenwald: Use of wetting agents for allaying coal dust in mines. Information Circ. Bur. Min. Nr. 7131 (1940) 12 S.* Mitteilung von Versuchen, die Staubbildung in Kohlengruben mit Hilfe bestimmter organischer Stoffe, die, mit Wasser vermischt und versprüht, eine besondere benetzende Wirkung haben, zu bekämpfen.

Wijffels, F. C. M.: Stoffbestrijding in fabrieken en werkplaatsen. III. Eenige mededeelingen betreffende de stofbestrijding in de ondergrondse werken eener steenkolenmijn. Ingenieur (Haag) 56 (1941) Nr. 9 S. G 13/18*. Die Bekämpfung der Staubbildung beim Gesteinstreckenvortrieb, beim Bohren, Schießen und Laden. Maßnahmen zur Verhütung der Kohlenstaubentwicklung, im besonderen an den Ladestellen. Hinweis auf die Verminderung der Kohlenstaubentwicklung und -ablagung, die sich durch Führung des Wetterstromes mit dem Kohlenstrom in Abbaubetrieben und Strecken erzielen läßt.

Grubenrettungswesen. Forstmann, Richard, Wilhelm Haase-Lampe und Franz Hollmann: Die Problematik des rein lungenautomatischen Sauerstoff-Schutzgerätes. Sauerstoff-Schutzgerät mit Regeneration oder Druckgasvorrats-Schutzgerät (Behältergerät) ohne Regeneration der Atemluft? (Forts.) Z. ges. Schieß- u. Sprengstoffwes. 36 (1941) Nr. 3 S. 63/66*. Die geschichtliche Entwicklung des Druckgasvorratsgerätes ohne Regeneration der Ausatemluft. (Forts. f.)

Wetterwirtschaft. Isaiji, Basilius: Untersuchungen eines Ventilators im Betriebe. Glückauf 77 (1941) Nr. 15 S. 229/35*. Aufstellung der vollständigen Charakteristik des Ventilators und Behandlung seiner Arbeitsweise unter Berücksichtigung folgender Faktoren: 1. Wettergewicht und natürliche Depression, 2. Widerstand des Wetternetzes, 3. Auftreten der Gase und Brandneigung des Flözes. Zweckmäßigkeit eines Aushilfsventilators und Möglichkeit seines Zusammenarbeitens mit dem Betriebsventilator.

Markscheidewesen. Lehmann, Karl: Kritik und Durchführung von Kohlenberechnungen. Glückauf 77 (1941) Nr. 14 S. 213/19*. Vermeidliche Fehler; fehlende Bezugsangabe, unrichtige Bauwürdigkeitsabgrenzung, unrichtige Berechnung der Verluste. Unvermeidliche Fehler; mangelhafte Flözprojektion, fehlerhafte Ermittlung der Flözmächtigkeiten, unrichtige Ermittlung der Abzüge. Die Durchführung der Berechnungen. Zahlenbeispiel für eine Kohlenberechnung. Auswertung und Darstellung.

Aufbereitung und Brikettierung.

Steinkohle. Bird, Byron M.: Losses of coal in preparation. Min. Congr. J. 26 (1940) Nr. 11 S. 29/33 und 59*. Die Entstehung von Waschverlusten bei der Kohlenaufbereitung. Wege zur Ermittlung und Vermeidung. Zahlenbeispiele.

Erz. Differential density separation at Macot, Tennessee. Engineering and Mining Journal 141 (1940) Nr. 7 S. 35/39*. Die Aufbereitung eines 5,4% Zinkblende und 1,3% Eisen als Oxyd enthaltenden Erzes nach dem Schwerflüssigkeitsverfahren mit einer Aufschwemmung von Bleiglanz in Wasser. Aufbau und Arbeitsweise einer Großanlage. Betriebsergebnisse.

Chemische Technologie.

Ammoniak. Thau, Adolf: Ammoniumsulfaterzeugung auf Kokereien. I. Ammoniakwasserdestillation. Öl u. Kohle. 37 (1941) Nr. 13 S. 217/29*. Zusammensetzung des Ammoniakwassers. Unmittelbare Ammoniakgewinnung. Destillation des Ammoniakwassers. Bau- und Wirkungsweise der Ammoniakabtreiber. Nebeneinrichtungen. Ammoniakabtreiberbetrieb und Störungen.

Benzol. Rosendahl, Fritz: Neuerungen auf dem Gebiete der Benzolgewinnung und Benzolreinigung. Techn. Bl. (Düsseld.) 31 (1941) Nr. 13 S. 189 und 190*. Das Aufarbeiten von gesättigtem Waschöl nach Bube, die Reinigung von Rohbenzol mit Hilfe von Paraffinmonokarbonsäuren und die Gewinnung von Reintoluol nach Gieseler.

Gasanalyse. Roth, F.: Eine Methode zur Feuchtigkeitsbestimmung in Gasen (Nachtrag). Brennstoff-Chem. 22 (1941) Nr. 7 S. 77/78. Abänderung des früher (Brennstoff-Chem. 20 [1939] S. 317) beschriebenen, auf

der Umsetzung von Magnesiumnitrit durch die Feuchtigkeit des zu untersuchenden Gases beruhenden Verfahrens für den Fall, daß Gase untersucht werden, deren Temperatur höher als die Außentemperatur liegt. Der Einfluß von Kohlensäure auf die Bestimmung.

Gasreinigung. Leithe, F.: Die Staatsmijnen-Otto-Verfahren zur Entschwefelung von Gasen und Auswaschung des Cyans. Teil 2. Die Auswaschung des Schwefelwasserstoffs und Gewinnung von Schwefel. Brennstoff-Chem. 22 (1941) Nr. 5 S. 49/57*. Allgemeines. Betriebsweise. Die Verarbeitung des gewonnenen Schwefelschaumes. Die chemischen Vorgänge. Beschaffenheit und Zubereitung der erforderlichen Waschflüssigkeit. Der Restgehalt an Schwefelwasserstoff im Endgas. Das Ausbringen an elementarem Schwefel. Die Vermeidung von Nebenreaktionen. Betriebskosten. Schrifttum.

Rosendahl, Fritz: Aus der Technik der Behandlung von Kohlendgasen. II. Entfernung von Naphthalin aus dem Gas unter Druck. Öl u. Kohle 37 (1941) Nr. 13 S. 234/36*. Beschreibung der Bauart und Arbeitsweise der Entnaphthalinungsanlagen nach Dr. C. Otto und H. Koppers.

Gaslöslichkeit. Sattler, H.: Über die Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten. Öl u. Kohle. 37 (1941) Nr. 13 S. 230/34. Ableitung der Löslichkeitsformel mit Hilfe des Begriffes der chemischen Grundreaktionsarbeit sowie des chemischen Potentialbegriffes. Allgemeine Formel für Zweiphasengleichgewichte und ihre Anwendung auf die Gaslöslichkeit.

Recht und Verwaltung.

Sozialversicherung. Glenz, A.: Wichtige Neuerungen in der Sozialversicherung. Das Kriegsgesetz vom 15. Januar 1941. Braunkohle 40 (1941) Nr. 12 S. 136/40. Rente (Ruhegeld) und Arbeitsverdienst. Beginn der Hinterbliebenenrenten. Fristen für Beitragsnachentrichtung. Verbesserung der Anwartschaftserhaltung. Wartezeit in der Invalidenversicherung. Wartezeit für Soldaten. Mehrleistungen auf dem Gebiet der Krankenversicherung. Vertrauensärztliche Nachuntersuchungen, Leistungen für geschlechtskranke Mitglieder. Weitere Einzelheiten.

Wirtschaft und Statistik.

Kohle und Eisen. Nierhaus, H.: Kohle und Eisen in einigen westeuropäischen Ländern. Bergbau 54 (1941) Nr. 7 S. 98/107*. Überblick über die Kohlen- und Eisenerzlagertätten der Niederlande, Belgiens, Luxemburgs und Frankreichs. Die Beschaffenheit der Vorkommen. Die Entwicklung der Steinkohlen- und Eisenerzförderung; die Erzeugung von Roheisen und Rohstahl. Der Kohlen- und Eisenmarkt in den genannten Ländern; Einfuhr und Ausfuhr.

Verschiedenes.

Großzahlforschung. Daeves, Karl, und August Beckel: Auswertung von Betriebszahlen und Betriebsversuchen durch Großzahlforschung. Chem. Fabrik 14 (1941) Nr. 7 S. 131/43*. Zweck der Großzahlforschung. Analyse von Häufigkeitskurven. Auswertungsbeispiele. Anwendung auf Gebieten, die der Chemie nahe stehen: Gewinnung von Normalwerten, Herauszüchtung eines Erzeugnisses mit bestimmten Eigenschaften, Schwachstellenauswertung. Allgemeine Anwendbarkeit der Großzahlforschung.

P E R S Ö N L I C H E S

Überwiesen worden sind:

der Assessor Ewers aus Dortmund dem Oberbergamt Dortmund,
der Bergassessor Sievers dem Bergrevier Goslar-Nord.

Der Bergreferendar Hans-Hugo Nierhoff (Bez. Dortmund) ist zum Bergassessor ernannt worden.

Der Dozent Dr. phil. habil. Erich Stach, Kohlengeologe an der Reichsstelle für Bodenforschung, ist zum außerplanmäßigen Professor an der Universität Berlin ernannt worden.

Gestorben:

am 13. April in Oelsnitz i. E. der Bergdirektor Dipl.-Ing. Hermann Knaut, Betriebsführer und stellvertretender Grubenvorstandsvorsitzer der Gewerkschaft Deutschland in Oelsnitz i. E.