

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 12

Artikel: Entgiftung des Stadtgases
Autor: Escher, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-54016>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

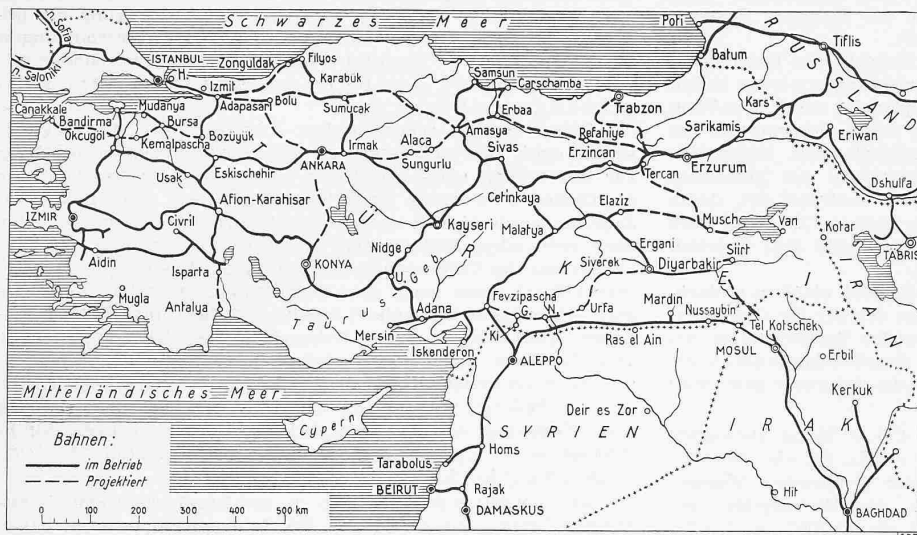
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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



die Luftlinie zwischen den beiden Städten nur rd. 230 km misst! Im Sommer besteht allerdings auch die Möglichkeit, die Reise im Auto, quer durch die heisse und sehr dünn besiedelte Steppe, am grossen Salzsee vorbei, zu unternehmen. Für den ganzjährigen Verkehr müsste jedoch eine gründliche und sehr kostspielige Verbesserung der Strasse vorgenommen werden. Die neuesten Untersuchungen haben offenbar dazu geführt, dem Bahnbau aus wirtschaftlichen Gründen den Vorzug zu geben.

Schliesslich ist noch ein Eisenbahn-Projekt zu erwähnen, das Amasya (rund 80 km südlich Samsun) mit Alaca und Sungurlu verbindet und weiter in die Taurus-Express-Linie³⁾ nach Ankara einmündet. Abgesehen von der Erschliessung dieser Landesgegend wird dadurch die für die Reise vom Schwarzmeer-Hafen Samsun nach Ankara erforderliche Zeit auf fast die Hälfte herabgesetzt werden können.

Im Rahmen allgemeiner Untersuchungen über die Betriebskosten ist im Verkehrsministerium in Ankara auch die Frage der Wirtschaftlichkeit der Elektrifikation der türkischen Bahnen überprüft worden. Ausgehend von den Erfahrungen, die bei der Einführung der elektrischen Traktion bei deutschen und schweizerischen Bahnen gemacht werden konnten, sind die von den europäischen stark abweichenden türkischen Betriebsverhältnisse dabei berücksichtigt worden. Im allgemeinen weist das türkische Bahnnetz grosse Stationsabstände, verhältnismässig schwache Zugsfrequenzen und teilweise geringe Zugbelastungen auf. Lange Rampen mit erheblichen Steigungen sind in dem stark gegliederten Gebirgsland aber keine Seltenheit. Da, aus Mangel an geeigneten Wasserkraften⁴⁾, die elektrische Energie in der Hauptsache aus inländischen Kohlen erzeugt werden muss, sind die Kraftzentralen an die Kohlenlagerstätte bei Zonguldak am Schwarzen Meer gebunden. Von dort aus müsste der Energie-transport nach den Unterstationen längs des Bahnnetzes gehen. Es würde sich also um die Ueberführung verhältnismässig geringer Energiemengen über grosse Strecken handeln. Auf Grund dieser Verhältnisse ist dem Energietransport aber bald eine Grenze gesetzt, über die hinaus die Elektrifikation nicht mehr wirtschaftlich erscheint. Es kommen deshalb im besten Falle nur die am stärksten belasteten und in nicht zu grosser Entfernung vom Energiezentrum liegenden Linien, also zum Beispiel der schon erwähnte Hauptstrang Haydarpascha-Eskischehir-Ankara und die vom Kohlenbecken in das Innere führende Kohlentransportstrecke Zonguldak-Karabük-Irmak (-Ankara) für den Umbau auf elektrischen Betrieb in Frage. Für alle übrigen Eisenbahnlinien der Türkei dürfte sich unter den gegenwärtigen Umständen die Elektrifikation wirtschaftlich nicht rechtfertigen lassen.

Interessenten finden weitere Angaben über die Projektierung und den Bau der türkischen Bahnen in den alljährlich erscheinenden Veröffentlichungen (Bayindirlik ischleri dergisi) des türkischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten.

E. Stambach

³⁾ Der Taurus-Express von Haydarpascha nach Adana wird seit dem Jahre 1933 von Eskischehir über Ankara und Kayseri-Nigde geleitet, während die ursprüngliche Hauptverbindung von Eskischehir über Konya als Durchgangsrouten an Bedeutung verloren hat.

⁴⁾ Vgl. Bd. 122, Seite 259 (1943).

Entgiftung des Stadtgases

[Die folgenden Ausführungen, die dem Gasfachmann nichts wesentlich Neues bieten, dürften einen weiteren Kreis von Technikern interessieren. Red.]

Zu den technisch wichtigsten Gasen, die auch im Haushalt eine Rolle spielen, gehört das als Brenngas wertvolle, aber stark giftige Kohlenoxyd. Es entsteht bei trockener Destillation der Steinkohle und bei unvollkommener Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Im Generatorprozess und im Wassergasprozess wird Kohlenoxyd in ungeheuren Mengen erzeugt. Das heute und auch in Zukunft von den Gaswerken abgegebene Gas, das am besten als «Stadtgas» bezeichnet wird (gaz de ville), ist eine Mischung von Steinkohlengas und Wassergas. Es ist infolge seines mehr oder weniger hohen Kohlenoxyd-Gehaltes giftig.

Daher werden schwere Unfälle durch unverbrannt ausströmendes Gas nicht verschwinden, wenn nicht ein entgiftetes, d. h. kohlenoxydfreies Gas abgegeben wird, wie dies heute technisch und wirtschaftlich einwandfrei durch Umwandlung (Konvertierung) des CO in ein anderes wertvolles Brenngas möglich ist. Ueber die Gefahr der Kohlenoxydvergiftung gibt die einschlägige Literatur reichlich Aufschluss.

Die CO-Vergiftung erfolgt dadurch, dass beim Einatmen CO-haltiger Luft sich das CO an Stelle des Sauerstoffes in der Lunge mit dem Haemoglobin der roten Blutkörperchen zu CO-Haemoglobin verbindet. Das CO hat im Vergleich zum Sauerstoff gegenüber dem Haemoglobin in den roten Blutkörperchen eine etwa 250mal grössere Affinität. Ist auch nur ein geringer CO-Gehalt in der Atemluft vorhanden, so erfolgt die Bildung von CO-Haemoglobin sehr rasch, auch wenn an und für sich genügend Sauerstoff in der Luft vorhanden ist; das CO verdrängt gewissermassen den Sauerstoff aus den roten Blutkörperchen, und es treten gefährliche Vergiftungserscheinungen ein, selbst bei geringen CO-Mengen in der Atemluft. Nach Zangger und Andern ist ein CO-Gehalt von 0,01 Vol. % die Grenze, bei der keine merkbare Wirkung mehr auftritt; bei 0,02 ÷ 0,05 Vol. % entstehen Benommenheit, Kopfschmerzen usw.; bei 0,1 Vol. % sind bei mehrstündigem Einatmen schon eigentliche Vergiftungserscheinungen wahrnehmbar, während ein Gehalt von 0,2 Vol. % nach einer halben Stunde tödlich wirkt. Bei höherem CO-Gehalt tritt der Tod nach wenigen Minuten ein. 0,1 Vol. % CO-Gehalt in der Atemluft ist daher die obere Grenze der Konzentration, die nicht direkt gefährlich wirkt. Akute Vergiftung (hoher CO-Gehalt der Atemluft) verursacht tiefe Bewusstlosigkeit und schlechte Atmung. Wird rasch Hilfe gebracht und kommt die Atmung wieder in Gang, so erfolgt meist baldige Erholung. Bei langsamer Vergiftung tritt Bewusstlosigkeit bei relativ guter Atmung ein. Dennoch verlaufen solche Vergiftungen trotz ärztlicher Hilfe oft tödlich, wenn auch manchmal erst nach Tagen (Kölsch «Lehrbuch der Gewerbehygiene»). Wiederholte leichte, oft unbeachtete CO-Vergiftungen, also chronische Vergiftungen, können nach Angabe verschiedener Autoren zu langwierigen Erkrankungen führen, die ein sehr verschiedenes Bild zeigen und daher oft gar nicht sicher erkannt werden. Es ist also nicht nur die akute CO-Vergiftung, sondern auch die chronische, wiederholte CO-Vergiftung, wie sie bei unbeachteten geringeren Gasausströmungen vorkommt (schwacher Gasgeruch), gefährlich. Hierauf näher einzutreten, würde zu weit führen; es sei auf die angeführte Literatur verwiesen¹⁾.

Bei der unvollkommenen Verbrennung, die die Grundlage des Generatorprozesses ist, entsteht das Kohlenoxyd durch die Reaktion zwischen dem glühenden Kohlenstoff und dem Sauer-

¹⁾ Hauser, Beitrag zur Kenntnis der Kohlenoxydvergiftung (Diss. 1914). — Zangger, Medizin und Recht (1920). — Ochsenr, Kasuistik der CO-Vergiftung (Diss. 1920). — Lewin, Lehrbuch der Toxikologie (1929). — Süpfe, Deutsche Medizin. Wochenschrift (1930). — Holm, Medizinische Welt (1933). — Gerbis, Zeitschrift für Gewerbehygiene (1934). L. c. Zur Frage d. chron. CO-Vergiftung (1925). — Kölsch, Deutsche Medizin. Wochenschrift (1934), und Handbuch der Gewerbehygiene (1937). — Moeschlin & Wildermuth, Das Verhalten des Blutzuckers bei experimenteller CO-Vergiftung und bei Stickstoffatmung (1941). — Schwarz, Zur medizinischen Toxikologie des Kohlenoxyds (1943).

stoff, in der Regel dem Luftsauerstoff. Das Kohlenoxyd (CO) ist mit dem Wasserstoff die Grundlage der Synthese flüssiger Kohlenwasserstoffe (künstlicher Benzine).

Die heute benötigten ungeheuren Mengen von Kohlenoxyd und Wasserstoff zur Herstellung von Synthesegas werden in den Kohle produzierenden Ländern zur Hauptsache durch den Wassergasprozess gewonnen. Leitet man in einem Generator in die glühende Brennstoffschicht (Koks, Anthrazit oder Holzkohle) Wasserdampf ein, so tritt durch Einwirkung des glühenden Kohlenstoffs auf den Wasserdampf eine Reaktion ein, deren Endergebnis durch die Gleichung $C + H_2O = CO + H_2$ grob ausgedrückt werden kann. Das Wassergas sollte also demnach aus gleichen Teilen CO und H_2 bestehen.

Die Reaktion verläuft aber in Wirklichkeit nicht so einfach. Da die Wassergasreaktion die Grundlage des für die Gasentgiftung in erster Linie in Betracht kommenden Verfahrens ist, sei auf diesen Prozess, der seit langem ein eingehendes Studium erfahren hat, kurz eingetreten. Eine reiche Literatur gibt über diese Untersuchungen Auskunft²⁾.

Die primäre Reaktion $C + H_2O = CO + H_2$ ist überlagert durch die Reaktion $CO + H_2O = CO_2 + H_2$, die als «Wassergasgleichgewicht» bezeichnet wird. Je nach Temperatur, Wasserdampf-Ueberschuss, Reaktionsfähigkeit des Brennstoffs und zum Teil auch bei Anwesenheit anderer als Katalyte wirkender Stoffe überwiegt die eine oder andere Reaktion, sodass ein Wassergas ausser CO und H_2 immer mehr oder weniger CO_2 enthält und mehr H_2 als CO. Im allgemeinen gilt, dass bei niedrigeren Temperaturen der Gehalt an CO_2 höher ist; man erhält dann schlechteres Wassergas.

Bei der Reaktion $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ sind die vier Gase im Gleichgewicht (Wassergasgleichgewicht) und je nach den Bedingungen (Temperatur) verläuft sie in der einen oder anderen Richtung. Durch einen Katalyten kann sie beschleunigt, aber nicht in der Weise beeinflusst werden, dass sie sich bei gegebener Temperatur umkehrt. Bei niedrigeren Temperaturen von $300 \div 500^\circ$ bei Anwendung eines Eisenoxyd-Katalyten verläuft sie von links nach rechts. Diese oxydative Konvertierung (Oxydation des CO zu CO_2 und H_2) ist schon lange bekannt. Bereits in den Achtzigerjahren des vorigen Jahrhunderts wurde von der «Cie. du Gaz de Lyon»³⁾ dieses Verfahren zur Umwandlung des Kohlenoxyds im Wassergas in Wasserstoff und Kohlensäure angegeben. Diese Reaktion dient auch für die Wasserstoffherstellung für die erste erfolgreiche Gas-Synthese, die Ammoniak-Synthese aus Wasserstoff und Luftstickstoff nach dem Haber-Bosch-Verfahren, mit dem die Gas-Synthese in der Grossindustrie Eingang fand.

Weiter ist aber auch die Möglichkeit der Reduktion des Kohlenoxydes mit Wasserstoff bei Anwesenheit eines Katalyten und entsprechender Temperaturen in gasförmige oder flüssige Kohlenwasserstoffe, d. h. die reduktive Konvertierung oder Hydrierung, bekannt. Sie ist die Grundlage für die Synthese flüssiger Kohlenwasserstoffe (Benzine). Auch hier ist der Wassergasprozess in den kohlereichen Ländern der Ausgang für die CO- und H_2 -Darstellung. Ueber einen Nickelkatalyten lässt sich bei Temperaturen von $300 \div 500^\circ$ folgende Reaktion durchführen:

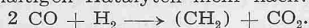


Wir erhalten also Methan CH_4 und Wasser.

Nach dem Verfahren von Fischer-Tropsch für die Benzinsynthese wird das Kohlenoxyd mit Wasserstoff zu flüssigen Kohlenwasserstoffen hydriert. Diese Reaktion ist heute unter normalem Druck und ähnlichen Temperaturen wie die Methan-Synthese bei entsprechenden Katalyten möglich. Bei Anwendung eines Kobalt-Katalyten verläuft die Reaktion mehr nach der Gleichung:



bei einem eisenhaltigen Katalyten mehr nach:



Diese Reaktionen können nicht mit den weiter oben angegebenen gleichgestellt werden. Die erhaltenen flüssigen Kohlenwasserstoffe sind keine einheitlichen Körper; (CH_2) ist nicht die Formel für ein Benzin, sondern gibt nur das Verhältnis von C und H_2 an. Neben flüssigen entstehen immer gasförmige schwere Kohlenwasserstoffe und Wasser. Die erzielbare Ausbeute an flüssigen Kohlenwasserstoffen bleibt erheblich unter der theoretischen.

Durch Verunreinigungen, hauptsächlich Schwefelverbindungen, im zu behandelnden Vorgas werden die bei der reduktiven

Konvertierung gebräuchlichen Katalyten leicht vergiftet, d. h. unwirksam. Es ist daher auf eine sorgfältige Reinigung des benutzten Gases besonders von organischen Schwefelverbindungen zu achten, was mit Energieaufwand und Kosten verbunden ist.

Anwendung der Konvertierung für die Entgiftung von Stadtgas

Diese kurzen, schematischen Angaben über die Möglichkeiten einer Konvertierung des Kohlenoxydes zeigen den Weg zur Herstellung eines entgifteten Stadtgases, ein Problem, das die Gasindustrie schon lange beschäftigt hat. Dem Franzosen Jaquelin wurde bereits im Jahre 1845, also vor Bekanntgabe der oben erwähnten Mitteilungen der «Cie. du Gaz de Lyon», ein Patent auf die Verbrennung des CO durch Wasserdampf erteilt, und d'Huart weist nach, dass Bestrebungen zur Entgiftung des Steinkohlengases in England bereits auf das Jahr 1823 zurückgehen. Aber erst die neuere Erkenntnis, dass die Konvertierung auch in einem Gasgemisch erfolgreich verläuft, das neben CO und H_2 noch andere Komponenten enthält, wie das beim Stadtgas der Fall ist, hat der Gasentgiftung den Weg geebnet. Da auch Kombinationen der verschiedenen Konvertierungen durchführbar sind, ergeben sich mehrere Möglichkeiten der CO-Umwandlung im Stadtgas⁴⁾.

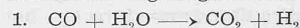
Ein normales Stadtgas ist in der Regel ein Gemisch aus Steinkohlengas und Wassergas. Die beiden Komponenten haben etwa folgende prozentuale Zusammensetzung:

	Kammerofengas nach Benzolwäsche	Wassergas
CO_2	2,8	6,0
CmHn	2,6	—
O_2	0,5	0,3
CO	6,0	39,0
H_2	55,9	49,0
CH_4	27,2	0,2
N_2	5,0	5,5
	100,0 %	100,0 %
Ho kcal/nm ³	5150	2700

Für die weitere Betrachtung der Frage der CO-Konvertierung, d. h. der Entgiftung des Stadtgases, werde mit einem Stadtgas von Ho = 4500 kcal/nm³ gerechnet, da erwartet werden darf, dass bei Rückkehr normaler Zeiten und besserer Kohlenzufuhr der Heizwert des Stadtgases wieder auf diese Höhe gebracht werden wird. Wirtschaftliche Gründe sprechen gegen eine noch weitere Erhöhung. Das heute gebräuchliche Gas von Ho 4500 besteht aus einer Mischung von 73,5 % Kammerofengas und 26,5 % Wassergas. Es hat etwa folgende Zusammensetzung (Angaben vom Laboratorium des Gaswerks Schlieren, Mittel vom Jahr 1939):

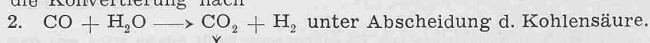
CO_2	3,5
CmHn	1,9
O_2	0,4
CO	14,8
H_2	54,1
CH_4	20,1
N_2	5,2
	100,0 %
Ho	4500 kcal/nm ³

Nach dem oben Gesagten stehen für die Umwandlung des CO u. a. folgende Konvertierungsmöglichkeiten zur Verfügung⁵⁾:



Diese Konvertierung verläuft glatt und mit gutem Nutzeffekt über einen unempfindlichen Eisenoxyd-Katalyten bei Temperaturen von $300 \div 500^\circ$ C. Der Vorgang verläuft exotherm. Da Wasserstoff einen Ho 3070 kcal/nm³, Kohlenoxyd einen solchen von 3040 hat, beide also praktisch gleich sind, entsteht durch die Umwandlung des CO in gleiche Mengen H_2 , bezogen auf den oberen Heizwert, kein Energieverlust; dagegen tritt eine Volumenvermehrung um das umgesetzte CO, bzw. das sich bildende CO_2 , und daher eine Heizwertverminderung prozentual zur Volumenvermehrung ein. Konvertieren wir bei einem Stadtgas, das z. B. 11 % CO enthält, das CO zu einem Restgehalt von 1 %, so vergrössert sich das Volumen des konvertierten Gases um 10 % und vermindert sich der Heizwert um 10 %, wenn das CO_2 im Gas gelassen wird, was auch technische Vorteile bietet.

Nach verschiedenen Verfahren ist es aber auch möglich, die Kohlensäure im konvertierten Gas zu entfernen. Dann verläuft die Konvertierung nach



²⁾ Arbeiten von Langlois, Jaquelin, St. Claire Deville, H. Bunte, H. Strache, K. Bunte, E. Terres, M. Dolch, Gwosdz, P. Dolch u. a. m.

³⁾ Nach H. Fierz und H. Strache und nach «Journal des usines à gaz» 1910.

⁴⁾ Mezger, Bulletin des S. V. G. W. 1935.

⁵⁾ Hs. Deringer, «Die Veränderung von Gasausbeuten, Kohle- und Koksverbrauch als Folge von Konvertierungen von Gasbestandteilen». Bulletin des S. V. G. W. 1944, Nr. 8.

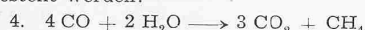
Das Entfernen der Kohlensäure bringt Kosten und unter Umständen Verluste mit sich und ist nicht wirtschaftlich. Dagegen sind Heizwert und Volumen dem Vorgas angenähert gleich.

Reduktive Konvertierung nach

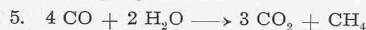


Wir erhalten Methan und Wasser. Diese Umsetzung ist stark exotherm. Durch Verbrennen von $\frac{1}{3}$ des umgesetzten Wasserstoffs zu Wasser ergibt sich ein erheblicher Energieverlust. Das Gasvolumen schrumpft um das Dreifache des umgesetzten CO, da 1 RT CO und 3 RT H₂ nur 1 RT CH₄ ergeben und das Wasser sich kondensiert. Diese Konvertierung kommt für Entgiftung des Stadtgases nicht in Betracht. Es ist infolge der Volumenschrumpfung nicht möglich, einen wirtschaftlichen Heizwert zu erreichen. Dagegen wird dieses Verfahren von der Ruhrgas AG. zur Anreicherung eines normalen Kokereigases mit Methan angewandt. Ein solches methanisierendes Gas mit einem Ho rd. 6000 kcal/nm³ dient besonders als Flaschengas (in Stahlflaschen komprimiert) als Treibstoff für Motorfahrzeuge. Da sich dieser Brennstoff billiger stellt als Benzin und auch im Motor mit besserem Nutzeffekt verbrennt, ist diese Anwendung auch für hiesige Verhältnisse nicht ausgeschlossen.

Eine Kombination der Konvertierung nach 1. und 3. sowie 2. und 3. ist möglich. Unterwirft man in einer ersten Stufe nur teilweise das CO der oxydativen Umwandlung und das Gemisch in einer zweiten Stufe der reduktiven, wobei der Rest des CO mit H₂ in CH₄ umgesetzt wird, so kann der gesamte Ablauf wie folgt dargestellt werden:



Bei diesem kombinierten zweistufigen Verfahren kann das konvertierte Gas in Volumen und Heizwert dem Vorgas etwa gleichgehalten werden. Es ist von Kemmer vorgeschlagen worden, das Verfahren durch Ablauf in einer Stufe zu vereinfachen. Auch hier kann das gebildete CO₂ adsorbiert oder ausgewaschen werden, wobei sich der Vorgang darstellt:



Die Beseitigung der Kohlensäure wirkt sich hier besonders unwirtschaftlich aus.

Die Konvertierung zu flüssigen Kohlenwasserstoffen nach Fischer-Tropsch stellt ein wesentlich schwierigeres Problem dar. Sie verläuft, wie bereits angegeben, bei einem Kobalt-Katalyten mehr nach der Formel:



bei einem Eisen-Katalyten mehr nach



6. ist stark exotherm, verbunden mit erheblicher Volumenschrumpfung, während bei 7. der Volumenschwund durch Verbleiben des Kohlenoxydes in der Mischung wesentlich geringer ist. Da 6. wie auch die Methanisierung nach 3. bei den in Betracht kommenden Verhältnissen einen zu hohen Heizwert ergibt, ist diese Konvertierung von Stadtgas nicht anwendbar.

Nach Ansicht massgebender Fachleute ist in der Praxis anzunehmen, dass die beiden Vorgänge nebeneinander verlaufen. Es ist daher für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit und Vergleich mit den anderen Konvertierungsmöglichkeiten dieser Fall angenommen worden.

Die erhaltenen Benzine sind nicht kloppfest und müssen durch Kracken oder Verschnitt für moderne Fahrzeuge geeignet gemacht werden. Die Ausbeute bei der Konvertierung des CO in flüssige Kohlenwasserstoffe ist unsicher. Man ist ebenso berechtigt, z. B. mit 30 % der theoretischen Ausbeute zu rechnen als mit 50 %. In den Verhältnissen, wie sie für Gaswerke vorliegen, bei denen die Erzeugung von Stadtgas immer die Hauptsache sein wird und der Betrieb dieser Forderung angepasst werden muss, kann eher die untere Grenze angenommen werden⁶⁾. — Mit der Konvertierung des CO zu Benzin oder benzinähnlichen Stoffen wird ein Gebiet berührt, das nach den verschiedensten Richtungen noch sehr der Abklärung bedarf, worauf hier nicht eingetreten werden soll.

Für die vorliegenden Betrachtungen ist wesentlich, dass die reduktiven Verfahren stets einen beträchtlichen Volumenschwund des Vorgases bedingen und, was die Konvertierung 4. und 6. anbetrifft, nicht für normales Stadtgas durchführbar sind, um einen angemessenen wirtschaftlichen Heizwert einzuhalten.

Die Konvertierung beeinflusst das Volumen und die Zusammensetzung eines konvertierten Gasgemisches und damit den Heizwert. Wesentlich ist, dass aus der Konvertierung ein Gas hervorgeht, das dem Heizwert und den Brenneigenschaften des bisher abgegebenen Gases oder dem für die Zukunft in Aussicht genommenen entspricht. Es ist daher das in den Prozess einzu-

leitende Gas, das sog. «Vorgas» (in der Regel eine Mischung von Steinkohlengas und Wassergas), auf die durch die Konvertierung eintretenden Veränderungen abzustimmen, damit man ein CO-armes Gas vom gewünschten Heizwert erhält.

Die Wirtschaftlichkeit eines Gaserzeugungs-Verfahrens beurteilt der Gasfachmann im allgemeinen nach der Differenz zwischen dem Kohleneinkaufspreis und der Summe des Erlöses aus den Nebenprodukten Koks, Teer und Benzol, bezogen auf die Kubikeinheit, d. h. 1 m³ erzeugten Gases, welcher Wert als die ungedeckten Kohlekosten bezeichnet wird. Für den Einfluss einer Konvertierung auf diese ist in erster Linie der erforderliche Anteil an Kohlen- und Wassergas und damit der Kohlebedarf und die Ausbeute an Nebenprodukten massgebend. Durch Dr. Preis von der EMPA sind nach sorgfältigen Berechnungen auf Grund von Angaben des Laboratoriums des Werkes Schlieren über Ausbeute, Dampfbedarf und Preise für das Jahr 1939 für die verschiedenen Konvertierungsmöglichkeiten Werte für die ungedeckten Kohlekosten ermittelt worden. Für die Nachkriegszeit darf wohl mit einem ähnlichen Verhältnis der Ausbeutezahlen und Preise gerechnet werden, sodass diese Zahlen sich nur proportional verändern.

Bei einer Ausbeute von Steinkohlengas aus Kohle von 31,5 m³/100 kg und einem Ho 5150 kcal/nm³, Nebenprodukten aus 100 kg Kohle 75 kg Koks, 4 kg Teer, 0,6 kg Benzol, Koksverbrauch für Unterfeuerung von 12 % des Steinkohlengewichtes, Dampfverbrauch für Wassergasherstellung 0,6 kg/nm³ und Koksverbrauch von 0,155 kg für 1 kg Dampf ergeben sich für die verschiedenen Konvertierungsmöglichkeiten in CO-armes Gas im Vergleich mit nicht konvertiertem, CO-haltigem Mischgas auf Grund der Preise von 1939 folgende Werte⁷⁾: (Die Zahlen am Kopf der Tabelle bezeichnen die Art der Konvertierung auf Grund der früheren Ausführungen.)

		Ho 4500 kcal/nm ³					
CO-haltiges Stadtgas		auf 1% CO konvertiertes Gas					
		1.	2.	3.	4.	5.	6. 7. 8)
Kohlenbedarf	kg						
pro 100 m ³	233,3	261,1	219,4	—	243,7	147,2	278,0
verköf. Koks	131,1	157,6	115,1	—	138,8	38,7	148,5
verköf. Teer	9,3	10,4	8,8	—	9,8	5,9	11,1
verköf. Benzol	1,4	1,6	1,3	—	1,5	0,9	1,7
verköf. Benzin							4,0
ungeddeckte Kohlenkosten Rp./m ³	1,54	1,15	1,89	—	1,51	3,31	1,57
Preise f. 1939							

8) Kolonne 6. und 7. ist mit einem Verlauf der Reaktion von 75 % nach Gleichung 6. und 25 % nach Gleichung 7., sowie 30 % Ausbeute der theoretischen gerechnet. Diese Annahmen sind auf Grund von Unterredungen mit der EMPA gemacht und dürften für Gaswerkverhältnisse zutreffen.

*

Es ergibt sich aus dieser Zusammenstellung, dass das einfache, oxydative Konvertierungsverfahren ohne Entfernung des CO₂ das wirtschaftlichste ist. Neben den ungedeckten Kohlekosten sind auch die Kosten des Verfahrens selbst zu berücksichtigen. Diese sind für das einstufige oxydative Verfahren ohne Entfernen der Kohlensäure, das mit einer einfachen Apparatur und einem billigen Katalyt arbeitet, naturgemäss niedriger als bei anderen Konvertierungsmöglichkeiten.

Praktische Anwendung

Von den möglichen Konvertierungen hat sich auch bis heute nur das letztgenannte Verfahren im praktischen Gaswerkbetrieb eingeführt. Die erste Gasentgiftungsanlage wurde durch H. Ch. Gerdes im Gaswerk Hameln erstellt. Im folgenden sei kurz auf dieses Verfahren eingetreten, über das die in- und ausländische Fachliteratur eingehende Angaben enthält⁹⁾.

Eine Entgiftungsanlage nach dem einstufigen Verfahren für die Konvertierung des Stadtgases im Gaswerkbetrieb, die zwischen dem Trockenreiniger und der Benzolgewinnungsanlage eingebaut wird, besteht nach umstehender Skizze in der Hauptsache aus dem Konverter oder Kontaktofen O, dem Vorwärmer oder Wärmeaustauscher W, dem Sättiger S und dem Kühler K, dem Nachreiniger R, sowie den erforderlichen Umlaufpumpen. Um das Gas für die Konvertierung vorzubereiten, wird es mit

7) Preise für 1939 in Fr./t: Kohlen 43,70; Koks 53,40; Teer 120,00; Benzol 383,00; Benzin 170.

9) Gerdes, Monatsbulletin S. V. G. W. 1935. — Mezger, Monatsbulletin S. V. G. W. 1935. — Brückner, Handbuch der Gasindustrie, Bd. IV, bearbeitet von Schuster.

6) «Ergebnisse der angew. physikal. Chemie» 1935.

Wasserdampf gesättigt und auf die Reaktionstemperatur von 400° C. vorgewärmt. Im Konverter geht die Reaktion nach Gleichung 1. unter Wärmeentwicklung vor sich.

Das von der Trockenreinigung kommende Gas tritt unten in den Sättiger (S) ein und reichert sich dort mit Wasserdampf aus dem warmen Abwasser der Kühler (K) an. Je höher der erreichte Sättigungsgrad ist, desto weniger muss Zusatzdampf zugegeben werden. Der Zusatz von noch notwendigem Dampf erfolgt durch einen Injektor (J) vor dem Wärmeaustauscher (W). In diesem wird das Vorgas durch das aus dem Kontaktofen austretende heisse konvertierte Gas auf die Umsatztemperatur gebracht. Bei sorgfältiger Isolierung und gut ausgebaute Wärme-rückgewinnung ist keine weitere Wärmezufuhr notwendig. Das konvertierte, CO-arme Gas gibt seine Restwärme im Kühler (K) an das Kühlwasser ab und wird in einem Nachreiniger (R) von den aus organischen Schwefelverbindungen bei der Konvertierung entstehenden geringen Mengen H₂S gereinigt. Wird auf Benzol gearbeitet, wie dies heute in den meisten grösseren Gaswerken der Fall ist, so geht das Gas von hier aus der Benzolgewinnungsanlage zu. Der Frischdampfverbrauch für die Konvertierung (Niederdruckdampf von 0,5 atü) beträgt rd. 150 gr/m³, der Kühlwasserverbrauch rd. 2,4 l/m³. Zum Antrieb der Umlaufpumpen wird elektrischer Strom benötigt. Um die Anlage erstmalig in Betrieb zu setzen, ist zwischen Kontaktofen und Wärmeaustauscher eine Anheizvorrichtung (H) eingebaut.

Die CO-Umwandlung wird bis auf einen Restgehalt von 1 % CO durchgeführt. Diese Grenze ist hygienisch berechtigt und erlaubt einen wirtschaftlichen Betrieb. Bei einem Restgehalt von 1 % CO im Gas sind nach eingehenden Versuchen an Menschen und Tieren Vergiftungen durch ausströmendes Gas ausgeschlossen. Nach Schuster, Handbuch der Gasindustrie Bd. IV, tritt bei längerem Ausströmen von Gas in einen geschlossenen Wohnraum ein Beharrungszustand ein, bei dem der CO-Gehalt der Raumluft einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet. Dieser Wert lässt sich nach folgender vereinfachten Formel ermitteln. Ist K der CO-Gehalt des ausströmenden Gases, J der Inhalt des Raumes und V die in den Raum ausströmende Gasmenge in m³/h, so wird

$$\text{CO max.} = \frac{V \cdot K}{J} \text{ in } \%$$

z. B. Kohlenoxyd-Gehalt K = 1 %, J = 50 m³ Inhalt, V = 4 m³/h:

$$\text{CO max.} = \frac{4}{50} = 0,08 \%$$

Der praktische Versuch ergab Werte von 0,07 bis 0,1 % CO im Gasluftgemisch. Bei einem CO-Gehalt des Stadtgases von 1 % ist daher eine gefährliche Anreicherung von CO in der Raumluft nicht mehr möglich. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist das konvertierte CO-arme Gas einem normalen aus Steinkohlengas und Wassergas gemischten Gas gleichen Heizwertes zu vergleichen.

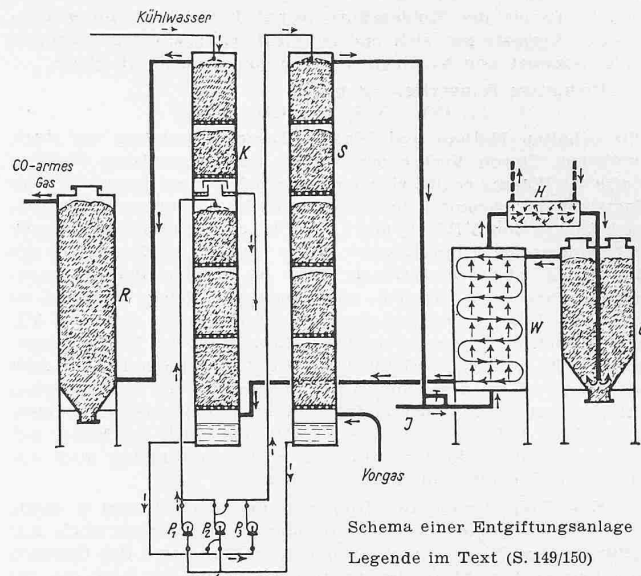
Die Konvertierung nach der Formel: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ verläuft, bezogen auf den oberen Heizwert, ohne Energieverlust. Dagegen tritt eine Volumenvergrößerung um das Volumen des umgesetzten CO und damit eine Heizwertverminderung, bezogen auf die Volumeneinheit, ein. Ein bisheriges Stadtgas vom Ho 4500 entspricht, wie weiter oben angegeben, einem Mischgas von rd. 73,5 % Steinkohlengas Ho 5150 und 26,5 % Wassergas Ho 2700. 100 RT konvertiertes Gas vom Ho 4500 erhält man durch Konvertierung eines Vorgases, das aus 82,2 RT Kohlendgas und 9,2 RT Wassergas besteht, d. h. aus 91,4 RT eines Mischgases von der unten angegebenen Zusammensetzung.

Vorgas:	CO ₂	CmHn	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
	3,1	2,0	0,5	9,6	55,4	24,4	5,0
Total	100,0 % ◊, Ho 4900 kcal/n m ³						

Ein Vergleich zwischen CO-haltigem und CO-armem Stadtgas gibt die folgende Zusammenstellung:

	CO-haltiges Gas	CO-armes Gas
CO ₂	3,5	10,5
CO	14,3	1,0
CmHn	2,0	2,1
O ₂	0,5	—
H ₂	54,3	58,8
CH ₄	20,4	22,7
N ₂	5,0	4,9
	100,0 %	100,0 %
	Ho 4500	Ho 4500 kcal/n m ³

Die wirtschaftlichen Konsequenzen der Gasentgiftung ergeben sich aus folgender Ueberlegung. Nach den früher angegebenen Zahlen für Gasausbeute, Anfall der Nebenprodukte, Preise usw. ergibt sich für 1 Mio m³



Schema einer Entgiftungsanlage
Legende im Text (S. 149/150)

	CO-haltiges Gas Ho 4500	CO-armes Gas Ho 4500 kcal/n m ³
Kohlebedarf	2333 t	2610 t
Koksanfall verkäuf.	1311 t	1576 t
Teeranfall verkäuf.	93 t	104 t
Benzolanfall verkäuf.	14 t	15 t

d. h. einem Mehraufwand an Kohlen von 277 t steht eine Mehrerzeugung an Koks von 265 t, Teer 11 t und Benzol 1 t, zusammen 277 t Nebenprodukte, gegenüber. Bei einigermaßen normalen Preisen für Kohle und Nebenprodukte wird eine Senkung der ungedeckten Kohlekosten (Kohlekosten - Einnahmen aus Nebenprodukten) erreicht, die beispielsweise bei Preisen des Jahres 1939 etwa 0,4 Rp./m³ beträgt. Da die Kosten des Entgiftungsverfahrens einschliesslich Amortisation und Verzinsung der Anlage unter diesem Betrag liegen, ermässigt die Einführung der Gasentgiftung jedenfalls die Gestehungskosten von 1 m³ Gas. Die durch das Verfahren erreichte Verbreiterung der Nebenproduktenbasis ist zu begrüssen; ihre Bedeutung für unsere Wirtschaft ist an dieser Stelle vom Verfasser mehrmals gewürdigt worden¹⁰⁾.

Wenn die Gasentgiftung und die dadurch erzielte grössere Kokserzeugung dazu führt, dass der wertvolle Rohstoff Kohle in vermehrter Masse der direkten Verbrennung entzogen und der Verarbeitung zugeführt wird, käme man einer berechtigten Forderung der Energiewirtschaft näher¹¹⁾.

Mit der Konvertierung des Gases wird gleichzeitig eine weitgehende Feinreinigung des Gases erreicht. Neben den sonst im Gas immer noch enthaltenen organischen Schwefelverbindungen, die bei der Konvertierung in Schwefelwasserstoff umgesetzt und im Nachreiniger zurückgehalten werden, wird der Gehalt an Harzbildnern und an Naphthalin, die zu den bekannten Verstopfungen in Rohrleitungen, Zündflammen und Apparaten führen, stark vermindert. Das konvertierte Gas ist sauerstofffrei. Zufolge der höheren Reinheit des Gases verschwinden die inneren Korrosionen im Rohrnetz und in den Installationen, besonders aber die der Brenner und Apparate. Dadurch vermindern sich die Unterhaltungsarbeiten im Rohrnetz und beim Kunden und damit die Ausgaben für den Aussendienst ganz beträchtlich. Nach GWF 1936, Seite 450, kann für grössere Werke mit einer Einsparung im Aussendienst und für Materialaufwand mit 0,2 ÷ 0,3 Rp./m³ gerechnet werden. — Das aus dem konvertierten Gas gewonnene Benzol ist von grösserer Reinheit und reicher an wertvollen Anteilen.

Ueber die für den Verbraucher wichtigen Eigenschaften des nicht konvertierten und konvertierten Gases gleichen Heizwertes liegen sorgfältige vergleichende Untersuchungen des Gasinstitutes an der Techn. Hochschule Karlsruhe von K. Bunte und Mitarbeiter vor¹²⁾. Es wird festgestellt, dass die Brenneigenschaften beider Gase praktisch gleich sind. Die spezifischen Gewichte sind nicht erheblich verschieden. Der höhere CO₂-Gehalt

¹⁰⁾ SBZ 1917 Nebenprodukte der Gasindustrie (Bd. 70, S. 106* und 116*). — 1941 Bedeutung der Nebenprodukte der Gasindustrie (Bd. 118, S. 239). — 1943 Die Schweiz. Teerindustrie (Bd. 122, S. 32*).

¹¹⁾ SBZ 1943 Referat B. Bauer im S. E. K. V. (Bd. 121, S. 53*).

¹²⁾ GWF 1939 Seite 765; 1940 Seite 432.

(siehe oben) gleicht die durch den höheren H_2 -Gehalt erhöhte Rückschlaggeschwindigkeit aus, sodass die bisherigen Brenner unverändert beibehalten werden können. Auch erhöht das CO_2 die «Verbrennungsbereitschaft» des Gases im Innenkegel der Bunsenflamme. Durch die Untersuchungen von K. Bunte und H. Brückner ist festgestellt worden, dass das konvertierte, CO_2 -reichere Gas weniger zu unvollkommener Verbrennung neigt. Es ist daher beim entgifteten Gas auch die Gefahr der sekundären CO -Bildung durch unvollkommene Verbrennung geringer.

Für unsere apparatebauende Maschinenindustrie ist die Gasentgiftung ein interessantes Problem, besonders vom Standpunkt der Arbeitsbeschaffung aus betrachtet. Nach dem Anspruch eines führenden ausländischen Fachmannes an der letzten Zusammenkunft der Internationalen Vereinigung der Gasindustrie ist ein konvertiertes, CO -armes Gas direkt als «ideales Gas» zu bezeichnen. Dass aber die Bedeutung der Gasentgiftung nicht auf technischem und wirtschaftlichem Gebiet liegt, braucht wohl nicht näher erörtert zu werden.

F. Escher

MITTEILUNGEN

Bauten aus Eisenbeton-Fertigteilen sind in Europa schon während des letzten Krieges an der damaligen Ostfront ausgeführt worden und haben in den kriegsgeschädigten Gebieten des gegenwärtigen Völkerrings wieder besondere Bedeutung erlangt. Für die Errichtung solcher Gebäude, die den verschiedensten Zwecken als Wohn- und Bureaubaracken oder als Lager- und Fabrikationshallen dienen können, sind in Deutschland Einheitstypen geschaffen worden, deren Einzelteile in Fabriken hergestellt und mit Lastwagen zum Aufstellungsort gebracht werden¹⁾. Für grössere Objekte ist es unter Umständen zweckmässig, die Bauelemente auf der Baustelle selbst herzurichten und dann mit Hilfe von Kranen zusammenzufügen. Während die über Land zu verfrachtenden Einzelteile im Mass und Gewicht begrenzt und demgemäss für Konstruktionen mit freien Spannweiten bis nur rund 4 m geeignet sind, können die in der Nähe der Baustelle fabrizierten grösser gehalten werden, sodass sich damit Hallen bis zu 12 m lichter Oeffnung erstellen lassen. Die Vorteile der Bauweise mit Fertigbauteilen gegenüber der Betonierung an Ort und Stelle liegen in der Ersparnis an Schal- und Gerüstholz, Nägeln und Kleinteilen, in verringerten Auslagen für den An- und Abtransport dieser Materialien, in der Beschäftigung mehrheitlich ungelerner Arbeiter und in der Herabsetzung der Bauzeit und somit der Baukosten. Im weiteren werden Bauausführungen im Winter bei ungünstiger Witterung und bei Frost wesentlich erleichtert. Nicht zu unterschätzende Vorzüge liegen auch darin, dass die hauptsächlichsten Baukörper von Anfang an trocken sind und dass sich bei diesen der Schwindprozess schon weitgehend vollzogen hat. Allerdings darf bei dieser Bauweise nicht mit den Vorteilen, die der monolithischen Konstruktion eigen sind, gerechnet werden, denn auch mit wohl durchdachten Einspannvorrichtungen lässt sich die starre Verbindung zwischen den einzelnen Elementen kaum in genügendem Masse erreichen. Es ist deshalb auch nicht zulässig, die auf Säulen oder Wänden aufgelagerten Balken als durchlaufend zu berechnen. Jedoch können Gerber-Träger zur Anwendung

¹⁾ Ein schweizerisches Beispiel siehe SBZ Bd. 123, S. 41* (1943).

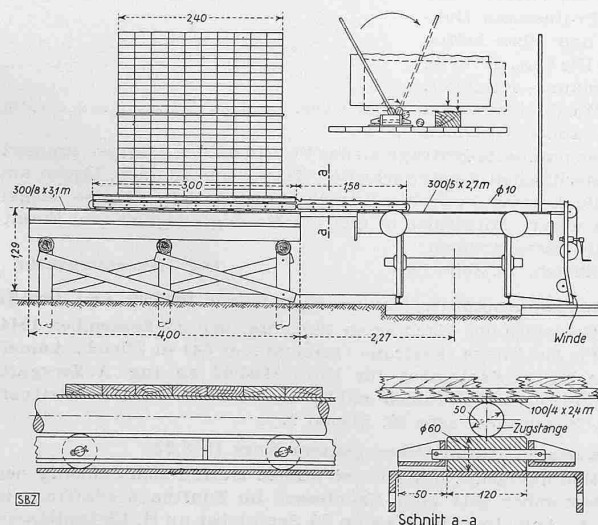


Abb. 1. Russische Rundholzstapel-Verladeeinrichtung. — 1:100

kommen. Wie den reich illustrierten Aufsätzen in «Beton- und Stahlbetonbau» vom 15. März und vom 15. Mai 1944 entnommen werden kann, sind Bauten aus Eisenbeton-Fertigteilen äusserst sparsam im Materialbedarf. Für eine einfache Typenbaracke von 3 m Höhe, 8 m Breite und mit Mittelstützen im Längsabstand von 3,6 m sollen pro m^3 umbautem Raum nur 2,3 kg Stahl und 22 kg Zement benötigt werden. — Zweifellos hat eine solche Bauweise viel für sich, wenn es besonders darauf ankommt, billig und in kürzester Frist zu bauen. Dies setzt allerdings voraus, dass auf ausreichende Lager der erforderlichen Bauelemente geachtet werden kann, was aber gerade in Zeiten der Baustoffknappheit und der einschränkenden Massnahmen im Baugewerbe überhaupt, schwierig zu erreichen sein dürfte. Für den Wohnungsbau, an den gegenüber dem Industriebau vermehrte Ansprüche bezüglich Isolierung und Ausgestaltung gestellt werden, hat die Eisenbeton-Fertigteil-Bauweise in Reinkultur wohl nur in Gegenden mit geeignetem Klima oder für Provisorien Aussicht auf Erfolg. Dagegen erscheint es möglich, dass sie unter Ausnützung der Verbundwirkung zwischen vorgespanntem und nicht vorgespanntem Beton²⁾ vermehrt zur Anwendung kommen kann.

Das Verladen von Rundholz auf Eisenbahnwagen ist ein Manöver, das z. B. bei uns noch meist auf sehr unrationelle Weise ausgeführt wird. Der nachfolgende Hinweis auf einen Bericht der «Z.V.M.E.V.» Bd. 84 (1944), Nr. 7, scheint uns deshalb wertvolle Anregungen zu bieten. Darnach wird zur Holzverladung auf den Sowjetisenbahnen ein Ladeverfahren angewendet, mit dem 40 Wagen in 25 bis 30 Minuten durch 80 Arbeiter unter Anwendung weniger Spezialgeräte beladen werden können. Nach diesem Verfahren wird eine Laderampe von 1,29 m Höhe, 4 m Breite und von Zuglänge erstellt. Das Holz wird dort auf beweglichen Rollenstangen paketweise, wagenladungsweise gestapelt. Nach Stellung des Zuges werden diese Pakete mit Hilfe von zwei Handwinden auf den Wagenboden gerollt und dort mit Stützen befestigt, wofür obige kurze Zeit benötigt wird. Dafür sind erforderlich drei Balken $0,30 \times 0,20 \times 3,20$ m als Stapelunterlage, die in Abständen von 2 bis 2,5 m rechtwinklig zur Gleisrichtung verlegt werden. Auf jede Unterlage wird ein Flacheisen 300×8 mm von 3,1 m Länge geschraubt und darauf eine zweiteilige «Rollenstange» mit 12 und 7 Rollen gelegt (Abb. 1). Zwischen Rampe und Wagenrand wird ein Ueberbrückungsträger von 1 m gelegt. Auf diese Rollenstange wird eine 3 m lange Zugstange $\varnothing 50$ und darauf ein Flacheisen 100×4 mm von 2,4 m Länge gelegt, um ein Eindringen der Stange in das Holz zu verhindern und ihr Entfernen beim Absetzen auf den Wagenboden zu erleichtern. Auf den Wagenboden wird eine Flacheisenschiene 300×5 mm von 2,7 m Länge, darauf der kürzere Teil der Rollenstange, daneben eine hölzerne Unterlage gelegt. Zwei Handwinden (Abb. 2) von 80 kg Gewicht werden am Wagenrand gegenüber den Rollenstangen aufgestellt, die unten mit Kette und Haken am Gleis befestigt werden. Darauf wird ein Stahlseil 10 mm $\varnothing$ am Ende der Zugstange eingehakt und der Stapel nachgezogen. Ist das Paket auf dem Wagen, so werden Rollenstange, Zugstange und Schiene herausgezogen und das Paket wird

auf die bereitliegenden Balken abgesetzt (Abb. 1, Detail oben rechts). In ähnlicher Weise können auch Schienen, Röhren, Stahlträger verladen werden. Die Stapelung der Pakete auf der Rampe wird ebenfalls sehr rationell besorgt, indem das Ladegut durch Schmalspurbahn, Spezialkraftwagen oder andere Gefährte an das Ladegleis herangebracht, in eine aus Pfosten gebildete, 1 m tiefe Grube gerollt und von dort bündelweise mit einem auf dem Ladegleis fahrenden Verladekran auf der Rampe zu Paketen gestapelt werden.

²⁾ Vergl. P. Soutter: «Die Verbundwirkung zwischen vorgespanntem und nicht vorgespanntem Beton und ihre Anwendung auf den Plattenbalken mit vorgespanntem Steg». SBZ 1944, Bd. 124, Seite 103 u. 126.

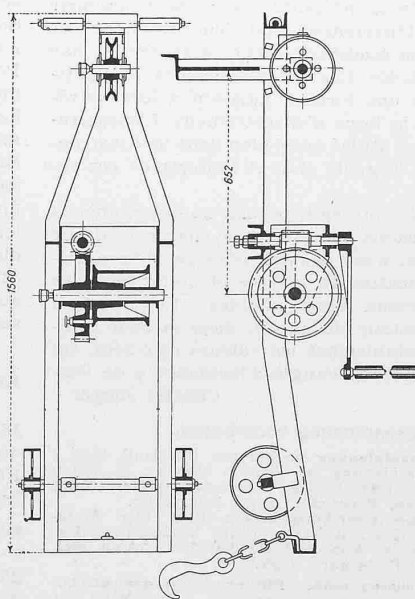


Abb. 2. Bewegliche Handwinde. — 1:20