

Ersatztreibstoffe für Automobile: Azetylen und seine Verwendung als Treibstoff

Autor(en): **Troesch, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **117/118 (1941)**

Heft 17

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83437>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Abb. 8. Der Hattstätterhof am Lindenberg in Basel, aus dem XVI. Jahrhundert

Ersatztreibstoffe für Automobile Azetylen und seine Verwendung als Treibstoff

Von Dipl. Ing. MAX TROESCH, Zürich

Seit Veröffentlichung der ersten Abhandlung dieser Reihe¹⁾ sind die Verhältnisse in der schweizerischen Ersatztreibstoff-Wirtschaft bezüglich Verwendung von Kalziumkarbid einigermaßen abgeklärt worden. Die für motorische Zwecke freigegebenen Karbidmengen sollen nun zum grossen Teil als Azetylen Verwendung finden, während der Rest in das flüssige Paraldehyd verarbeitet wird. Dank privater Initiative sind zu der Inlandproduktion anfangs des Jahres noch beträchtliche Mengen Karbid eingeführt worden, sodass die Anzahl Baubewilligungen für Azetylgeneratoren erhöht und die Rationierung des Treib-

¹⁾ Vergl. «SBZ» Bd. 116, S. 235* (23. Nov. 1940).

stoffes gelockert werden konnte. Dadurch hat das Karbid als fester Ersatztreibstoff ähnliche Bedeutung erlangt wie Holz und Holzkohle. Demzufolge wurde die Weiterentwicklung der Azetylgeneratoren wieder intensiv aufgenommen und die Prüfungen durch die eidgenössischen Experten der Sektion für Kraft und Wärme konnten anfangs des Jahres begonnen werden.

Geschichtliches über Azetylen. Sir Humphrey Davy, der Erfinder der Sicherheitsgrubenlampe, entdeckte im Jahre 1836 das Azetylen, als er Rückstände von der Kalziumgewinnung mit Wasser behandelte²⁾. Erst im Jahre 1894, als das erste, im elektrischen Ofen hergestellte technische Karbid von Amerika nach Europa gebracht wurde, konnte Azetylen in grösseren Mengen hergestellt werden. Zuerst verwendete man es mit verschiedenem Erfolg zu Beleuchtungszwecken. Jedoch schon die Herstellung des Karbides durch Zusammenschmelzen von Kalk mit Kohle oder Koks im elektrischen Ofen, $Ca + 3 C = CaC_2 + CO$, verursachte allerhand Schwierigkeiten. Erst 1897 kamen Azetylenentwickler auf den Markt, die nach zweckmässigen Grundsätzen gebaut waren; gleichzeitig wurden zuverlässige Reiner und Brenner hergestellt, die das Azetylen als Beleuchtungsmittel aufkommen liessen.

Nach und nach wurde Azetylen auch zu Koch-, Heiz- und Kraftzwecken verwendet. Gasmotoren wurden mit Azetylen betrieben und es gelang, Azetylen in Azeton zu lösen und in Stahlflaschen komprimiert in den Handel zu bringen (Azetylen-Dissous). 1906 wurde Azetylen mit Sauerstoff gemischt im Heizbrenner zum ersten Male zum Schweiessen und Schneiden von Metallen benutzt. In der chemischen Industrie fand es bald vielfache Anwendung und gegen Ende des Weltkrieges wurde es besonders in der Schweiz als Treibstoff für Automobile angewandt³⁾. Ungefähr ein Dutzend Systeme arbeiteten mit Entwicklern oder Dissousgas, kamen jedoch nicht weit über das Versuchstadium hinaus, da sie zufolge der wieder einsetzenden

²⁾ Vergl. *Taussig*: Die Industrie des Kalziumkarbides.

³⁾ *Keel*: Das Azetylen im Automobilbetrieb. Verlag von Rascher & Co., Zürich 1919.



Abb. 5. Der Engelhof am Nadelberg, gegen die Petersgasse



Abb. 6. Der «Hohe Dolder» an der St. Alban-Vorstadt

Benzinversorgung überflüssig wurden. Warum Azetylen als halb-einheimischer Treibstoff dem Benzin nicht standhalten konnte, werden die nachfolgenden Ausführungen ergeben. Schon damals stellte man fest, dass der Azetylenbetrieb im Automobilmotor nur dann einigermaßen befriedigende Leistungen ermöglichen, wenn man mit dem Azetylen grössere Mengen von Wasser einspritzte. Einige Azetylen-systeme brauchten als Zusatz bis zu 30 und 40% Benzin und andere spritzten auf 100 km bis zu 25 l Wasser in die Verbrennungsräume! 1919 wurden in Deutschland einige Laboratoriums- und Fahrversuche von Kerschbaum & Haber⁴⁾ durchgeführt; die Ergebnisse waren ähnlich wie die obigen und praktische Anwendung wurde nicht gemacht.

Inzwischen haben die Automobilmotoren eine beträchtliche Weiterentwicklung erfahren; die Drehzahlen sind praktisch verdoppelt worden und die Kompressionsverhältnisse wurden von 4 bis 5 auf 5,5 bis 6,5 erhöht. Die thermische Belastung und dadurch die Anforderungen an die Treibstoffe wurden somit wesentlich gesteigert. Das Azetylen dagegen ist gleich geblieben, und so sehen sich die Konstrukteure der Generatoren genötigt, neue Wege zu suchen, um es als Motortreibstoff brauchbar zu machen. Am meisten Aussicht bietet die Anwendung geeigneter Dämpfungsstoffe und ihre richtige Dosierung.

Die Herstellung des Azetylen kann synthetisch aus seinen beiden Komponenten erfolgen, indem Wasserstoff zwischen zwei glühenden Kohlenelektroden durchgeleitet wird: $C_2 + H_2 = C_2H_2$. Analytisch sind verschiedene Methoden möglich, z. B. durch fortgesetzten Einfluss von Rotglühhitze auf organische Verbindungen wie Aethylen, Methylalkohol, Aldehyd und Aether, durch Zersetzung von Kohlenwasserstoffen wie Benzol, Toluol und Aether durch den elektrischen Induktionsfunken, durch Zersetzen von Aethylenchlorid mit dunkelrot glühendem Kalk, durch Einwirken von Natrium auf Kampfer oder Chloroform, und viele andere mehr⁵⁾.

Die gebräuchlichste Art der Herstellung von Azetylen ist die Zersetzung der Metallkarbide durch Wasser. Chemisch reines Azetylen kann aus den Karbiden mit Kalium, Natrium, Lithium, Barium, Strontium und Kalzium gewonnen werden. Kalziumkarbid ist das wirtschaftlichste Ausgangsprodukt für Azetylen. Es wird in den meisten Ländern Europas hergestellt und die Schweiz besitzt fünf leistungsfähige Fabriken, die allerdings auf die Zuteilung von Koks und Kohle angewiesen sind. Die elektrischen Karbidöfen werden mit Leistungen bis zu mehreren tausend kW betrieben.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Karbid und Azetylen und besonders ihre Einflüsse auf die Azetylen-generatoren und die Motoren sollen im nachfolgenden betrachtet werden, um zu zeigen, welche Schwierigkeiten beim Azetylenbetrieb zu überwinden sind.

Das Karbid ist eine harte, steinartige, kristallinische Masse von grülicher Farbe. Entsprechend seiner Herstellungsart ist es gewöhnlichen Flammen gegenüber feuerfest und beginnt erst bei Temperaturen über 2000° C zu schmelzen; sein spezifisches Gewicht ist 2,2. Es kommt in grossen Blöcken aus den Schmelzöfen, wird in Steinbrechern zerkleinert und in Sortierwerken in verschiedene Körnung aufgeteilt. Für den Azetylenbetrieb messen die gebräuchlichsten Stückgrößen 50/80 und 25/50 mm. Das chemisch reine Kalziumkarbid nach der Formel CaC_2 enthält 62,5% Kalzium und 37,5% Kohlenstoff. Das technische Karbid ist jedoch nie ganz rein, sondern enthält Verunreinigungen, die aus unverbundenen Rohstoffen und teils aus Verbindungen mit Schwefel, Phosphor, Silizium und Stickstoff bestehen. Sie beeinflussen die Qualität des Azetylen nur unwesentlich. Die Qualitätsvorschriften im Karbidhandel beziehen sich deshalb hauptsächlich auf die Gasausbeute, die erzielt werden muss. Die Garantie für Gasgehalt lautet nach den Normen des internationalen Karbid-Syndikates wie folgt:

Korngrösse mm	8—15	15—25	25—50	50—80
Gasausbeute m ³ /l	260	280	300	315

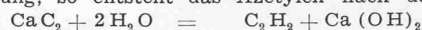
Das Karbid muss in hermetisch verschlossenen Metallbehältern aufbewahrt werden, die Lagerräume müssen gut ventilierbar sein und die Beleuchtung muss nach den Grundsätzen der Explosionssicherheit eingerichtet sein. Mengen von mehr als 1000 kg dürfen nicht in Räumen von bewohnten Gebäuden untergebracht werden, und nie zusammen mit leicht brennbaren Substanzen⁶⁾.

Die Azetylenentwicklung. Für den Betrieb von Automobilen wird das Azetylen ausschliesslich durch Einwirken von Wasser oder Wasserdampf auf Kalziumkarbid hergestellt. Diese Ent-

wicklung geht an und für sich sehr leicht, während z. B. Holz und Holzkohle schwerer in gasförmigen Zustand überzuführen sind. Immerhin sind bei der Herstellung von Azetylen, besonders für den Automobilbetrieb, verschiedene wichtige Umstände zu berücksichtigen, damit ein sicherer, zuverlässiger Betrieb gewährleistet wird.

Azetylen ist bei normalem Druck und Temperatur ein gasförmiger, ungesättigter Kohlenwasserstoff mit charakteristischem Geruch, eine brennbare Verbindung von zwei Atomen Kohlenstoff mit zwei Atomen Wasserstoff, entsprechend der chemischen Formel C_2H_2 . Azetylen ist etwas leichter als Luft, die Dichte bezogen auf Luft beträgt 0,9 bis 0,92. Gewicht pro 1 Nm³ = 1,17 kg (1 Nm³ = 1 Normal-m³ = 1 m³ bei 760 mm Hg und 15° C).

Stehen bei der Gasentwicklung genügende Wassermengen zur Verfügung, so entsteht das Azetylen nach der Formel:



Kalziumkarbid + Wasser = Azetylen + Kalziumhydroxyd. Dabei wird die im Karbid gebundene Wärme frei, und zwar 400 kcal/kg Karbid. Generator, Karbid, Azetylen, Karbidschlamm und Wasser werden dadurch erwärmt.

Wasserdampfbildung und Kondenswasser. Je nach Bauart des Generators und nach seiner Belastung kann die Erhitzung durch die Zersetzungswärme derart zunehmen, dass beträchtliche Mengen des Wassers in Dampfform vom Azetylen mitgerissen werden. Falls die Kondensation nicht vor Eintritt in den Motor stattfinden würde, wäre diese Beimischung von Wasserdampf als Dämpfungsmittel eher erwünscht. In den langen Leitungen und besonders in den notwendigen, grossen Gasbehältern kühlt sich aber das Gasgemisch ab, sodass der grösste Teil des Wassers ausgeschieden wird. Die Gasbehälter und Wasserabscheider müssen deshalb oft entwässert werden, um das Mitreissen von Wasser in die Leitungen, Regulierorgane und in den Motor zu verhindern und im Winter das Einfrieren zu vermeiden.

Zersetzungstemperatur, Explosionen. Grössere Erhitzungen der Generatoren können zu Polymerisation des Azetylen führen, wobei durch Umgruppierung der Moleküle andere Kohlenwasserstoffe wie Benzol und teerähnliche Produkte entstehen können. Dadurch wird das Azetylen motorisch schlechter und es zeigen sich im Karbidschlamm bräunliche Verfärbungen, die immer mit Sicherheit auf solche Ueberhitzungen schliessen lassen. Treten dabei gleichzeitig noch Drucksteigerungen ein (z. B. beim Abstellen des Motors), so kann ein explosionsartiger Zerfall des Azetylen vorkommen. Dieser tritt ein bei einem Ueberdruck von 1,5 at und einer Temperatur von 500 bis 600° C oder bei Atmosphärendruck und 780° C. Bei diesen plötzlichen Zersetzungen treten enorme Temperatursteigerungen — bis zu 3000° C — ein, die bei konstantem Volumen (z. B. in geschlossenen Generatoren) derartige Druckerhöhungen erzeugen, dass Explosionen unvermeidlich werden. Aus diesem Grunde sind die Vorschriften⁶⁾ über den Bau und Betrieb von Azetylen-generatoren allgemein derart, dass der Betriebsdruck normalerweise 1,0 atü betragen soll, und dass zuverlässige Sicherheitsventile dafür sorgen müssen, dass nach Abstellen des Gasverbrauches zufolge allfälliger Nachvergasung der Druck nie mehr als 1,5 atü betragen kann. Der Schweiz. Azetylenverein in Basel hat dafür zu sorgen, dass diese Vorschriften genau eingehalten werden.

Azetylenmetalle. Das Azetylen hat den Charakter einer schwachen Säure, weshalb es allerhand Verbindungen mit Metallen eingehen kann. Eisen, Bronze und besonders Kupfer werden angegriffen, Messing dagegen nicht. Feuchtes Azetylen bringt z. B. bei Luftzutritt Eisen zum Rosten; die Bleche von Kofferräumen, Motorhauben und Aehnlichem sind deshalb sorgfältig durch Farbe zu schützen. Mit Kupfer kann Azetylen unter gewissen Bedingungen Reaktionen eingehen, die explosive Verbindungen ergeben. Aus diesem Grunde darf für Leitungen, Armaturen und Apparate niemals Kupfer verwendet werden. Besonders ist auch darauf zu achten, dass die Zylinderkopfdichtungen aus Kupfer-Asbest durch solche aus Eisen-Asbest oder Asbest-Metallgewebe ersetzt werden. Obschon in diesem Falle keine Explosionen nach aussen auftreten können, sind Azetylen-kupferverbindungen unangenehm, da sie die Dichtung in kurzer Zeit zerfressen.

Die Löslichkeit des Azetylen ist im Automobilbetrieb von Vorteil, wenn es sich darum handelt, grössere Mengen zu speichern. Es ist in vielen Flüssigkeiten löslich, z. B. in Kalkmilch, Wasser, Alkohol, Benzol und weitaus am besten in Azeton. Die Löslichkeit nimmt zu mit steigendem Druck und abnehmender Temperatur. Bei 12 at vermag 1 l Azeton rd. 300 l Azetylen aufzunehmen, also die aus einem kg Karbid entwickelte Menge. Dadurch bietet sich die Möglichkeit bequemer Speicherung von

⁴⁾ Chemikerzeitung No. 54, 1920.

⁵⁾ Vergl. Vogel: Das Azetylen, seine Eigenschaften, seine Herstellung und Verwendung.

⁶⁾ Verordnung betr. Kalziumkarbid und Azetylen (Bundesratsbeschluss vom 1. April 1934).

Azetylen in Flaschen aus Stahl unter der Benennung «gelöstes Azetylen» oder Azetylen-Dissous. Um die Explosionsgefahr zu verhindern, muss das Roh-Azetylen vor seinem Komprimieren in die Dissousflaschen gereinigt werden und die Flaschen müssen ausser dem Azeton noch eine poröse Masse enthalten. Auf diese Weise kann es gebrauchsfertig transportiert werden; der Betrieb mit Dissous stellt sich jedoch wesentlich teurer als mit Generator-Azetylen.

Die *physiologischen Wirkungen* des Azetylens sind kurz folgende: Technisches Azetylen wirkt unter normalen Betriebsbedingungen, z. B. auch bei Nachvergasung in einer Garage, auf den menschlichen Organismus nicht als Gift. Erst langes Einatmen bei ausgesprochenem Sauerstoffmangel kann Betäubung und rauschartige Erscheinungen zur Folge haben, die zum Teil auch von den Verunreinigungen im Azetylen herrühren können³⁾. Chemisch gereinigtes Azetylen wurde früher unter dem Namen Narcylen in der Chirurgie zu Narkosezwecken mit Erfolg benützt. Die Rückstände der Azetylenentwicklung, das Kalziumhydroxid, gelöschter Kalk, ist ebenfalls nicht giftig, jedoch ist bei wiederholtem Hantieren damit insofern Vorsicht walten zu lassen, als dadurch die Haut spröde und rissig werden kann.

Die *Nachvergasung*. Karbid zählt zu den stärksten hygroskopischen Körpern. Es zieht nicht nur Wasserdampf an sich, sondern vermag sogar physikalisch oder chemisch gebundenes Wasser an sich zu binden, und dadurch Azetylen zu entwickeln. Dieses macht sich besonders bei der sog. Nachvergasung in Azetylgeneratoren unangenehm bemerkbar, indem lange nach Abstellen der Wasserzufuhr immer noch Azetylen entsteht. Wird im Generator das Wasser vom Karbid entfernt (beim Tauch- oder Verdrängersystem) oder wird der Wasserzufluss abgestellt (beim Schubladensystem), so herrscht Karbidüberschuss unter Vorhandensein von Kalziumhydroxyd (gelöschter Kalk). Diesem entzieht das Karbid Wasser und bildet dabei weiter Azetylen nach folgender Reaktion:



Kalziumkarbid + Kalziumhydroxyd = Kalziumoxyd + Azetylen. Die Nachteile dieser Nachvergasung bestehen darin, dass beim Automobilbetrieb aus Platz- und Gewichtsrücksichten nicht genügend grosse Gasbehälter mitgeführt werden können, um das bei Nachvergasung entstehende Azetylen zu speichern. Die Nachvergasung ist nach einer langen Bergfahrt mit Vollast und darauffolgendem Abstellen am grössten. Sie hat meist zur Folge, dass der Druck im Generatorsystem über die zulässigen 1,5 atü steigt, sodass das Sicherheitsventil zum Abblasen kommt. Der dabei entstehende Gasverlust hat eine Erhöhung des Karbidverbrauches zur Folge, er ist oft wegen des Geruches unangenehm und er kann zu Raumexplosionen führen. Die Art und Weise, wie man die Nachvergasung zu verhindern sucht, wird bei der Beschreibung der einzelnen Systeme dargestellt werden.

Azetylen-Luftgemische. Raumexplosionen entstehen, wenn Azetylen mit Sauerstoff, bzw. Luft in bestimmtem Verhältnis gemischt und entzündet wird. Azetylen hat, verglichen mit anderen brennbaren Gasen, den weitesten Mischungsbereich, innerhalb dem es explosibel ist; es steht somit bezüglich Explosionsempfindlichkeit an erster Stelle. Während Luft mit 9,6 bis 25% Leuchtgasgehalt explosibel ist, liegen diese Grenzwerte bei Azetylen zwischen 2,8 und 65%! Auch Wasserstoff und Methan verhalten sich in dieser Beziehung günstiger. Beim Betrieb, Garagieren oder Reparieren von Automobilen mit Azetylgeneratoren ist deshalb äusserste Vorsicht geboten, wenn das Fahrzeug in einen geschlossenen Raum gestellt wird. Rauchen und das Hantieren mit offenem Licht ist strengstens zu verbieten, und sogar elektrische Funken von Zündungen oder Lichtschaltern sind zu vermeiden, sobald in einem Raume Gasgeruch festgestellt wird. Eine gute Sicherungsmassnahme besteht darin, dass sofort beim Einstellen in einen geschlossenen Raum das Sicherheitsventil mit einem Schlauch oder einer Leitung ins Freie verbunden wird. Auch gute Lüftung bietet eine gewisse Sicherheit.

Die *Verbrennung* des Azetylens im Motor erfolgt normalerweise nach der Formel: $2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Die Auspuffgase enthalten somit nur Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff (aus der Verbrennungsluft) und kein giftiges Kohlenoxyd, wie dies beim Benzinbetrieb der Fall ist. Bei starkem Luftmangel, z. B. bei schlecht reguliertem Leerlauf oder wenn beim Starten die Luft zu stark gedrosselt wird oder viel Gas einströmt, bevor der Motor anspringt, kann Azetylen nach folgender Formel zerfallen: $\text{C}_2\text{H}_2 = \text{C}_2 + \text{H}_2$. Dabei ist der Kohlenstoff fest, in Russform, und der Wasserstoff gasförmig. Wenn sich Russ auf den Zündkerzen niederschlägt, treten Zündstörungen auf.

Der *Heizwert* des Azetylens ist mit 11600 kcal/kg sogar höher als derjenige von Benzin, der nur 10400 beträgt. Die Selbst-

entzündungstemperatur von Azetylen-Luftgemischen ist leider aber derart niedrig, dass der Heizwert des Azetylens in Explosionsmotoren *gar nicht ausgenützt werden kann*, weil es schon während des Kompressionshubes zur *Selbstentzündung* und Explosion kommt, und zwar sobald vom Motor mehr als die halbe Leistung gefordert wird. Es ergibt sich daraus eine Oktanzahl von unter 40 (Benzin 67). Dies ist der grösste Nachteil des Azetylens für den Automobilbetrieb. Unter den Druckverhältnissen in unseren Motoren beträgt die Selbstentzündungstemperatur des Azetylen-Luftgemisches rd. 365° C, für Benzin-Luftgemisch jedoch rd. 700° C! Diese hohe Selbstentzündungstemperatur ist in den modernen Explosionsmotoren aus zwei Gründen nötig: erstens wegen der gleichmässigen Temperaturerhöhung der gesamten Gas-Luftmenge und der Kompressionsraumwände, zweitens wegen der lokalen Ueberhitzung vorspringender Teile im Kompressionsraum wie Zündkerzen, Ventile, Dichtungen, rauhe Stellen im Guss, Russteile.

Während der Kompression wird das angesaugte Benzin-Luftgemisch auf ein Fünftel bis ein Sechstel seines Volumens zusammengedrückt und erhitzt sich dadurch nach der Polytropengleichung:

$$T_1 = T_0 \cdot \epsilon^n$$

wobei T_0 = absolute Gemischtemperatur am Anfang, T_1 am Ende der Kompression, ϵ = Kompressionsverhältnis, n = polytropischer Exponent (für Benzin-Luftgemisch = 1,35).

Die Anfangstemperatur ergibt sich aus der Temperatur der Auspuffreste, aus derjenigen des Ansauggemisches und aus dem Grade der Vorwärmung. Nach Ricardo⁷⁾ beträgt sie im Benzinbetrieb bei mittlerer Belastung rd. 125° C. Die Zylinderwände sind in diesem Momente noch heisser und geben Wärme an die Füllung ab. Im späteren Verlauf der Kompression geht Wärme zurück an die Wandungen. Nach obiger Formel erhält man bei einem Kompressionsverhältnis von 6,0 eine Endtemperatur von 470° C; bei andauernder Vollast wird diese Temperatur noch wesentlich erhöht. Für Azetylen-Luftgemisch sind die Werte für T_0 und n nicht bekannt, weshalb die theoretische Kompressionstemperatur nicht errechnet werden kann. T_0 dürfte jedoch eher höher sein als bei Benzin (da die Verdampfungswärme wegfällt), und dadurch auch die Endtemperatur. Die Selbstentzündungstemperatur von 365° C ist somit während des Kompressionshubes erreicht, bevor das Gas vollständig komprimiert ist. Durch anhaltende, hohe Belastung des Motors oder durch mangelhafte Instandhaltung können im Kompressionsraum vorspringende Teile lokal auf Temperaturen kommen, die über der Selbstentzündungstemperatur liegen.

In beiden Fällen kommt die Ladung zum Brennen, bevor die normale, elektrische Zündung einsetzt. Es tritt dadurch eine spontane Entzündung der gesamten Ladung ein, die das ganze Triebwerk zusätzlich viel höher beansprucht als bei der Zündung durch die Kerze, bei der sich die Explosion verhältnismässig langsam über den Verbrennungsraum ausbreitet. Zudem ist bei der Selbstzündung der Kolben noch nicht im oberen Totpunkt angelangt. Selbstzündungen werden durch das bekannte «Zündungsklopfen» oder «Klingeln» erkannt, und durch Nachlassen der Leistung. Die Engländer bezeichnen die Selbstzündung, bzw. ihre Wirkung sehr treffend mit «Detonation».

Um Selbstzündungen zu vermeiden, müsste somit die Kompressions-Endtemperatur niedriger sein als die Selbstzündtemperatur. Dieses kann nach der Temperaturformel dadurch erzielt werden, dass das Kompressionsverhältnis, bzw. bei einem gegebenen Motor die Füllung herabgesetzt wird. Theoretisch müsste das Kompressionsverhältnis unter 4 sein, praktisch spielen jedoch noch derart viele Einflüsse eine Rolle, dass die Füllung bis auf die halbe Leistung hinunter gedrosselt und die Verdichtung noch niedriger gehalten werden muss. Die Erniedrigung der Kompressions-Anfangstemperatur kann ebenfalls bis zu einem gewissen Grade Selbstzündungen verhindern; Ausschalten oder Beseitigen der Saugrohrvorwärmung und Ansaugen von kühler Frischluft und unter Umständen Kühlen des Azetylens wirken dazu fördernd.

Die unveränderlichen konstruktiven Charakteristiken des Benzinmotors, die (für Benzin und Azetylen) seine Klopfersicherheit erhöhen, sind die folgenden: Kolben- und Zylinderkopfmateriale Aluminium statt Guss, Kompressionsraum möglichst halbkugelig ohne Ausbuchtungen, Gasführungen derart, dass gute Durchwirbelung des Kompressionsraumes erzielt wird, guter Wärmeabfluss von Kerzen und Auspuffventilen.

Am gegebenen Motor können verschiedene Massnahmen getroffen werden, die ebenfalls die Selbstzündungen verhindern oder wenigstens ihre Temperaturgrenze hinaufschieben: Erniedrigung des Kompressionsverhältnisses durch Einsetzen dickerer Zylinderkopfdichtungen oder Wegfräsen von Material am Zylinder-

⁷⁾ Ricardo: Schnellaufende Verbrennungsmotoren.

derkopf, Wegpolieren rauher Stellen an den Wänden des Kompressionsraumes, Kerzen mit höherem Wärmewert oder Spezialkerzen für Azetylenbetrieb einsetzen, Gemischvorwärmung ausschalten oder sonst unwirksam machen, Temperatur der Ansaugluft möglichst niedrig halten, Gas-Luftgemisch auf 5 bis 10% Luftüberschuss einstellen, Zündzeitpunkt allenfalls etwas zurückstellen, Ventile mit dünnen Tellern (vom wiederholten Einschleifen) durch neue ersetzen, Zusetzen von Dämpfungstoffen zum Azetylen-Luftgemisch.

Die Dämpfungstoffe haben den Zweck, das Gasluftgemisch derart zu kühlen, dass die Gefahr der frühzeitigen Selbstentzündung vermieden wird. Auch bei Anwendung der obigen Massnahmen werden die Temperaturen noch nicht derart herabgesetzt, dass ohne Dämpfungsmittel befriedigende Leistungen erzielt würden; 50% der Benzinleistung war bei verschiedenen Messungen das Maximum. Als Dämpfungsmittel kommen in Frage: 1. Wasser, 2. Benzin, Benzol, 3. organische Verbindungen wie Alkohole, Azeton, 4. Gemische obiger Verbindungen mit Wasser.

Das Mass für die Kühlfähigkeit eines Dämpfungsmittels ist seine Verdampfungswärme, die Wärmemenge, die benötigt wird, um die Flüssigkeit in Dampfform überzuführen. Vergleichsmessungen haben ergeben, dass die Oktanzahl offenbar weniger wirksam ist als die Verdampfungswärme. Benzin mit 67 und sogar Flugmotorenbenzin oder Benzol mit Oktanzahl 100 erwiesen sich weniger dämpfend als Alkohole oder selbst Mischungen von Alkohol mit Wasser. Wichtig ist beim Dämpfungsmittel ferner sein Heizwert, weil er den Gemischheizwert des Azetylen-Luftgemisches und dadurch die Motorleistung beeinflusst. Ueber diese drei Faktoren gibt folgende Tabelle Aufschluss:

Dämpfungsmittel	Verdampfungswärme, kcal/l	Heizwert (unterer), kcal/l	Oktanzahl
Wasser	540	0	—
Benzin	55	7650	67
Benzol	79	8400	rd. 100
Aethylalkohol	183	5200	über 100
Methylalkohol	222	3600	über 100

Daraus ergeben sich verschiedene Tatsachen, die durch ausgedehnte Versuche auf dem Motorenprüfstand, dem Wagenprüfstand und auf der Strasse bestätigt wurden:

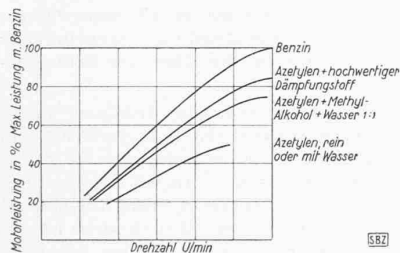


Abb. 1. Leistungskurven für Benzin- und Azetylen-Betrieb bei verschiedenen Dämpfungsmitteln

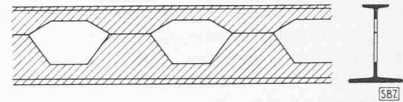
Wasser als Dämpfungsmittel ist im Notfall dank seiner hohen Verdampfungswärme verwendbar; es braucht jedoch ziemlich grosse Mengen, die bei ungenauer Dosierung die Zündkerzen befeuchten. Da Wasser keinen Heizwert besitzt, wird der Gemischheizwert und dadurch die Leistung stark herabgesetzt; gegenüber Benzin können maximal rd. 60% erreicht werden (Abb. 1). Benzin und Benzol geben mässige Kühlung und eine Erhöhung der Leistung, die man eigentlich vom Azetylen selbst haben möchte. Da sie heute sehr schwer erhältlich sind, sollten sie als Dämpfungsmittel nicht verwendet werden.

Aethyl- und Methylalkohol eignen sich zufolge ihrer hohen Verdampfungswärme besonders gut; auch Mischungen mit Wasser ergeben gute Resultate, besonders weil sie die ebenfalls seltenen Alkohole strecken helfen. Mischungen von 50% Alkohol mit 50% Wasser ergeben bei guter Dämpfung die wirtschaftlichsten Resultate. Die Menge des Zusatzes sollte derart bemessen werden, dass man auf 1 kg Karbid 1/10 l Alkohol und 1/10 l Wasser verbraucht. Unter diesen Verhältnissen können bei sorgfältiger Regulierung kloppfreie Leistungen erzielt werden, die bis 75% der Benzinleistung gehen. Bei gleicher abgegebener Leistung am Motor können sich in gewissen Grenzen Azetylen und Alkohol ersetzen, indem bei grösserem Alkoholzusatz weniger Azetylen verbraucht wird, und umgekehrt. Die gegenseitigen Mengen verhalten sich wie die zugehörigen Heizwerte, was beweist, dass der im Dämpfungsmittel enthaltene Heizwert voll ausgenutzt wird. Die Grenzen sind einerseits durch das Klopfen (wenig Alkohol) und andererseits durch die Kriegswirtschaft (viel Alkohol) gesetzt. Mit reinem Alkohol als Dämpfungsmittel dürften maximal 85% der Benzinleistung erreicht werden. Es ist noch zu erwähnen, dass Methylalkohol äusserst vorsichtig gehandhabt werden muss, da er sehr giftig ist.

(Schluss folgt)

Der «Hohlsteg-Verbundträger»

Im «Stahlbau» vom 3. Jan. 1941 beschreibt Ing. W. E. Uhlig (Mannheim) einen neuartigen Verbundträger. Das Wesentliche und Neue daran besteht darin, dass der einbetonierte Stahlträger zusammengesetzt wird aus den Hälften eines grösseren und eines kleinern Differdingerträgers, wobei die schwächere Hälfte in die Druckzone zu liegen kommt. Um den Abstand der Flanschen und damit das Trägheitsmoment beliebig ändern zu können, werden die Träger längs einer Zickzacklinie aufgeschnitten, die eine Hälfte gegenüber der andern um die halbe Wellenlänge der Zickzacklinie verschoben und längs der nunmehr unterbrochenen Berührungsnah ver-



Hohlsteg-Verbundträger nach W. E. Uhlig

schweisst (Abbildung). Als Hauptvorteile seines Verbundträgers gegenüber normalen einbetonierten Walzträgern führt Uhlig die Stahlersparnis und den besseren Verbund an. Der Konstrukteur hat es in der Hand, durch die Wahl der Profile für Ober- und Untergurt den Stahlträger voll auszunützen. Zweifellos wird auch der Verbund durch die Öffnungen im Steg verbessert, aber entgegen Uhlig's Auffassung wird ohne zusätzliche Schikanen und ohne Bügel mit schlaffer Zusatzarmierung, besonders bei dynamischer Beanspruchung, der Verbund doch ungenügend sein. Was die Stahlersparnis anbelangt, die heute natürlich besonders interessiert, kann leicht nachgewiesen werden, dass diese bei kleineren Profilen durch den Mehraufwand an Schneid- und Schweissarbeit aufgehoben wird, sodass man einen ökonomischen Vorteil höchstens bei grossen Profilen erzielt. Das gleiche gilt natürlich für alle Verbundkonstruktionen; die durch Verbundwirkung erzielte Stahlersparnis geht als ökonomische Ersparnis ganz oder teilweise wieder verloren durch den Arbeitsaufwand für die Sicherstellung des Verbundes. Demgegenüber ist jedoch festzustellen, dass die Vernachlässigung des Verbundes eine Trennung zwischen Stahl und Beton zur Folge haben kann. Dass die Gefahr einer solchen Trennung besteht, kann an ausgeführten Brücken aus einbetonierten Stahlträgern festgestellt werden, wo infolge dieser Trennung starke Rostbildung auftritt, und zudem der Beton zwischen den Trägern quer zur Trägerrichtung gerissen ist.

Die Behauptung, die Verbindung zwischen Beton und Stahl sei bei einbetonierten Trägern nicht ohne weiteres gewährleistet, lässt sich damit begründen, dass die Oberfläche der Walzträger gewöhnlich einer optimalen Haftung nicht günstig ist. Denn oft sind die Träger mit Zementmilch oder einem ähnlichen, erfahrungsgemäss verbundhemmenden (weil abblätternen oder abstäubenden) Mittel gestrichen, sie sind mit der Walzhaut oder sogar mit Schmutz überzogen. Ferner bilden sich leicht längs der grossen Flächen, ähnlich wie gegen die Schalung, poröse Stellen im Beton durch das Entweichen der Luft und des Wassers. Dazu kommt noch, dass infolge geringerem oder fehlendem Schwinddruck — der Beton ist ja grösstenteils oder ganz zerschnitten — die Haftung geringer ist, als bei kleinen und besonders bei runden Stahlquerschnitten.

In der Regel begnügt sich der Konstrukteur damit, die rechnerisch ermittelten Längsschubkräfte durch Schikanen am oberen Flansch¹⁾ aufzunehmen (Spiralen, Querstollen, Schlaudern usw.). Ganz abgesehen davon, dass die Konzentration der Längsschubspannungen auf bestimmte Punkte, bzw. Querschnitte, die Trennung zwischen Stahl und Beton und die Rissbildung begünstigt, ist dadurch das Zusammenwirken der beiden Baustoffe in der Zugzone noch nicht gesichert. Bei teilweise oder ganz einbetonierten Trägern müssen daher alle Massnahmen ergriffen werden, um ein Gleiten zwischen Walzträger und Beton zu verhindern. Dies kann geschehen, indem durch den Steg eine grosse Anzahl Rundeisen durchgesteckt werden, besonders in der Nähe der gezogenen Flanschen, oder durch Umfassung des Trägers mit Bügeln und Einlage von zusätzlicher schlaffer Längsarmierung, oder sonstwie durch Verbindung des Betons mit dem Träger, auch in der Zugzone; d. h. der Verbund soll nicht nur rechnerisch, sondern tatsächlich sichergestellt werden. In dieser Beziehung bedeutet der Verbundträger von Uhlig, wie bereits gesagt, eine gewisse Verbesserung, aber er gewährt noch keine restlose Zusammenfassung der Vorteile der reinen Stahl- und der Eisenbetonbauweise.

Die Ausführungen von Uhlig vermitteln den Eindruck, dass die Verbundbauweise in Deutschland erst in jüngster Zeit eine gewisse Bedeutung erlangt hat und noch weniger entwickelt ist als bei uns. Jedenfalls trifft seine Feststellung, dass der Ingenieur

¹⁾ Vgl. «SBZ» Bd. 106, S. 254, Abb. 5 (30. Nov. 1935).