

17956450

4647166

6.

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND  
DER  
SCHIFFFAHRTS-CONGRESSE

# X. CONGRESS-MAILAND-1905

II. Abteilung : Seeschiffahrt  
2. Mitteilung

VERWENDUNG FLÜSSIGER BRENNSTOFFE  
FÜR SCHIFFFAHRT

BERICHT

VON

**G. MELVILLE**

Konteradmiral der Kriegsmarine der Vereinigten-Staaten.



NAVIGARE

NECESSE

BRÜSSEL

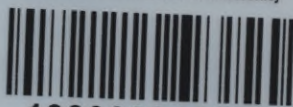
BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)  
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905



II- 354129

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000318961

300-78/2018



# Die Verwendung flüssiger Brennstoffe

## ZUR SCHIFFSFEUERUNG

---

### BERICHT

VON

**M. George MELVILLE**

*Konteradmiral der Kriegsmarine der Vereinigten-Staaten*

---

Während meiner sechzehnjährigen Tätigkeit als Chefingenieur der Marine der Vereinigten Staaten ist mir hinsichtlich des Gefechtwertes eines Kriegsschiffes kein Faktor von grösserer Bedeutung erschienen als der der Dampferzeugung : der Dampf ist gleichsam die Lebenskraft nicht allein im Hinblick auf die Bewegungsfähigkeit eines Schiffes, sondern auch für die Handhabung der äusserst zahlreichen und verschiedenartigen mechanischen Vorrichtungen, durch deren Zusammenwirken der Wert eines Schiffes in der Schlacht bedingt ist.

Gegen Ende meiner Dienstleistung schrieb ich in einem amtlichen Bericht vom 30. Juni 1902 Folgendes :

« Auf einem modernen Kriegsschiff kommt es heutigen Tages  
» nicht sowohl auf die Kanonen und deren Aufstellung, sondern  
» vielmehr auf die Dampfkessel und deren Einbau an. Die  
» Kanone ist an der hinsichtlich ihrer Bedienung, Ueberwa-  
» chung und Schonung günstigsten Stelle untergebracht und  
» alles an Bord ihrem wirksamen Funktionieren dienstbar ge-  
» macht worden. Da alle ihre der Beschädigung ausgesetzten  
» Teile so berechnet sind, dass ihre Widerstandsfähigkeit in  
» hohem Masse verbürgt ist, so kann eine Kanone nur infolge  
» Unkenntnis oder Nachlässigkeit seitens der Bedienungsmann-  
» schaft oder infolge chemischer Wirkung von Explosivstoffen  
» Schaden erleiden. Bevor die Kanone im Panzerturm aufge-  
» stellt wird, ist sie sehr eingehenden Proben unterworfen wor-  
» den, und man bringt sie dann nur an Bord, wenn man die  
» Ueberzeugung gewonnen hat, dass sie nicht übermässig be-  
» ansprucht worden ist.

» Der Dampfkessel dagegen ist unter dem Panzerdeck unter-  
» gebracht, gerade über dem Wasserraum und neben den Kam-  
» mern. Er ist in einem Teile des Schiffes aufgestellt, der von  
» anderen Offizieren als den Ingenieuren eher gemieden als  
» aufgesucht wird. Wenngleich er vor seinem Einbau sorgfäl-  
» tig geprüft worden ist, ist er doch notwendigerweise An-  
» strengungen unterworfen, die seine Widerstandsfähigkeit  
» vermindern. Schon während des Baues sind manche Bleche  
» dem Treiben ausgesetzt, das zu enormen Spannungen Ver-  
» anlassung gibt; auch ist die Beaufsichtigung eines Dampf-  
» kessels weit schwieriger als diejenige einer Kanone. In dem  
» Masse, wie man den Betriebsdruck erhöht hat, hat man ver-  
» sucht, die Sicherheitskoeffizienten beim Bau von Schiffskes-  
» seln zu reduzieren; der Gebrauch der Kessel hat zur unaus-  
» bleiblichen Folge, dass einzelne Teile einer schnellen Abnut-  
» zung ausgesetzt sind. Man kann also nur durch Aufmerk-  
» samkeit und unausgesetzte Ueberwachung Beschädigungen  
» vermeiden, die ein Platzen oder zum mindesten ein Ausser-  
» betriebsetzen der Dampferzeugungsapparate zur Folge haben.

» Selbst wenn man zugibt, das Schiff sei gegenwärtig nicht  
» mehr als « ein Unterbau für Kanonen », so ist doch eine be-  
» trächtliche Kraft erforderlich, um einen solchen Unterbau von  
» 14 500 Tonnen auf bewegter See mit grosser Geschwindigkeit  
» fortzubewegen. Dieser « Unterbau » muss nicht nur schnell  
» manövrieren können, sondern es ist auch erforderlich, dass  
» er eine Strecke, die gleich dem vierten Teil des Umfangs der  
» Erdkugel ist, ohne Unterbrechung durchläuft. Das Schiff,  
» das nicht gleich bei Beginn der Feindseligkeiten die feind-  
» liche Küste zu erreichen vermag, verliert viel von seiner An-  
» griffsfähigkeit und bei einer solchen Entfernung seiner Ope-  
» rationsbasis wird die Bedeutung des Begriffs « Dampfkessel »  
» nicht durch die des Begriffs « Kanone » übertroffen.

» Der Wert der Schiffe der verschiedenen Seemächte steht  
» im geraden Verhältnis zu der Leistungsfähigkeit ihrer Schiffskessel  
» und ihrer Mannschaft. Weder die Panzerung, noch  
» die Geschütze, noch die Maschinen weichen in den verschie-  
» denen Ländern merklich von einander ab. Nach diesen Ge-  
» sichtspunkten betrachtet ist das neueste Schiff, woher es auch  
» stammen mag, auch das beste; denn was den Tiefgang, den  
» Tonnengehalt, die Stärke und Ausdehnung der Panzerung,  
» das Modell und die Anordnung der Kanonen, sowie die Ma-  
» schinenanlage anlangt, so ist jede Seemacht bei demjenigen  
» Schiffstyp stehen geblieben, der ihren besonderen Anforde-



» rungen am besten entspricht und man kann daher sagen,  
» dass jede Nation das im Hinblick auf ihre besonderen Be-  
» dürfnisse beste Kriegsschiff besitzt. »

Die Darstellung nach diesen Gesichtspunkten entbindet mich davon, bei dem grösseren Interesse stehen zu bleiben, das meiner Ansicht nach die Frage der flüssigen Brennstoffe zur Feuerung von Schiffskesseln beanspruchte. Es gewährte mir daher eine grosse Befriedigung, dass ich während meiner Dienstzeit eine grosse Reihe von Versuchen verfolgen konnte, welche die vollkommensten, eingehendsten und teuersten Prüfungen übertrafen, die bis dahin im Auftrage von Privatpersonen, Gesellschaften oder Regierungen angestellt worden waren und dahin gingen, die Verwendung von Rohpetroleum als Brennstoff und seine Benutzung auf Kriegs- und Handelsschiffen zu untersuchen. Die auf mein Ersuchen mit der Vornahme dieser Studien beauftragten Offiziere waren 3 Kommandanten in der Kriegsmarine der Vereinigten Staaten, die Herren John R. Edwards, Wythe M. Parks und Frank H. Bailey. Ihre Arbeit war so verdienstlich und die Ergebnisse so vollkommen und genau, dass ich ihnen auch an dieser Stelle gern die Anerkennung ausspreche, auf die sie begründeten Anspruch haben.

Wenn ich nun auf die Frage der flüssigen Brennstoffe, über die ich dem jetzigen Kongress eine Abhandlung vorlegen sollte, näher eingehe, so glaube ich dies in den diesem Bericht gezogenen Grenzen am besten in der Weise tun zu können, dass ich die wichtigsten Punkte herausgreife, die von der genannten Kommission in deren eigenem Bericht behandelt worden waren. Ich möchte nur nicht unterlassen, zu bemerken, dass die fraglichen Versuche meinen Weisungen entsprechend eingeleitet und unter meiner Oberleitung fortgeführt wurden.

Der Wasserrohrkessel « Hohenstein », der für die Versuche benutzt wurde, war mit weiten geraden Rohren versehen und entsprach hinsichtlich Gewicht, Leistung und Heizfläche den für die Kessel der Kreuzer vom Typ « Denver » der Marine der Vereinigten Staaten erlassenen Vorschriften. Jede Einheit muss bei forzierten Zug von 25,4 mm Wasser und bei einem Druck von 12,3 kg/qcm 5 441 kg Dampf in einer Stunde bei gewöhnlichem Betrieb verdampfen ; dies entspricht, wenn man 7,255 kg Dampf stündlich für eine Pferdekraft annimmt, etwa 1615 indizierten Pferdestärken auf 1 qm Rostfläche. Die Hauptabmessungen des Kessels waren folgende :

*Rumpf.* — Die 6 Zylinder, die zusammen ein Parallelipipedon bilden, bestehen aus einem Zylinder vorn von 0,610 m Durchmesser, einem Zylinder hinten von gleicher Grösse und 4 Verbindungszylindern von 0,406 m Durchmesser. Ferner ist an der Hinterwand ein Schlamm- oder Niederschlagssammler eingebaut; sein Durchmesser beträgt gleichfalls 0,610 m.

*Die Rohre.* — Es sind 16 vierzöllige Rohre von 2,13 m Länge vorhanden, 384 zweizöllige Rohre von 2,74 m Länge und 15 fünfzöllige Fallrohre, die den hinteren Dampfzylinder mit dem Schlamm- oder Niederschlagssammler verbinden.

*Heizfläche und Rostfläche.* — Es sind 197,88 qm Heizfläche und 4,658 qm Rostfläche vorhanden; das ergibt ein Verhältnis von 42,5 : 1 zwischen den beiden Flächen.

*Inhalt.* — Normaler Wasserraum 4021 cdm, Dampfraum 1416 cdm, Feuerraum über dem Rost 3 430 cdm.

*Verhältnisse.* — Verhältnis der Rostfläche zum Gesamtquerschnitt 1 : 0,57. Verhältnis des Schnitts durch den Schornstein zur Rostfläche 1 : 5,75.

Der Kessel war in einer wasserdichten Kammer aus Stahl, die für diese Versuche besonders hergestellt war, untergebracht. An Zubehör waren vorhanden: Luftkompressoren, Pumpen und alle notwendigen Wagen, Messapparate und Präzisionsinstrumente. Nach Abschluss der Versuche mit Kohle wurde, bevor man die Versuche mit Oel in Angriff nahm, unter dem Ziegelpflaster zum Abschluss gegen die Feuerstelle eine Asbestverkleidung angebracht; ein Hilfs-Zylinderkessel wurde aufgestellt, um den zur Zerstäubung des Brennstoffs erforderlichen Dampf zu liefern; zum gleichen Zweck wurde ein neuer Kompressor zum Stauen der Luft bei sehr hohem Druck in Betrieb gesetzt. Man traf auch Massnahmen für die erforderliche Luftzufuhr an den Seiten der Feuerung. Löcher von 203 × 38 mm wurden in den Seitenmauern auf gleicher Höhe mit dem Pflaster der Feuerung und nahe der unteren Wand hergestellt. Ein durch das Pflaster geführter Heizkanal verband diese beiden Oeffnungen. Der Verschluss des Kanals war durchbrochen; hierdurch konnte die Verteilung der durch die Seitenöffnungen zugeführten Luft nach der Stelle hin erfolgen, wo die Verbrennung am lebhaftesten war. Diese Zuführung der Luft wurde während der Versuche mit gewöhnlichem Zug eingestellt, war dagegen bei den Versuchen mit forziertem Zug am grössten.



### Beschaffenheit des verwendeten Oeles.

Obgleich die für die Versuche eingesetzte Kommission von verschiedenen Petroleumquellen-Besitzern zahlreiche Angebote für unentgeltliche Lieferung von Oel, das an den Produktionsstellen selbst zu entnehmen war, erhalten hatte, hatte sie sich doch durch eine Umfrage überzeugt, dass die Dauer des Oeltransportes nach der Versuchsstation eine ziemlich unsichere Sache war. Da die Frage der Transportdauer jedoch von grosser Wichtigkeit war, hielt es die Kommission für notwendig, sich einen regelmässigen Vorrat zu sichern; hierdurch war sie der Befürchtung, es könne infolge des gänzlichen Verbrauchs des vorhandenen Oeles ein Aufenthalt bei den Versuchen entstehen, enthoben. Sie beschloss daher, wegen des Bezuges von Oel aus Texas mit der Standard Oil Company zu verhandeln, sowie sich kalifornisches Petroleum durch Vermittlung des Dr. C. T. Deane und des Obersten W. M. Bunker zu verschaffen.

Das bei den meisten Versuchen verwendete Petroleum stammte aus den Quellen zu Beaumont (Texas) und war, um ihm den Schwefel und die sehr flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen zu entziehen, einem ziemlich billigen Verfahren unterworfen worden. Die Kommission hatte es für angezeigt gehalten, ein derartig gereinigtes Oel zu verwenden, bis man mit unbedingter Sicherheit festgestellt hätte, ob auch der Gebrauch von Rohpetroleum empfehlenswert und gefahrlos wäre.

#### *Die chemische Zusammensetzung des verwendeten Oeles aus Texas im Vergleich zu der des Rohoels.*

Die Eigenschaften des zu den amtlichen Versuchen verwendeten Oeles lassen sich deutlicher erkennen, wenn man sie mit denen der gewöhnlichen Beschaffenheit des vollkommen rohen Produktes vergleicht. Die Gegenüberstellung der Analysen der beiden Oele lässt deutlich die reinigende Wirkung erkennen, der das Rohpetroleum durch das Verfahren unterzogen worden ist.

ZUSAMMENSETZUNG DES NATÜRLICHEN ROHÖLES AUS BEAUMONT :

Kohlenstoff (C) . . . . .	84,60
Wasserstoff (H) . . . . .	10,90
Schwefel (S) . . . . .	1,63
Sauerstoff (O) . . . . .	2,87
	<hr/>
Zusammen . . . . .	100,00

Die Menge des Schwefels, der in den verschiedenen Proben des Rohöles von Beaumont enthalten war, schwankte zwischen 2 und 3 Prozent.

Wärme­kraft pro kg . . . . .	Kalorien	10 589
Spezifisches Gewicht . . . . .		0,924
Vergasungspunkt . . . . .		82,22°
Entflammungspunkt . . . . .		93,33°

Während der Destillation bei einem atmosphärischen Druck bis zu 290° stellte man fest, dass sich verflüchtigten :

Die ersten 10 % unter . . . . .	220°
Die zweiten 10 % zwischen . . . . .	220° u. 252°
Die dritten 10 % zwischen . . . . .	252° u. 273°
Die vierten 10 % zwischen . . . . .	273° u. 290°

*Zusammensetzung des teilweise gereinigten Oeles aus Beaumont nach den Analysen des Chemikers beim Marine-Arsenal in New-York.*

Bei der Destillation des zu den Versuchen verwendeten Oeles bis zu 360° stellte man fest, dass sich verflüchtigten :

Die ersten 10 % zwischen . . . . .	102° u. 250°
Die zweiten 10 % zwischen . . . . .	250° u. 274°
Die dritten 10 % zwischen . . . . .	274° u. 289°
Die vierten 10 % zwischen . . . . .	289° u. 360°



Die chemische Analyse dieses Petroleums hatte folgendes Ergebnis :

Kohlenstoff (C) . . . . .	83,26
Wasserstoff (H) . . . . .	12,41
Schwefel (S) . . . . .	0,50
Sauerstoff (O) . . . . .	3,83
	Zusammen . . . . . 100,00

Der Schwefel wurde durch Oxydation mittels Salpetersäure in einer offenen Schale wie folgt bestimmt (1) :

Spezifisches Gewicht . . . . .	0,926
Vergasungspunkt . . . . .	102°
Entflammungspunkt . . . . .	115,5°
Verdampfungspunkt . . . . .	61°
Verlust nach 6 Stunden bei 100° . . . . .	21,65 %

Die kalorische Kraft des Brennstoffes wurde durch die Analysen des amtlichen Chemikers nach der Dulong'schen Formel :  $14\,500\ C + 62100\ (H - 0,8) = 19\,481\ B. F. U.$  (englische Wärme-Einheit) pro Pfund berechnet.

Bei der Umrechnung durch Kilogramme in Wärmeeinheiten erhält man die Zahl von 10 323 Wärmeeinheiten.

*Zusammensetzung des bei den Versuchen verwendeten kalifornischen Oeles.*

Die durch den Chemiker des Marine-Arsenals in New-York vorgenommene Analyse hat gezeigt, dass dieses Oel aus einer Kohlenwasserstoffverbindung bei hohem Siedepunkt bestand, die mit einer geringen Menge Wasser vermischt war und folgende Bestandteile aufwies :

Kohlenstoff . . . . .	81,52
Wasserstoff . . . . .	11,01
Schwefel . . . . .	0,55
Stickstoff und Sauerstoff . . . . .	6,92
	Zusammen . . . . . 100,00

---

(1) Der Vergleich der Analysen zeigt, dass der Schwefel beinahe vollständig durch den Prozess verflüchtigt wird.

Die Probeentnahme ergab bei den Versuchen folgende Koeffizienten :

Kalorische Kraft (bei der Prüfung mit dem Parr'schen Kalorimeter) pro kg. . . . .	Kalorien	10 370
Spezifisches Gewicht bei 15,5 . . . . .		0,966
Verdampfungspunkt . . . . .		110°
Vergasungs- und Entflammungspunkt . . . . .		155°
Verlust nach 6 Stunden bei 100° . . . . .		12,20 %

*Zusammensetzung einer Mischung aus Rückständen von kalifornischem Oel und solchem aus Texas.*

Das für die Versuche N° 68 und 69 verwendete Oel war dem Bodensatz des Behälters entnommen und enthielt eine Mischung aus den Rückständen der aus beiden Oelquellen stammenden Oele. Da verschiedene Sachverständige im Voraus gesagt hatten, dass bei Benutzung dieser Mischung sich Schwierigkeiten ergeben würden, beobachtete man das Verhalten dieses Gemenges mit besonderer Aufmerksamkeit. Die nachverzeichneten Analysen wurden ebenfalls von dem Chemiker des Marine-Arsenals in New-York vorgenommen.

Die chemische Zusammensetzung der Oelrückstände war folgende :

Kohlenstoff . . . . .	84,35
Wasserstoff . . . . .	11,33
Stickstoff . . . . .	0,60
Schwefel . . . . .	0,90
Sauerstoff . . . . .	2,82
	<hr/>
Zusammen . . . . .	100,00

Die bei der Destillation nach und nach festgestellten Verluste waren folgende :

Zwischen 204° und 232° . . . . .	8 %
Zwischen 232° und 304° . . . . .	12 %
Zwischen 304° und 316° . . . . .	30 %



Als Koeffizienten fand man :

Kalorische Kraft (nach dem Parr'schen Kalorimeter) . . . . . Kalorien	10 675
Spezifisches Gewicht bei 15,5° . . . . .	0,966
Verdampfungspunkt . . . . .	54,4°
Entflammungspunkt . . . . .	138°
Verlust in 24 Stunden bei 100° . . . . .	14,90 %

### Brenner.

*Der Brenner der Kesselschmiede von Oil City* (Oil City Boiler Works Burner). — Dieser Brenner ist vom Zerstäubertypus. Das Oel fließt aus einem zentralen Rohr durch eine kleine Oeffnung aus und wird fortgerissen und zerstäubt durch den Strom von Dampf oder Luft, der durch ein zum ersten konzentrisches Rohr fließt. Sechs 46 cm von einander entfernte Brenner waren in einer durch den Vorderteil des Herdes laufenden Reihe angeordnet; für jeden war in der Wand eine Oeffnung freigelassen. Die Brenner bildeten 3 Paare; in jedem waren sie so gegen einander gekehrt, dass die Kreuzungspunkte ihrer Strahlen auf einer durch die Mitte des Herdes gehenden Linie lagen. Die Einzelheiten der Einrichtung waren bei den verschiedenen Versuchen verschieden.

*Der Kohlenwasserstoffbrenner von Hayes* (Hays Hydrocarbon Burner). — Das Oel fließt aus einem zentralen Rohr durch eine kleine Oeffnung in ein konzentrisches, von einem Dampfstrom gespeistes Rohr und läuft von da diametral durch ein mit erwärmter Luft gefülltes Rohr; endlich tritt es aus diesem durch Oeffnungen aus, die sich im äusseren Mantel dieses Rohres befinden. Man behauptet, dass der Durchgang durch diese überhitzte Luft das Oel gänzlich zerstäubt, bevor es aus den Brenneröffnungen austritt. Die Anlage umfasste 6 Brenner, die bei Dampfdrucken von 6,33 und 5,62 kg per qcm arbeiteten.

*Der Brenner « Till Feed »* mit Luft und Dampfzuführung. — Das Oel läuft aus einem inneren Rohr in ein konzentrisches mit Dampf gefülltes Rohr, und die Mischung geht durch eine Kammer von halbkugelförmiger Gestalt, in welche Luft einfließt. Die Kommission hat sich dahin geäußert, dass die Brenner,

welche gleichzeitig Luft und Dampf erfordern, nicht als befriedigend betrachtet werden können ; jede Frage über ihre Heizwirkung bleibt unberührt.

*Das System « Harvey ».* — Bei diesem System sucht man die flüchtigen Bestandteile von den schwereren des Rohöls zu trennen und sie gleichzeitig zu verbrennen, indem man die dickflüssigen Bestandteile mit demselben Druck wie die gasigen in die Brenner drückt. Dieses System ist ein Typus, von dem zahlreiche Patente das Wesentliche übernommen haben. Die spezielle Art der Anwendung, wie sie das Patent Harvey zeigt, besteht darin, dass man erhitzte Luft in das Rohöl bringt und so einen bestimmten Teil seiner flüchtigen Bestandteile fortnimmt. Eine spezielle Bauart des Brenners ist nicht erforderlich.

*Das System « Branch ».* — Das wesentliche Prinzip dieses Systems beruht auf der Ansicht, dass die vorherige Erhitzung des Oeles ebenso notwendig ist, wie diejenige des Dampfes oder der als Zerstäubungsmittel verwendeten Luft. Der Oelerhitzer besteht aus zwei konzentrischen Zylindern aus Gusseisen, zwischen denen der den verschiedenen Pumpen entweichende Abdampf durchströmt. Der innere Zylinder dient als Behälter für das Oel, bevor es den Brennern zugeführt wird.

Diese letzteren werden hier als von keiner besonderen Bedeutung für die Verwendung des flüssigen Brennstoffes angesehen. Der für die Versuche verwendete Brennertypus bestand aus einem zentralen Rohr für den Dampf oder die Luft und einem konzentrischen Rohr, in welches das Oel eintritt. Am Ende des inneren Rohres war eine kleine Oeffnung und eine ähnliche grössere am äusseren Rohr, genau vor der Oeffnung zum Einlass des Dampfes. Bei der Vorbereitung der Anlage zum Gebrauch dieses Systems wurde das Volumen des Herdes und der Verbrennungskammer verkleinert, indem man sie im unteren Teil mit einer Erdschicht von 13 cm füllte.

*Der Brenner « Advance ».* — Bei diesem System fliesst das Oel aus einer Oeffnung von 0,8 mm Durchmesser, die sich in einem Ansatz befindet ; um denselben ist ein Mantel gelegt, in welchen Luft oder Dampf gepresst wird. Die Mündung des Brenners ist mit einer Rinne versehen. Der erzeugte Strahl hat einen geringen Durchmesser und eine bedeutende Geschwindigkeit. Die Brenner waren schwer zu entzünden und erforder-



ten dauernde Beobachtung. Das besserte sich jedoch durch Verminderung des Dampfdruckes und durch Vermehrung des Druckes des Oels.

*Der Brenner « Booth » oder « Santa Fé ».* — Dies ist ein mit Schlitz oder Falz versehener Brenner, der auf einem grossen Teil des Eisenbahnnetzes von Santa-Fé im Gebrauch ist. Das Oel läuft aus einem oberen rechtwinkligen Schlitz und der Dampf entweicht aus einem unmittelbar unter dem ersten angebrachten anderen Schlitz von gleicher Grösse, aber geringerer Höhe. Für die Versuche mit diesem Brenner wurde eine durchbrochene Wand aus Ziegeln mit einer Ausladung von 0,23 m in den Feuerraum eingebaut. Die zur Verbrennung nötige Luft wurde gerade vor dieser Wand durch eine 0,20 m grosse Oeffnung zugeführt, nachdem die Luft unter einem Kanal aus feuerfesten Ziegeln hindurchgelaufen war. Diese Anordnung bezweckte eine teilweise Erwärmung der Luft von ihrer Zuführung in den Feuerraum.

*Der Brenner W. N. Best.* — Der Brenner ist gleichfalls ein Schlitzbrenner, aber hier kommt das Oel aus dem tieferen Schlitz, wodurch eine Verstopfung dieses Durchgangs durch die Ablagerung von Kohle vermieden werden soll. Indem man so das Oel in gleichmässiger Weise aus dem Speiserohr saugt und dem Zerstäubungsmittel eine grosse Geschwindigkeit giebt, vollzieht sich die Verteilung der Flüssigkeitsteilchen in genügender Masse, und es wird eine vollständige Verbrennung erzielt. Dampf und Luft wurden nacheinander in den Brennern verwendet, von denen 4 geliefert waren, obwohl es scheint, dass man eine weit grössere Verdampfungsfähigkeit gehabt hätte, wenn man 6 verwendet haben würde.

### Ergebnisse der Versuche.

Es wurden 69 Versuche mit flüssigen Brennstoffen ausgeführt. Die genauen Ergebnisse der wichtigsten derselben finden sich in den am Ende des Berichts abgedruckten Uebersichten. Hier mögen jedoch einige besonders interessante Angaben wiedergegeben werden.

*System Harvey.* — Es schien, als ob das beste Mittel die Wirkungen dieses Systems für den Fall natürlichen Zuges zu zeigen, darin bestand, die Ergebnisse zu vergleichen, welche sich beim Gebrauche des « Best »-Brenners mit und ohne Anwendung des « Harvey »'schen Systems zeigen.

Einrichtung der Brenner W.-N. Best	Kg Wasser verdampft von 1 kg Oel	Kg Wasser verdampft per qm Rostfläche in 1 Std.	Kg Wasser verdampft vom Kessel in 1 Std.	Grad des Rauches
Mit Harvey . . .	14,00	1 277	5 951	0 50
Ohne Harvey . . .	13,51	1 536	7 161	0 52

*BEMERKUNG. — Die für diese und die anderen Tabellen berechneten Rostflächen sind diejenigen, welche wirklich hätten Verwendung finden können, um Kohle zu brennen, wenn die Roststäbe am Platze gewesen wären. Alle angegebenen Ziffern sind annähernd.*

Die Einsicht in diese Ergebnisse zeigt, dass das System Harvey die Wirkung hat, das Ergebnis der « Best »-Brenner ein wenig zu verbessern, gleichzeitig aber die Menge des im Herd verbrannten Oeles zu vermindern. Nun ist es augenscheinlich, dass für irgend einen guten Brennertypus man das Ergebnis für das in einem Röhrenkessel verdampfte Wasser verbessern kann, indem man nur die Verdampfung auf die Einheit der Heizfläche reduziert.

*System « Branch ».* — 6 Versuche wurden mit diesem System gemacht ; sie ergaben folgende Werte :

Lfd. Nummer der Versuche	Kg Wasser verdampft von 1 kg. Oel.	Kg Wasser verdampft per qm Rostfläche in 1 Std.	Kg Wasser verdampft vom Kessel in 1 Std.	Druck der Luft im Herd in mm Wasser
23	13,11	1 615	7 522	00,0
24	11,50	2 238	10 425	50,8
25	11,57	2 205	10 276	50,8
26	11,20	1 974	9 199	50,8
27	11,40	2 326	10 833	50,8
28	11,77	2 206	10 279	50,8



Die nachstehenden Zahlen zeigen, dass das Ergebnis befriedigend war, wenn der Zug nicht verstärkt war, d. h. für den ersten Versuch.

Der «Booth»-Brenner von der Santa Fé-Eisenbahn lieferte bessere Ergebnisse mit dem Texas- als mit dem kalifornischen Oel.

Die Tabelle auf der folgenden Seite fasst die Ergebnisse der zehn Versuche mit diesem Brenner zusammen.

*Brenner W. N. Best.* — Die nachstehende Tabelle zeigt, dass dieser Brenner wahrscheinlich einer der besten ist, sowohl für gewöhnlichen wie für verstärkten Zug.

Lfd. N <sup>o</sup> des Versuchs	Kg Wasser verdampft von 1 Kg Oel	Kg Wasser verdampft per qm. Rostfläche in 1 Std.	Kg Wasser verdampft vom Kessel in 1 Stunde	Druck der Luft im Herd in mm Wasser
29	11,60	2 304,1	10 733	50,8
30	12,33	2 032,6	9 469	25,4
31	11,85	2 867,5	13 359	76,2
34	13,46	1 485,2	6 918	0,0
35	12,37	2 064,3	9 616	25,4
36	11,92	2 281,6	10 627	50,8
37	11,23	2 533,5	11 802	76,2
38	13,57	1 589,3	7 403	0,0

Die ganze Anordnung wie die besondere Form des Brenners trug zu den erlangten günstigen Ergebnissen bei.

*Brenner der Kesselschmieden von Oil City.* — Nachstehend findet sich das Ergebnis der vergleichenden Versuche, die mit diesem Brenner bei wechselweiser Speisung mit Texas- und Kalifornischem Oel gemacht wurden.

HERKUNFT DES ÖLES	Lfd. N° des Versuchs	Druck der Luft im Herd	Kg Wasser- verdampft durch 1 kg Öl	Kg Wasser- verdampft auf 1 qm Rost- fläche in 1 Std.	Kg Wasser- verdampft vom Kessel in 1 Std.
		mm	kg	kg	kg
Texas. . . . .	11	0,0	13,80	1 324	6 027
Kalifornien. . . .	4	0,0	12,73	1 182	5 509
Texas. . . . .	3	28,2	12,17	2 085	9 774
Kalifornien. . . .	2	25,4	11,95	1 774	8 264
Texas. . . . .	4	53,1	11,05	2 597	11 468
Kalifornien. . . .	3	50,8	11,47	2 114	9 870
Texas. . . . .	2	94,5	11,30	3 257	15 087
Kalifornien. . . .	3	76,2	11,20	2 709	12 620

*BEMERKUNG : Bei einigen Versuchen war die Dicke der Feuerbrücke vergrößert worden, wodurch sich gleichzeitig eine Verringerung der Grösse des Herdes und dementsprechend der Rostfläche ergab. Die Kommission war der Meinung, dass bezüglich der Abmessungen der Feuerbrücke den Erfindern freie Hand zu lassen sei.*

Die vorbezeichneten Ergebnisse scheinen anzuzeigen, dass bei Anwendung dieser Art Brenner das Texas-Oel, sowohl was Wirtschaftlichkeit als auch was Heizkraft anlangt, über das kalifornische Oel, den Sieg davonträgt. Dies Ergebnis war vorauszusehen, denn da der Brenner von Oil City besonders in Rücksicht auf die Anwendung der leichten Oele von Pennsylvanien und Ohio hergestellt worden war, musste ihm das gereinigte Oel von Texas besser zusagen, als das rohe Oel von Kalifornien. Die Vergleichung zeigt, dass wenn ein guter Brenner ein befriedigendes Ergebnis liefert, es — welches auch immer das verwendete Oel sei — doch wichtig ist, die Einzelheiten der Bauart desselben der Natur des zu verbrennenden Oeles anzupassen.

Man kann jedoch die Brauchbarkeit und die Heizkraft der fragl. Oele gerechter vergleichen, wenn man einestheils die Ergebnisse des Oil City-Brenners mit dem Texas-Oel, anderenteils die des Kalifornisches Oel benutzenden « Best »-Brenners betrachtet. Vergleicht man diese beiden ausgezeichneten Brenner-Sys-



Lfd. N <sup>o</sup> des Versuchs	Tag des Versuchs	Dauer der Versuchs	WITTERUNG	Druck des Dampfes auf dem gcm des Kessels (Korrigiert)	Druck des Dampfes in den Brennern	Druck des Oeles in der Speisungsleitung	Druck der Luft im Herd (Wasser säule)	Durchschnitt der Luft-Zuleitung zum Herd	Gewicht der zur Verbrennung in der Minute verbrauchten Luft	TEMPERATUR				Prozentsatz der Feuchtigkeit des Dampfes	Luftdruck	kg Dampf verbräucht von den Brennern auf 1 kg zerstäubten Oeles	kg Wasser verdampft durch 1 kg verbranntes Oeles	kg Wasser verdampft auf 1 qm Kositfläche	kg Wasser verdampft von Kessel in 1 Std.
										PSYCHROMETER		Dampf für die Brenner	Verbrennungsgas am Boden des Schornsteins						
										Kugel feucht	Kugel trocken			%	mm	Kg	Kg	Kg	Kg
46	April 9	8	Klar und warm	18,95	6,33	0,633	00,0	3947	255,8	17,8	25,6	168	239	48,3	760,5	1,18	13,39	938	3 765
47	10	4	»	19,09	»	0,633	25,4	3947	436,4	18,3	31,1	191	303	48,9	764,2	0,60	12,82	1 637	7 626
48	17	6	»	19,23	»	0,680	00,0	3947	226,8	17,2	27,2	168	253	48,9	756,2	1,17	12,88	955	4 450
49	18	4	»	19,23	»	0,773	25,4	3947	457,2	18,3	28,9	178	279	48,3	756,7	0,77	12,10	1 536	7 154
50	20	3	Bewölkt	19,23	»	0,703	76,2	3947	861,8	20,6	28,9	192	395	47,2	753,4	0,64	11,19	2 186	10 182
51A	21	2	Klar und warm	18,74	»	1,659	76,2	1619	415,0	16,1	28,3	186	352	48,8	754,4	0,44	10,29	1 453	6 766
51B	21	2	»	18,88	»	1,617	76,2	3277	668,1	16,1	28,3	183	416	50,6	754,4	0,67	10,14	1 361	6 341
52	22	2	»	18,81	»	1,617	76,2	1619	411,9	15,0	25,6	183	408	48,9	757,2	0,59	9,52	1 225	5 709
53	23	2	Teilweise bedeckt	18,45	»	1,786	76,2	4205	850,5	13,9	24,4	180	420	48,9	759,5	0,52	9,62	1 482	6 895
54	24	3	Klar und warm	18,66	»	5,273	76,2	3947	840,0	16,7	30,0	190	464	48,9	763,2	0,57	9,62	1 482	6 895

teme, die beide für den Gebrauch bei der Schifffahrt und Industrie sehr geeignet sind, so darf man nicht vergessen, dass die Einrichtung des Systems « Best » nur vier Brenner umfasste, während vom System der Oil City deren sechs vorhanden waren.

*Vergleich zwischen zwei Brenner-Mustern, der eine aus dem Osten und der andere aus dem Westen, mit Texas- und Kalifornischem Oel gespeist.*

Die nachstehende vergleichende Uebersicht zeigt, dass für den natürlichen Zug der kalifornisches Oel verwendende « Best »-Brenner die günstigsten Ergebnisse geliefert hat ; dass für den unter einem Wasserdruck von 25 mm bewirkten Zug die beiden zwei verschiedene Oele anwendenden Brenner ersichtlich dieselben Erträge und dieselben Heizkräfte ergeben haben, und dass bei einem Wasserdruck von 50 mm dem Oil City Brenner mit Texas-Oel der Vorzug gebührte. Die Schlussfolgerung über diese drei Arten Versuche ist, dass die beiden Brennersysteme unstreitig gleichwertig sind, und dass dies auch für die beiden Arten Oele bei gleichem Gewicht zutrifft.

MUSTER DES BRENNERS	Lfd. No des Versuchs	Druck der eingelassenen Luft	Kg Wasser, verdampft, durch 1 kg Öl	Kg Wasser, verdampft auf das qm Rostfläche	Anzahl der Brenner	Kg Wasser, verdampft in 1 Std.	Verwendetes Öl
Oil City . .	11	0,0	13,80	1 324	6	6 027	Tex.
Best . . .	2	0,0	13,52	1 538	4	7 161	Cal.
Oil City . .	3	28,2	12,17	2 085	6	9 774	Tex.
Best . . .	2	25,4	12,35	2 046	4	9 542	Cal.
Oil City . .	4	53,1	11,05	2 597	6	11 468	Tex.
Best . . .	2	50,8	11,75	2 293	4	10 680	Cal.
Oil City . .	2	94,5	11,30	3 257	6	15 087	Tex.
Best . . .	2	76,2	11,54	2 700	4	12 594	Cal.

Für die Versuche mit höchstem Zug scheint die augenfällige grosse Ueberlegenheit des Texas-Oeles sowohl dem höheren Druck des Zuges für den Oil City-Brenner als auch der Zahl



dieser Brenner zugeschrieben werden zu können, welche die Zahl der « Best »-Brenner um 50 % übertrafen. Legt man den Ergebnissen die gleiche Anzahl Brenner zu Grunde, so ist das kalifornische Oel überlegen.

Allgemein betrachtet, scheint es, dass die grösste Verdampfungskraft bei stärkstem Zug durch die leichten Oele geliefert wird, deren Verbrauch sich gleichmässiger regeln lässt.

### **Durch die Verwendung flüssiger Brennstoffe bedingte Veränderungen in der Form der Kessel.**

*Räuminhalt des Kessels.* — Wenn man den Vorgang der Verbrennung des Petroleums einer näheren Betrachtung unterzieht, so ergibt sich die Notwendigkeit, die Abmessungen der Kessel zu vergrössern, um die gleiche Dampferzeugung zu erzielen.

Damit die Verbrennung eine vollständige sei, bedarf es für jedes Atom Kohlenstoff und für jede Gruppe von zwei Atomen Wasserstoff mindestens eines Atomes Sauerstoff, welches mit jenen in Berührung gebracht und alsbald einer für die Zündung hinreichend hohen Temperatur ausgesetzt wird. Es muss eine vollständige Vermischung und darauf Entzündung stattfinden. Man darf bezweifeln, ob eine wenn auch noch so weit durchgeführte mechanische Vermischung jemals innig genug ist, um das gewünschte Resultat zu erreichen. So z. B. entwickelt das mechanisch gemischte schwarze Geschützpulver überreichlichen Rauch, während die vollkommene Verbrennung der rauchlosen Pulversorten auf die Innigkeit der Vermischung oder vielmehr auf die chemische Zusammensetzung zurückzuführen ist, welche in jeglichem Molekül das gleiche Verhältnis zwischen Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff herbeiführt.

Bei gewöhnlicher Verbrennung indessen wird der Sauerstoff der atmosphärischen Luft entnommen, und seine innige Vermengung mit den Brennstoffmolekülen vollzieht sich durch Diffusionswirkung. Diese physikalische Erscheinung besteht in der in allen Richtungen und mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von mehr als 488 m pro Sekunde stattfindenden Schwingung der Sauerstoffmoleküle. Sobald sich jedoch ein Molekül um eine unberechenbare Entfernung aus seiner Lage fortbewegt, wird es durch ein benachbartes Molekül angehalten. Obwohl die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle wahrscheinlich derjenigen einer Flintenkugel gleich ist, so bedarf es somit

nichtsdestoweniger einer verhältnismässig langen Zeit, damit ein Gaspartikelchen eine, wenn auch nur mässige Strecke durchläuft. Die für die Diffusion nötige Zeit bildet die hauptsächlichste Schwierigkeit, welche der Verbrennung grosser Mengen von Material in einem engbegrenzten Raume entgegensteht.

Der Grund, weshalb eine intensive Verbrennung der Holzkohle leicht erreichbar ist, liegt in der soliden Form dieses Brennstoffes, einer Form, welche bei der Entzündungstemperatur beibehalten wird. Der Sauerstoff der Luft kann daher auf eine grosse Oberfläche einwirken, und die Kohlenatome können sich nicht ablösen und durch den Schornstein davonfliegen, bevor sie sich mindestens mit einem Atom Sauerstoff vereinigt haben.

Bei der Verbrennung der Kohlenwasserstoffe dagegen sind die Verhältnisse die folgenden: Der Brennstoff wird schon nach dem Schornsteine hingedrängt, ehe er auch nur angefangen hat, zu brennen. Die erste Wirkung der eintretenden Temperaturerhöhung besteht darin, dass der Kohlenstoff sich von dem Wasserstoffe loslöst. Ob sich nun der Wasserstoff mit Sauerstoff verbindet oder nicht, hat auf die Hervorbringung von Rauch und Russ keinen Einfluss. Der Wasserstoff bleibt, verbrannt oder nicht verbrannt, im Zustande eines durchsichtigen und farblosen Gases. Der Kohlenstoff dagegen, der sich in feinsten Staubform loslöst, befindet sich hier in weit weniger günstigen Verhältnissen, als bei einem Holzkohlenfeuer. Wenn die Kohlenstoffteilchen ebenso wie dort an eine glühende und einem heissen Luftstrome ausgesetzte Kohle gebunden wären, so würde ihre Verbrennung leicht von statten gehen. Da sie jedoch von dem Gasstrome mitgeführt werden, so bleiben sie sozusagen in dauernder Berührung mit den gleichen gasförmigen Molekülen, und wenn ihnen nicht viel Zeit gelassen wird, bevor sie sich abkühlen, so setzen sie sich in der Form von Russ ab. Die Untersuchung einer Verbrennung mit Flamme führt zu ähnlichen Schlussfolgerungen. Der leuchtende Teil einer Flamme ist angefüllt mit bis zur Weissgluthitze erwärmten Kohlentheilchen. Diese Partikel sind aus dem Wasserstoffe, mit dem sie ursprünglich vereinigt waren, geschieden und haben noch nicht die ganze zu ihrer Verbrennung notwendige Sauerstoffmenge angetroffen. Die gegenseitige Verbindung zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff erfordert eine gewisse Zeit, und wenn vor Ablauf der letzteren die Temperatur unter den Verbrennungspunkt hinabsinkt, so wird der Kohlenstoff in der Form von Russ abgesetzt oder aber er fliegt in der Gestalt von



Rauch, und im Uebermasse mit dem Sauerstoffe vermischt, mit welchem er sich hätte verbinden sollen, zum Schornsteine hinaus. Man sieht somit, dass eine kurze Flamme die unumgängliche Grundbedingung zur Verbrennung reichlichen Materials innerhalb eines engbegrenzten Raumes bildet.

Die Bedingungen, welche für die Erzeugung einer kurzen Flamme in Betracht kommen und für diese ausschlaggebend wirken, sind die folgenden :

1. Ein aus reinem Kohlenstoffe bestehendes Brennmaterial, denn dieses kann die Feuerung nicht verlassen, ohne mindestens zu Kohlensäure verbrannt zu sein. Hierbei kann von einer Russerzeugung keine Rede sein, denn die Kohlensäure ist ein durchsichtiges Gas und bleibt auch nach der Abkühlung in diesem Zustande.

2. Eine vorhergegangene innige Vermischung des Sauerstoffes mit dem Brennstoffe, den je vollständiger diese Vermischung ist, destoweniger Zeit wird nötig sein, um durch die Diffusion der Gase eine vollkommene Verbindung zu erzielen.

3. Die vorherige Erhitzung der Luft, wodurch die Geschwindigkeit der Diffusion erhöht wird.

4. Grosse Berührungsflächen zwischen dem Brennstoffe und dem Sauerstoffe.

Es ist augenscheinlich sehr wünschenswert, dass der Rauminhalt der Heizkammer mindestens demjenigen der entstehenden Flamme gleich sei. In dieser Beziehung muss man beachten, dass eine mässige Vergrösserung der Heizkammer auf die Vollständigkeit der Verbrennung in zwei Richtungen einwirkt, erstens nämlich, wie wir schon gesagt haben, indem den Kohlenstoffteilchen mehr Zeit gegönnt wird, um ihre Verbrennung zu vollenden, oder um nach und nach durch die Diffusion eine genügende Menge von Sauerstoff zu finden, und zweitens weil sich gewisse Vorgänge einstellen, welche in diesem Falle eine Verminderung des Volumens der Flamme herbeiführen. Man verdankt das der in der vergrösserten Kammer festzustellenden Vermehrung der Temperatur, welche Vermehrung die Diffusion des Sauerstoffes und daher die Verbrennung beschleunigt.

Während die Verbrennung vor sich geht, entwickelt sich Hitze in allen Punkten, wo jene sich vollzieht. Infolgedessen

wird jeder beliebige Punkt des Verbrennungsraumes durch die erheizenden Strahlen durchschnitten, welche aus allen anderen Teilen dieses Raumes entsandt werden. Man sieht also, dass die Temperatur an jenem Punkte mit dem Rauminhalte des Verbrennungsraumes zunehmen muss, und zwar bis zu der Grenze, welche durch die Wärmedurchlässigkeit der Umgebung und durch die Dissoziations-Temperatur bestimmt wird und bei welcher natürlich jede Entwicklung von Hitze aufhören muss. Da die Wärmedurchlässigkeit der Gase in dem Verbrennungsraume durch die Gegenwart von Kohlenstoff in festem Zustande vermindert wird, welcher stets undurchlässig oder adiatherm bleibt, gleichviel ob er sich in schwarzem oder in glühendem Zustande befindet, so ergibt sich, dass die durch eine Vermehrung des Rauminhaltes erzielte Temperaturerhöhung bei einer leuchtenden Flamme niedriger ist, als bei einer farblosen Wasserstoff- oder Kohlenwasserstoffflamme.

Die Frage nach der passendsten Grösse, welche dem Verbrennungsraume zu geben ist, wird noch schwerer lösbar durch die Gegenwart der festen Wände des Feuerungsraumes und durch den Zustand, in welchem sich dieselben befinden. Diese Wände können selbst glühend oder aber schwarz und daher nur zur Absorbierung der Hitze geeignet sein. Es erscheint unzweifelhaft, dass glühende Wände die Diffusion beschleunigen und infolgedessen die Flamme verkürzen müssen.

Wenn die Diffusion vor der Verbrennung in vollkommenem Masse herbeigeführt werden kann, wie das in dem Gasbrenner von Bunsen der Fall ist, so verschwindet natürlich jede Schwierigkeit, und man erhält auf leichte Weise eine kurze Flamme, welche überdies keinerlei Russ absondern kann, und zwar selbst nicht auf kalten Flächen.

Hat man mit einem nicht der Verdunstung unterliegenden flüssigen Brennstoffe zu tun, so müssen die Diffusion und die Zündung gleichzeitig erfolgen. Es ist dabei also die Hervorbringung einer Flamme von grosser Abmessung notwendig. Hinsichtlich derartiger Stoffe besteht noch eine andere Schwierigkeit, welche bei festem Brennmaterial nicht vorkommt, nämlich die Kapillarität oder Oberflächenspannung. So fein die Flüssigkeit auch zerstäubt werden mag, so nimmt doch jedes Tröpfchen Kugelgestalt an und bietet daher der Berührung durch den umgebenden Sauerstoff nur ein Minimum von Oberfläche dar.

Aus den vorstehenden Betrachtungen ergibt sich, dass ein flüssiger Brennstoff, wie Rohpetroleum, für seine Verbrennung



einen sehr grossen Raum erfordert, und zwar noch einen grösseren, als irgend eine andere Art von Brennmaterial.

Was die Schwierigkeiten anbetrifft, welche sich aus der Neigung der Gase ergeben, der Richtung des geringsten Widerstandes zu folgen und sich in der Mitte mit zu grosser, an den Wänden dagegen mit zu geringer Geschwindigkeit fortzubewegen, so kann man dadurch Abhilfe schaffen, dass man Vorkehrungen trifft, welche geeignet sind, die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Teilen desselben Abschnitts auszugleichen. Die betreffende Schwierigkeit besteht, von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, also nur noch in der Ausfindigmachung der geeigneten Stelle für jene Vorkehrungen, und offenbar bietet sich die Lösung der Frage durch die Erfahrung.

Was in Hinsicht auf die Verbrennungskammer gesagt worden ist, trifft zum grossen Teile auch für die röhrenförmigen Räume zu. Die für die Verbrennung so wesentlich erscheinende Diffusion, setzt sich auch nach Beendigung der Verbrennung fort, und muss eine sehr wichtige Rolle bei der durch die zu heizenden Flächen veranlasste Erscheinung der Entziehung der Hitze der Gase spielen. Hinsichtlich des für den Zug notwendigen Druckes ist ein röhrenförmiger Raum von geringer Länge und starkem Querschnitte einem solchen von geringem Querschnitte und grosser Länge, was den Abzug der Gase anbetrifft, vorzuziehen. Die Verminderung der Geschwindigkeit des Gasstromes aber zieht auch eine Verminderung der wirbelförmigen Bewegungen in der Gasmasse nach sich, und die Vermischung der letzteren wird dann weniger sicher, woraus sich um so mehr die Notwendigkeit einer guten Verteilung der Heizfläche ergibt.

Betrachtet man das Problem der flüssigen Brennstoffe mehr vom praktischen und mechanischen Standpunkte, als von demjenigen der Theorie oder Chemie, so erkennt man, wenn der Brennstoff in hinreichender Menge vorhanden und billig ist, und wenn man für diese Art der Heizung besondere Kessel bauen will, die Notwendigkeit, zum Zwecke einer wirksamen und vollständigen Verbrennung Kessel zu benutzen, deren Rauminhalt bei gleicher Verdunstung grösser ist, als derjenige der gewöhnlichen Kesselarten.

*Bauart der Feuerungsanlage.* — Wenn man die Verbrennung des Petroleums nicht forcieren will, so hat sich die zylindrische Feuerung eines gewöhnlichen Marine-Heizröhrenkessels als hinreichend zweckmässig erwiesen, besonders wenn man ihn

im vorderen Teile der Feuerung verlängert, um den Vollzug der Verbrennung zu ermöglichen, bevor die Gase in die Röhren eintreten.

Die Aufgabe wird schwieriger bei einem Wasserröhrenkessel so weit wenigstens der sparsame Verbrauch des Brennstoffes in Betracht kommt. Wenn bei einem Kessel von gewöhnlicher Bauart die Gase durch die Röhren streichen, so ist die dabei entstehende Reibung hinreichend stark, um den Gasen einen bedeutenden Teil ihres Wärmestoffes zu entziehen und sie zu dem unteren Teile des Schornsteines in einer verhältnismässig niedrigen Temperatur gelangen zu lassen. Wenn dagegen in einem Wasserröhrenkessel die Gase um die Röhren herumgehen, so erfahren sie nur eine geringe Verzögerung ihrer Fortbewegung, und die Folge ist, dass sie durch den Schornstein in einer verhältnismässig hohen Temperatur abziehen. Verbrennt man Petroleum in einem Kessel mit gekrümmten Röhren, so kommt es sogar häufig vor, dass die Verbrennung sich mehr im oberen, als im unteren Teile des Schornsteines vollendet.

Aus dem vorstehend Gesagten ergibt sich, dass es bei einem Wasserröhrenkessel von höchster Wichtigkeit ist, Verzögerungsvorkehrungen zu treffen, und zwar nicht nur um die Leistung zu erhöhen, sondern auch, um die Erhaltung des Kessels zu sichern. Der Kessel mit geraden Wasserröhren bietet einen besonderen Vorteil für die Verwendung von Petroleum, indem er nämlich die Anlage einer Verbrennungskammer von beträchtlichem Rauminhalte erleichtert, in der sich die vollständige Verbrennung des Oeles vollziehen kann.

Die gewöhnlichen Marine-Kessel mit Heizröhren setzen der Verwendung von Oel einige Hindernisse entgegen, weil der Rauminhalt des Heizraumes gering ist, und weil der Mangel für die Verbrennung verfügbaren freien Raumes eine sehr sorgfältige Anordnung des Mauerwerkes im Inneren und um den Heizraum herum unumgänglich notwendig macht. Augenscheinlich ist es leicht möglich, das Oel direkt in dem aus Metall hergestellten Heizraume eines gewöhnlichen Marine-Kessels zu zerstäuben, wobei die Flamme gegen Stahlbleche von niedriger Temperatur geschleudert wird. Obwohl man häufig in dieser Weise zu Werke geht, kann man eine solche Lösung der Frage doch auf keinen Fall als praktisch empfehlenswert betrachten. Zu einer befriedigenden Verbrennung des Oeles ist es erforderlich, dass der Strahl zerstäubten Oeles nicht auf die kalten oder verhältnismässig kalten Flächen der metallischen



Wände stösst, bevor die Verbrennung stark fortgeschritten ist. Bei einer sorgfältigen Bauausführung der für die Verbrennung von Petroleum bestimmten Heizräume ist es notwendig, dass die Umwandlung, wenn nicht ganz, so doch wenigstens teilweise mit einem Mantel aus feuerbeständigem Material umgeben wird.

Das Vorhandensein der überheizten Steine ist zur Erleichterung und Beschleunigung der Verbrennung sehr nützlich und noch nützlicher für die Regelmässigkeit der Heizung des Kessels, besonders wenn die Brenner dazu neigen, stossweise zu arbeiten, wie das häufig vorkommt, wenn die Pumpen schlecht gehen, oder wenn das Petroleum Wasser oder Fremdstoffe fester Beschaffenheit enthält. Ein das Innere des Heizraumes eines Kessels auskleidender Mantel aus feuerbeständigem Material verursacht keinen ernstlichen Verlust bei der Uebertragung der Hitze, denn er wird in seiner ganzen Dicke sehr schnell glühend und überträgt in fortgesetzter und gleichmässiger Weise einen grossen Teil der von ihm absorbierten Hitze auf das Metall.

Für die aus Stein herzustellenden Vorkehrungen in einem zylindrischen Feuerungsraume kommen verschiedene Anordnungen in Betracht. So z. B. kann der ganze Feuerungsraum ausgekleidet und die Verkleidung bis in die Verbrennungskammer so weit fortgeführt werden, dass die hinteren Bleche vor der direkten Berührung der Flamme geschützt bleiben. Der Brenner kann inmitten der Türöffnung angebracht werden, und das Oel direkt in den Feuerungsraum hineinstäuben, welcher letztere dann vollständig für die Verbrennung ausgenutzt wird. Auch lässt sich die Verbrennungskammer auskleiden, während man die Feuerungsbrücke aus feuerbeständigem Material beibehält, den gewöhnlichen Rost an seinem Platze belässt und ihn mit einem locker gelegten Belage aus nicht fugendicht aneinanderstossenden Steinen versieht. In diesem Falle darf der Feuerungsraum nicht ausgekleidet werden, damit er einen möglichst grossen Rauminhalt behält. Die besagte Anordnung hat den Vorteil, dass sie schnell beseitigt werden kann, wenn man zur Feuerung wieder Kohlen benutzen will. Ferner kann auch die Feuerungsbrücke beseitigt und durch ein Gewölbe ersetzt werden, hinter welchem ein Raum verbleibt, der hinreicht, um als Verbrennungskammer zu dienen. Diese Kammer und der Feuerungsraum müssen in ihrer ganzen Ausdehnung mit einer Fütterung aus feuerbeständigem Material versehen werden, ausgenommen die Mitte des Gewölbes, wo man es vermeiden muss, den für den Durchgang der Gase verfüg-

baren Querschnitt zu sehr zu verringern. Eine solche Einrichtung gewährleistet eine innige Vermengung der Flamme und der Gase, sie verringert aber die nutzbare Länge der Feuerungsanlage. Letztere Unzutraglichkeit kann man allerdings dadurch wettmachen, dass man im vorderen Teile der Feuerungsanlage einen zweickmässig im Inneren ausgekleideten vorspringenden Kasten anbringt. Andere Abänderungen der Feuerungsanlage werden notwendig, wenn man zur Zerstäubung des Oeles weder Dampf- noch Pressluft benutzt, und wenn man die zur Verbrennung notwendige Luft erhitzt und in Gestalt rotierender Ströme einführt.

Die Wasserröhrenkessel haben meistens Feuerkästen, deren Rauminhalt etwas grösser ist, als derjenige der Feuerungskästen gewöhnlicher Kessel. Man kann hier daher die Steine eher in einer Weise anordnen, welche den besonderen Anforderungen der Verwendung flüssiger Brennstoffe entspricht. Bei den meisten dieser Kessel pflegt man die Brenner entweder in die Feuerungstüren zu verlegen oder an Stelle dieser Türen zu setzen. In Wirklichkeit würde es häufig vorzuziehen sein, den Brenner rückwärts am Kessel anzubringen und die Flamme nach vorn zu richten, wobei man den grössten Teil des Feuerungsraumes für den Durchgang der Gase im Augenblicke ihrer grössten Ausdehnung freibehalten würde. Da sich aber die ganze Apparatur, die Anschlüsse und die Verbindungsstücke im vorderen Teile des Kessels befinden, so ist es bequemer, den Brenner ebenfalls dort anzubringen, als ihn nach hinten zu verlegen, wo er sehr schwer zugänglich sein würde.

Bei den gewöhnlichen Kesseln lassen sich im Bau des Feuerungsraumes verschiedene mehr oder minder vorteilhafte Veränderungen vornehmen. Man kann die Roststäbe herausnehmen und die Brenner vorn einsetzen, um den ganzen Rauminhalt des Feuerungsraumes auszunutzen. Auch kann man die Brenner ihren Strahl oberhalb eines mit nicht fugendicht aneinanderstossenden Steinen belegten Rostes ausspritzen lassen; zwischen den Steinen kann die Luft hindurchstreichen. Diese Anordnung ist vorteilhaft wegen der Leichtigkeit, mit welcher man den Kessel jeweils für die Verbrennung von Oel oder von Kohle umwandeln kann; dagegen bietet sie den Nachteil, dass der Inhalt des Feuerungsraumes beträchtlich vermindert wird. Ferner kann man die Roststäbe herausnehmen und die Sohle des Feuerungsraumes mit einem dünnen Belage aus feuerbeständigen Steinen versehen, welcher so angeordnet ist, dass er sich durch die direkte Berührung der brennenden Gase



und durch die Wirkung der Strahlung bis zu hoher Temperatur erhitzt. Die unter dem Belage vor Eintritt in den Feuerungsraum entlangstreichende Luft erhitzt sich sehr schnell, wodurch die Wirkung der Verbrennung vermehrt wird.

Es sind noch vielerlei andere Abänderungen möglich. Der Feuerungsraum kann mit einem gedrückten Gewölbe oder mit einer Reihe von Bogengewölben, mit oder ohne Verbrennungskammer dahinter, versehen werden. Zum Zwecke der Erhitzung der Luft lässt sich ein Steinbelag hinzufügen. Man kann den Feuerungsraum auch nach vorn hin verlängern, wie wir das hinsichtlich der gewöhnlichen Kessel schon gesagt haben. Schliesslich lassen sich sogar, wenn es notwendig ist, besondere spiralförmige Apparate einsetzen, um die zur Verbrennung bestimmte Luft zu erhitzen.

### **Nebensächliche Anordnungen für den Gebrauch des Petroleums.**

*Filter.* — Da die meisten Rohöle aus Bohrlöchern stammen, so führen sie notwendiger Weise in mehr oder weniger inniger Mischung kleine Mengen Wasser, sowie eine grössere oder geringere Menge Sand oder Erde mit sich. Je schwerer und zäher das Oel ist, desto mehr Neigung hat es, diese schädlichen Bestandteile aufzunehmen und in suspendiertem Zustande in sich zu bewahren.

Im allgemeinen kann man sicher sein, dass kein Rohöl vollkommen rein ist. Bei dem Entwurfe einer Anlage für Oelheizung muss man daher besondere Vorkehrungen treffen, um den gesamten Sand und die sonstigen Fremdstoffe zurückzuhalten. Auch muss man dafür sorgen, dass man das Wasser entfernen kann, welches sich nach und nach am Boden der Tanks oder Behälter absetzt.

Die Gegenwart des Sandes in dem Oele hat eine anormale Abnutzung der Ausströmungsöffnungen der Brenner zur Folge, und, wenn diese Oeffnungen sehr klein sind, so kann sogar ihre vollständige Verstopfung eintreten.

Die Filter macht man vorzugsweise aus Messingdrahtgewebe, dessen Oeffnungen nicht zu gross sein und in ihrer Weite nicht die Hälfte der Oeffnungsweite der für den Durchgang des Oeles bestimmten Brenner überschreiten dürfen.

Was die Anordnung dieser Filter betrifft, so bringt man häufig einen am Eintritte und einen am Austritte der Pumpe

an. Diese Einrichtung verhindert den Sand am Eindringen in die Pumpe und ebenso den Eintritt von Stopfungsteilen oder anderen aus der Pumpe losgelösten Stoffen in den Brenner. Eine noch zweckmässigere Anordnung besteht darin, dass man zwischen der Pumpe und den Brennern zwei Filtern nebeneinander so anbringt, dass das Oel, wenn man den einen der beiden Filter reinigt, durch einen Dreiwegehahn dem anderen zugeführt wird.

### Trennung des Wassers.

Es giebt keine praktische Vorrichtung, die eine augenblickliche Trennung von Oel und Wasser ermöglicht. Diese Trennung kann in befriedigendem Masse nur dann vor sich gehen, wenn man das Wasser infolge seiner grösseren Dichtigkeit sich allmählich auf dem Grunde der Behälter setzen lässt. Doch dieses natürliche Streben bewirkt, dass, wenn das Saugrohr der Oelpumpe auf dem Grunde des Behälters mündet, sie oft Wasser statt Oel aufnehmen wird. Ein durch den Brenner ausgespritzter Wasserstrahl genügt, die Flamme auf dem Herd auszulöschen, und, wenn das Oel nicht unverzüglich nach dem Erlöschen weiterfliesst, ist es unmöglich, sie ohne Benutzung einer fremden Flamme zu entzünden. Um das Aufsaugen von Wasser durch die Pumpe zu verhindern, hat man das Saugrohr durch einen um ein Gelenk sich drehenden, beweglichen Teil endigen lassen, um hierdurch der Mündung zu gestatten, sich in dem Behälter zu heben und zu senken und immer im reinen Oel zu bleiben.

Bei gewissen englischen Einrichtungen ist das bewegliche Saugrohr an einem Schwimmer befestigt und die Saugmündung bleibt so einige Zentimeter unter der Oberfläche des Oels stehen. Das äusserste Ende des Rohres ist gleichzeitig von einer Dampfschlange umgeben, die bezweckt, das Oel in der Nähe der Saugstelle leicht anzuwärmen, um seine Flüssigkeit zu erhöhen und sein leichtes Ausfliessen selbst bei niedriger Temperatur zu sichern.

Es ist unerlässlich, am Boden eines jeden Behälters einen Reinigungshahn anzubringen, aus dem man das Wasser ablaufen lassen kann, das sich im Trog niedergesetzt hat. Die Zähflüssigkeit gewisser Rohöle ist schon, bei gewöhnlicher Temperatur, gross und vermehrt sich in dem Masse, als das Oel kalt wird. Bei ungefähr 0° C., einer sehr gewöhnlichen



atmosphärischen Temperatur, ist die Flüssigkeit dieser Oele dergestalt verringert, dass es beinahe unmöglich ist, sie auszupumpen oder sie zu zwingen, durch die Brenner zu fliessen.

Wenn man daher flüssige Brennstoffe dieser Gattung in Gegenden, in denen der Winter streng ist, anwenden will, muss man Einrichtungen treffen, die gestatten, das Oel anzuwärmen, um ihm grössere Flüssigkeit zu geben. Anstatt zu versuchen, den ganzen Behälter zu heizen, begnügt man sich gewöhnlich, das Oel in unmittelbarer Nähe der äussersten Spitze des Saugrohres anzuwärmen. Man erreicht dies leicht dadurch, dass man eine kurze Dampfschlange um dieses Rohr legt.

Alle zum Durchgang von Rohölen bestimmten Rohre müssen mit den Damprohren derart verbunden sein, dass sie nach Schliessung der Verbindung mit dem Oelbehälter Dampf einzuführen gestatten. Man kann sie so wirksam durch die Wirkung der Hitze und die lebendige Kraft des Dampfes reinigen und alle Bodensätze von Asphalt, Paraffin und anderen festen Kohlenwasserstoffen, die sich dort ansetzen, fortführen. Diese Reinigungen müssen stattfinden, bevor die Niederschläge so stark geworden sind, dass sie den Umlauf des Petroleums hemmen.

Was die Erwärmung des Oels anbetrifft, so ist sie immer wünschenswert, da sie ein besseres Arbeiten der Pumpen und Brenner sichert. Doch darf sich die Erhitzung niemals bis zu dem Punkte erhöhen, an dem sich die Kohlenwasserstoffe trennen würden. Diese Temperatur ist für das Petroleum jeden Ursprunges bekannt; sie ist durch Erfahrung bestimmt.

*Druck-Regulatoren für Oel.* — Für die meisten Brenner ist es wünschenswert, dass ein gleichmässiger Druck in der Zuführungsleitung für Oel herrscht. Man könnte ihn durch eine automatische Regulierung der Pumpen sichern, wenn es möglich wäre, diese auf vollkommene Weise zu bewirken. Eine sehr sichere Einrichtung besteht darin, die Staukammer der Oelpumpe mit einer Luftglocke zu versehen, ähnlich derjenigen der gewöhnlichen Druckpumpen. Man kann auch eine besondere Luftkammer anwenden und dort einen beständigen Druck durch passende Vorrichtungen unterhalten.

Bei allen Einrichtungen für Verwendung von flüssigen Brennstoffen ist es ausserordentlich wichtig, ein sicheres Ineinandergreifen der Teile herzustellen, die den Eintritt des Oels und des zum Zerstäuben bestimmten Gases bewirken, ob dies nun Dampf oder komprimierte Luft ist. Diese Verbindung ist

so herzustellen, dass, wenn der Eintritt einer der Flüssigkeiten aus irgend welchem Grunde sich vermindert oder aufhört, eine entsprechende Verminderung oder Unterbrechung unverzüglich im Ausfluss der anderen Flüssigkeit stattfindet.

Besonders wichtig ist es, dass das Oel auf keinen Fall in die Brenner kommt, wenn der Zutritt des Dampfes oder der zum Zerstäuben notwendigen Luft unterbrochen ist. Denn da dieses Oel nicht mehr auf den Herd gespritzt wird, würde es am Brenner in Form einer ziemlich festen Masse herabfliessen und, wenn es die feuerfesten, weissglühenden Ziegel erreicht, würde sehr wahrscheinlich eine Explosion stattfinden.

Die Vorschriften der Versicherungsgesellschaften führen hauptsächlich an, dass im Falle eines Aufhörens im Ausfliessen des Oels auf den Brenner alle anderen Apparate automatisch zu unterbrechen sind.

*Ventilation der Behälter.* — Für die Aufspeicherung des flüssigen Brennstoffes an Bord des Schiffes ist es von höchster Bedeutung, nicht nur die grösste Aufmerksamkeit auf die Einrichtung und Ausführung der Nietungen zu richten, um eine vollkommene Dichtheit der Kammern und der Doppelböden, die als Behälter dienen, zu sichern, sondern man muss auch sorgfältig die Frage ihrer wirksamen Ventilation prüfen. Bekanntermassen erzeugen die Rohöle Explosivstoffe in mehr oder weniger grosser Menge, und da diese Dämpfe dichter als Luft sind, bleiben sie an der Oberfläche der Flüssigkeit in den Behältern, in denen sie sich befinden. Man kann diese Gase durch natürliche oder künstliche Mittel absaugen; da jedoch ihre Bildung sehr langsam vor sich geht, so genügt ein gewöhnliches, gut durchgeführtes Ventilations-System, um sie in dem Masse, als sie sich bilden, fortzuführen.

Alle Luftkanäle, die von den Behältern kommen, müssen so direkt wie möglich bis zum Deck geleitet werden, doch ist zu vermeiden, sie in der Nähe von Schornsteinen anzubringen. Ein feines Metallnetz sollte auf jeden Fall in der Oeffnung der Klappe jedes Luftkanals, der mit dem Oeltrog in Verbindung steht, eingelötet sein. Dieses engmaschige Netz würde keineswegs den Ausgang des Gases hemmen, doch hindert es den Rücktritt der Flamme in den Kanal falls ein Funke des Schornsteines oder das Feuer eines nachlässigen Rauchers nach der Oeffnung der Klappe fliegt.



*Luftkompressoren.* — Für Schiffsdampfkessel zieht man gewöhnlich die Benutzung komprimierter Luft in den Brennern der des Dampfes vor, um den Verlust von Süßwasser zu vermeiden, den der Verbrauch des nicht wiederzugewinnenden Dampfes herbeiführt. Bei den Modellen der am meisten verbreiteten Brenner ist die Menge der notwendigen Luft beträchtlich und die Abmessungen der Kompressoren machen die maschinelle Anlage im Maschinenraum bedeutend grösser. Es geht daraus hervor, dass es für Schiffe, die nur kurze Reisen machen, ohne Zweifel praktischer ist, Dampf zu verwenden und Wasser in den Häfen zu kaufen, als die umfangreichen und behindernden Kompressoren zu verwenden, die zur Benutzung komprimierter Luft notwendig sind.

Gewisse Arten von Brennern können vermitteltst Luft unter viel geringerem Drucke arbeiten, der die Benutzung von Ventilatoren statt Kompressoren ermöglicht. Es ist wahrscheinlich, dass sich diese Brenner aus diesem Grunde besser für den Gebrauch der Marine eignen. Immerhin nehmen die Ventilatoren noch einen ziemlich bedeutenden Platz in den Maschinen- oder Kesselräumen ein, und andererseits ist es nicht endgültig festgestellt, ob die Verbrennung mit Hilfe von Brennern bei niedrigem Luftdruck sich in ebenso befriedigendem Masse vollzieht, als bei denen, die unter höherem Druck arbeiten.

### **Wert des Oels als Brennstoff vom allgemeinen Standpunkt aus.**

Bei einer allgemeinen Prüfung des Wertes der verschiedenen Petroleumsorten als Brennstoff hat man folgende Faktoren zu betrachten :

*Relative Verdampfungskraft.* — Die relative Verdampfungskraft von Petroleum und Kohle ist durch die Ergebnisse einer langen Reihe von vergleichenden Versuchen festgestellt und steht im Verhältnis von 15 : 10. Man kann sogar zugeben, dass die reelle und praktische Ueberlegenheit des Oels noch viel grösser ist, denn die Versuche mit Kohle wurden mit aussergewöhnlicher Sorgfalt und vielem Geschick gemacht. Man wandte Kohle in Stücken von besserer Beschaffenheit an und, da die Versuche nur kurze Zeit dauerten, war der durch das Reinigen der Feuer bedingte Zeitverlust viel geringer, als er es bei normalem Betriebe ist. Dagegen wurden die Versuche mit Petroleum unter Bedingungen gemacht, die sich mehr denen

an Bord der Schiffe bei regelrechtem Dienste näherten. Man kann also mit grösserer Genauigkeit zugeben, dass die wirkliche Verdampfungskraft von Petroleum und Kohle im Verhältnis von 17 : 10 steht.

Gleichzeitig hat man festgestellt, dass die Wärme erzeugende Kraft für Rohöl und raffiniertes Oel bei gleichem Gewicht dieselbe ist. Wenn einerseits die Rohöle Schwefel und andere chemische Bestandteile von wenig Wärme erzeugender Kraft enthalten, setzen sie sich andererseits aus sehr kohlenwasserstoffreichen Substanzen zusammen. Durch die Wirkung der Destillation werden nicht nur der Schwefel sondern auch die reichsten Kohlenwasserstoffbestände fortgeschafft und folglich bleibt von praktischen Standpunkt aus gesehen die Verdampfungskraft bei ein und demselben Gewicht des Oeles unveränderlich ; es ist gleichgültig, welchen Ursprungs das betreffende Petroleum ist.

Nimmt man als Grundlage zum Vergleich das Volumen, so ergibt sich, dass die schwersten Oele die besten Erträge liefern. Und da das Oel nach Gallonen verkauft wird, d. h. nach Mass, hat das Petroleum von Kalifornien, das am dichtesten ist, den Vorzug vor allen andern in Bezug auf Wärme erzeugende Kraft. Hingegen muss man sich einige Zeit lang auf grössere Schwierigkeiten und Ausgaben gefasst machen, um dahin zu gelangen, schwere Oele mit aller wünschenswerten Gleichheit und Wirksamkeit zu brennen. Die Vorteile halten sich also einander das Gleichgewicht, und vom praktischen Standpunkt aus scheinen die schweren Oele den anderen nicht überlegen zu sein.

*Relative Kosten.* — Der relative Wert der Kohle und des Petroleums als Brennstoffe wird von Bedingungen beeinflusst, die sich bei jeder Anwendung derart ändern, dass man unmöglich eine allgemeine, für alle Fälle passende Regel aufstellen kann.

Eins der bemerkenswertesten Beispiele, das man anführen kann, um ein Bild von den handelsmässigen, relativen Werten der beiden Brennstoffe zu geben, ist dasjenige, welches die Resultate beim Ziehen der Züge der « Atchison, Topeka and Santa-Fé Railroad Co » ergeben. Diese Gesellschaft hat durch Versuche die Kosten zum Ziehen pro Zugmeile festgestellt. Sie wandte entweder Kohle an zum Preise von 6.65 Dollar pro Tonne oder Petroleum zum Preise von 1.33 Dollar pro Fass den Dollar gleich frcs 5.18 rechnend Kohle zu frcs 38 pro 1 000 kg und Petroleum zu frcs 4.34 pro hl.



25 Lokomotiven zu Personen- und Güterzügen verbrauchten in 30 Tagen 2 077 Tonnen Oel und durchliefen 141000 km gleich 69 km pro Tonne, wenn jede Maschine durchschnittlich 5 600 km in einem Monat (30 Tage) durchlief. Das Petroleum mit frcs 4.34 pro hl berechnet, würde sich der Brennstoff auf frcs 0.46 pro km und pro Tag stellen. 25 Lokomotiven zu Personen- und Güterzügen dieselben Tage, auf denselben Geleisen unter gleichen Bedingungen laufend und Kohle brennend kosteten in Bezug auf den Brennstoff frcs 0.75 pro km und pro Zug. Das verwendete Petroleum hatte 15° Baumé (0.962 Dichtigkeit) und näherte sich dem von dem Flusse Kern, das 14° bis 17° Baumé wiegt. Die Kosten der Heizung mit Oel betragen nur 0,62 von denjenigen der Heizung mit Kohle; ergaben also eine Ersparnis von 38 % gegen die Kosten der letzteren.

Bei diesem wirklich praktischen und langem Versuche kostete das Oel pro hl 8.96 mal weniger als Kohle pro Tonne und die Heizungskosten mit Oel betragen 0.62 derjenigen mit Kohle. Es geht daraus hervor, wenn der Preis der Kohle pro 1 000 kg 5.44 mal niedriger würde als der des Petroleums pro hl.

### **Bedingungen für das gute Arbeiten der Anlagen.**

*Zuführung von Luft.* — Die Grösse der Oeffnungen der Aschkästen muss, wenn man einen flüssigen Brennstoff verwendet, durch Versuche für die verschiedenen Fälle bestimmt werden derart, dass sie genau die zur vollständigen Verbrennung notwendige Luft durchgehen lässt. Man neigt allgemein bei der Heizung mit Petroleum dazu, zuviel Luft zuzulassen und man muss dem durch Verwendung einer Reihe von Klappen und Schutzwänden, deren Oeffnungen sich mit sehr grosser Genauigkeit regulieren lassen, abhelfen.

Wenn man Kohle brennt, bedeckt dieser Brennstoff die Oberfläche des Rostes und verlangsamt den Durchgang der vom Aschkasten kommenden Luft. Das Lager des unverbrannten Brennstoffes begrenzt also die Luftmenge, die bis zum Verbrennungsherd gelangen kann.

Wenn man Petroleum brennt, stellt sich kein Hinderniss dieser Art dem Durchgange der Luft in den Weg. Im Gegenteil, die Erwärmung der eingeführten Luft erhöht die Schnelligkeit ihres Durchganges. Die Verminderung, von der Zeit herührend, während der die Diffusion der Luft bei Berührung

mit den Oelpartikeln und deren Verbrennung vor sich geht, lässt den durch die Schnelligkeit, mit welcher sich die feinere Verteilung der Oelpartikel vollzieht, verursachten Vorteil aufheben und ausgleichen.

Eins der für die vollständige Verbrennung von Oel wichtigsten Probleme wird also darin bestehen, die Bewegung des Gases zu verzögern, um derart eine vollständige Verbrennung der flüssigen Partikel in der Verbrennungskammer und dem röhrenförmigen Raum zu sichern. Hilfsvorrichtungen wie altar- oder bogenförmige Einbauten, Mauern an denen sich die Gase stossen und andere Hindernisse sind also hierzu beim Bauen der Herde notwendig. Diese Notwendigkeit, das Strömen des Gases zu verzögern, verhindert die sparsame Einrichtung von Petroleumbrennern bei gewissen speziellen Arten von Kesseln mit gebogenen Wasserrohren. Aus diesem Grunde wird wahrscheinlich die Verwendung dieses Heizungssystems für Kessel mit Wasserrohren auf Modelle beschränkt bleiben, die eine Anbringung von zahlreichen Hindernissen im Wege des Gases zulassen.

*Hygrometrische Bedingungen.* — Die oben beschriebenen Versuche befanden sich noch im Anfange, als man schon feststellen konnte, dass der hygrometrische Zustand der Atmosphäre von bedeutendem Einfluss sowohl auf die Verdampfungsfähigkeit wie die Wirksamkeit der Brenner ist.

Die durch die Feuchtigkeit verursachte Verminderung der Wirkung beruht auf zwei Ursachen :

1) Wird durch den Wasserdampf eine gewisse Menge Sauerstoff in einem gegebenen Volumen atmosphärischer Luft verdrängt. Dies zieht eine Vermehrung des Volumens nach sich, das nötig ist, um das zur Verbrennung unerlässliche Gewicht von Sauerstoff zu liefern, und infolge dessen eine Abkühlung der erzeugten Gase.

2) Wird die Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes und der verbrennbaren Gase vermindert, weil untätiger Wasserdampf vorhanden ist.

*Wirkung des eingespritzten Dampfes hinsichtlich der Wärmeerzeugung.* — Es herrscht ein weit verbreitetes Vorurteil, über die Rolle, die der zur Zerstäubung des Oeles verbrauchte Dampf spielt. Viele glauben, dass nach dieser Zerstäubung



eine Zersetzung des Dampfes stattfindet, und dass Wasserstoff und Sauerstoff sich wieder vereinigen und so noch Wärme zu der durch das Brennmaterial erzeugten hinzufügen. Es ist möglich, dass der Vorgang sich so vollzieht und dass der Charakter und die Art der Verbrennungs-Erscheinungen durch den Dampf abgeändert werden. Wenn aber höhere Temperaturen an einigen Punkten der Flamme auftreten, so müssen anderwärts, zwischen Rost und Schornstein als Ausgleich niedrigere Temperaturen vorkommen. Der ganze in den Herd geführte Dampf kann nur durch den Schornstein als Wasserdampf entweichen, und das bedingt, dass die Verbrennung, welche seiner Zersetzung folgen würde, bereits erfolgt sei. Dieser Dampf nimmt eine gewisse verlorene Wärmemenge mit sich, die mit dem Gewicht des Dampfes und der Temperatur beim Eintritt in den Herd schwankt; die Menge der ausgenutzten Wärme, in Wärmeeinheiten gemessen, wird unzweifelhaft durch die Einführung des Dampfes vermindert; nun ist für die Heizung eines Kessels die Menge und nicht die Intensität der Wärme das Haupterfordernis. Für gewisse technische Arbeiten kann eine intensive Wärme von ausschlaggebender Bedeutung sein; aber für einen Dampferzeugungsapparat muss die Erzeugung einer stellenweis sehr hohen Temperatur nicht nur aus Gründen der Brennstoffersparnis, sondern auch aus anderen vermieden werden. Sie kann nämlich Loslösungen in den Rohren und Gelenken infolge ungleichmässiger Ausdehnung der erhitzten Flächen herbeiführen.

*Charakter der Anlage.* — Wenn man flüssigen Brennstoff verwendet, so ist es wesentlich, dass die ganze Anlage mit der grössten Sorgfalt ausgeführt werde. Die Flüchtigkeit und leichte Entflammbarkeit der Petroleumdämpfe machen die schlecht gebauten Behälter und schlecht gelegten Rohre so gefährlich, dass eine Mehrausgabe bei der ersten Einrichtung sich später als wohlangebrachte Sparsamkeit erweist. Eine solche Anlage kann auch dauernd nicht von schlecht bezahlten Leuten bedient werden. Wenn sie dauernd gut wirken soll, so müssen durchaus geübte und geschickte Arbeiter verwendet werden.

*Vorrat an Rohpetroleum.* — Obwohl die Möglichkeit der befriedigenden und vorteilhaften Verwendung flüssiger Brennstoffe nicht mehr zu bezweifeln ist, so scheint ihre Weiterverbreitung zur Zeit doch ziemlich zweifelhaft, weil zu wenig Rohöl gewonnen wird.

Wenn man in Erwägung zieht, dass Oel in grossem Massstabe in Kunst und Wissenschaft Anwendung findet, so für Schmie- rung und Beleuchtung, so muss man zugeben, dass wahrschein- lich weniger als die Hälfte des Gesamtproduktion des Rohöles als Brennstoff Verwendung finden kann. Rechnet man 3-3 1/2 Fass Oel gleich einer Tonne Kohle (von 5,5-6,1 hl per 1,000 kg), so kommt man zu dem Schluss, dass die Erzeugung flüssiger Brennstoffe höchstens 3 % derjenigen der festen erreicht.

Daraus folgt für den Gebrauch flüssiger Brennstoffe unter den gegenwärtigen Verhältnissen, dass eine Einschränkung un- abhängig von der Frage des Kaufpreises stattfinden muss.

Obwohl Russland 44 % der Petroleumerzeugung der Welt aufbringt, so liegen die Quellen doch nicht so günstig, dass sie einen vorteilhaften Gebrauch ermöglichen, sei es für die eigene Flotte, sei es für die anderer Länder. Vom militärischen Stand- punkt aus sind die Vereinigten Staaten, welche 48 % des ge- sammtten Petroleums erzeugen, die einzige Seemacht, welche hoffen könnte, in grösserem Massstabe Petroleum für seine Kriegs- und Handelsflotte zu gebrauchen. Das liegt an der Lage der petroleumhaltigen Gegenden von Texas und Kalifor- nien, die verhältnismässig nahe bei grossen Häfen und nicht weit von Gegenden liegen, wo Flottenbewegungen möglich sind. Eine neuerdings vom Geologischen Amt der Vereinigten Staaten veranstaltete Zusammenstellung veranschlagt die Jah- resgesamterzeugung an Kohle auf etwa 853 000 000 Tonnen, woran die Vereinigten Staaten mit 32 % beteiligt sind.

Die nachstehende Tabelle giebt annähernd die Erzeugung des Rohpetroleums i. J. 1901 und 1902 für alle Länder an, wel- che Statistiken veröffentlichen. Ebenso ist das prozentuale Ver- hältnis zur Gesamterzeugung angegeben. Für die anderen Länder, wie die südamerikanischen Staaten, Algerien, Persien, die Philippinen und China besitzen wir keinen Nachweis, und die angegebenen Ziffern sind nur Schätzungen.

Die Zunahme gegenüber 1901 betrug 1902 etwa 12 % und ge- genüber 1900 : 25 %. Die bemerkenswertesten Ziffern der Ueber- sicht sind diejenigen, welche die Vermehrung der Produktion der Vereinigten Staaten und den Rückgang derjenigen von Russland erkennen lassen ; die Vereinigten Staaten überschrit- ten zum ersten Male seit 5 Jahren die Erzeugung Russlands um 13 Millionen hl. I. J. 1902 erzeugten die Vereinigten Staaten und Russland 91,44 % der Gesamtausbeute, 1901 betrug diese Verhältniszahl 93,22 %, 1900 : 94,11 %. Von den restlichen



8,56 % entfallen auf Sumatra, Java, Borneo, Galizien und Rumänien 6,52 % ; i. J. 1902 (gegen 4,65 % i. J. 1901) 2,04 % auf die übrigen Länder zusammen.

*Verteilung der Roh-Petroleumherzeugung i. J. 1901 und 1902 (1).*

LÄNDER	1901		1902	
	Hl.	%	Hl.	%
Vereinigte-Staaten . . . . .	110 318 000	41,84	141 120 670	47,94
Kanada . . . . .	910 200	0,35	826 720	0,28
Peru . . . . .	114 887	0,04	95 392	0,03
Russland . . . . .	135 406 500	51,38	128 044 120	43,50
Galizien. . . . .	5 169 500	1,96	6 585 500	2,24
Sumatra, Java und Borneo .	4 830 890	1,84	9 316 600	3,17
Rumänien . . . . .	2 235 630	0,85	3 275 080	1,11
Indien . . . . .	2 274 630	0,86	2 571 294	0,87
Japan . . . . .	1 748 840	0,67	1 896 696	0,64
Deutschland . . . . .	498 630	0,19	562 287	0,20
Italien . . . . .	16 057	0,02	19 078	0,02
Andere Länder . . . . .	31 796		41 336	
Zusammen . . . . .	263 555 560	100,00	294 354 773	100,00

Was das Verhältnis der für die industrielle Heizung verfügbaren amerikanischen Oele betrifft, so werden von Professor Arthur L. Willeston, einem Spezialisten für diese Frage, folgende Aufschlüsse gegeben :

« Die Menge des Rohöles, das in den Vereinigten Staaten als Brennstoff gebraucht werden kann, umfasst also : 1) den kleinen Teil (wohl 2-3 %) der Produktion von Pennsylvania und von

(1) Bericht des Geologischen Amtes der Vereinigten-Staaten.

Ohio, die den Rückstand der Destillation und der Reinigung darstellt ; 2) das rohe Oel der Quellen des Ohio und der Indiana, das jedesmal Verwendung findet, wenn der Preis der Kohle den Verbrauch des Oeles zu 3,10 frcs-3,30 frcs per hl, ohne Transport, vorteilhaft macht ; 3) den Teil der kalifornischen Produktion, der sich zur Reinigung zu wenig eignet ; 4) fast die gesammte Produktion der Quellen von Texas. »

Die Nachfrage nach den besten Oelen behufs Raffinage wird wahrscheinlich auch ferner gleichen Schritt mit ihrer Produktion halten, und diese Oele werden nie mit der Kohle in grösserem Masse in Wettbewerb treten.

Dagegen ist der Wert des Oeles von Texas und eines grossen Teiles von Kalifornien als Raffinageöl so gering, dass der Preis hierfür immer durch die Nachfrage als Brennmaterial bestimmt werden wird. Es ist unverständlich, dass ein Brennstoff, der soviel deutliche Vorteile besitzt und der nicht in unbeschränkter Menge zu haben ist, auch ferner zu einem Preise verkauft wird, der ihn billiger als Kohle macht. Jede Vermehrung der Nachfrage wird schnell seinen Preis erhöhen.

Andererseits wird, solange die Produktion von Brenn-Petroleum in Texas und Kalifornien gesichert ist, der Preis dieses Oeles, das wenig Wert für die Reinigung hat, wahrscheinlich ziemlich niedrig bleiben, so dass es vorteilhaft mit der Kohle kämpfen kann, die in dieser Gegend nicht reichlich und nicht in guter Beschaffenheit vorhanden ist. Die Grösse der Gebiete, wo die gleichen Verhältnisse vorliegen, ist bedeutend genug, um eine Nachfrage zu schaffen, die bald die Produktion dieser Oele ausgleichen wird, wenn nicht neue Vorräte bei Entwicklung des Verbrauchs zu Tage treten.

### **Verwendung flüssiger Brennstoffe in der Handelsmarine.**

Bis jetzt ist das Petroleum als Brennstoff in der Handelsmarine noch nicht viel verwendet worden. Wenn man die Leichtigkeit seiner Handhabung, die Verminderung des Personals zur Bedienung der Kessel und die Möglichkeit in Betracht zieht, den Betrieb derselben regelmässiger zu gestalten, so ist es nicht zweifelhaft, dass der Ersatz der Kohle durch das Oel von den meisten Ingenieuren begünstigt werden würde, wenn nicht das Petroleum den Uebelstand hätte, dass es teurer ist, dass es sich nicht immer und überall vorfindet und dass es Vorkehrungen erfordert, die beim Bau der Schiffe schwer zu



berücksichtigen sind. Diese Unbequemlichkeiten erklären es, dass eine besondere Vorliebe für die Verwendung flüssiger Brennstoffe in grossem Masse an Bord der Handelsschiffe nicht bestanden hat, ausgenommen an den Küsten des Stillen Ozeans in den Vereinigten Staaten und in einigen Teilen Ost-Indiens. Einige Beispiele ihrer Anwendung sind indessen einer näheren Prüfung wert.

Die Ergebnisse auf dem Dampfer « Mariposa » wurden auf meinen Befehl hin im J. 1902 sorgfältig aufgezeichnet. Dies Schiff mit einfacher Schraube, 3 160 T Wasserverdrängung und einer Maschine von 2 500 indizierten Pferdekräften besorgte damals den Verkehr zwischen San-Franzisco und der Insel Tahiti. Die Fahrt hin und zurück, 7 320 Seemeilen weit, wurde monatlich einmal gemacht. Die Maschinen arbeiten mit dreifacher Expansion. Es sind zwei zylindrische Doppelkessel und ein einfacher Kessel derselben Form vorhanden.

Die Oelbehälter, welche eine für die Hin- und Rückfahrt genügende Oelmenge fassen können, wurden an Stelle der alten Kohlenbunker gebaut, ebenso zwei Behälter zum Betrieb und zum Abklären. Die « Grundell und Tucker »-Brenner wurden in den Herden aufgestellt. Zur Zerstäubung wurde Luft gewählt, die bis zu 2 Atmosphären zusammengedrückt werden konnte. Diese Luft wurde entweder einfach bei der Kompressions-Temperatur verwendet oder sie wurde nach der Kompression gut erhitzt, dadurch dass man sie durch einen Hohlraum gehen liess, der in der Vorderseiten der gusseisernen Herde ausgespart war. Das verwendete Oel stammte aus Kalifornien und war wie folgt chemisch zusammengesetzt :

Kohlenstoff . . . . .	84,43
Wasserstoff . . . . .	10,99
Stickstoff . . . . .	0,65
Schwefel . . . . .	0,59
Sauerstoff . . . . .	3,34

Zusammen . . . . . 100,00

Wendet man auf vorstehende Ziffern die Dulong'sche Formel an, so ergibt sich als Heizkraft dieses Oeles die Ziffer : 4 739 Wärmeeinheiten. Temperatur im Augenblick der Zündung 109°, desgl. bei der Entflammung 125 1/2°, desgl. bei der Verdampfung 81°. Verlust in sechs Stunden bei 100° : 12,01 %. Die Beobachtungen wurden bei der Hin- und Rückfahrt zwischen

San-Franzisco und Tahiti gemacht, von Premierleutnant Ward Winchell, von der Kriegsmarine der Vereinigten Staaten. Die hauptsächlichsten Mittelwerte, welche aufgezeichnet wurden, sind folgende :

Indizierte Pferdekräfte (nur Hauptmaschinen) . . . . .	2 515
Zahl der Umdrehungen in der Minute . . . . .	68,05
Indizierte Pferdekräfte auf den qm Rostoberfläche (Hauptmaschinen) . . . . .	105,43
Verbrauch an Oel auf die Stunde und für eine indi- zierte Pferdekraft . . . . . kg	0,672
Verbrauch an Oel auf die durchfahrene Seemeile kg . . .	124,1
Mit 1 Tonne Oel (1 000 kg) zurückgelegte Seemeilen . . .	8,06
Rücklauf der Schraube in Prozenten . . . . .	12,97

Bei den letzten Fahrten wurden etwas bessere Ergebnisse erzielt. Die Direktoren der « Oceanic Steamship Co » teilten der Verwaltung der Dampfmaschinen der nationalen Marine einen Auszug aus den Aufzeichnungen über die Maschinen der Alameda mit, bezogen auf 22 Fahrten. Das Schiff ist ebenso gebaut wie die Mariposa, besorgt den Verkehr aber schneller. Die Hauptziffern waren folgende :

8 Fahrten mit Kohlen; Maschinen in dem gewöhnlichen guten Gang; die Kohle bestand aus einer Mischung die teils aus Britisch-Kolumbien, teils aus Australien herstammte; sie besass eine Verdampfungskraft von 7,75 l Wasser, das bei 100° aus einem Versuchskessel von gewöhnlichem Typus mit Rohren entnommen war; sie hinterliess 16,7-24,5 % Asche; durchlaufener Weg 33,154 Meilen, Verbrauch an Kohle auf die Meile: 211 kg.

7 Fahrten mit flüssigen Brennstoffen; Maschinen in demselben Zustand wie bei Kohle; Heizer nicht vertraut mit der Benutzung der Brenner; durchfahrene Strecke 29 078 Meilen; Oelverbrauch 44 808 hl; vergleicht man das Gewicht des Oels mit dem der als geringwertig beschriebenen Kohle, so ergibt sich für die gleiche Verdampfungskraft 1 : 1,42. Da das Pfund Oel in San Francisco weniger kostet als die billigste Kohle mit der man Schiffskessel heizen kann, so ist der ökonomische Vorteil des flüssigen Brennstoffs augenscheinlich.

8 Fahrten mit flüssigen Brennstoffen; Maschinen in gutem Stande, Brenner von geschulten Heizern bedient; Gewicht des auf die Meile verbrauchten Oeles: 136 kg; relativer Verbrauch an Oel und Kohle für die gleiche Verdampfungskraft 1 : 1,55. In



den Kesseln wurde bei Verwendung von Oel als Brennstoff ein gleichmässigerer Druck erhalten. Die mittlere Fahrdauer wurde um einige Stunden verkürzt.

Auf der Mariposa erlaubte der Wechsel im Heizmaterial die Zahl der Kesselbedienungsmannschaften von 36 auf 20 zu vermindern. Von den letztgenannten hatten 3 mit dem Wasser zu tun, 6 besorgten die Brenner.

Ziemlich günstige Ergebnisse wurden auch auf den Dampfern « Nevada » und « Nebraskan » der « American Hawaiian Steamship Co » durch Anwendung flüssiger Brennstoffe erhalten. Diese beiden gleichartigen Schiffe haben etwa 8 900 T Wasserverdrängung, 3 000 indizierte Pferdekkräfte und laufen mit einer Geschwindigkeit von 12,5 Knoten. Sie besitzen Dreifach-Expansionsmaschinen und zwei gewöhnliche Kessel mit einer Rostfläche von zusammen 15,05 qm. Der auf dem Nebraskan verwendete Brenner ist vom System « Lassøe-Lovekia », besonders charakteristisch durch einen vorn strahlenförmig durchbohrten Kopf. Luft und Dampf können zur Zerstäubung gebraucht werden, doch ist erstere vorzuziehen. Die zur Verbrennung und Zerstäubung verwendete Luft wird nach System Howden erhitzt. Das Oel wird mit einer Dampfschlange erhitzt, die um das Saugrohr läuft, um es leichter flüssig zu machen. Der Herd ist mit feuerfesten Ziegelsteinen verkleidet und zwar unten auf seiner ganzen Länge, oben auf einer Länge von 2 Fuss (0,60 cm) von vorn an gerechnet und an den Seiten durch vertikale Verblendungen bis oben und bis zur hinteren Wand der Verbrennungskammer. « Verzögerer » oder schraubenförmige Hindernisse mit Schraubengängen von 30 cm befinden sich in den meisten Rohren. Die nachstehenden Ziffern beziehen sich auf drei Fahrten des « Nebraskan »: die erste von New-York nach San-Diego (Californien), die zweite nach New-York zurück und die dritte von New-York nach San-Franzisco. (Tabelle S. 40.)

Die regelmässige Besatzung bei normaler Fahrt bestand für flüssiges Brennmaterial aus

1 Mechaniker, 2 Schmierern, 1 Heizer und einem Reiniger.

Wenn Kohle gebrannt wurde, so waren im Heizraum 5 Leute im Dienst statt 2 wie beim Oel. Ein Raum von 520 cbm wurde zur Aufspeicherung der Brennstoffe weniger verwendet und konnte für Fracht ausgenutzt werden. Die Versicherungsprämie wurde bei Verwendung von Oel nicht erhöht. Mit Zug-System Howden erzielte man durchaus vorteilhafte Ergebnisse.

Ich glaube hier die Versuche erwähnen zu sollen, welche auf

einer Reihe von Fahrten des Dampfers « Tebe » ausgeführt wurden. Sie sind ein Beispiel für sorgfältig ausgeführte Untersuchungen und erstrecken sich auf eine so lange Zeit, dass ihre Ergebnisse als gültig angesehen werden können. Sie wurden vom Ingenieur Salvatore Orlando von der *Navigazione Generale Italiana* geleitet.

Nummer der Fahrt. .	1	2	3
Natur des Brennstoffs.	Kohle	Oel aus Kalifornien	Oel aus Texas
Durchfahrene Strecke See-Meilen. . . .	13 280	12 726	13135
Weg der Schraube. .	15076	15 252	15 496
Wasserverdrängung (Tonnen) . . . .	8 433	8 552	8 711
Zahl der indizierten Pferdekräfte . . .	1 871	2 226	2 251
Gewicht der Brennstoffe für die indizierte Pferdekraft .	0,895	0,492	0,501
Zahl der Meilen auf 1000 Kg Kohle Eureka . . . . .	6,06		
Zahl der Meilen auf 1000 Kg Kohle Coronel . . . . .	5,44		
Zahl der Meilen auf 1 hl. Oel . . . . .		0,906	0,855
Dichtigkeit des Oeles 15 1/2° . . . . .		0,967	0,921

Hierüber schreibt die *Revista Maritima* vom März 1904 :

« Der Dampfer « Tebe » von der *Navigazione Generale Italiana* machte kürzlich eine Fahrt, um flüssigen Brennstoff zu versuchen, der mittels einer Zerstäubers System « Koerting » gebrannt wurde. Bei den günstigen Ergebnissen dieser Versuche schien es wünschenswert, hier einige Aufschlüsse über den Betrieb der Anlage zu geben.

» Der Dampfer « Tebe » hat eine Dreifach-Expansions-Maschine von 2 000 indizierten Pferdekräften ; sie wurde von dem Werk Odero gebaut. Der Dampf wird von 2 gewöhnlichen Röhren-Kesseln geliefert. Die Kessel sind zweiseitig und haben



je 6 Feuerlöcher. Die Luft wird vor ihrem Eintritt mit System Howden erhitzt. Die Gesamtheizfläche beträgt 600 qm ; die Dampfrohre sind mit Verzögerern versehen.

» Bei diesen Versuchen wurde Petroleum aus Texas verwandt, das aus den Vorräten von Alexandria (Egypten) genommen war. Da es roh oder ziemlich roh war, so war es ziemlich zäflüssig und verflüchtigte sich weniger leicht als raffiniertes Petroleum ; es kann daher in den Räumen zwischen den Doppelböden des Schiffes, ruhig aufbewahrt werden. So wurde es auch auf der « Tebe » untergebracht.

» Um den schädlichen Gasen den Abzug zu ermöglichen, wurde jeder Oelraum mit Rohren versehen, die bis zum Oberdeck reichten und in einem Knie endeten, das unten mit einer Sicherheitskappe versehen war.

» Der Entflammungspunkt des Petroleums war sehr hoch ; eine teilweise Entzündung erfolgte erst bei 91°, während die vollständige Verbrennung bei 110° C stattfand. Die Sicherheitsvorschriften des Londoner Lloyds wurden also weit übertroffen. Die Dichtigkeit des Oeles betrug 0,931 bei 15 1/2° und 0,905 bei 54 1/2°.

» Es enthielt weniger als 1 % Schwefel und der Aschengehalt betrug 0,021 %.

» Die Koerting-Gesellschaft, welche die Heiz-Anlage hergestellt hatte, hatte gewährleistet, dass von einem kg wenigstens 2865 l Wasser bei 13 Atmosphären Druck verdampft werden würden, wenn das Speisewasser durch Verwendung eines gewöhnlichen Vorwärmers System Weir auf 70° erhitzt wird. Das verbrauchte Wasser wurde durch folgende Vorrichtung gemessen : Ein Wassertrog war neben der Luftpumpe aufgestellt. Das Fassungsvermögen war genau gemessen. Auf dem am Trog befindlichen Wasserstandsrohr waren Marken, die je 100 l Inhalt anzeigten. Beim Beginn der Beobachtungen schloss man das Saugrohr der Speisepumpe, so dass das Wasser nach Füllung der Kammer der Luftpumpe in den Messtrog lief und ihn allmählich füllte.

» Der Beobachter konnte nun, indem er mit der Uhr die Dauer der Füllung der einzelnen Schichten entsprechend den Strichen am Wasserstandszeiger feststellte, den Verbrauch an Speisewasser pro Stunde bezogen auf den jeweiligen Lauf der Maschinen berechnen. »

Gleichzeitig wurde die Menge des verbrauchten Oeles gemessen, indem das Fallen des Oeles im Messrohr des Behälters festgestellt wurde. Man erhielt so die Wassermenge, welche bei Verbrauch eines l Oel verdampft war.

» Sorgfältige Beobachtungen zeigten, dass eine Wassermenge von 200 l bei einer Anfangstemperatur von 36° in 54 Sec. verdampft wurde. Der Oelverbrauch betrug pro Stunde 1 060 l; die Dichtigkeit desselben war wie gesagt 0,905; demnach wurden stündlich 959,3 kg verbraucht. Das Gewicht des stündlich verdampften Wassers kann man auf etwa 13 300 kg schätzen; die Verdampfungskraft des Oeles betrug somit das 13,77 fache seines Gewichtes. Wenn man von einem Dampfstrahlapparat absieht, der die Unreinigkeiten von den Maschen des Filters beseitigen sollte und der nicht gut arbeitete, kann man sagen, dass die Gesamtanlage für die Heizung mit Petroleum sehr zufriedenstellend war.

» Nachdem die von der Regierung zur Prüfung dieser Anlage ernannte Kommission einen günstigen Bericht erstattet hatte, durfte der Dampfer am 27. Dezember 1903 nach Alexandria abfahren.

» Während des ersten Teiles der Reise, von Genua nach Livorno, zeigte sich ein Uebelstand in der Verstopfung der Metallfilter; sie wurden bis auf dasjenige am Saugkopf entfernt. Dann wurden die störenden Stoffe, welche vollständig brennbar waren, in den Herd geworfen und mit dem flüssigen Brennstoff verbrannt. Nunmehr wurde der Betrieb wieder regelmässig und die Fahrt nach Alexandria verlief ohne weitere Störung.

» Während der verschiedenen Fahrtabschnitte wurden Versuche bei voller Anspannung der Maschinen gemacht, deren Ergebnisse sich in folgender Tabelle befinden.

FAHRT	Dauer des Versuchs		Oel-Verbrauch	Oel-Verbrauch für die Stunde	Mittlere Zahl der Umdrehungen für die Minute	Mittlere Kraftentwicklung in indizierten Pferdekraften	Verbrauch für 1 indiz. Pferdekraft in einer Stunde
	St.	M.	Kg	Kg			Kg
Von Genua nach Livorno . .	2	44	2 582	915	84,9	1 950	0 477
» Livorno nach Neapel . .	17	40	16 434	930	85,2	2 040	0 439
» Neapel nach Messina . .	11	21	10 535	928	83,4	1 880	0 486
» Messina nach Alexandria .	44	50	40 333	900	84,2	1 930	0 460

» Der Betrieb der Brenner erfolgte ohne Geräusch. Es blieb nicht nur der Dampfdruck unverändert, sondern auch der Wasserstand in den Kesseln. Es ergab sich daraus, dass die Arbeit



und die Aufmerksamkeit, welche die Bedienung der Anlage erforderte, auf ein sehr geringes Masse vermindert wurde. Man konnte auch beobachten, dass die Temperatur im Heizraum wenig schwankte.

» Während des ersten Fahrtabschnittes hatte die häufige Abnahme der Brenner und Filter behufs Prüfung und Reinigung einen beträchtlichen Oelverlust zur Folge.

» Wenn man zufällige derartige Verluste nicht berücksichtigt, so kann man annehmen, dass das Texas-Petroleum, aus dem Magazin in Alexandria, wenn es mit einem Koerting-Apparat in einem gewöhnlichen Schiffs-Kessel verbrannt wird, eine Pferdekraft Dampf beim Verbrauch von etwa 0,450 kg für Dreifachexpansions-Schiffsmaschinen liefert. Der Verbrauch an Cardiff Kohle unter gleichen Verhältnissen wäre für die indizierte Pferdekraft sicher nicht unter 0,670 kg gewesen. »

Aus Vorstehendem ergibt sich, dass unter günstigen Verhältnissen, bei guter Beschaffenheit, Billigkeit, leichter Erlangung des Petroleums und guter Anlage der Heizung, dieser Brennstoff auf Handelsschiffen vorteilhaft verwandt werden kann. Was die Lagerung und Handhabung des flüssigen Brennstoffes betrifft, so ist augenscheinlich, dass sehr umfassende und strenge Vorsichtsmassregeln geboten sind. Die folgenden Vorschläge wurden von J. B. Warner, Vertreter der « Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Co » gemacht ; sie fassen die Erfahrungen zahlreicher Praktiker zusammen :

« Für kleine selbständige Behälter, die sich nicht im Doppelboden befinden, und deren Höhe 1 m 20 cm nicht übersteigt, müssen die Wände aus gutem Stahlblech von genügender Stärke hergestellt werden, damit die Fugen sich unter der Einwirkung der Erschütterungen durch die Motoren oder der Stösse der Flüssigkeit bei Stürmen nicht öffnen. Für Seeschiffe sollte die Dicke der Bleche nicht unter 8 mm betragen. Will man höhere Behälter verwenden, so muss man die Vorschriften des Lloyd anwenden, oder ähnliche die man für gewöhnliche wasserdichte Behälter brauchen kann.

» Die Fugen der grossen zylindrischen Tröge müssen mit 2 Reihen einander gegenüberliegender Niete verbunden werden ; die Bleche müssen gut aneinanderschliessen und sorgfältig gedichtet sein. Es ist zweckmässiger, die Löcher zu bohren statt sie zu stanzen ; das erstere giebt ihnen glatte Ränder und lässt die Niete sie besser füllen, wodurch ein Oeffnen der

» Bei den Behältern von grosser Länge, muss man im Innern einige Platten oder querdurchgehende Verschläge machen, die gut befestigt sind, so dass sie die durch die Schiffsbewegungen verursachten Stösse abschwächen und die starken Stösse gegen die Enden verhindern.

» Was die kleinen selbständigen Tröge betrifft, so müssen sie in einen Abtropftrog oder flachen Oelkasten gestellt werden, der aus gewalztem Blei von wenigstens 39 kg pro qm gefertigt ist.

» Für die tiefen, einen Teil des Schiffsrumpfes bildenden Tröge muss man Versteifungen oder weitgehenden Verstärkungen vorsehen. Im Boden darf keine Oeffnung angebracht werden, auch nicht in den Seiten und an den Enden der Troge ; jedes Rohr muss oben eintreten.

» Die Versteifungsstücke müssen aus gewalztem Stahl und gut an das obere Blech des Behälters genietet sein, durch das die Saug-, Füll- und Lüftungsrohre gehen. Alle Füllrohre müssen bis zum Boden des Behälters reichen, damit bei der Füllung die Gase durch die Luftlöcher ausgetrieben werden.

» Das Mannloch muss so gross sein, dass man leicht in den Behälter gelangen kann, also 30 × 40 cm. Die Luftlöcher müssen zusammen denselben Querschnitt wie das Füllrohr haben. Von ihnen aus müssen Rohre bis über den Oberbau des Schiffes reichen, die einem U-förmigen Teil enden, der durch ein Sieb aus Kupferdraht geschlossen ist.

Wasserkammern, die über den Maschinen- oder Kessel-Räumen liegen, dürfen nicht zur Oelaufbewahrung dienen. »

» Davy'sche Sicherheitslampen (Lampen für Bergleute) müssen den Mechanikern und allen regelmässig in den Heizräumen beschäftigten Leuten zur Verfügung stehen, so dass diese an Stelle der gewöhnlichen gebraucht werden können, falls die elektrische Beleuchtung einmal versagt. Die Vorschriften für den « Inspektionsdienst auf den Dampfschiffen der Vereinigten Staaten » fordert, das an jedem Rohre zwischen dem Oelbehälter und dem Kessel eine Klappe angebracht wird, um jederzeit den Zufluss regeln oder unterbrechen zu können, wenn das Feuer vermindert oder gelöscht werden soll. Wenn mehrere Oelbehälter vorhanden sind und wenn sie verbunden werden, damit das Oel von einem zum anderen geleitet werden kann, so müssen die Klappen, welche den Zufluss regeln mit Vorrichtungen versehen sein, die es ermöglichen, sie vom Hauptdeck aus zu öffnen oder zu schliessen. »



### Flüssiger Brennstoff auf Kriegsschiffen.

Schon vor mehr als 10 Jahren hat Italien die Frage der Verwendung flüssiger Brennstoffe in der Kriegsmarine zu erörtern begonnen. Auf Grund der Forschungen seiner für diese Angelegenheit in Betracht kommenden Spezialisten ist die Mehrheit seiner Schiffe derartig ausgerüstet worden, dass man dort Rohöl zur Aushilfe neben Kohlen in dringenden Fällen verwenden kann, sei es, um schnellen Dampfdruck zu erzielen, sei es, um eine beschleunigte Fahrt zu ermöglichen. Diesem Beispiele sind andere Mächte bis zu einem gewissen Grade gefolgt.

Zu Beginn des gegenwärtigen ostasiatischen Krieges hatte Russland die Heizung mit Petroleum auf sechs Panzerschiffen, einem Panzerkreuzer und einem gedeckten Kreuzer eingeführt. Deutschland war ebenfalls eine der ersten Mächte, welche auf dieser Bahn vorausgingen, und der Verbrauch flüssigen Brennstoffes ist auf seiner Kriegsflotte gegenwärtig in Entwicklung begriffen. Die Kaiserliche Yacht Hohenzollern besitzt eine Einrichtung für Petroleumheizung und die neuen Panzerschiffe der Braunschweigklasse führen in ihren unteren Räumen 200 Tonnen Oel mit sich. Verschiedene andere grosse Schiffe und mehrere Torpedoboote des Deutschen Reiches sind ebenfalls auf die Verbrennung von Petroleum eingerichtet.

Vergleicht man den wirtschaftlichen Nutzen von Oel und Kohle für die Kriegsmarine, so muss man zunächst berücksichtigen, dass eine Tonne Oel in einem etwas geringeren Raume untergebracht werden kann, als eine Tonne bituminöser Kohle.

Ferner lassen sich die für das Brennmaterial bestimmten Räume mit Oel vollkommener ausfüllen, als mit Kohle. Es ergibt sich, dass das Verhältnis der relativen Heizkraft der beiden genannten Brennstoffe sich an Bord von Kriegsschiffen wie 18 zu 10 verhält.

Nach den sehr umfassenden Versuchen, welche die Kommission für flüssige Brennstoffe in der Marine der Vereinigten Staaten von Amerika angestellt hat, schätze ich, dass die verdampfende Kraft einer englischen Tonne (1 016 kg) Kohle erster Qualität, wie z. B. von Cardiff oder von Pocahontas, derjenigen von  $4 \frac{1}{2}$  amerikanischen Fässern (zu je 159 Litern) Oel gleich ist. Bei Kohle von geringerer Qualität vermindert sich die letztgenannte Menge bis auf 3 oder  $3 \frac{1}{2}$  Fass. Dieser Vergleich begründet sich auf die gegenwärtigen in der Praxis obwaltenden Bedingungen, welche den zulässigen Umfang der Dampferzeu-

ger an Bord der Kriegsschiffe derartig beschränken, dass man nicht mehr als 14 kg Wasser bei 100 Grad mittels 1 kg verbrannten Oeles zur Verdampfung bringen kann. Diese Verdampfungsleistung kann indessen durch vorherige Erhitzung der für die Verbrennung bestimmten Luft erhöht werden, wie das nach dem Verfahren von Howden und anderen Systemen geschieht, wobei ein Teil der durch die Verbrennungsprodukte mitgeführten Hitze dazu verwendet wird, die Temperatur der Luft vor Eintritt der letzteren in den Feuerungsraum zu erhöhen.

Die mechanische Seite des Problems der Verwendung flüssigen Brennstoffes ist in der Praxis gelöst. Die finanzielle oder wirtschaftliche Seite kann nicht als von hervorragender Bedeutung erachtet werden bei einer Frage, welche sich auf das an Bord eines Kriegsschiffes zu verwendende Brennmaterial bezieht. Denn es würde ebenso logisch sein, die Pulverkammer mit Sprengstoffen von minderer Qualität anzufüllen, wie einen Brennstoff von schwachem Heizvermögen an Bord zu nehmen. Man darf der Frage nach den Kosten eines für die Kriegsmarine bestimmten Brennmaterials also keine übertriebene Wichtigkeit beimessen.

Gegenwärtig ergeben sich die einzigen ernsthaften Schwierigkeiten, welche der Gebrauch flüssigen Brennstoffes an Bord von Kriegsschiffen beliebiger Nationalität mit sich bringt, einerseits aus der Notwendigkeit des Transportes, sowie der Errichtung von Niederlagen und andererseits aus den für die Verwendung notwendigen besonderen Einrichtungen.

Die Frage der Versendung und diejenige des Einkaufes des Petroleums bilden die kommerzielle Seite der Frage. Als Oberingenieur der Flotte der Vereinigten Staaten schrieb ich in dieser Beziehung in meinem Jahresberichte für 1902:

« Die kommerzielle Seite des Problems der Verwendung flüssigen Brennstoffes umfasst die Frage nach dem Preise und nach der verfügbaren Menge des notwendigen Petroleums. Man kann ohne Zögern behaupten, dass, abgesehen von gewissen Ausnahmefällen, die Kosten des Oeles für den Marinegebrauch im allgemeinen höhere sein werden, als diejenigen der Kohle. Eine Ausnahme z. B. ergibt sich für die Schiffe, die aus einem Hafen des Golfes von Mexico oder der Küste von Kalifornien abfahren. Ueberall anderswo aber, so scheint es mir, wird sich die soeben erwähnte Regel bestätigen. Wenn die Einkaufspreisfrage vom militärischen Standpunkte als von nebensächlicher Bedeutung erachtet werden muss, so wird sie doch vom



industriellen Standpunkte ausschlaggebend. Gegenwärtig verhindern die Frachtpreise, dass das Petroleum ein wirtschaftlich vorteilhaftes Brennmaterial für Marinezwecke wird, aber diese Unzuträglichkeit kann in kurzer Zeit beseitigt werden. Während das Oel zu sehr niedrigem Preise an Bord eines Petroleumschiffes in einen Hafen, wie z. B. Point Sabine (Texas), geliefert werden kann, wird sein Preis an den hauptsächlichsten Handels- und Schiffahrtsplätzen durch die Transportkosten bestimmt worden. Dieser so wichtige Umstand entzieht sich offenbar jeder Beeinflussung durch die Flottenverwaltungen.

Bei Erörterung der Preisfrage muss man sich gegenwärtig haken, dass die Anzahl der Tankschiffe, welche das Petroleum von Point Sabine nach den nördlichen Häfen des Atlantischen Ozeans befördern, eine verhältnismässig geringe ist. Infolge unerwarteter Schwierigkeiten, welche sich bei der Einrichtung dieser Schiffe ergeben haben, sind die Kosten der Konstruktion sehr hohe gewesen. Die Verfrachter haben daher für den Transport des Oeles verhältnismässig hohe Preise fordern müssen. Man kann jedoch mit Gewissheit darauf rechnen, dass an dem Tage, wo eine zahlreiche Flotte für diese Verschiffungen zur Verfügung steht, und wo entsprechende Vorkehrungen, für die Aufspeicherung von Petroleum in den hauptsächlichsten Häfen der amerikanischen Küste des Atlantischen Ozeans vorhanden sind, sich in diesem Punkte eine beträchtliche Verminderung des Preises der flüssigen Brennstoffe ergeben wird. Die kommerzielle Seite der Frage ist sehr wichtig, und man sollte sie gut beachten, wenn man vergleichende Betrachtungen über die wahrscheinlichen Preise der beiden Arten Brennstoffe in einer nahen Zukunft anstellt.

Es ist eine unbestreitbare Tatsache, dass der Transport des Oeles nach Gewichts- und Entfernungseinheiten berechnet, im Vergleich zu den für Kohle zu zahlenden Frachten über die Massen hoch ist, und dass diese den flüssigen Brennstoff ungerichtfertiger Weise in Nachteil versetzende Sachlage nicht mehr sehr lange andauern kann.

Was die Versorgung der Schiffe mit Oel anbetrifft, so muss man anerkennen, dass der Transport und die Aufspeicherung sich bei Oel vielleicht kostspieliger, wenn nicht auch schwieriger gestalten, als bei Kohle. Die durch das Petroleum entwickelten Dünste sind äusserst flüchtiger Natur, und diese Eigentümlichkeit erfordert, dass zum Schutze der Aufspeicherungsbehälter ausserordentlich grosse Vorsichtsmassregeln getroffen werden. Wenn es zu trifft, dass es im Kriegsfall

wünschenswert ist, die ganzen Reservevorräte an Brennstoff schwimmend zu erhalten, so ergibt sich daraus ein Nachteil für das Petroleum. Die Kohlenbergwerke und die Eisenbahnen haben für die Kohlenindustrie so viel Geld angelegt, und die Transportmittel sind derartig verbessert worden, dass es heute möglich ist, eine Schiffsladung Kohlen mit sehr grosser Geschwindigkeit an irgend einen Punkt zu liefern. Gleichzeitig hat man grosse Fortschritte in den Verfahren für die Ladung und Entladung von Kohle gemacht. Erwägt man, dass allein die Zeit die Verwirklichung entsprechender Fortschritte im Transporte und in der Aufspeicherung von Petroleum herbeiführen kann, und bedenkt man, dass die Hervorbringung dieser Art von Brennstoff in verschiedenen Teile der Erde noch etwas Unbekanntes ist, so kann man sich darauf gefasst machen, dass noch eine gewisse Zeit verlaufen muss, bevor die hauptsächlichsten Häfen sämtlich in zuverlässiger Weise mit flüssigem Brennstoffe versorgt werden können.

Es ist hier auch am Platze, auf die Verschiedenartigkeit der Verhältnisse bei der Kriegsflotte hinzuweisen. Ein Kriegsschiff muss zu jeder Zeit bereit sein, ohne Aufenthalt nach einem beliebigen Hafenplatze seiner Aktionsphäre abdampfen zu können. Ein Handelsschiff dagegen besucht regelmässig dieselben Handelshäfen, wo es keine Schwierigkeiten bieten würde, die Lieferanten zur dauernden Beschaffung von Petroleum zu veranlassen, sobald nur die Nachfrage hinreichend regelmässig und bedeutend ist. Die Versorgung der Panzerschiffe und Kreuzer mit Oel hört auf, eine rein kommerzielle Frage zu sein, und wird ein militärisches Problem, wenn man erwägt, dass das einzige der Regierung zwecks Sicherung der Oelversorgung der Schiffe zur Verfügung stehende Mittel die Anlage von Petroleumstationen oder Petroleumniederlagen sein würde. Diese Lösung dürfte sich nicht allein sehr kostspielig gestalten, sondern sie führt auch zu der schwerwiegenden politischen Frage, ob es klug sein würde, zwischen dem Mutterlande und dessen Kolonien eine ununterbrochene Kette von Brennstoffniederlagen zu unterhalten. »

Was die Herrichtung eines Kriegsschiffes für den Verbrauch flüssigen Brennstoffes anbetrifft, so wird diese Aufgabe, je mehr man sie erwägt, um so schwieriger und komplizierter. Die Unterbringung des Oeles an Bord eines Panzerschiffes oder eines sonstigen Kriegsschiffes bietet in Hinblick auf die Bauart der Fahrzeuge Schwierigkeiten, von denen man sagen kann, dass sie am meisten dazu beigetragen haben, den Gebrauch eines



Brennstoffes zu verhindern, welchen das grosse Publikum als für die Kriegsmarine unvergleichlich wertvoll erachtet.

Bei einem Kriegsschiffe müsste die Oelkammer wahrscheinlich unterhalb des bombensicheren Decks angelegt werden; offenbar ist es notwendig, sie so tief wie möglich unter die Wasserlinie zu verlegen. Auf den Kauffarteschiffen gehen die Behälter häufig bis zu der Höhe des Hauptdeckes. Da es nun notwendig ist, in den untersten Teilen der Kriegsschiffe beträchtliche Räume für die Munitions- und Ausrüstungsräume zu reservieren, so wird es ausserordentlich schwer, noch unterhalb des bombensicheren Decks den für die Aufspeicherung flüssigen Brennstoffes nötigen Platz zu schaffen.

Das Rohöl ist sehr « durchdringend », und bei der Herstellung der für die Aufspeicherung dieses Brennstoffes an Bord der Kriegsschiffe bestimmten Behälter wird eine besondere Sorgfalt nötig. Einige der sich aus dem Petroleum entwickelnden Gase sind nicht nur giftig, sondern auch der Explosion ausgesetzt, und da ihre Dichtigkeit grösser ist, als diejenige der Luft, so lassen sie sich nur mit grossen Schwierigkeiten aus den Tanks entfernen.

Ferner ist es nicht nur notwendig, für die Oelkammern eine grössere Anzahl von Bunkern zur Verfügung zu haben, als für die Kohlenkammern, sondern die Herstellung der Scheidewände muss auch mit grösserer Sorgfalt geschehen, um deren Dichtigkeit zu sichern. Es würde der Sicherheit halber sogar von grosser Wichtigkeit sein, die verschiedenen Oelkästen ganz unabhängig voneinander anzulegen.

Bei der Beladung und Entladung der Petrol dampfer werden die Kessel- und die Küchenfeuerungen stets gelöscht. An Bord eines Kriegsschiffes aber, wo eine zahlreiche Mannschaft vorhanden ist, würde die Löschung der Küchenfeuer starke Unzuverlässigkeiten mit sich bringen. Ferner enthält ein modernes Kriegsschiff eine so grosse Anzahl von Hilfsmaschinen, dass wenigstens einer der Kessel beständig unter Dampf bleiben muss. Aus diesem Umstande erhellt, dass die mit der Füllung der Oelkammern verbundenen Gefahren bei einem Kriegsschiffe viel grösser sind, als bei einem Kauffarteschiffe.

Wenn sich die Verwendung von Petroleum auf Kriegsschiffen ausdehnt, so wird es daher nötig sein, die Wandungen der Behälter viel dicker zu gestalten, als das für die gewöhnlichen dichten Scheidewände geschieht. Die Bildung schwerer Gase, welche den oberhalb der Flüssigkeit in den Behältern vorhandenen leeren Raum anfüllen, wird immer eine schwere Explo-

sionsgefahr darstellen, und diese Gefahr wird in dem Masse zunehmen, wie sich der Vorrat an Brennstoff in dem Behälter vermindert. Schon jetzt ist die Bauart eines Kriegsschiffes eine derartige, dass man nicht dazu gelangt, eine genügende Lüftung der Bunkerabteilungen zu erzielen, und diese Schwierigkeit wird sich noch schärfer bemerkbar machen, wenn man das Petroleum an Stelle der Kohle setzt.

Aller Wahrscheinlichkeit nach würde man den grössten Teil des flüssigen Brennstoffes an Bord eines Kriegsschiffes im untersten Schiffsraume unterbringen müssen. In dieser Tiefe wird die Austreibung der so dichten Dünste, welche die Oelkammern anfüllen, auf grosse Hindernisse stossen, und man wird das Vorhandensein dieser entzündlichen Gase nicht verhindern können. Die Gegenwart der heutzutage so sehr weit entwickelten elektrischen Einrichtungen, und die zahlreichen Funken, welche von diesen ausgehen können, werde fortwährend die Gefahr der Entzündung jener Gase und der Inbrandsetzung des mitgeführten Petroleums verursachen.

Bei den Unterseebooten ist es noch nicht gelungen, ein verlässliches und schnell wirksames Mittel zur Abführung der schädlichen und entzündlichen Gase zu finden, welche aus den Gasolinmotoren ausströmen. Dabei bildet der Rumpf dieser Fahrzeuge nur eine einfache Spindel mit einer grossen Oeffnung in der Mitte für den Turm oder das Periskop. Die bei diesen Booten hinsichtlich der Gasolindämpfe gemachten Erfahrungen lassen auch die noch weit grösseren Schwierigkeiten der Aufgabe erkennen, welche darin besteht, die Gase aus den an Bord eines Kriegsschiffes so zahlreichen kleinen Räumlichkeiten zu entfernen. Dieses Problem schon allein bildet eine wichtige Frage, welche Forschungen und eingehende Versuche erfordert, bevor eine Seemacht sich zu einer ernstlichen Erörterung des ausschliesslichen Gebrauches flüssigen Brennstoffes auf ihrer Kriegsmarine entscheiden kann.

Der flüssige Brennstoff macht eine sehr umfangreiche Röhrenanlage unentbehrlich. Man wird vielleicht für die Möglichkeit sorgen müssen, in jede Abteilung heissen Dampf einführen zu können, und zwar sowohl zwecks Löschung von Bränden, als auch zur Austreibung der schweren Gase. Das hierdurch eingeführte Kondensationswasser wird aber wieder entfernt werden müssen, um ein Rosten der Blechwandungen zu vermeiden. Vielleicht auch wird sich aus der Erfahrung die Notwendigkeit ergeben, ein System von Wasserröhren anzuordnen, um die Oelkammern unter Wasser setzen zu können. Ganz beson-



dere Sorgfalt ist auf die Abdichtung aller Verbindungsteile zu legen, denn wenn das von undichten Stellen herrührende Oel in den Schiffsraum einträte und das Schiff leck würde, so könnte das aufsteigende Wasser jenes Oel bis zu der Höhe der Heizung führen, und die Sicherheit des Fahrzeuges würde auf diese Weise schwer bedroht werden.

Bei den Kauffartei- und Passagier-Schiffen ist die Länge hinreichend, um die Unterbringung des grössten Teiles des Oeles in einem beliebig ausgedehnten Behälter zu gestatten, welcher sich über die ganze Breite des Fahrzeuges erstreckt. Ferner kann diese Oelkammer vorn und hinten mit einer Fangvorrichtung oder einem Ansatzbehälter ausgestattet werden, welche letzteren zur Aufnahme des aussickernden Oeles bestimmt wären, so dass man derartige Aussickerungen feststellen könnte, bevor sie überhaupt den Schiffsraum unter den Kesselräumen zu erreichen vermöchten.

Das auf Kriegsschiffen zu verwendende Petroleum darf sich unterhalb 79  $\frac{1}{2}$  Grad nicht entzünden. Man muss hier einen höher gelegenen Entzündungspunkt verlangen, als für die Handelsflotte, und zwar aus folgenden Gründen :

a) Die Kriegsschiffe müssen zu jeder Zeit bereit sein, sich in die Tropen zu begeben, und das Artilleriefeuer setzt sie Gefahren aus, welche für andere Schiffe nicht vorhanden sind.

b) Die Gegenwart zahlreicher Querwände und der bombensicheren Decks sowie der Umstand, dass die Maschinen und die Kessel ausserordentlich zusammengedrängt sind, machen die Lüftung gewisser Abteile äusserst schwierig und erfordern die Beobachtung besonderer Vorsichtsmaassregeln bei der Unterbringung und bei dem Gebrauche des flüssigen Brennstoffes.

c) Der Umstand, dass eine grosse Anzahl Menschen dauernd unter den Verdecken untergebracht werden müssen, macht es schwierig, in gewissen unteren Abteilen auf den Gebrauch von Beleuchtungsmitteln mit offener Flamme zu verzichten, und aus diesem Grunde wird die Gefahr, welche die Verwendung des Oeles mit sich bringt, an Bord der Kriegsschiffe noch wiederum vermehrt.

### Schlussfolgerungen.

Am Schlusse dieser Betrachtungen möchte ich erklären, dass nach meiner Ansicht das Problem die Frage flüssigen Brennstoffes in mechanischer oder technischer Beziehung eine praktische und zufriedenstellende Lösung gefunden hat. Hinsichtlich der Verwendung in der Industrie liegen die einzigen Hindernisse für die allgemeine Einführung in dem Preise der Petroleumsorten und der Schwierigkeit der Beschaffung. Für den Gebrauch in der Handelsflotte wird der Einführung durch die Kosten und den Transport eine Grenze gezogen. Hinsichtlich der Benutzung in der Kriegsmarine tritt zu diesen Umständen noch die sehr grosse Schwierigkeit der Ermöglichung von Einrichtungen, welche gestatten, einen hinreichenden Vorrat von Brennstoff in zufriedenstellender Weise und mit der nötigen Sicherheit an Bord mitzuführen.

Wenn die Grenzen, welche für die dem Internationalen Kongresse zu unterbreitenden Berichte gezogen wurden, in vorstehender Abhandlung überschritten worden sind, so hofft der Verfasser, dass die zunehmende Bedeutung der Frage und die Natur der so vollständigen und eingehenden Versuche, welche unter seiner Leitung durch die bei der Kriegsmarine der Vereinigten Staaten eingesetzte Kommission zum Studium der flüssigen Brennstoffe gemacht worden sind, der gegenwärtigen zusammenfassenden Arbeit hinreichendes Interesse verleihen werden, um deren unvermeidliche Ausführlichkeit zu rechtfertigen.

Den 15. Januar 1904.

GEO. MELVILLE.



## Zusammenstellung der Heizversuche mit Oel

Lfd. Nummer des Versuchs	Datum des Versuchs 1902-1903	Dauer des Versuchs in Stunden	Herkunft des verwandten Oeles	Brennersystem und Zerstäubungsmittel	Zustand des Himmels und Temperatur
1	2	3	4	5	6
23	28 Nov.	8	Beaumont	Branch (Dampf)	Bewölkt
24	1 Dez.	4	»	»	Wenig bewölkt und klar
25	2 Dez.	2 3/4	»	Branch (Luft)	Klar und trocken
29	1 Jan.	4	»	Best (Dampf)	Nebel
30	3 Jan.	6	»	»	Bedeckt, dichter Nebel
31	5 Jan.	4	»	»	
34	15 Jan.	8	»	Best (Luft)	
35	16 Jan.	6	»	»	
36	17 Jan.	5	»	»	
37	19 Jan.	3	»	»	Klar und kalt
48	17 Apr.	6	Kalifornien	»	Klar
49	18 Apr.	4		»	Klar
50	20 Apr.	3		»	Bedeckt
61	22 Mai	6		»	Teilweise wolkig
62	25 Mai	5	»	Bedeckt, neblig	
63	26 Mai	5	»	»	Bedeckt, feiner Regen
64	28 Mai	3	»	»	Teilweise wolkig.

Lfd. Nummer des Versuchs	Luftdruck im Herd (mm Wasser)	Zahl der Umdrehungen des Ventilators (in d. Minute)	Gesamt querschnitt des Durchgangs für die Luft beim Eintritt (in qcm)	MITTLERE TEMPERATUR IN °C							
				ATMOSPHERE		Luft im Heizraum 13 cm von der Verkleidung	Oel im Wägebehälter	Zerstäubungsmittel	Gas im Schornstein	Speisewasser beim Eintritt in den Kessel	Dampf bei Manometerdruck Spalte 32
				Psychrometer Kugel trocken	Psychrometer Kugel feucht						
1	10	15	15a	16	16a	17	17a	18	19	20	21
23	0	—	3 071	—	—	22,2	7,8	187,8	370,6	48,8	211,8
24	51	382	3 071	—	—	27,8	5,6	192,2	424,4	43,4	212,2
25	51	392	3 071	—	—	28,2	7,8	163,3	414,4	43,7	210,6
29	51	333	5 007	30,2	22,2	22,0	2,2	219,7	398,9	34,8	212,1
30	25	2+3	5 007	42,7	27,3	28,6	0,0	208,4	364,2	41,3	212,1
31	76	448	5 007	38,8	25,9	25,3	4,4	228,6	421,1	36,3	212,1
34	0	—	—	—	—	22,8	2,8	142,2	—	48,1	212,2
35	25	285	—	—	—	30,5	2,2	171,1	—	41,7	212,4
36	51	375	—	—	—	26,7	2,2	181,1	—	38,9	211,9
37	76	445	—	22,2	16,7	15,0	2,2	185,6	380,6	36,1	212,1
48	0	—	—	27,2	17,2	28,9	43,3	167,8	251,1	48,9	212,1
49	25	280	—	28,9	18,3	36,7	—	177,8	279,4	48,3	212,1
50	76	464	—	28,9	20,6	35,6	—	192,2	395,0	47,2	212,1
61	0	—	—	42,2	28,3	46,7	71,1	172,8	314,4	48,9	215,0
62	25	287	—	30,0	21,7	38,9	71,1	190,6	396,7	48,9	211,2
63	51	386	—	30,6	22,2	38,3	71,1	195,6	421,7	48,3	211,6
64	76	474	—	38,9	29,4	—	71,1	204,4	441,7	48,3	211,9

Lfd. Nummer des Versuchs	Barometer-Höhe um Mittag	Luftfeuchtigkeit	MITTLERER DRUCK in kg auf den qcm			TREIB-DRUCK DES GASE (MITTLERER) IN MM WASSER							
			Druck des Dampfes Manometer (korrigiert)	Druck des Zerstäu- bungsmittels	Druck des Oeles	Im Heizraum	Im Herde	In der Verbrennungs- kammer	Im vorderen Teil der Dampfrohre	Im hinteren Teil der Dampfrohre	Ueber den Rohren und den Trommeln	Am Grunde des Schornsteins	
													7 a
23	765,5	—	19,12	6,43	3,87	0	3,5	3,2	5,0	5,6	10,3	14,1	
24	764,5	—	19,26	6,62	3,87	51	40,6	25,4	25,7	22,9	5,6	13,5	
25	761,0	—	18,60	3,45	2,11	51	40,6	25,4	25,4	25,4	7,6	11,0	
29	769,6	—	19,23	6,33	2,11	51	38,1	25,4	25,4	25,4	5,1	10,2	
30	752,6	—	19,21	6,33	2,11	25	20,3	11,9	11,4	11,4	1,3	12,7	
31	758,2	—	19,21	6,33	2,32	76	61,0	40,6	40,6	38,1	12,7	7,6	
34	762,8	—	19,27	4,92	1,76	0	3,5	6,0	5,5	6,0	10,0	13,7	
35	763,0	—	19,37	4,99	1,76	25	20,3	11,4	10,9	11,4	50,8	14,0	
36	779,8	—	19,16	4,92	1,69	51	36,8	24,1	23,6	24,1	7,6	12,7	
37	776,0	—	19,23	4,92	1,41	76	66,0	4,1	40,6	41,1	15,2	15,2	
48	756,2	36	19,23	6,33	0,75	0	4,1	6,9	6,4	6,6	8,9	11,2	
49	756,7	36	19,23	6,33	0,77	25	16,5	6,4	5,1	5,1	2,5	10,2	
50	753,4	47	19,23	6,33	0,70	76	58,4	33,0	35,6	30,5	12,7	11,4	
61	760,5	38	18,81	4,22	7,24	0	17,8	5,1	4,8	5,3	7,9	10,9	
62	768,3	47	18,88	4,22	9,00	25	20,3	7,6	10,2	7,6	2,5	12,7	
63	770,4	47	19,02	4,22	9,77	51	4,1	22,9	25,4	20,3	5,1	12,7	
64	764,3	50	19,16	4,22	9,98	76	63,5	35,6	38,1	36,3	12,7	15,2	

Lfd Nummer des Versuchs	Luftdruck im Herd (mm Wasser)	VERTEILUNG DER WÄRMEEERZUEGENDEN KRAFT DES ÖLES						ERGEBNISSE	
		Vom Kessel verbrauchte Wärme	Von dem zur Zerstäu- bung gebrauchten Dampf absorbierte Wärme	Verlust durch die Feuch- tigkeit infolge Verbren- nung des Wasserstoffes	Von den Gasen in den Schornstein mitgeführte Wärme	Verlust durch unvoll- ständige Verbrennung des Kohlenstoffes	Andere Verluste (Diffe- renz) nicht verbrannter Wasserstoff, Heizung, Feuchtigkeit, Luft, Strah- lung u. s. w.	Kessel allein (100 × 51 : 57 = 68)	Kessel und Herd (64 × 51 : 33 : 100)
23	0	64,98	0,883	7,83	18,12	2,465	5,733	64,98	59,45
24	51	57,01	0,616	8,12	26,38	5,104	2,772	57,01	53,91
25	51	57,34	—	8,04	26,75	5,338	2,525	57,34	53,73
29	51	57,50	0,338	8,03	23,71	1,980	8,438	57,50	55,61
30	25	61,11	0,414	7,88	19,44	0,380	10,836	61,11	58,45
31	76	58,73	0,375	8,12	22,49	3,795	6,500	58,73	56,83
34	0	66,70	—	—	—	—	—	66,70	60,75
35	25	61,33	—	—	—	—	—	61,33	57,09
36	51	59,11	—	—	—	—	—	59,11	55,20
37	76	55,66	—	7,98	24,53	0,637	11,196	55,66	52,58
48	0	66,62	0,470	7,18	10,70	9,498	5,534	66,62	59,71
49	25	62,62	0,404	7,57	11,73	5,027	12,675	62,62	58,07
50	76	57,87	0,682	8,18	23,86	2,533	6,884	57,87	54,07
61	0	68,61	0,613	7,20	18,83	—	4,752	68,61	63,78
62	25	61,16	0,599	7,62	25,15	1,343	4,125	61,16	58,04
63	51	58,28	0,485	7,75	27,36	0,682	5,448	58,28	55,99
64	76	58,30	0,543	7,86	—	1,008	32,300	58,30	55,93



Lfd. Nummer des Versuchs	VERBRAUCH DES BRENNERS				WASSER VERBRAUCH BEI JEDEM VERSUCH			
	Gewicht des verbrauchten Oeles (in kg.)	Gewicht des direkt oder indirekt zur Oelzerstäubung verbrauchten Dampfes (A)	Prozentsatz des trocknen Dampfes	Prozentsatz des mitgerissenen Wassers	Gewicht des verbrauchten Wassers unter Berücksichtigung der Unterschlede im Wasserstand und Druck im Kessel	Gewicht des erzeugten trocknen Dampfes (26) × (24)	Verdampfungsfaktor (λ — q) : 536,5 (B)	Äquivalentgewicht des trocknen Dampfes (Wasser und Dampf bei 1°C : (27) × (28))
1	22	23	24	25	26	27	28	29
23	4 589	4 484	98,50	1,50	52 671	51 881	1,160	60 181
24	3 626	1 969	98,10	1,90	36 346	35 654	1,170	41 716
25	2 442	1 549	98,10	1,90	24 642	24 173	1,169	28 259
29	3 701	1 212	97,60	2,40	37 057	36 168	1,187	42 931
30	4 610	2 171	97,60	2,40	49 581	48 390	1,174	56 810
31	4 509	1 496	97,40	2,60	46 374	45 170	1,183	53 436
34	4 113	4 320	98,37	1,63	48 461	47 670	1,161	55 345
35	4 663	3 474	97,65	2,35	50 326	49 144	1,174	57 695
36	4 456	3 051	97,57	2,43	46 226	45 104	1,178	53 134
37	3 152	1 418	97,49	2,51	30 672	29 902	1,184	35 404
48	2 073	2 430	98,07	1,93	23 472	23 018	1,160	26 338
49	2 365	1 822	98,20	1,71	25 075	24 646	1,161	28 614
50	2 731	1 759	98,13	1,87	26 153	26 265	1,163	30 546
61	2 675	2 192	98,24	1,76	31 158	30 611	1,159	35 477
62	3 688	1 959	97,89	2,11	38 449	37 638	1,159	43 621
63	4 465	1 742	97,78	2,22	44 318	43 325	1,161	50 300
64	3 253	1 319	97,70	2,30	32 324	31 579	1,161	36 663

Lfd Nummer des Versuchs	Luftdruck im Herd (mm Wasser)	ERGEBNISSE				OELVERBRAUCH IN DER STUNDE IN kg				
		Gewicht des verdampften Wassers pro Kg verbrauchten Oeles (20) : (22)	Äquivalentgewicht des Wassers bei 100°, übergeführt in Dampf bei 100° (23) : (22)	Gewicht des zur Zerstäubung eines kg Oeles verbrauchten Dampfes (23) : (22)	Prozentsatz des erzeugten, zur Oelzerstäubung verbrauchten Dampfes 100 × (23) : (25)	Volumen der Luft zur Zerstäubung (cbdm bei 1 Atm, per kg Oel)	Gewicht des verbrauchtes Oeles (22) : (3)	Gewicht des Oeles per qm der Herdfläche (35 : 4,688)	Gewicht des Oeles per qm der Heizfläche (36 : 137,88)	Gewicht des zur Zerstäubung verbrauchten Dampfes
1	10	30	31	32	33	34	35	36	37	38
23	0	11,480	13,11	0,977	8,51	0	573,8	132,2	2,900	560,5
24	51	10,022	11,50	0,543	5,42	0	906,7	192,2	4,583	492,2
25	51	10,093	11,57	0,634	6,29	495,7	813,7	174,7	4,112	563,4
29	51	10,012	11,60	0,327	3,27	0	925,3	198,6	4,676	303,0
30	25	10,758	12,33	0,471	4,38	0	768,4	164,9	3,883	361,9
31	76	10,285	11,85	0,332	3,23	0	1.127,2	227,3	5,697	374,2
34	0	11,783	13,46	1,050	8,92	716,7	515,3	110,6	2,604	540,0
35	25	10,794	12,37	0,745	6,90	496,9	777,0	166,8	3,926	579,0
36	51	10,375	11,92	0,685	6,60	457,0	891,3	191,3	4,505	610,3
37	76	9,729	11,23	0,536	5,51	359,0	1.051,0	225,6	5,067	563,3
48	0	11,321	12,88	1,172	10,36	0	346,9	742,1	1,747	405,1
49	25	10,606	12,10	0,770	7,26	0	591,0	126,9	2,987	455,4
50	76	9,800	11,19	0,644	6,57	0	910,4	195,4	4,601	586,5
61	0	11,648	13,26	0,820	7,04	0	445,9	95,7	2,253	365,1
62	25	10,422	11,82	0,531	5,09	0	738,0	158,4	3,729	391,9
63	51	9,924	11,27	0,390	3,93	0	893,1	191,7	4,513	348,4
64	76	9,936	11,27	0,406	4,08	0	1.084,5	232,8	5,482	439,5

(A) Im Falle der Zerstäubung mit komprimierter Luft ist ein Verbrauch von 15,435 kg pro Pferdekraft und Stunde zugelassen.

(B) Verhältnis des Wassergewichts bei 100°, verwandelt in Dampf von 100° zum Wassergewicht bei der Speisetemperatur, umgewandelt in Dampf bei der festgestellten Temperatur, für die gleiche Menge verbrauchter Wärme.



1000

Lfd. Nummer des Versuchs	WASSERVERBRAUCH PRO STUNDE (IN kg)					ZUSAMMENSETZUNG DER GASE %				
	Gewicht des stündlich verdampften Wassers (26) : (3)	Gewicht der erzeugten trocknen Dampfes (27) : (3)	Äquivalentgewicht des Wassers bei 100° in trocknen Dampf bei 100° verwandelt (29) : (3)	Äquivalentgewicht des trocknen Dampfes bei 100° per qm des Heerdes (41) : 4,058.	Äquivalentgewicht des trocknen Dampfes bei 100° per qm der Heizfläche (41) : 197,83.	Kohlensäure CO <sub>2</sub> .	Sauerstoff O.	Kohlenoxyd CO.	Stickstoff N (Differenz).	Gewicht der per kg. Kohlenstoff erzeugten trocknen Gase : 11 (44) + 8 (45) + 1 (46) + 7 (47)
1	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
23	5 230	6 485	7 522	1 615	38,03	8,3	11,1	0,50	80,10	28,19
24	9 086	8 913	10 429	2 239	52,68	6,0	11,3	0,80	81,90	36,04
25	8 961	8 790	10 276	2 206	51,90	5,7	11,9	0,80	81,60	37,68
29	9 264	9 042	10 733	2 304	54,24	6,9	11,9	0,33	88,87	34,10
30	8 263	8 065	9 467	2 033	47,85	7,8	10,5	0,07	81,63	31,41
31	11 594	11 293	13 359	2 867	67,52	7,3	10,0	0,70	82,00	30,80
34	6 058	5 959	6 917	1 485	34,96	—	—	—	—	—
35	8 388	8 191	9 616	2 064	48,58	—	—	—	—	—
36	9 246	9 021	10 635	2 282	53,71	—	—	—	—	—
37	10 224	9 967	11 802	2 533	59,66	6,7	12,3	0,10	80,90	36,23
48	3 912	3 836	4 450	956	22,51	7,7	14,2	2,10	76,00	25,34
49	6 269	6 162	7 154	1 536	36,13	8,6	11,0	1,10	79,30	25,61
50	8 922	8 755	10 182	2 186	51,46	6,6	12,6	0,40	80,40	35,19
61	5 193	5 102	5 913	1 269	29,88	6,6	12,0	0,00	81,40	37,29
62	7 869	7 528	8 724	1 873	44,09	6,4	12,5	0,20	80,90	37,28
63	8 862	8 665	10 060	2 160	50,83	6,4	12,0	0,10	81,50	37,83
64	10 775	10 526	12 221	2 624	61,76	8,6	10,8	0,20	80,40	28,23

Lfd Nummer des Versuchs.	Reichtum des Oeles an Kohlenstoff Prozent (Analyse)	Gewicht der erzeugten trocknen Gaze per kg verbrauchten Oeles (48 x 49)	Verteilung der Wärme erzeugenden Kraft des Oeles (in Kalorien per kg)						
			Von Kessel absorbierte Wärme (31 x 33,5)	Von dem zur Zerstäubung verwendeten Dampf absorbierte Wärme	Verlust infolge der durch die Wasserstoffverbrennung erzeugten Feuchtigkeit	In den Schornstein mit den Gazen fortgeführte Wärme	Verlust durch unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffes	Andere Verluste (Differenz) nicht verbrannter Wasserstoff, Heizung, Feuchtigkeit, Luft, Strahlung u. s. w.	Wärme erzeugende Kraft des Oeles (berechnet nach Analyse per kg)
1	49	50	51	52	53	54	55	56	57
23	83,26	23,47	7 032	95,61	847,2	1 196,1	266,8	620,5	10 823
24	id.	30,01	6 170	66,95	878,3	2 855,5	552,3	300,0	10 823
25	id.	31,37	6 207	—	870,6	2 894,5	577,8	273,3	10 823
29	id.	28,39	6 223	36,56	868,9	2 566,1	214,3	913,3	10 823
30	id.	26,15	6 613	44,78	852,8	2 103,3	41,7	1 172,8	10 823
31	id.	25,64	6 356	40,61	878,3	2 433,9	410,6	703,3	10 823
34	id.	—	7 219	—	—	—	—	—	10 823
35	id.	—	6 637	—	—	—	—	—	10 823
36	id.	—	6 397	—	—	—	—	—	10 823
37	id.	30,16	6 025	—	863,9	2 654,1	69,0	1 211,7	10 823
48	81,52	20,66	6 908	48,76	744,6	1 110,0	985,0	573,9	10 371
49	id.	20,87	6 492	41,87	784,9	1 216,2	521,3	1 314,4	10 371
50	id.	28,68	6 001	70,76	848,0	2 474,0	262,7	713,9	10 371
61	id.	30,39	7 115	63,59	746,7	1 952,9	—	487,2	10 371
62	id.	30,38	6 342	62,16	790,7	2 608,6	139,3	427,8	10 371
63	id.	30,84	6 043	50,33	803,9	2 837,3	70,7	565,0	10 371
64	id.	23,01	6 046	56,27	814,8	—	104,5	3 348,8	10 371