

Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors

Von

P. Meyer

Professor an der Technischen Hochschule in Delft

Mit einer Tafel

EXTRA
MATERIALS
extras.springer.com



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1913

Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors

Von

P. Meyer

Professor an der Technischen Hochschule in Delft

Mit einer Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1913

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-24476-0

ISBN 978-3-662-26620-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-26620-5

Inhaltsübersicht.

	Seite
Veranlassung zur Schrift und damit verbundene Absichten	1
Begriffe und Gliederung	2
Diesels Arbeitsverfahren für den vollkommenen Motor	3
Abmessungen dieses Motors und mechanischer Wirkungsgrad	6
Erste Abweichung vom vollkommenen Prozeß	8
Vergleich mit einem Kohlensäurekompressor	10
Zweite Abweichung und Erwägung weiterer	11
Frühere Beurteilungen der Dieselschen Vorschläge	12
Verhalten von Augsburg und Krupp hierzu	14
Spätere Beurteilung von Prof. Schröter	15
Die Versuchsarbeiten nach Diesels Mitteilungen	16
Die Geburtsstunde des Dieselmotors	18
Kennzeichnung des Entwicklungsganges	19
Die Darstellungsweise des Herrn Diesel hiervon	22
Kennzeichen des Dieselmotors	26
Gründe für die Höhe des Kompressionsdruckes	27
Die wirtschaftliche Bedeutung des Dieselmotors	29
Verwendung gasförmiger und fester Brennstoffe	30
Erkenntnis, daß der Dieselmotor ein Ölmotor sei	34
Der Verbundmotor	34
Entwicklung der Marktfähigkeit	35
Ausstellung München 1898	37
Güldners Zweitakt-Dieselmotor	38
Bauliche Maßnahmen am Viertaktmotor	40
Der Patentschutz auf den Dieselmotor	41
Persönliche Verdienste	48
Anhang.	
Die Organisation zur Entwicklung und Verwertung des Dieselmotors	53
Der Carnotsche Kreisprozeß.	54
Literaturübersicht	57

Die heutige Bedeutung des Dieselmotors rechtfertigt allein schon, seine Geschichte zu schreiben. Aber es kommt hinzu, daß er ein außergewöhnliches Beispiel von dem Werdegang einer Erfindung bietet, der außerdem noch recht verschieden dargestellt wird. Infolgedessen herrscht auch über die Verteilung der Ruhmeslorbeeren alles andere als Einmütigkeit.

Auf der einen Seite sind die zu befriedigen, und gehören sie auch schon zu den Toten, deren Erfindungen als Vorläufer des Dieselmotors gelten können, auf der anderen Seite diejenigen, die neben Diesel das geschaffen haben, was die heutige Bedeutung des Motors ausmacht.

Dieser schon lange drohende Streit ist zum Ausbruch gekommen durch einen Vortrag von Herrn Dr.-Ing. h. c. Rudolf Diesel auf der Versammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Berlin am 21. November 1912, an den sich Entgegnungen von den Herren Geheimrat Riedler-Berlin und Prof. Nägel-Dresden knüpften. Daß durch diese Reden und Entgegnungen auch nur einigermaßen eine Klärung der Sachlage geschaffen sei, wird wohl niemand zu behaupten wagen, der der Versammlung beigewohnt hat.

Mir war bekannt, daß Herr Nägel beabsichtigte, über die Geschichte des Dieselmotors zu schreiben, und ich hatte ihm schon bereitwilligst meine Unterstützung dabei zugesagt, da ich selbst auf diesem Gebiete mit Rücksicht auf andere Aufgaben zurückstehen wollte.

Mit dieser Absicht kam ich auch zu dem Vortrage des Herrn Diesel nach Berlin. Nachdem ich aber Rede und Gegenrede gehört, wurde ich anderer Meinung. Ich sagte mir, bei diesem klaffenden Zwiespalt der Meinungen kann ich nicht anders als

meine Ansicht persönlich aussprechen, ich kann sie nicht als Material an jemand anders überlassen. Das ist durchaus nicht als ein Mangel an Vertrauen Herrn Nägel gegenüber aufzufassen und ist, wie ich weiß, von ihm selbst auch nicht so aufgefaßt worden. Es schien mir eben nötig, hier selbst auf den Plan zu treten, damit die persönliche Färbung, die solche Mitteilungen haben und auch nicht entbehren können, nicht verloren gehe.

Ich beschränke meine Beiträge deshalb auch auf das, was ich selbst in mehrjähriger Mitarbeit bei der Entstehung des Dieselmotors erlebt habe, und was sich als mein Urteil in dieser Sache ausgebildet hat. Alles andere will ich getrost denen überlassen, die einmal eine zusammenhängende Geschichte des Dieselmotors oder gar des Ölmotors schreiben werden.

Meine subjektive Darstellungsweise beruht auf dem Streben nach Objektivität. Ich will dem Leser nicht meine Meinung unter dem Schleier der Objektivität aufdrängen.

Um meine Arbeit in den schon angedeuteten Grenzen zu halten, habe ich auch jegliche Nachforschungen unterlassen und außer meiner Erinnerung nur einige allgemein zugängliche Literaturstellen (siehe Anhang) und Patentschriften benutzt. —

Zwei Dieselmotoren sind zu unterscheiden. Für den ersten gebrauche ich die Bezeichnung „rationeller Wärmemotor“. Er bildet den Gegenstand der ursprünglichen Erfindung Diesels, die ihn mit der Maschinenfabrik Augsburg und Fr. Krupp in Essen zusammengebracht hat, und die beschrieben ist in dem 1893 bei Julius Springer erschienenen Buch von Rudolf Diesel: „Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatze der Dampfmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren.“

Den zweiten Motor werde ich einfach „Dieselmotor“ nennen und meine damit den Motor, den alle Welt heute so nennt. Er ist zuerst öffentlich beschrieben in den Vorträgen von Diesel und Prof. M. Schröter, die auf der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure 1897 in Kassel gehalten wurden.

Ich betrachte die Herausgabe des Buches über den rationellen Wärmemotor mit dem Zustandekommen der Verbindung Diesel-Augsburg-Krupp (Anfang 1893) sowie andererseits die von Schröter vorgenommenen offiziellen Versuche (Februar 1897)

als zwei Marksteine, die die Entstehungsgeschichte des Dieselmotors in drei Abschnitte gliedern.

Vor dem ersten Markstein liegt die aus thermodynamischen Erwägungen geborene Erfindung des rationellen Wärmemotors, zwischen den beiden Marksteinen das Bemühen um seine praktische Verwirklichung, das zu einem teilweisen Aufgeben der anfänglichen Grundsätze führte und das Arbeitsverfahren und die Konstruktionsgrundlage des Dieselmotors schuf, und hinter dem letzten Markstein bis in die heutige Zeit die vervollkommnung in Bau und Ausführung, die für die praktische Anwendung unter den verschiedensten Umständen natürlich unerlässlich war, wenn man will, auch zu bezeichnen als Ausbildung der Marktfähigkeit.

Hiermit zusammen fällt die Lösung der Brennstofffrage und die wissenschaftliche Vertiefung der Erkenntnis vieler den Dieselmotor betreffenden Fragen.

Zuerst soll mich die Erfindung des rationellen Wärmemotors beschäftigen. In seiner Benennung erblicke ich den Beinamen des Einzigen für nun und in alle Ewigkeit. So war es auch wohl gemeint; denn im Verlauf seiner Schrift beweist Diesel oder glaubt wenigstens zu beweisen, daß mit seinem Verfahren der höchste Wirkungsgrad gegeben sei, und daß andere Wege nicht zu dem gleichen Ziele führen könnten.

Die thermodynamische Untersuchung des einzuschlagenden Verfahrens ist von Diesel sehr gründlich durchgeführt, teilweise sogar umständlich. Er hat sie sich selbst durch einen Fehler erschwert, auf den andere schon aufmerksam gemacht haben. Er hat angenommen, daß durch Verbrennung von Kohlenstoff in Luft eine Volumenvergrößerung hervorgerufen wird, während in Wirklichkeit das Kohlenstoffvolumen, das wegen seiner Kleinheit in festem Zustand vernachlässigt werden kann, ganz verschwindet. Dieser Fehler zieht sich durch das ganze Buch und macht alle Berechnungen und Formeln komplizierter, als sie zu sein brauchten. Er veranlaßt Diesel sogar (S. 44) zu einer Gegenüberstellung seiner Formeln mit den in der Thermodynamik üblichen, aber der ganze Unterschied dieser Formeln beruht auf diesem Fehler.

Da jedoch der rationelle Wärmemotor mit sehr großem Luftüberschuß arbeiten sollte, so ist die vermeintliche Volumen-

zunahme durch die Kohlenstoffverbrennung auf die schließlichen Ergebnisse der Berechnungen von so geringem Einfluß, daß ich ferner davon nicht mehr zu sprechen brauche. An diesem Versehen wäre der rationelle Wärmemotor jedenfalls nicht gescheitert.

Die Grundlage für die Dieselschen Berechnungen bildete die damals anerkannte Wärmetheorie. Diese Theorie ist, wenigstens soweit sie hierbei in Frage kommt, auch bis heute unverändert geblieben. Daß wir heute eine etwas zuverlässigere Kenntnis der mit der Temperatur veränderlichen spezifischen Wärmen besitzen, ist grundsätzlich nicht von Einfluß. Diesel hat die Zunahme der spezifischen Wärmen mit der Temperatur überhaupt nicht berücksichtigt. Bei den verhältnismäßig niedrigen Temperaturen seines Prozesses wäre der Einfluß auch nur gering gewesen. Auch die Richtigkeit des Carnotschen Satzes,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

durch den ausgesprochen wird, daß der Wirkungsgrad eines Kreisprozesses, der zwischen zwei Adiabaten und zwei Isothermen verläuft, von den absoluten Temperaturen der beiden Isothermen abhängt, wird heute ebensowenig wie damals in Zweifel gezogen. Damit ist dann aber auch der Weg gegeben, der zu einem größten Wert von η führt. Es muß einfach das Verhältnis von $T_2 : T_1$ so klein als möglich genommen werden, T_2 muß nach unten, T_1 nach oben gedrückt werden.

Es besteht auch heute noch der Wert des Carnotprozesses als Maßstab für die Beurteilung des Wirkungsgrades eines beliebigen anderen Prozesses, der zu dem Zwecke in eine Schar Carnotprozesse zerlegt gedacht wird. Und auch hieraus sehen wir wieder, daß für jeden beliebigen Prozeß dasselbe gilt wie für den Carnotprozeß. Um zum höchsten Wirkungsgrad η zu gelangen, muß jeder Teil-Carnot das höchste η haben, muß auch wieder T_2 nach unten und T_1 nach oben gedrückt werden.

Bewegen wir uns aber nicht zwischen Temperatur-, sondern zwischen Volum- oder Druckgrenzen und lassen den übrigen Teil des Kreisprozesses wie beim Carnot auf Adiabaten verlaufen, so bietet das die Möglichkeit, bei diesen Prozessen schon aus dem Verhältnis der Volumgrenzen oder der Druckgrenzen ohne

Zerlegung in Teil-Carnots den Wirkungsgrad zu übersehen und somit ebenfalls den Weg zu erkennen, der zum Höchstwert führt.

Bei Temperatur, bei Volumen und Druck stoßen wir nach oben und unten auf Grenzen. Da aber alle drei Größen außerdem voneinander abhängig sind, müssen wir in jedem besonderen Falle erwarten, daß uns eine von den dreien nach oben oder unten zuerst Halt gebietet, ohne daß die anderen beiden Größen schon ihre Grenzen erreicht hätten. Ich will hier an dieser Stelle auf die Mannigfaltigkeit dieser Grenzen bei den bestehenden Wärmekraftmaschinen nicht eingehen.

Diesel nahm für seinen vollkommenen Prozeß für oben und für unten Temperaturgrenzen als gegeben an und begründete diese. Jedoch sind alle seine Prozesse aus praktischen Gründen auch von Druck und Volumgrenzen beeinflusst worden.

Über die untere Grenze, gleich der Temperatur der Atmosphäre oder der des Kühlwassers, wird keine Meinungsverschiedenheit bestehen.

Für die Bestimmung der oberen Grenze leitete Diesel folgende Erwägung:

Soll ein vollkommener Carnotprozeß angestrebt werden, so muß alle Wärme bei konstanter Temperatur zugeführt werden. Es ist aber auch zu vermeiden, daß von der aufgewendeten Wärme ein Teil unmittelbar in die Wandungen übergeht und somit dynamisch gar nicht in die Erscheinung tritt. Das kann nur dadurch erreicht werden, daß die Höchsttemperatur so niedrig gehalten wird, daß Kühlung der Wandung nicht nötig ist. Die unvermeidliche Wärmeabfuhr kann dann beschränkt bleiben auf die Abfuhr bei niedrigster Temperatur. Diesel glaubte dies erreicht zu haben, wenn die mittlere Temperatur des Diagrammes eine für Material, Schmierung usw. zulässige Höhe nicht überschreiten würde. Im übrigen zeigt sich aber, daß er bei Wahl der Höchsttemperaturen durch die damit verbundenen Drücke beschränkt ist.

Diesel geht nun in der Weise vor, daß er zuerst die Arbeitsweise eines Motors entwirft und untersucht, den er den vollkommenen nennt. Später folgen dann, insbesondere zur Erleichterung der Ausführung, zwei Abweichungen. Der vollkommene Prozeß soll jedoch als das Endziel im Auge behalten werden. Es ist ein reiner Carnotprozeß. Ein gewisses Luftgewicht wird mit

Hilfe von Wassereinspritzung anfänglich isothermisch und dann adiabatisch komprimiert, wie es in der Diagrammtafel dargestellt ist. (Siehe Anhang.)

Die untere Isotherme ist durch die untere Temperaturgrenze von 20° C gegeben.

Der Punkt $V = 0,83$ auf ihr ist gegeben durch den atmosphärischen Druck, den Diesel als geeignetsten Ausgangspunkt ansieht. Für die obere Isotherme, von deren Wahl der Wirkungsgrad abhängt, liegen zwei Beschränkungen vor. Ihre Temperatur darf nicht zu hoch sein, um Wärmeverluste zu vermeiden, und andererseits steigt der Höchstdruck gewaltig mit der Temperatur an, wenn das Diagramm noch einigermaßen Fläche erhalten soll.

Es handelt sich deshalb darum, was Diesel sehr wohl beachtet hat, ein Kompromiß zu schließen zwischen Wirkungsgrad, Zylinderleistung und Druck.

Er hat deshalb, für später auf mehr hoffend, letzteren vorläufig auf 250 at beschränkt, und als passende Höchsttemperatur dazu 800° C gewählt. Eine höhere Temperatur hält er durchaus für zulässig; aber sie würde mit einer großen Vermehrung des Zylindervolumens nur eine kleine Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades bringen. Unter den gewählten Verhältnissen beträgt der Wirkungsgrad 73 % und der mittlere indizierte Druck 2,36 at.

Die Zylinderdimensionen, die sich hieraus für eine 100-PS-Maschine ergeben, findet Diesel günstig (S. 53), ungefähr nur $\frac{1}{4}$ so groß als die einer Dampfmaschine, wenigstens des Niederdruckzylinders. Dieses scheinbar günstige Resultat ist aber nur mit gewissen Kunstgriffen erreicht. Es ist nicht berücksichtigt, daß das theoretische Diagramm natürlich nicht erreicht wird, es ist nicht daran gedacht, daß entweder, um im Zweitakt zu arbeiten, noch eine Spülpumpe nötig ist, oder daß im Viertakt gearbeitet werden muß, und dann der Zylinder doppelt so groß wird. Es ist nicht berücksichtigt, daß es sich bei den Dampfmaschinen um effektive Leistung handelt, bei dem Motor nur um indizierte, und es ist für den Motor eine Umdrehungszahl angenommen, die vielleicht 3—4 mal höher ist als bei den von Diesel genannten Dampfmaschinen. Alles zusammengenommen wäre wohl der Motorzylinder sicher ebenso groß geworden als der Niederdruckzylinder der Dampfmaschinen, wenn der Motor

außerdem noch den gleichen mechanischen Wirkungsgrad gehabt hätte. Das aber war unmöglich, denn bei 250 at Höchstdruck hätten sich Triebwerksteile ergeben, die höchstwahrscheinlich mit der Kolbenreibung zusammen den größten Teil der indizierten Arbeit verzehrt hätten. Rechnerisch läßt sich dies nicht sicher nachweisen, aber Vergleiche mit andern Maschinenarten führen schätzungsweise zu diesem Ergebnis.

Diesel hat nun allerdings nicht beabsichtigt, den Prozeß in einem Zylinder durchzuführen. Er wollte vielmehr eine recht geschickte Zusammenstellung eines Niederdruck- mit zwei Hochdruckzylindern benutzen.

Der Niederdruckzylinder war doppelwirkend, auf der einen Seite stets Luft ansaugend und verdichtend und auf der andern Verbrennungsgase expandierend und ausschierend.

Die beiden Hochdruckzylinder waren einfachwirkend und arbeiteten im Viertakt, abwechselnd von dem Niederdruckzylinder empfangend und an ihn abgebend. Man hatte somit Verbundwirkung gesondert für Kompression und Expansion.

Von diesem Motor findet sich in dem Dieselschen Buch ein Entwurf, der zu vieler Kritik Anlaß gegeben hat. Ich nehme an, daß er von einem Zeichner herrührt, der besinnungslos die Abmessungsverhältnisse von Dampfmaschinen für 8at übertragen hat. Ein Beispiel: Der höchste Flächendruck im Kurbelzapfenlager kommt auf etwa 1000 kg/qcm, während 100kg zulässig sind.

Daß es sich bei der Zeichnung des Motors nicht um eine Ideenskizze gehandelt hat, wie man sie etwa für Patentbeschreibungen anfertigt, geht daraus hervor, daß im Text ausdrücklich von einem konstruktiv dargestellten Motor gesprochen wird, der für 100 indizierte Pferde berechnet und im Maßstab 1 : 20 gezeichnet sei.

Es zeigt sich hierbei deutlich, daß die Frage der konstruktiven Durchführbarkeit des vollkommenen Prozesses nicht mit genügender Sorgfalt behandelt worden ist.

Bei solchen außergewöhnlichen Maschinen, wie Diesels rationeller Wärmemotor, müssen wir zu einer Beurteilung der Ausführbarkeit unsere Erfahrungen sehr weitgehend extrapolieren. Das führt bei den ohnehin sehr dürftigen Kenntnissen von den Ursachen des mechanischen Wirkungsgrades zu großen Unsicherheiten.

Zu der ganzen schiefen Beurteilung des rationellen Wärmemotors, die dieser seinerzeit erfahren hat, hat auch wohl der Begriff des mechanischen Wirkungsgrades beigetragen. Man denkt meist, daß der mechanische Wirkungsgrad ein mehr oder weniger guter Prozentsatz sei.

Viel klarer wird aber die Vorstellung, wenn man beachtet, daß jede Kolbenmaschine einen ziemlich bestimmten Reibungswiderstand hat, der hauptsächlich von den Abmessungen des Getriebes und des Schwungrades abhängig ist, und daß dieser Widerstand recht wenig durch die Größe der indizierten Arbeit beeinflußt wird, die in dem Zylinder geleistet wird. Die Reibungsarbeit ist beinahe ausschließlich abhängig vom Höchstdruck, für den die Maschine gebaut ist. Sie kann ausgedrückt werden durch einen auf die Kolbenfläche wirkenden mittleren Widerstandsdruck, der dann, vom indizierten mittleren Druck abgezogen, den effektiven mittleren Druck ergibt. Für den heutigen Dieselmotor beträgt diese Widerstandskraft ungefähr 1,2—1,5 at, das sind ca. 3—5 % vom Höchstdruck. Um nichts aus der Luft greifen zu müssen, wage ich nicht, anzugeben, wie hoch die Widerstandskraft wohl bei 250 at Höchstdruck ausgefallen wäre, jedenfalls aber weit höher als der mittlere indizierte Druck des vollkommenen Motors von 2,36 at, so daß Leerlauf unmöglich war. Mögen sich auch beim Verbundmotor diese Verhältnisse dadurch günstiger gestalten, daß die hohen Drücke nur in wesentlich kleinerem Zylinder auftreten, ein annehmbarer mechanischer Wirkungsgrad ist auch bei ihm nicht zu erwarten. Diesel hat dies keineswegs übersehen. Er sagt selbst (S. 64):

„Es ist anzunehmen, daß der mechanische Wirkungsgrad solch hoher Kompressionen anfangs nicht sehr befriedigen wird. Es liegt daher nahe, für den Anfang die Forderungen weniger hoch zu stellen und insbesondere zu untersuchen, welches Opfer am thermischen Wirkungsgrad diejenigen Abweichungen vom vollkommenen Prozeß erfordern, welche auf geringere, praktisch bequemer durchführbare Luftkompressionen führen.“

Darauf entwickelt er seine erste Abweichung vom vollkommenen „Verbrennungs“-Prozeß. Er verläßt die aufeinanderfolgende isothermische und adiabatische Kompression und verdichtet rein adiabatisch. Da auch wieder die Temperatur-

grenze von 800° C angenommen wird, so muß bei diesem neuen Diagramm (vgl. die Diagrammtafel) die Kompressionslinie zusammenfallen mit der Expansionslinie des ersten. Auf einer beliebigen Länge der dann folgenden Isotherme wird Wärme zugeführt, und dann wird von einem beliebigen Punkt ab adiabatisch expandiert bis auf atmosphärischen Druck, worauf Ausschleichen der Verbrennungsgase folgt, übereinstimmend mit Wärmeabfuhr bei atmosphärischem Druck. Durch die adiabatische Kompression vom atmosphärischen Zustand auf 800° C ist der Enddruck von rund 90 at gegeben. Diesel gibt dann (S. 68) für verschiedene Drücke, bis zu denen herunter die Isotherme unter Wärmezufuhr geführt werden kann, den thermischen Wirkungsgrad und das sekundliche Zylindervolumen pro indizierte PS an. Ich führe diese Zahlen unter Beifügung des entsprechenden mittleren indizierten Druckes hier an.

Enddruck der oberen Isotherme	70	50	30	10	at
Sekundl. Hubvol. pro indizierte PS	11,5	5,5	3,5	2,6	Liter
Mittlerer indiz. Druck	0,65	1,37	2,14	2,88	at
Theoretischer Wirkungsgrad	0,722	0,709	0,686	0,627	

Auch der größte dabei verzeichnete mittlere indizierte Druck von 2,88 at dürfte bei einer Maschine für einen Höchstdruck von rund 90 at, von dem er wenig mehr denn 3 % ausmacht, den Widerstandsdruck kaum überschreiten, so daß nach allen, bestehenden Ausführungsmöglichkeiten auch heute noch ein einigermaßen annehmbarer mechanischer Wirkungsgrad ausgeschlossen erscheint. Übrigens ist für diesen Fall infolge der weiter ausgedehnten oberen Isotherme die mittlere Zylindertemperatur wesentlich höher, als sie von Diesel für 30 at Enddruck berechnet worden ist.

Diesen abweichenden Prozeß hielt Diesel als Grundlage für die Ausführung für geeignet. Er erwartete von ihm (S. 69), daß der kleine Verlust an thermischem Wirkungsgrad durch den Gewinn an mechanischem Wirkungsgrad mehr wie aufgehoben würde. Er erblickt bei diesem Motor keine Schwierig-

keiten mehr, da Kohlensäurekompressoren mit Gasdrücken von 65—80 at arbeiten und dabei sehr hohe mechanische Wirkungsgrade ergeben.

An diesem Beispiel wird der Einfluß von der unrichtigen Vorstellung vom mechanischen Wirkungsgrad am besten deutlich. Arbeitet ein Kohlensäurekompressor bei einer Kühlanlage mit 65 at Kompressionsdruck, dann kann er etwa 27 at Ansaugedruck haben, so daß sein doppeltwirkender Kolben nur mit rund 38 at belastet wird. Der mittlere indizierte Druck des Diagrammes beträgt aber etwa 25 at, das sind beinahe 66 % des Höchstdruckes. Unter der sicher zu hohen Annahme von 3 at Widerstandsdruck für jede Kolbenseite ergibt sich hier ein mechanischer Wirkungsgrad von 87 %. Der gleiche Widerstandsdruck macht den Wirkungsgrad des rationellen Wärmemotors bereits negativ, d. h. die Maschine dreht sich nur, wenn von außen nachgeholfen wird. Um diese Verhältnisse noch deutlicher zu machen, ist das Diagramm eines Kohlensäurekompressors in der Diagrammtafel mit dem Diagramm des abweichenden Prozesses zusammengestellt worden.

Diesel zieht aber auch eine noch weitere Ermäßigung der Höchstdrücke und Temperaturen in den Kreis seiner Betrachtungen (S. 69 und 70). Er gibt die damit verbundenen Höchsttemperaturen und Wirkungsgrade wie folgt an:

Höchsttemperatur	600°	700°	800° C
Höchstdruck	44	64	90 at
Theoretischer Wirkungsgrad	0,60	0,64	0,68

Die erforderlichen Hubvolumina oder mittleren indizierten Drücke werden nicht angegeben. Sie würden, wie aus der Diagrammtafel leicht ersichtlich ist, sehr ungünstig ausfallen. Hiermit ist er noch im Rahmen der ersten Abweichung vom vollkommenen Prozeß geblieben.

Eine zweite Abweichung, die besprochen wird (S. 78), besteht in verkürzter Expansion. Es wird nicht mehr auf atmosphärischen Druck expandiert, sondern nur noch auf das Ansaugenvolumen (vgl. Diagrammtafel). Bei einem kleinen Verlust an thermischem Wirkungsgrad ist hiermit erhebliche Verringerung der Zylinderabmessungen verbunden. Im Vergleich mit der ersten Abweichung wird bei 90 at Höchstdruck und bis zu 30 at auf

der Isotherme durchgeführter Verbrennung die Fläche nur ca. 3,5 % kleiner, der Zylinder aber 25 %. Der thermische Wirkungsgrad wird wenig verringert. Der mittlere indizierte Druck wird etwa um 20 % höher. Das ist zwar ein Fortschritt, ändert aber wenig an dem Urteil betreffend die Ausführbarkeit. Diesel sagt hier ausdrücklich (S. 79):

„Die neuen Motoren sind also so zu konstruieren, daß das Ansaugen atmosphärischer Luft mit dem vollen Zylinder stattfindet.“

Er nähert sich hiermit dem Dieselmotor.

Auch selbst noch von der Verbrennung auf der Isotherme abzugehen, untersucht Diesel (S. 79) und spricht von Verbrennung auf irgendwelchen anderen Linien, sowohl bei gleichbleibendem Volumen wie auch bei gleichbleibendem Druck, oder auf sonst eine Art. Damit scheint er dem späteren, wirklichen Dieselmotor sehr nahe zu kommen; da er aber hinzufügt, daß die charakteristischen Merkmale des rationellen Wärmemotors bestehen bleiben sollen, so ist dem doch nicht so. Er nennt diese Merkmale noch einmal, nämlich: Herstellung sehr hoher Temperatur nicht durch Verbrennung, sondern durch Kompression, allmähliche Einfuhr von Brennstoff, richtige Wahl des Luftgewichtes nach der Bedingung, daß eine gewisse Temperatur nicht überschritten werden darf, damit künstliche Kühlung der Zylinderwände unterbleiben kann. Hier muß Diesel ein Versehen unterlaufen sein, denn diese Bedingungen sind in letzterem Falle nicht zu erfüllen. Sobald man nämlich mit adiabatischer Kompression bis auf die Höchsttemperatur gekommen ist, bleibt keine Möglichkeit mehr, noch eine Verbrennung bei gleichbleibendem Volumen oder Druck vorzunehmen, ohne daß die Temperatur weiterhin gesteigert wird.

Diesel schließt dann mit den Worten (S. 80):

„Da die Grenztemperaturen für den praktischen Gang des Motors (natürlich des ungekühlten. Der Verfasser.) gegeben sind, so wird zwischen diesen unabänderlichen Werten jeder andere Prozeß weit geringere Wirkungsgrade ergeben als der Carnotsche oder der ihm fast ebenbürtige (erste. Der Verfasser.) abweichende Prozeß. Es wäre demnach falsch, in einer anderen Führung der Verbrennung Verbesserungen der Maschine erzielen zu wollen.

Es wäre das umsomehr falsch, als für jede andere Verbrennungsart weit größere Zylinderdimensionen für gleiche Arbeitsleistung entstehen.“

Hiermit verwirft er also jede andere Verbrennungslinie als die Isotherme.

Was weiter noch in dem Dieselschen Buch enthalten ist, kann ich hier ganz außer Betracht lassen, da es den Abstand zwischen dem rationellen Wärmemotor und dem Dieselmotor nicht berührt.

Zusammenfassend kann ich sagen:

Die theoretischen Berechnungen Diesels über den thermischen Wirkungsgrad des von ihm vorgeschlagenen rationellen Wärmemotors sind im allgemeinen richtig. Die Durchführbarkeit des Prozesses, wenigstens mit der ersten und zweiten Abweichung, erscheint möglich, aber wirtschaftlich bietet der rationelle Motor keine Aussicht auf einen Erfolg, da der zu erwartende sehr schlechte, wenn nicht gar negative mechanische Wirkungsgrad keinen annehmbaren Gesamtwirkungsgrad erhoffen läßt.

Die Dieselsche Idee ist, bevor ihre Verwirklichung in Angriff genommen wurde, Gegenstand vieler Kritiken gewesen. Nach Diesels Angabe in seinem Berliner Vortrag sollen sich Linde, Schröter und Zeuner günstig geäußert haben. Die Maschinenfabrik Augsburg und Friedrich Krupp in Essen entschlossen sich darauf, die neuen Ideen praktisch zu erproben.

Ich kenne den Wortlaut der Urteile von allen dreien nicht und kann deshalb nichts darüber sagen. Ich vermute, daß alle drei sich nur mit der thermodynamischen Seite der Sache befaßt haben, ohne auf den zu erwartenden mechanischen Wirkungsgrad Rücksicht zu nehmen.

Dagegen will ich auf zwei andere Urteile aufmerksam machen. In Glasers „Annalen für Gewerbe und Bauwesen“ vom 15. August 1893 behandelt Prof. J. Lüders, Aachen, ausführlich den rationellen Wärmemotor. Er behandelt eingehend zahlenmäßig die Frage des mechanischen Wirkungsgrades und gesteht dem abweichenden Motor bei Ausführung in Verbundform einen mechanischen Wirkungsgrad von allenfalls 33 % bei Höchstleistung zu, was noch ausreichend wäre, wenn nicht auch der thermische Wirkungsgrad gleichzeitig zu niedrig ausfiele.

Habe ich auch schon früher gesagt, daß Vorausberechnungen des mechanischen Wirkungsgrades, besonders wenn es sich um starke Extrapolationen unserer Erfahrungen handelt, sehr problematischer Natur sind, so wissen wir heute, daß Lüders seinerzeit jedenfalls nicht zu schwarz gesehen hat.

An die Ausführungen von Lüders schließt sich übrigens eine kurze Erwiderung Diesels, aus der ich nur folgende interessante Stelle erwähnen will:

„Ich unterlasse es, auf die höchst interessante und gründliche Kritik Herrn Lüders einzugehen und begnüge mich mit der Bemerkung, daß gerade die konstruktive Seite des Problems in meiner Schrift aus naheliegenden Gründen nicht behandelt wurde (? Der Verfasser), und daß der Grundsatz: neue Zwecke erfordern neue Mittel, in den Maschinen, die zu den Versuchen dienen, weitgehend berücksichtigt wurde.“

Daraus geht deutlich hervor, daß Diesel mit einem gewissen Optimismus an die Sache heranging, nämlich mit der Hoffnung, daß sich wohl auf irgendeine Weise eine Lösung der Wirkungsgradfrage ergeben werde. Dazu hatte er natürlich das Recht; denn es konnte ihm niemand beweisen, daß der mechanische Wirkungsgrad unter allen Umständen schlecht sein würde, sondern nur bei Benutzung der bis dahin bekannten Mittel. Was die Zukunft noch an Mitteln bringen würde, konnte niemand wissen. Auch wir wissen nur, daß die Zukunft von damals bis heute nichts gebracht hat.

Ein sehr ähnliches Urteil wie Lüders gab Otto Köhler, Lehrer an der technischen Mittelschule in Cöln, ab (Z. Ver. deutsch. Ing. 1893, S. 1103). Er sagt darin:

„Man kann den Folgerungen der Dieselschen Schrift nicht beistimmen, wonach jeder andere Kreisprozeß als der vollkommene oder angenäherte als falsch bezeichnet werden muß. Es ist eben zu beachten, daß sich die sonst durchaus richtigen und in vorzüglicher Weise entwickelten Untersuchungen dieser Schrift nur allein auf die Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades beziehen. Für die Größe des Brennstoffverbrauches einer Heißluftmaschine mit geschlossener Feuerung ist aber nicht dieser allein, sondern vielmehr das Produkt aus dem thermischen und mechanischen Wirkungsgrade $\eta_w = \eta \cdot \eta_i$ maßgebend. Dieses

Produkt stellt den Grashof'schen wirtschaftlichen Wirkungsgrad dar, mit dessen Bestimmung sich jede für die Praxis verwendbare theoretische Untersuchung einer Wärmekraftmaschine zu befassen hätte, wenigstens dann, wenn es sich um die Einführung neuer Arbeitsprozesse handelt. Wenn das Ergebnis der Untersuchung auch nur ein angenähertes ist, so könnte es doch insofern von Wert sein, als es gegebenenfalls vielleicht von langwierigen und kostspieligen Versuchen abhält, die keine Aussicht auf Erfolg haben.“

Köhler hatte vollkommen Recht, ebenso wie Lüders. Aber selbst wenn nun die leitenden Personen von Augsburg und Krupp diese Urteile kannten und selbst damals schon die heute wohlfeile Einsicht besaßen, daß zwischen dem rationellen Wärmemotor und seiner Verwirklichung noch ein tiefer Abgrund klaffte, hätten sie dann unbedingt nein sagen müssen? Keineswegs! Solche Firmen müssen immer mal von Zeit zu Zeit einen Einsatz wagen für einen in der Ferne winkenden Gewinn, wenn auch die Wahrscheinlichkeit, ihn zu erlangen, nicht eben groß ist. Das nennt man weiten Blick und Wagemut, Großzügigkeit. Geht der Gewinn verloren, dann wird die Bilanz dadurch auch noch nicht erschüttert. Ohne Optimismus und ohne diesen Mut würden wir manche Errungenschaft heute noch nicht besitzen, die man geneigt ist, als reines Geistesprodukt anzusehen. Auch beim rationellen Wärmemotor hat es sich als richtig erwiesen, der Abgrund ist überbrückt worden, allerdings an einer Stelle, wo man anfänglich meinte, es unter keinen Umständen zu können.

Die Warner, wie Lüders und Köhler, hatten vollkommen recht, und auch mit unserem heutigen Wissen würden wir ihr Urteil nicht verbessern können; aber den Mutigen, die es dennoch wagten, half das Glück. Sie fanden einen Weg zum Erfolg, den man anfänglich für einen Rückweg gehalten hatte. Warum sollen sie das nun nicht eingestehen? Nachdem sie den Erfolg für sich haben, sollten sie ruhig sagen: Ja, es war anfänglich ein Schritt ins Dunkle, aber wir hatten Glück und fanden bei unserer rastlosen Arbeit den richtigen Weg. Das könnten alle, die an der Sache beteiligt waren, zugeben, und jeder Versuch, diesen Tatbestand zu beschönigen oder zu verdrehen, könnte getrost unterbleiben. Dann wären alle solche Auseinandersetzungen wie auch die meinige gar nicht nötig. Dann würde viel weniger

darüber geredet werden. Dann würde man den Ruhm rein nach dem Erfolg bemessen, und mit diesem Maß könnte jeder zufrieden sein.

Es ist ja allenfalls zu begreifen, daß Diesel seine ursprünglichen Ideen beinahe unverändert in seinem heutigen Motor wiederzufinden meint, wenn es auch überflüssig ist und sogar schädlich für ihn selbst. Aber selbst von uninteressierter Seite ist der gleichen Auffassung gehuldigt worden. So hat Prof. M. Schröter, der sich 1893 schon sehr günstig über den rationellen Wärmemotor geäußert hatte, noch 1897 in Kassel über den von ihm untersuchten Dieselmotor folgendes gesagt:

„Über die theoretischen Grundlagen seines rationellen Wärmemotors hat Herr Diesel sich mündlich und schon früher in seiner Schrift so klar ausgesprochen, daß mir nur übrig bleibt, ausdrücklich festzustellen, daß unter den Sachverständigen von Anbeginn an nur eine Überzeugung geherrscht hat, daß diese theoretischen Grundlagen durchaus richtig und unanfechtbar sind. Nicht die gleiche Einstimmigkeit herrschte in bezug auf die Frage, ob und wie weit es gelingen werde, die Forderungen der Theorie konstruktiv zu erfüllen, und es gereicht mir daher zu besonderer Befriedigung, vor einem so erlesenen Kreise von Fachgenossen an der Hand von Zahlen den Beweis dafür zu erbringen, daß die angewandte Thermodynamik denn doch nicht so unfruchtbar in bezug auf die Förderung der Wärmekraftmaschinen ist, wie in neuerer Zeit manchmal behauptet worden ist.“

An einer weiteren Stelle heißt es:

„Mit der Feststellung eines mechanischen Wirkungsgrades von 75 % bei voller Leistung sind aber alle die Befürchtungen schlagend widerlegt, welche in dieser Beziehung laut geworden sind.“

„Ein Triumph der Theorie, wie er glänzender nicht gedacht werden kann, wenn man erwägt, daß mit der vorliegenden Ausführung des Grundgedankens das letzte Wort noch nicht gesprochen ist, sondern daß der Motor am Anfang einer Entwicklung steht, als deren Endergebnis wir jedenfalls noch wesentlich höhere Wertziffern als die vorliegenden zu erwarten haben.“

Die am Schlusse seines Vortrages in Aussicht gestellten „eingehenderen thermodynamischen Studien“ dürften Herrn Prof. Schröter wohl selbst auf das nicht Zutreffende seiner Ansichten aufmerksam gemacht haben. Natürlich sind diese Studien niemals veröffentlicht worden.

Auf der von mir geschilderten, tatsächlich nur spekulative Aussichten bietenden theoretischen Grundlage begannen die Versuchsarbeiten. Sie sind von Diesel in seinem Berliner Vortrag eingehend dargestellt und bieten für den Ingenieur ein fesselndes Bild von dem mühevollen Werdegang eines großen technischen Fortschrittes, aber nicht allein technisch interessant, sondern auch rein menschlich, wenn man sich vorstellt, wie unermüdlich der Kampf gegen die Tücke geheimnisvoller Mächte immer von neuem wieder aufgenommen wird. Ich will den Werdegang des Dieselmotors aus dem rationellen Wärmemotor an Hand dieses Vortrages kurz wiederholen, besonders, um auch einige Bemerkungen daran anzuknüpfen.

Auf Kosten von Maschinenfabrik Augsburg und Friedr. Krupp wurde in Augsburg ein Laboratorium für die Verwirklichung des rationellen Wärmemotors eingerichtet. Zuerst wurde ein Motor gebaut, der für den zweiten abweichenden Prozeß eingerichtet war, nämlich mit adiabatischer Kompression und gleicher Länge von Kompressions- und Expansionshub. Diesen Prozeß hatte auch Diesel in seinem Buch (S. 79) als den bestausführbaren bezeichnet. Dieser Motor war im Juli 1893 fertiggestellt und hatte 150 mm Zylinderdurchmesser und 400 mm Hub. Deckel und Zylinder waren nicht gekühlt. Einlaß- und Auslaßventil waren kombiniert, und die Brennstoffeinspritzung geschah noch ohne Luft. Der Motor ist niemals selbständig gelaufen. Immerhin wurde aus diesen Versuchen, wie Diesel optimistisch sagt, das Resultat gezogen, daß die Durchführbarkeit des Prozesses als erwiesen zu betrachten sei.

Für den zweiten Motor wurden die Abmessungen beibehalten, und der Unterbau wurde wieder benutzt.

Der Kompressionsraum war etwas verbessert. Einlaß- und Auslaßventil waren wieder getrennt. Kühlung war auch hier noch nicht vorhanden.

Die Versuche mit dieser Maschine begannen am 18. Januar 1894. Sie zeitigten die Einblasung des Brennstoffes mit Luft

und ergaben zum erstenmal Leerlauf der Maschine unter Regulierung der Brennstoffmenge.

Die Diagramme zeigen für Leerlauf einen mittleren indizierten Druck von 4,39 at, also fast das Doppelte des theoretischen Diagrammes. Als Resultat dieser Versuchsperiode verzeichnet Diesel denn auch

„Erzielung von hoch über der Isotherme verlaufenden Verbrennungskurven und Erweiterung der Diagrammfläche bis zu Leerlauf der Maschine.“

Diese Maschine war, wie er ferner sagt, noch nicht betriebsfähig, da sie den Leerlauf immer nur auf kurze Zeit aushielt und zu einer Nutzleistung überhaupt nicht gelangte, obgleich einzelne Diagramme bereits „richtige“ Entwicklung und großen Arbeitsüberschuß aufwiesen.

Es erfolgen nun Versuche, den Brennstoff außerhalb der Düse zu vergasen, und um Vergleiche hierfür zu haben, werden auch Versuche mit Gas angestellt. Diese Versuche waren im allgemeinen ergebnislos. Jedoch soll dieser Motor zu der Erkenntnis geführt haben, daß die gesamte Luft des Kompressionsraumes zur Verbrennung herangezogen werden müsse.

Durch abermaligen Umbau unter Beibehaltung des Untergestells entsteht der dritte Motor mit 220 mm Zylinderdurchmesser und 400 mm Hub. Der Zylinder erhält einen angegossenen Kühlmantel. Einlaß- und Auslaßventil werden aus Platzmangel wieder vereinigt. Die Versuche hiermit beginnen im März 1895. Der doppelte Sternbrenner bewährt sich hierbei am besten. Bei Einblasung von Benzin mit Luft sind „alle Diagramme sofort schön breit“. Im Mai 1895 wird schon ein Diagramm mit 6,85 at und Leerlauf bei 2,92 at erreicht. Mit Lampenpetroleum ist die Verbrennung „fast genau horizontal“. Von dem Sternbrenner wird auch noch gesagt, daß er die „schönste Entwicklung der Verbrennungskurve“ ergab, „nämlich absolut konstanten Druck“.

Im Juni 1895 fand der erste Bremsversuch statt, der einen Petroleumverbrauch von 382 g pro PS-Stunde ergab bei 54 % mechanischem Wirkungsgrad. Man geht infolgedessen dem mechanischen Wirkungsgrad nach und verbessert ihn auf 64 %.

Nun erst wird der Motor mit einer eigenen Luftpumpe versehen, wodurch sich der Ölverbrauch wieder verschlechtert.

Im November 1895 wird der erste Versuch zu einem Dauerbetrieb unternommen.

Als Errungenschaften dieser Periode werden unter anderem angegeben: „Am Zylinder angegossener Kühlmantel.“

Im Februar 1896 beschloß man den vierten Motor in zwei Ausführungen mit 250 mm Zylinderdurchmesser und 400 mm Hub zu bauen. Erst während der Herstellung der Zeichnungen kam man auf den Gedanken, die untere Kolbenseite als Vorkompressor auszubilden, um, da sie bei jeder Umdrehung ansaugen konnte, auf diese Weise sehr viel Luft in den Arbeitszylinder zu schaffen. Einlaß- und Auslaßventil wurden wieder getrennt.

Der Motor ergibt sehr große Diagramme, bis 10,6 at mittleren Druck bei 5—6 at Enddruck. Der Brennstoffverbrauch ist jedoch hierbei viel zu hoch. Die Vorkompression wird deshalb wieder verlassen.

Am 17. Februar 1897 werden dann mit diesem Motor die offiziellen Versuche von Prof. Schröter vorgenommen, die einen Verbrauch von 240 g für die effektive PS-Stunde ergeben.

Hiermit ist nach meiner Ansicht, unbeschadet der Frage der Marktfähigkeit, der Dieselmotor geschaffen.

Man kann wohl darüber streiten, von welchem Augenblick an eine Erfindung, die einer Entwicklung bedurfte, als vollendet anzusehen ist.

Bei seiner Entgegnung auf den Berliner Vortrag des Herrn Diesel versuchte Herr Geheimrat Riedler der Maschinenfabrik Augsburg ein großes Verdienst an dem Dieselmotor insofern zuzusprechen, als durch sie der Motor erst zu einer marktfähigen Maschine gemacht sei. Ich bin weit entfernt davon, diese Tatsache bestreiten zu wollen, und ebenso wenig liegt mir daran, die Verdienste der Maschinenfabrik verkleinern zu wollen, aber ich glaube, wenn man überhaupt noch für eine Erfindungsidee als solche, einschließlich ihrer Verwirklichung, eine besondere Wertschätzung übrig hat, dann kann man getrost die Erfindung des Dieselmotors mit den Schröterschen Versuchen als abgeschlossen ansehen. Schröter selbst hat, was ich hier bemerken möchte, nur insofern damit zu tun, als ihm die offizielle Feststellung der Resultate übertragen war.

Es bleibt noch die Frage zu beantworten: Worin bestand nun eigentlich die Entwicklung, die einen zweimaligen Umbau und einen gänzlichen Neubau des Motors nötig machte?

Diese Entwicklung zerfällt in zwei Teile, deren erster angesehen werden kann als eine Entwicklung der Konstruktion, wobei die wichtigsten Punkte sind die Gestaltung des Kompressionsraumes und die Einblasung mit Luft. Der zweite Teil ist die Entwicklung des Arbeitsverfahrens bzw. die Umgestaltung des Diagrammes.

Die konstruktive Entwicklung ist in dem Berliner Vortrag so ausführlich dargelegt, daß ich nichts hinzuzufügen habe.

Die Entwicklung des Arbeitsverfahrens möchte ich aber im Gegensatz dazu an dieser Stelle mit aller Schärfe charakterisieren.

Diesel hatte sich auf Grund an sich richtiger thermodynamischer Überlegungen für seinen rationellen Wärmemotor das Ziel gesetzt, den Carnotprozeß unter möglichster Ausdehnung der oberen Temperaturgrenze zu verwirklichen, und hatte eine Maschine in ihren Grundzügen angegeben, mit der das möglich sein sollte. Wärmeabführung an die Wandungen sollte dabei nicht stattfinden, da dies als ein Verlust anzusehen war. Jedoch hielt es Diesel nicht für nötig, mit Rücksicht hierauf die Höchsttemperatur des Prozesses zu beschränken, sondern war der Meinung, daß mit dem vorläufig anzunehmenden Höchstdruck von 250 at eine genügende Temperaturgrenze verbunden sei. Zur Vereinfachung dieser Maschine sowie zur Ermäßigung des hohen Druckes von 250 at hatte er außerdem ein in mehrfacher Beziehung abweichendes Verfahren angegeben, das einen nur wenig geringeren Wirkungsgrad versprach.

Dieses Verfahren bestand darin, daß in einem Zylinder von der äußersten Kolbenstellung an Luft von atmosphärischem Druck bis auf etwa 90 at adiabatisch komprimiert wurde, daß dann Brennstoff so eingeführt wurde, daß der erste Teil des Kolbenrückganges bei isothermischer und der letzte Teil bei adiabatischer Expansion erfolgte, die in der Kolbenendstellung durch Auspuff abgeschlossen wurde.

Nachdem dann durch einen Kolbenhin- und -rückgang der Zylinder mit frischer Luft versehen war, sollte die Kompression auf der Stelle wieder beginnen, wo die Expansion aufgehört hatte. Die Höchsttemperatur war bei diesem Verfahren die gleiche, wie bei dem vollkommenen, nämlich ungefähr 800° C.

Abgesehen von zu erwartenden technischen Schwierigkeiten durch die hohen Drücke, war in erster Linie zu fürchten, daß der sehr geringe mittlere Druck des Diagrammes zu der voraussichtlichen Reibungsarbeit der Maschine in einem sehr ungünstigen Verhältnis stehen würde, so daß der mechanische Wirkungsgrad sehr klein, wenn nicht sogar negativ ausfallen würde.

Hierauf hatte die Kritik mehrfach aufmerksam gemacht. Auch Herrn Diesel selbst und ebenso den Maschinenfabriken wird dieser Umstand nicht entgangen sein; aber man hoffte Mittel zur Verminderung der Reibungsarbeit zu finden, wenn man auch noch nicht wußte, welche.

Die Versuche haben die von der Kritik vorausgesagten Befürchtungen betreffs der Reibungsarbeit vollauf bestätigt.

Man hat auch keine Lösung gefunden, die Reibungsarbeit unter das Maß zu vermindern, das auf Grund damaliger Erfahrungen an andern Maschinen ungefähr zu erwarten war.

War die Reibungsarbeit nicht zu verringern, so konnte allein die Vergrößerung der indizierten Arbeit helfen.

Ob dieses Mittel mit Bewußtsein angewandt wurde, wage ich zu bezweifeln. Die von Diesel erfundenen Arbeitsprozesse boten dazu keine Möglichkeit, ohne eins seiner Axiome umzustoßen, daß nämlich keine Wärme durch die Wandungen abgeführt werden dürfe.

Ich glaube vielmehr, daß sich der Ausweg ganz von selbst ergeben hat.

Bevor man recht wußte, daß das theoretische Diagramm des rationellen Motors viel zu klein sei, hatte man schon so viel Brennstoff eingeführt, daß die Verbrennungslinie weit über die Isotherme und die höchste Temperatur weit über die Kompressionstemperatur zu liegen kam. Alle Einrichtungen, um dies ausführen zu können, waren von vornherein an dem Motor vereinigt. Im Gegenteil, es waren gar keine Einrichtungen getroffen, die verhindern konnten, die Isotherme zu überschreiten.

Daß der Kühlmantel anfangs fehlte, besagt nichts. Eine Zeitlang läuft jeder Motor ohne Kühlung. Einen Kühlmantel anzubringen, nachdem man gesehen hatte, daß der Motor zu

warm wurde, war nach dem Vorgange aller anderen Motoren eine Selbstverständlichkeit.

Somit ist der Übergang vom rationellen Wärmemotor zum Dieselmotor bezüglich des Arbeitsverfahrens etwas rein Automatisches gewesen, und niemand kann sich ein Verdienst dabei anrechnen.

Bei der Entwicklung des mechanischen Teiles liegt die Sache allerdings anders, wie ich ausdrücklich bemerken will.

Um die Abweichungen im Arbeitsverfahren zwischen rationellem Wärmemotor und Dieselmotor recht anschaulich zu machen, sind ein „theoretisches Diagramm zweiter Abweichung“ und zwei von Schröter 1897 aufgenommene Indikatordiagramme auf gleichen Druckmaßstab für gleiches Hubvolumen gezeichnet und in die Diagrammtafel aufgenommen worden. Ferner sind aus dem genannten theoretischen Diagramm sowie aus dem Schröterschen Voll-Lastdiagramm und einem anderen Voll-Lastdiagramm die Temperaturen unter vereinfachenden Annahmen ermittelt und aufgezeichnet worden.

Sieht man aus der ersten Darstellung die wesentliche Verbreiterung der Diagrammfläche, so erkennt man aus der zweiten, daß bei den Dieselmotoren nach der Verdichtung eine beinahe dreifache Erhöhung der Temperatur durch Verbrennung stattfindet. Allerdings wird die Höchsttemperatur nur etwa 1,4mal so hoch wie die theoretische, was sich daraus erklärt, daß die wirkliche Verdichtungstemperatur kaum halb so hoch ist wie die von Diesel beabsichtigte. Sehr bemerkenswert ist aber wiederum, daß die Temperaturen im weiteren Verlauf der Expansion sehr viel höher bleiben als die theoretischen und kurz vor Ablauf der Expansion etwa das vierfache dieser betragen. Infolgedessen liegt die mittlere Temperatur, die in der Darstellung nicht besonders angegeben ist, bedeutend höher, als von Diesel als zulässig angesehen wurde. Daraus entstand naturgemäß die Notwendigkeit der Kühlung. Ohne diese hohen Temperaturen ließ sich aber in der eine gewisse Leistung verzehrenden Maschine nicht genügend Überschuß-, d. h. Nutzleistung erzeugen. Die hohen Temperaturen haben zwar die Maschine thermisch verschlechtert, sie sind aber der Retter des mechanischen Wirkungsgrades geworden.

Wie verhält sich nun Diesels Berliner Vortrag zu meiner vorher dargelegten Auffassung von der Entstehung des Dieselmotors aus dem rationellen Wärmemotor?

Herr Diesel sagt, daß er schon im Jahre 1893 das deutsche Patent 82 168 angemeldet habe, in welchem neben der Isotherme jede andere Form von Verbrennungslinie im Diagramm geschützt war. Er will dies aus der Erkenntnis heraus getan haben, daß dem Carnotschen Kreisprozeß sein wissenschaftlicher Ruf als einzig vollkommener nicht gebühre, und daß nicht nur bei der Kompression, sondern auch bei der Verbrennung die Isotherme für die Erreichung großer Leistungen verlassen werden müsse.

Ich glaube, die Sache verhält sich nicht ganz so. Das Patent 82 168 schützt allerdings die Veränderung der Leistung durch Veränderung der Gestalt der Verbrennungskurve, aber — bei Verbrennungskraftmaschinen der im ersten Patent 67 207 gekennzeichneten Art, wie es ausdrücklich im Patentanspruch heißt. Die Kennzeichnung dieser Verbrennungskraftmaschinen besteht aber darin, daß die Verbrennung wegen des ausschiebenden Kolbens und der dadurch bewirkten Expansion der verdichteten Luft ohne wesentliche Druck- und Temperaturerhöhung erfolgt.

Ich halte das zweite Patent für nichts anderes als eine notwendige Ergänzung des ersten, in welchem die Regulierung der Maschine noch mit Aussetzern gedacht war. Was Herr Diesel jetzt in dieses zweite Patent hineingelegt wissen will, durfte damals gar nicht hineingelegt werden, da sonst der an sich schon nicht sehr starke Hauptanspruch des ersten Patentes noch weiter geschwächt wäre.

Auch selbst in seinem Kasseler Vortrag von 1897, wo Herr Diesel eigentlich schon über den Unterschied zwischen dem rationellen Wärmemotor und dem Dieselmotor unterrichtet sein mußte, ist auch nur gesagt, daß die Verbrennungskurve mehr oder weniger von der Isotherme abweiche.

Möglich, daß man in der Tat damals noch nicht richtig begriffen hatte, wie groß eigentlich die Abweichungen zwischen dem idealen und dem wirklichen Arbeitsverfahren bezüglich der Temperaturen waren. Ich schließe das aus dem Umstand, daß mir, als ich als junger Ingenieur im Januar 1898 in die Dienste des Herrn Diesel getreten war, als erstes aufgetragen wurde, aus einer Anzahl von Indikatorgrammen mit Hilfe der Zu-

standsgleichung die Temperaturen zu berechnen, und ich erinnere mich, daß die hohen Temperaturen, die ich fand, nicht gerade angenehm überraschten. Daß man sich bei der von selbst entstandenen Diagrammabweichung bis dahin gar nicht um die Temperaturen gekümmert und allein die Betriebsfähigkeit der Maschine im Auge behalten hatte, ist erklärlich, und das würde auch die schon erwähnten Aussprüche von Prof. Schröter erklären und würde das Ausbleiben seiner weiteren thermodynamischen Untersuchungen verständlich machen.

Herr Diesel hatte es sich übrigens zum Prinzip gemacht, bei allen Mitteilungen über den Motor möglichst die Ausdrucksweise der Patentschriften anzuwenden, um den Mangel an Übereinstimmung zwischen den Patenten und der wirklichen Ausführung nicht unnötig fühlbar werden zu lassen. Ich finde, daß ein solches Prinzip aus geschäftlichen Gründen durchaus gerechtfertigt sein kann. Die Klugheit befiehlt eben die Aufmerksamkeit von schwachen Punkten abzulenken. Natürlich darf man dann das nicht als wissenschaftliche Münze nehmen, was Herr Diesel in seinen verschiedenen Veröffentlichungen in dieser Hinsicht sagt. Er spricht z. B. im Kasseler Vortrag von „Abrundung einiger Ecken an dem ursprünglichen Diagramm“, von „Verbrennungskurven, die mehr oder weniger von der Isotherme abweichen, ohne daß sich deshalb an dem Wesen des Verfahrens etwas ändert“.

Auch wird gemäß Patent 82 168 von „Veränderung der Dauer der Brennstoffeinspritzung“ gesprochen, obwohl eine solche Veränderung niemals stattfand. Die schönste Leistung ist aber zweifellos die Entschuldigung des nicht wegzuleugnenden Wassermantels. Er vertrete zusammen mit der Atmosphäre den Kondensator der Dampfmaschine zur Aufnahme der Wärmemenge, die abgeführt werden müßte, um den Prozeß richtig durchzuführen. Daher sei der Wassermantel kein notwendiges Übel, sondern eine theoretische Notwendigkeit. Wolle man an dieser Kühlung sparen, so entspräche das dem Bestreben, bei Dampfmaschinen weniger Einspritzwasser in den Kondensator zu geben.

In seinem Berliner Vortrag von 1912, wo es keine Patentrechte mehr zu beschützen gibt, macht es Herr Diesel gerade umgekehrt. Er will nun die Meinung suggerieren, als sei alles von Beginn an so gedacht gewesen, als es heute ist.

Unter den Resultaten der zweiten Versuchsperiode führt er auf: „Erzielung von hoch über der Isotherme verlaufenden Verbrennungskurven und Erweiterung der Diagrammfläche bis zu Leerlauf der Maschine.“ Weiterhin heißt es: „Alle Diagramme sofort schön breit.“ „Verbrennung, fast genau horizontal.“ „Es ist als sicher anzunehmen, daß der richtige Diagrammverlauf nunmehr erreicht ist.“ Noch später: „Der Sternbrenner ergab die schönste Entwicklung der Verbrennungskurve, nämlich absolut konstanten Druck.“

Es wäre interessant, zu wissen, ob diese Ausdrücke den alten Versuchsjournalen entnommen sind, oder ob sie erst neuerer Auffassung entsprechend geprägt sind.

Ganz in diesem Sinne behauptet Herr Diesel auch in seinem Berliner Vortrag (S. 5), die Grundgedanken seiner Maschine seien „nach wie vor“ die folgenden gewesen:

1. „Erhitzung reiner Luft im Arbeitszylinder der Maschine durch ihre mechanische Kompression mittels des Kolbens weit über die Entzündungstemperatur des zu benutzenden Brennstoffes.“

2. „Allmähliches Einführen von feinverteilterm Brennstoff in diese hochehitzte und verdichtete Luft unter gleichzeitiger Expansion, also Arbeitsleistung derselben auf den ausschiebenden Kolben.“

Da ein Brennstoff nur brennen könne, wenn er zuvor vergast sei, so wäre für alle nicht gasförmigen Brennstoffe die unmittelbare Folge aus diesem zweiten Grundgedanken gewesen:

3. „Allmähliche Vergasung des Brennstoffes im Arbeitszylinder selbst, jeweils nur in geringsten Mengen auf einmal, für jeden Hub des Kolbens besonders unter Entnahme der Vergasungswärme aus dem Arbeitsprozeß selbst, mit anderen Worten: die Ausbildung des Vergasungsprozesses zu einem Teil des Arbeitsprozesses im Arbeitszylinder.“

Ich kann nicht umhin, darauf aufmerksam zu machen, daß Herr Diesel, der auch hier in eigener Sache spricht, sich einige Ungenauigkeiten zuschulden kommen läßt.

Die Grundbedingungen für seinen rationellen Wärmemotor waren in seinem Buch angegeben, und zwar für den vollkommenen Motor auf S. 46 und für den Motor in der zweiten Abweichung, wie er für die erste Ausführung bestimmt war, auf S. 80.

Hier lautet Forderung 1:

„Herstellung einer sehr hohen (weit über der Entzündungstemperatur des Brennstoffes liegenden) Temperatur nicht durch Verbrennung, sondern durch mechanische Kompression reiner Luft.“

„Nicht durch Verbrennung“ sind die Worte, die in dem Berliner Vortrag unterdrückt sind.

Forderung 2 lautete ursprünglich:

„Allmähliche Einfuhr von Brennstoff in diese komprimierte und dadurch hoch erhitzte Luft während einer mehr oder weniger langen Admissionsperiode.“

Hinzugekommen ist dann die feine Verteilung des Brennstoffes, weggeblieben aber die Admissionsperiode. Beides nicht von solchem Belang, um darüber gerade hier etwas sagen zu müssen.

Am schlimmsten ist es jedoch der Forderung 3 ergangen. Sie scheint nicht verbesserungsfähig gewesen zu sein. Ihr Platz ist darum durch etwas ganz neues ausgefüllt.

Forderung 3 lautete ursprünglich:

„Richtige Wahl des Luftgewichtes zur Brennstoffmenge nach den von dem Heizwerte ausgehenden Formeln und nach der Bedingung, daß eine gewisse Maximaltemperatur nicht überschritten werden darf, damit keine künstliche Kühlung der Zylinderwände stattfinden muß.“

Beim rationellen Wärmemotor sollte das Luftgewicht nur so weit zur Verbrennung ausgenutzt werden, wie mit der Forderung ungekühlter Wandungen vereinbar war. Beim Dieselmotor geht man tatsächlich so weit, bis der Auspuff unvollkommene Verbrennung erkennen läßt. Daß dabei noch mit Luftüberschuß gearbeitet wird, liegt einfach daran, daß es nicht gelingt, die Luft in allen Teilen des Kompressionsraumes gleichmäßig zur Verbrennung heranzuziehen.

Was Herr Diesel an die Stelle dieser dritten Forderung gesetzt hat, hat damit gar keinen Zusammenhang. Es ist auch mehr als eine Hypothese wie als eine Forderung zu betrachten. Es ist auch nichts Charakteristisches für den Dieselmotor; denn bei anderen Benzin- und Petroleummotoren ist der Vergasungsprozeß auch ein Teil des Arbeitsprozesses, vorausgesetzt, daß

diese Hypothese überhaupt richtig ist, was hier nicht näher untersucht werden soll. Selbst auf eine gewöhnliche Petroleumlampe dürfte diese dritte „Forderung“ sinngemäß anwendbar sein.

Wenn Herr Diesel sich so deutlich bemüht, von dem Zusammenhang zwischen rationellem Wärmemotor und Dieselmotor zu retten, was zu retten ist, so kann dies für ihn, als Partei, entschuldigbar sein. Wir können dann aber auch nicht von ihm erwarten, daß er uns objektiv angeben kann, worin denn nun eigentlich die Kennzeichen des Motors bestehen, der heute nach allgemeiner technischer Auffassung „Dieselmotor“ genannt wird. Nach meiner Meinung sind es folgende Kennzeichen:

Der Dieselmotor komprimiert im Arbeitszylinder reine Luft, die höchstens durch zurückgebliebene Verbrennungsgase unreinigt ist, auf einen solchen Druck, daß auch schon beim Anlassen der Maschine ohne weitere künstliche Mittel die Kompressionstemperatur zur Entzündung des eingeblasenen Brennstoffes ausreicht. Das Einblasen des Brennstoffes beginnt ungefähr bei höchster Kompression mit sofortiger Zündung und wird im allgemeinen so geregelt, daß eine weitere Drucksteigerung nicht mehr oder nur noch in geringem Maße stattfindet.

Damit ist die Aufzählung der wirklich charakteristischen Eigenschaften eigentlich erschöpft; es bleibt nur noch übrig, auf einige Dinge hinzuweisen, die zu Fragen Veranlassung geben könnten.

Die Menge des Brennstoffes im Verhältnis zur Verbrennungsluft ist allein begrenzt durch die Forderung rauchfreier Verbrennung. Diese Grenze ist veränderlich. Sie hängt ab von Gestaltung des Verbrennungsraumes, vom Einblasedruck, vom Zerstäuber und auch vom Brennstoff selbst.

Eine Verminderung der Leistung zum Zwecke der Regulierung findet statt durch Verminderung der Brennstoffmenge, die bei jedem Hube eingespritzt wird, ohne daß die Luftmenge oder Kompressionshöhe absichtlich dabei verändert wird. Wohl wird für durchschnittlich verschiedene Belastungen der Einblasedruck meist durch Einstellen von Hand auf verschiedener Höhe gehalten.

Mit Verminderung der Brennstoffmenge ist eine Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades verbunden, was dem Dieselmotor die wertvolle Eigenschaft verleiht, daß die Verschlechterung

des mechanischen Wirkungsgrades bei abnehmender Belastung auf den Brennstoffverbrauch weit weniger ungünstigen Einfluß hat, als bei anderen Motoren.

Eine Erhöhung der Leistung ist noch über die Grenze rauchfreier Verbrennung möglich, wenn auch aus Betriebsrücksichten nicht zu empfehlen.

Die Entladung des Zylinders von Verbrennungsgasen und die Neuladung mit Frischluft kann im Viertakt oder Zweitakt stattfinden.

Wenn auch bisher für den Dieselmotor nur flüssige Brennstoffe benutzt werden, so kann das Prinzip sehr wohl auf gasförmige und feste Brennstoffe ausgedehnt gedacht werden.

Die Zerstäubung des Brennstoffes mit Hilfe von Druckluft wird zwar stets angewandt, ist aber nicht als untrennbar vom Dieselmotor aufzufassen.

Motoren, wie die nach Lietzenmayer und Trinkler benannten, sind nur Abarten der ursprünglichen Augsburger Bauart des Dieselmotors.

Auch der Bronsmotor ist trotz seines veränderten Diagrammes, nur als eine Abart des Dieselmotors aufzufassen, die entstanden ist aus dem Streben nach konstruktiver Vereinfachung.

Mit meiner nun folgenden bei den Meisten jedenfalls Zustimmung findenden Ansicht über die Kompressionshöhe des Dieselmotors werde ich allerdings kaum Anerkennung bei Herrn Diesel finden; denn er sagt in seinem Berliner Vortrag (S. 6), es werde häufig von Laien, auch selbst in wissenschaftlichen Kreisen kurzerhand ausgesprochen, das Wesensmerkmal des Dieselfahrens sei die Selbstzündung des Brennstoffes, und die Höhe der Verdichtung sei bedingt durch die sichere Selbstzündung. Nichts sei unrichtiger als diese oberflächliche Anschauung, die den Tatsachen und der geschichtlichen Entwicklung direkt zuwiderlaufe.

Selbstzündung habe es schon früher gegeben. Er habe aber einen Prozeß mit höchster Wärmeausnutzung gesucht und sei dadurch auf die hohe Kompression gekommen. Wollte man nur Selbstzündung haben, so könnte man auch mit geringerer Kompression arbeiten.

Ich muß vollkommen anerkennen, daß die Entwicklung der Idee des rationellen Wärmemotors von der Selbstzündung gar nicht beeinflußt worden ist, sondern ausschließlich von der Ab-

sicht Diesels, einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen. Dazu war hohe Kompression nötig, und dazu war wieder Vorbedingung Trennung des Brennstoffes von der Luft bis zum Ende der Kompression. Daß dann bei Einführung des Brennstoffes Selbstzündung eintreten würde, ist von Diesel wohl erwähnt, er hat aber kein besonderes Gewicht darauf gelegt.

Bei der Entwicklung des rationellen Wärmemotors zum Dieselmotor sowie bei der weiteren Entwicklung des Dieselmotors bestätigte sich, daß mit der Steigerung des Kompressionsdruckes allerdings die beabsichtigte Steigerung des thermischen Wirkungsgrades eintritt, gleichzeitig aber eine Erhöhung der Triebwerksabmessungen und damit eine Verminderung des mechanischen Wirkungsgrades sowie eine Erhöhung der Herstellungskosten. Die Praxis hätte wohl allmählich ergeben, bei welchem Kompressionsdruck das günstigste Kompromiß zwischen den genannten Vorteilen und Nachteilen zu finden ist, und ich glaube, daß sich hierfür recht verschiedene Drücke ergeben hätten, je nach den Maschinengrößen, den Verwendungszwecken und den örtlichen Brennstoffpreisen, wenn nicht eine untere Grenze für das Anlassen der kalten Maschine bei 30—35 at tatsächlich gegeben war. Es ist auch niemand über diese Grenze hinausgegangen; wer aber darunter gegangen ist, ist gleich sehr weit darunter gegangen. Das sind dann aber Motoren, die, im Besitz einer Zündeinrichtung, meist eines Glühkopfes, nicht mehr als Dieselmotoren angesehen werden können und sich auch gar nicht aus diesem heraus entwickelt haben. So ist tatsächlich die heute gebräuchliche Kompressionshöhe eine durch die Selbstzündung vorgeschriebene. Da sie für alle Motoren beinahe gleich ist, so liegt sie für sehr viele, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten bemessen, bereits zu hoch.

Herr Diesel behauptet in seinem Berliner Vortrag, daß er bereits 1893 gefunden habe, daß das wirtschaftliche Optimum des thermischen und mechanischen Wirkungsgrades bei 30 bis 35 at Verdichtung läge, und daß die betreffenden Studien in Korrespondenzen mit der Firma Krupp enthalten seien.

Nehme ich diese Angabe als vollkommen richtig an, so muß ich doch das Ergebnis der Berechnungen des Herrn Diesel als einen Zufallstreffer bezeichnen. Herr Diesel kannte 1893 nichts weiter als den theoretischen Wirkungsgrad seines rationellen

Wärmemotors, der erheblich abweichend war von dem des Dieselmotors, weil sich ja das Diagramm später wesentlich veränderte. Der indizierte Wirkungsgrad war noch unbekannt, und der mechanische ließ sich ebenfalls nicht richtig bestimmen, einmal, weil man einen mechanischen Wirkungsgrad auch heute noch nicht vorausberechnen kann, und zweitens, weil die spezifische indizierte Leistung schließlich dreimal so groß geworden ist, als 1893 angenommen werden konnte. Mit solchen Rechnungsgrundlagen war aber die zweckmäßigste Kompressionshöhe ein sehr unsicherer Begriff.

Meine Kennzeichnung des Dieselmotors stützt sich ausschließlich auf das Arbeitsverfahren. Die wirtschaftliche Bedeutung steht jedoch damit im Zusammenhang.

Sie beruht in erster Linie auf dem hohen thermischen Wirkungsgrad, der mit einem ausreichenden mechanischen Wirkungsgrad zusammen einen so geringen Wärmeverbrauch für die Leistungseinheit ergibt, daß in dieser Beziehung der Dieselmotor zurzeit an der Spitze aller Wärmekraftmaschinen marschiert. Hiermit überwindet er auch den Nachteil, daß nur flüssige Brennstoffe verwendet werden können, was ein Nachteil ist, insofern die Wärme aus diesem Brennstoffen meist nicht die billigste ist. Aber daß flüssige Brennstoffe benutzt werden können, sichert Einfachheit in der Bedienung, stetige Betriebsbereitschaft und Platz- und Gewichtersparnis. Eine sehr wertvolle Eigenschaft ist die vollkommene Verbrennung, wodurch die Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit erhöht wird, und Belästigungen vermieden werden, die sonst gerade bei flüssigen Brennstoffen am unangenehmsten sind.

In bezug auf die spezifische Leistung des Zylindervolumens überragt der Dieselmotor andere Wärmekraftmaschinen wenig oder gar nicht und noch weniger durch sein Gewicht auf die Leistungseinheit gerechnet.

Daß der Dieselmotor keine Zündvorrichtung hat, wird meist als außerordentlicher Vorteil hingestellt. Ich will nicht bestreiten, daß es ein großer Vorteil ist, aber mit Zündvorrichtung wäre er erstens leichter anzulassen, würde zweitens beliebig langsam laufen können, was für Schiffsbetrieb wichtig ist, und würde für viele Zwecke mit geringerer Kompressionshöhe viel leichter und billiger, d. h. wirtschaftlicher gebaut werden können.

Tatsächlich entspringen auch die sogenannten Semi-Dieselmotoren mit Vorwärmung diesem Bedürfnis.

Ein Nachteil des Dieselmotors ist die Notwendigkeit der Einblasung des Brennstoffes mit Druckluft, da die dafür nötigen Einrichtungen den Motor kompliziert und teuer machen.

Die vollkommene Verbrennung, die der Dieselmotor gewährleistet, wird besonders dadurch so wichtig, daß sie sich auch auf Öle und in neuester Zeit selbst auf Teersorten bezieht, die sonst schwer verbrennbar sind. Ich möchte aber nicht soweit gehen, wie Herr Diesel, der meint, daß diese Öle im Motor nach einer ganz besonderen Theorie verbrannt werden. Ich finde in dieser Hinsicht keinen Unterschied zwischen dem Motor und einer Ölfeuerung, die das Öl mit Druckluft zerstäubt.

Nun noch einiges über die festen und gasförmigen Brennstoffe. Diesels Erfindungsideen bewegten sich in erster Linie auf rein thermodynamischem Gebiet, wo man überhaupt keine Brennstoffe kennt, sondern nur Wärme.

Der erste Schritt über die thermodynamischen Grenzen geschah durch Heranziehung von 1 kg Kohlenstoff, was zu einer neuen Theorie der Verbrennung Veranlassung gab, die aber nur auf einer fehlerhaften Anschauung von der Volumvermehrung bei der Verbrennung beruhte.

Nach Erledigung des theoretischen Teiles teilt Herr Diesel in seinem Buch seine Ideen mit über die Konstruktion von Motoren für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe. Damals scheint es ihm doch mit den festen Brennstoffen am ernstesten gewesen zu sein. Allerdings sind die Versuche in Augsburg gleich mit flüssigen Brennstoffen begonnen worden; aber das Versuchsprogramm sah die Ausdehnung auf andere Brennstoffe vor.

Mit den gasförmigen hat man sehr bald begonnen, als man einmal anfang, an den flüssigen zu verzweifeln. Diesel selbst berichtet darüber in seinem Berliner Vortrag. Diese Versuche sind später 1898 und 1899 an dem Motor, mit dem die Versuche von Schröter vorgenommen waren, wiederholt worden, und zwar mit Leuchtgas unter Benutzung eines Zündbrennstoffes. Der Betrieb gelang auf diese Weise durchaus, aber der Gasverbrauch war höher als bei einem guten Explosionsmotor. Die Mischung erfolgte nicht schnell genug. Es entstand sogenanntes Nachbrennen.

Man vermutete, vielleicht mit Recht, daß dieser Übelstand bei größeren Gasmengen, also bei Kraftgas, noch größer werden würde, und unterließ deshalb diese Versuche. Sie waren aber ernstlich geplant; denn es war zu diesem Zweck eine große Kraftgasanlage aufgestellt, die meines Wissens niemals in Betrieb genommen ist.

Schnellere Mischung des Gases wäre wohl noch zu erreichen gewesen, aber selbst bei einem etwas höheren thermischen Effekt als beim Explosionsmotor, hätte das Dieselverfahren hier keine wirtschaftlichen Vorteile gebracht. Der Dieselmotor wäre gegenüber dem Explosionsmotor zu teuer geworden. Der erforderliche Zündbrennstoff hätte die Komplikation einer Zündvorrichtung reichlich aufgewogen. Bei armen Gasen wären die Kompressionspumpen sehr groß gewesen, und es wäre nötig gewesen, die Expansion im Arbeitszylinder länger zu machen als die Kompression, da sonst die Expansion durch das Hinzutreten der verhältnismäßig großen Gasmenge ungenügend geworden wäre und den thermischen Wirkungsgrad herabgedrückt hätte. Jedenfalls waren die Aussichten auf diesem Gebiet recht schwach.

Hatte man auf Gas zweifellos selbst 1898 noch große Hoffnungen gesetzt, auch Krupp beschäftigte sich ernstlich damit, da damals die Hochofengasfrage auftauchte, so waren wohl die Erwartungen auf günstige Ergebnisse mit Kohlenstaub schon langsam gesunken, bevor es zu eigentlichen Versuchen kam.

Nach den ersten Dieselschen Ideen sollte einfach ein kleines Häufchen Kohlenstaub in den Zylinder hineingeblasen werden. An die Ausführung dieser Idee scheint man niemals ernstlich herangetreten zu sein. Als man daher Ende 1899, als das übrige Programm soweit erledigt war, an den Kohlenstaub herangehen mußte, geschah es nach einem ganz anderen Verfahren, bei dem nur die neue Erfindung des Zündbrennstoffes zur Verwendung kam, sonst aber eigentlich wie bei einem Explosionsmotor gearbeitet wurde.

Wenn ich hier eine eingehendere Schilderung dieser wirtschaftlich bedeutungslosen Sache gebe, so geschieht es, einerseits weil sie doch technisch in mancher Beziehung interessant ist, und andererseits weil durch Güldner eine nicht zutreffende Darstellung in die Öffentlichkeit gelangt ist.

Was ich berichte, stützt sich auf meine eigene Erfahrung. Ich habe selbst an den Einrichtungen für die Versuche mitgearbeitet und die Versuche mit angestellt.

Es wurde der übliche Versuchsmotor benutzt. Die Brennstoffdüse wurde wie bei Gasversuchen eingerichtet, um mit ganz kleinen Mengen Zündbrennstoff (Petroleum) arbeiten zu können, die, solange der zweite Brennstoff noch nicht hinzukam, nur schmale Diagramme ergaben. Der Motor wurde bei derartigen Versuchen immer von einer Transmission aus laufend erhalten. Die Brennstoffpumpe stand nicht unter dem Einfluß des Regulators, sondern wurde von Hand auf eine bestimmte Brennstoffmenge eingestellt.

Am Saugstutzen des Zylinders war ein Aufgabeparat für Kohlenstaub angebracht. Der Kohlenstaub sollte mit der Luft in den Zylinder gesogen werden und dieses Gemisch sollte sich nach der Kompression durch den Zündbrennstoff entzünden.

Ich kann mir nicht denken, daß jemand von dieser Einrichtung ernstlich ein gutes Resultat erwartete.

Nachdem der Motor mit dem Zündbrennstoff gut einreguliert war, d. h. die gewünschten schmalen Diagramme ergab, erfolgte versuchsweise, ich glaube es geschah mit einem Suppenlöffel, Eingabe einer Portion Kohlenstaub und in der Tat erfolgte sofort eine wesentliche Vergrößerung des Diagrammes als Beweis, daß der Kohlenstaub an der Verbrennung teilgenommen hatte.

Ich kann mich nun nicht mehr erinnern, ob der Aufgabeparat eigentlich in Tätigkeit trat, oder ob es bei dem löffelweisen Eingeben blieb; jedenfalls konnten eine ganze Anzahl Diagramme genommen werden, und sicher erinnere ich mich noch, daß nach etwa 5 Minuten der Scherz zu Ende war. Der Kohlenstaub hatte alle Kolbenringe festgesetzt, wurde zwischen Wand und Kolben durchgeblasen und lagerte dick auf allen geschmierten Teilen.

Die Maschine erforderte zwei Tage Reinigungsarbeit, und dann wurde der Versuch vor einer hohen Kommission noch einmal mit ganz gleichem Erfolg wiederholt. In der Diagrammtafel teile ich einige von den Diagrammen mit, die ich mir von einem dieser Versuche bewahrt habe.

Wenn Herr Güldner in seinem Buch (II. Aufl. S. 138) über einige andere Diagramme aus diesen Versuchen sagt, daß die Verbrennungslinien nur von dem Zündbrennstoff, dem Petroleum, herrühren können und nicht von Kohlenstaub, so ist das nicht richtig.

Erstens gab der benutzte Dieselmotor bei festgestellter Brennstoffregulierung stets ganz gleichmäßige Diagramme; derartige Zufallsdiagramme, wie Herr Güldner meint, waren ganz ausgeschlossen. Ferner war auch bei den Versuchen unzweifelhaft zu beobachten, wie nach jeder Kohlenstaubzugabe ein größeres Diagramm entstand.

Güldner stützt seine Behauptung darauf, daß man bei dem angewandten Verfahren Diagramme wie bei einem Explosionsmotor hätte erhalten müssen, d. h. mit vertikal ansteigender Verbrennungslinie. Herr Güldner wird doch wissen, daß man besonders bei armen Gasen alle möglichen Formen von Verbrennungslinien erhalten kann, warum nicht auch bei Kohlenstaub. Außerdem scheint er das eine seiner Diagramme, das in der Diagrammtafel vereinfacht wiedergegeben ist, nicht genügend genau angesehen zu haben, denn es enthält ja tatsächlich eine vertikal aufsteigende Verbrennungslinie, wie er sie wünscht. Auch in den von mir mitgeteilten Diagrammen finden sich vertikale Verbrennungslinien.

Die Beurteilung der Diagramme seitens des Herrn Güldner ist also eine verfehlt.

Es bleibt dabei, daß Diagramme mit Kohlenstaub tatsächlich mit einem Dieselmotor erzeugt wurden, allerdings nicht nach dem Dieselverfahren. Es bleibt aber auch dabei, daß dieser Punkt des Versuchsprogramms an der Aussichtslosigkeit des Betriebes mit Kohlenstaub nichts geändert hat. Der Ausgang dieser Versuche schien auch damals bei niemand eine Enttäuschung hervorgerufen zu haben. Ich wenigstens hatte das Gefühl, daß es sich dabei nur um die formale Erledigung des ursprünglichen Versuchsprogrammes handelte.

War es nun mit Gas und Kohlenstaub nichts, so konnte der Dieselmotor nur dann noch eine wirtschaftliche Bedeutung für größere Leistungen erlangen, wenn er billige Öle verarbeiten konnte.

Das ist eine Frage, auf die die Antwort heute schon als etwas beinahe Selbstverständliches erscheinen will, und doch war es selbst 1897, zur Zeit der Schröterschen Versuche, noch eine in doppelter Hinsicht offene Frage. Erstens wußte man bis dahin nur, daß der Motor mit Leuchtpetroleum zu betreiben war. Andere flüssige Brennstoffe waren noch nicht erprobt, und es

wäre sehr gewagt gewesen, von dem einem Brennstoff auf andere zu schließen, zumal dies bei Motoren anderer Art tatsächlich unzulässig ist. Zweitens war es die Frage, ob es überhaupt solche billigen Brennstoffe gab, und diese Frage konnte ebenfalls nicht mit ja beantwortet werden, da jegliche Handelseinrichtungen zur regelmäßigen Beschaffung solcher Brennstoffe, wenigstens in Deutschland, gänzlich fehlten, so daß an einen billigen Einkauf nicht zu denken war. Tatsächlich sind denn auch die ersten von der Maschinenfabrik Augsburg verkauften Motoren mit Leucht-petroleum betrieben worden, auch nachdem die Möglichkeit der Verwendung anderer Öle bereits feststand. Aber diese anderen Öle waren nicht zu haben.

Hieraus geht hervor, daß zur Zeit des Bekanntwerdens des Dieselmotors im Jahre 1897 dessen wirtschaftliche Bedeutung noch auf einem ganz anderen Gebiete gesucht werden mußte als dort, wo er sie später gefunden hat. Deshalb spricht Diesel auch in seinem Kasseler Vortrag nur von einem „vollentwickelten Petroleummotor, der seine Bedeutung erst durch die Benutzung von Gas und ganz besonders von gewöhnlicher Steinkohle erlangen werde“. Von den billigen Ölen wird mit keinem Wort gesprochen.

Der Dieselmotor von 1897 wurde nur als ein erster Beweis dafür angesehen, daß man sich auf der Suche nach dem rationellen Wärmemotor für alle Brennstoffe auf dem richtigen Wege befand. Es wurde 1898 noch bei jedem Angestellten als ein Verrat an einer heiligen Sache aufgefaßt, wenn man die Ansicht äußern wollte, daß der Dieselmotor ein Ölmotor sei. Daß er auch als solcher eine Bedeutung erlangen konnte, wie er sie jetzt hat, vermutete man damals nicht.

Bevor ich über den zweiten Markstein in der Entstehung des Dieselmotors hinweggehe, muß ich noch des Verbundmotors gedenken.

Ein solcher war den ursprünglichen Plänen Diesels entsprechend von der Maschinenfabrik Augsburg gebaut worden. Aus eigener Erfahrung kann ich wenig darüber berichten, da ich ihn niemals im Betriebe gesehen habe. Ich erfuhr nur, daß er ziemliche Enttäuschung verursacht hatte. Der Hauptgrund soll gewesen sein, daß beim Übergang der Luft und der Verbrennungsgase von einem Zylinder in den anderen zuviel Wärme an die

Übergangsorgane abgegeben wurde. Ich nehme an, daß Herr Diesel oder Herr Prof. Nägel über diese sonst sehr interessante Maschine noch ausführlicher berichten werden.

Die weitere Entwicklung des Motors der Schröterschen Versuche bestand in erster Linie in Verbesserung der konstruktiven Einzelheiten und ferner in dem Suchen nach Brennstoffen.

Der Motor von 1897 war eine gangbare Maschine, das hatten die vorher damit genommenen Proben und die Versuche von Schröter bewiesen. Ob sie auch betriebsfähig sei, d. h. für die dauernden Ansprüche eines Betriebes genügend, glaubte man ebenfalls auf Grund voraufgegangener Proben bejahen zu dürfen. Von Herrn Geheimrat Riedler ist nun in Berlin auch das Wort „marktfähig“ in die Debatte gebracht und es ist von ihm entschieden bestritten worden, daß der Motor damals „marktfähig“ gewesen sei. Ich muß ihm vollkommen recht geben, aber Tatsache ist, daß nicht allein Herr Diesel, sondern auch die Maschinenfabrik Augsburg den Motor damals für „marktfähig“ gehalten haben, denn die Maschinenfabrik hat ihn nicht nur angeboten, sondern auch verkauft. Ich meine, daß man doch nur Maschinen auf den Markt bringen wird, die man für marktfähig hält. Daß man sich in seiner Ansicht täuschen kann, ist ja eine andere Sache.

Tatsächlich hat sich die Maschinenfabrik Augsburg getäuscht; denn die Maschine war nicht betriebsfähig, da sie den gerechten Ansprüchen eines dauernden Betriebes noch nicht genügen konnte; somit fehlte ihr auch die Marktfähigkeit.

Dieses Schicksal der ersten Dieselmotoren findet sich häufiger in der Geschichte der Technik wieder. Man glaubt die Maschinen nach sorgfältiger Erprobung in der Fabrik für betriebsfähig erklären zu können und erlebt doch das Gegenteil, wenn die Maschinen unter ganz anderen Verhältnissen und auf längere Dauer regelmäßig in Anspruch genommen werden.

Tatsache ist, daß der Motor Nr. 1 in der Zündholzfabrik Union in Kempten 1899 längere Zeit außer Betrieb gesetzt und in Augsburg einem umfangreichen Umbau unterzogen wurde. Die Maschinenfabrik Augsburg scheute keine Kosten, um die ersten Abnehmer, wenn irgend möglich, zufrieden zu stellen.

Die damals hauptsächlich mit auf Veranlassung von Herrn Diesel gegründete Dieselmotoren-Fabrik A.-G. in Augsburg hatte mit ihren ersten Motoren weniger Glück. Ich glaube kaum, daß es an den technischen Fähigkeiten der Fabrik lag, vielleicht mehr an ihrem Entgegenkommen oder an zufälliger geringerer Langmut ihrer Abnehmer. Jedenfalls mußte sie sich bequemen, Motoren zurückzunehmen. Der seidene Faden, an dem der Dieselmotorbau auch bei der Maschinenfabrik Augsburg hing, riß bei ihr ab, und da sie keinen weiteren Rückhalt hatte, schloß sie ihre Pforten, um sich dann jahrelang nur mit der Liquidation zu befassen. Eine Spezialfabrik für Dieselmotoren war damals verfrüht.

Zum Begriff der Marktfähigkeit gehört aber außer der Betriebsfähigkeit auch die Verkaufsfähigkeit.

Auch diese fehlte, denn der damals sehr hohe Preis des Motors war mit keinen entsprechenden Vorteilen für den Käufer verbunden, da billiger Brennstoff nicht zur Verfügung stand. Die Lösung der Brennstofffrage war ebenso wichtig wie die Frage der Betriebsfähigkeit.

Solche Fragen sind niemals im Handumdrehen zu lösen. Sie bedürfen stets einer geraumen Zeit der Entwicklung und führen oft durch schwere, gefährliche Krisen.

Eine Maschine, mag sie auch den genialsten Erfindungsgedanken verkörpern, ist nur dann betriebsfähig, wenn sie bis in die kleinsten Einzelheiten konstruktiv richtig durchgebildet ist und sachgemäß ausgeführt wird.

Jede Konstruktionsänderung bringt neue Erfahrungen, nicht immer gute, und der Konstrukteur lernt vieles erst an seinen eigenen Fehlern.

Trotz der an sich für damalige Zeiten mustergültigen Konstruktions- und Werkstättenarbeit der Maschinenfabrik Augsburg mußte man für den Dieselmotorbau in vieler Beziehung neu lernen. Gelang es doch damals weder der Maschinenfabrik Augsburg noch einem einzigen der Lizenznehmer, einen einigermaßen dichten Kolben herzustellen. Der Maschinenbau stand damals noch unter dem Zeichen des Einschleifens mit Schmirgel. Daß genaue Dreharbeit auf kräftigen Bänken das weit einfachere und zuverlässigere Mittel sei, wurde erst langsam begriffen. Es hat Kämpfe gekostet, z. B. der Gasmotorenfabrik Deutz damals die Überzeugung beizubringen, daß all ihre auf dem Gebiete

des Kleinmotorenbaues errungenen Erfahrungen bezüglich Zylinder und Kolben für den Bau eines Dieselmotors vollkommen unzulänglich waren. Eine reine Freude hat damals niemand an seinen Dieselmotoren erlebt.

Noch bevor der eigentliche Niedergang in die Erscheinung trat, fand in München 1898 eine Kraft- und Arbeitsmaschinen-Ausstellung statt, auf der der Dieselmotor zum erstenmal öffentlich auftrat (Z. Ver. deutsch. Ing. 1899, S. 36).

Es sollten im ganzen fünf Motoren in einem besonderen Gebäude aufgestellt werden, einer von 30 PS von der Maschinenfabrik Augsburg, einer von 35 PS von Friedr. Krupp, einer von 20 PS von der Gasmotorenfabrik Deutz und einer von 20 PS und ein Zwilling von 40 PS von der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg.

Bei Eröffnung der Ausstellung waren glücklich die Motoren von Augsburg und Krupp angeliefert. Der erste war aber noch nicht fertig aufgestellt, und der von Krupp brannte am Tage vor der Eröffnung der Ausstellung seinen Kreuzkopf fest.

So war tatsächlich bei Eröffnung der Ausstellung kein Motor in Betrieb. Langsam kam dann einer nach dem andern, bis auf den Nürnberger Zwilling, der es schließlich vorzog, zu Hause zu bleiben. Betriebsschwierigkeiten gab es noch genug, aber im großen und ganzen war doch der Eindruck, den diese Ausstellung machte, kein schlechter. Insbesondere unterstützte sie sehr wesentlich die Aufnahme des Dieselmotorbaues in den Petroleumländern.

Wie unzureichend damals noch die Erfahrungen waren, zeigt, daß gerade der Motor der Maschinenfabrik Augsburg beim Anlassen etwa 10 Minuten lang, bevor er eine gewisse Temperatur erreicht hatte, mit so entsetzlichen Knallern lief, daß nichts anderes übrig blieb, als ihn schon immer in frühester Morgenstunde in Betrieb zu nehmen, um die Ausstellungsbesucher nicht in Schrecken zu versetzen. Sollte der Motor im Laufe des Tages vorgeführt werden, dann konnte er unbedenklich stillgesetzt und wieder angelassen werden, wenn man nur nicht so lange wartete, daß er sich inzwischen abkühlen konnte. Man erkannte die Ursache nicht, und fand keine Abhilfe während der ganzen Ausstellungszeit. Erst später kam man dahinter, daß lediglich eine kleine Veränderung des Zerstäubers nötig war.

Trotzdem war die Ausstellung in München 1898 noch als ein gewisser Höhepunkt anzusehen, den der Dieselmotor seit 1897 erklommen hatte. Dann ging es aber abwärts. Es stellte sich heraus, daß der Motor nicht marktfähig war. Seine Betriebssicherheit war noch ungenügend. Die Anschaffungskosten waren zu hoch und der Brennstoff zu teuer.

Betriebssicherheit muß im allgemeinen durch ständige kleine Verbesserungen erreicht werden. Eine Abhilfe für die hohen Anschaffungskosten glaubte man im Zweitaktmotor gefunden zu haben. Der Träger dieser Idee war Herr Hugo Güldner, der im Januar 1899 bei der Allgemeinen Gesellschaft für Dieselmotoren A.-G. in Augsburg eintrat. Herr Güldner hatte sich bereits früher viel mit Zweitaktmotoren beschäftigt und war unbedingt für den Zweitakt eingenommen. Das ist ihm auch durchaus nicht übelzunehmen; denn die Erfahrungen über Zweitakt und Viertakt waren damals natürlich noch viel weniger geklärt als heute, und gerade der Dieselmotor, bei dem allein Luft für die Zylinderfüllung in Frage kam, mußte ein sehr dankbares Objekt für die Umwandlung in eine Zweitaktmaschine bieten. Auf die Anregung Güldners wurde der Bau einer Zweitaktmaschine nach seinen Entwürfen beschlossen. Die Maschine wurde in der Maschinenfabrik Augsburg gebaut und zur Erprobung aufgestellt.

Ungefähr zu der gleichen Zeit, als der Bau in der Maschinenfabrik begann, siedelte ich selbst von dem Bureau der „Allgemeinen“ nach dort über, um als Vertreter der „Allgemeinen“ in der Versuchsstation tätig zu sein. Zu meinen Obliegenheiten gehörte auch die Überwachung des Baues und die spätere Erprobung des Zweitaktmotors.

Eine Abbildung dieses Motors nebst Beschreibung findet sich in Güldners Buch, II. Aufl., S. 110. Über die Betriebsergebnisse besitze ich selbst keine Aufzeichnungen. Ich entnehme daher Güldners Buch, daß der Motor bei 250 minutlichen Umdrehungen 11 effektive PS geleistet haben soll bei einem Petroleumverbrauch von 275—300 g für die effektive PS-Stunde. Diese Leistung, die weit geringer war, als man erwartet hatte, und ebenso der hohe Petroleumverbrauch waren eine Folge sehr geringen mechanischen Wirkungsgrades.

Wenn aber Herr Güldner von einem reichlichen Überschuß an Spülluft und zweckmäßiger Auswaschung des Hauptzylinders

spricht, so muß ich ihm in dieser Beziehung widersprechen. Der Spülluftzylinder hatte nach Abzug der Kolbenstange und eines gewissen Volumens, das in die Einblasepumpe hinübergeschoben wurde, kaum das Volumen des Arbeitszylinders. Die Einführung in den Arbeitszylinder geschah einseitig durch Schlitze, und die Verbrennungsgase zogen durch einen kleinen gegenüberliegenden Schlitz und durch ein Ventil ab, das zentral im Deckel angeordnet war. Herr Güldner vergißt auch zu erwähnen, daß die Leistung von 11 PS erst erreicht wurde, nachdem noch ein kleiner ehemaliger Ammoniakkompressor als Hilfsspülpumpe mit an den Motor gehängt war, und daß ferner die Einblaseluft nicht ausreichte, sondern noch von anderer Stelle zugeleitet werden mußte.

Die Ergebnisse dieses Motors konnten natürlich keine Veranlassung geben, den Bau von Zweitaktmotoren weiter zu verfolgen.

Ein im allgemeinen nach denselben Güldnerschen Entwürfen von Scott und Hodgson in Manchester ausgeführter Motor soll, wie Herr Güldner berichtet, im Jahre 1901 eine Bremsleistung von 21,85 PS gezeigt haben und einen Verbrauch von 228 g Petroleum für die effektive PS-Stunde. Die Versuche sind von der Firma selbst vorgenommen. Welche Abmessungen diese Maschine hatte, weiß ich nicht. Daher kann ich über das Leistungsergebnis nicht urteilen, aber den Brennstoffverbrauch muß ich selbst nach heutigen Erfahrungen für einen Zweitaktmotor als sehr günstig bezeichnen. Warum auch bei diesen besseren Ergebnissen der Bau des Zweitaktmotors nicht weiter verfolgt wurde, ist mir nicht bekannt geworden.

Herr Güldner hat später in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1911, S. 1910, in einer Zuschrift behauptet, daß seine Zweitaktmaschine in ihrem wesentlichen Aufbau (wie Anordnung der Einblasepumpe mit Stirnkurbelantrieb an der vorderen Rahmenseite, Sitz der Brennstoff- und Anlaßventile an den Zylinderenden, der Spülventile im Zylinderdeckel usw.) für manche der heutigen liegenden Gleichdruckmaschinen vorbildlich geworden sei. Hat auf diese Zuschrift schon Herr Prof. Nägel geantwortet, daß nach seinem Dafürhalten zwischen der neueren Entwicklung des Dieselmotors und der Güldnerschen Zweitaktmaschine keine innere Beziehung bestehe, so möchte ich hier die Güldnerschen Angaben noch besonders charakteri-

sieren. Der Zweitakt nach Güldnerschem Entwurf hatte gar keine Einblaspumpe mit Stirnkurbelantrieb an der vorderen Rahmenseite, wohl aber hatte dies die englische Konstruktion. Das Spülventil befand sich gar nicht im Zylinderdeckel, vielmehr war das einzige Ventil im Deckel Auslaßventil, auch bei der englischen Maschine. Wenn aber Herr Güldner einen Motor kennen lernen will, der die beiden von ihm erwähnten Merkmale schon noch früher hatte, dann empfehle ich ihm in der zweiten Auflage seines eigenen Buches S. 72 aufzuschlagen und sich den Beniermotor von 1894 anzusehen, der an der vorderen Rahmen-seite eine mit Stirnkurbel angetriebene Spülpumpe hat und ein Ventil im Deckel, das tatsächlich ein Spülventil ist. Trotzdem glaube ich, daß der Beniermotor ebenso wenig für die horizontalen Dieselmotoren vorbildlich gewirkt hat wie der Zweitakt-Güldnermotor. Solche Anordnungen kann ein Konstrukteur auch allenfalls noch ohne Vorbilder schaffen.

Zur Hebung seiner Marktfähigkeit mußte der Dieselmotor billiger werden. Mit dem Zweitakt hatte man es nicht erreicht. Man ging zu dem gleichen Zweck dazu über, die Luftpumpe kleiner zu machen, indem man vorkomprimierte Luft aus dem Arbeitszylinder entnahm. Die Vorversuche dazu sind von mir mitausgeführt worden. Wer der Urheber der Idee war, kann ich aber nicht sagen. Jedenfalls erinnere ich mich, daß die dazu benutzte kleine Pumpe schon aus früherer Zeit stammte. Ob sie aber schon zu dem gleichen Zwecke angefertigt war, weiß ich nicht. Bekanntlich hielt sich diese sogenannte Hochdruckluftpumpe nicht sehr lange. Sie wurde durch die zweistufige, aus der Atmosphäre saugende Pumpe abgelöst.

Ein weiterer Schritt zur Verbilligung der Maschine war die Beseitigung des Kreuzkopfes. Man hat lange gezögert, dazu überzugehen, da man durchaus nicht sicher sein konnte, ob die an Gasmotoren gewonnenen Erfahrungen auf die mit höherem Druck arbeitenden Dieselmotoren übertragbar seien. Der erste Motor ohne Kreuzkopf war wohl der im Jahre 1899 von der Gasmotorenfabrik Deutz gebaute, der dann an das Maschinenlaboratorium in München kam. Augsburg hat erst erheblich später angefangen, ohne Kreuzkopf zu bauen.

Aber alle diese kleinen Mittel verhalfen dem Dieselmotor wenigstens in Deutschland nicht zu der ersehnten Marktfähigkeit.

In Ländern mit billigen Ölen sah man wohl hoffnungsfreudiger in die Zukunft. In Deutschland aber gab ein Lizenznehmer nach dem anderen den Bau wieder auf, oder tat wenigstens nichts daran. Allein die Maschinenfabrik Augsburg hielt zäh fest. Ob in richtiger Voraussicht des späteren Sieges? Das ist schwer zu sagen. Vielleicht auch, um den Lizenznehmern keinen Vorwand zu geben, die drückenden Verträge abzuschütteln. Trotzdem konnte man sich im Jahre 1900 des Eindrucks nicht erwehren, daß in der Maschinenfabrik Augsburg um alles, was mit dem Dieselmotor zusammenhing, eine eisige Atmosphäre entstand. Der absolute Nullpunkt schien nicht mehr fern.

Wegen Beschäftigungslosigkeit suchte auch ich mir damals einen anderen Wirkungskreis und beobachtete den Dieselmotor aus der Ferne. Deshalb will ich auch über das, was weiter geschah, hier nicht mehr berichten.

Aber ich will noch ein anderes Kapitel behandeln, über das ich sehr eingehende Studien machen konnte, nämlich die Frage des Patentschutzes auf den Dieselmotor. Ich beschränke mich dabei auf die deutschen Patente, da die anderen meist nur Kopien der deutschen Patente sind. Ich zähle zuerst die hauptsächlichsten Patente auf mit Angabe von Nummer, Anmeldedatum und kurzer Kennzeichnung des Inhaltes. Alle Patente lauten auf den Namen Rudolf Diesel.

67 207 vom 28. 2. 1892.

Arbeitsverfahren und Ausführungsart der Einzylinder- und der Verbundmaschine.

82 168 vom 30. 11. 1893.

Veränderung der Gestalt der Verbrennungskurve und Erzeugung der Einblaseluft durch den Kompressionshub.

85 895 vom 30. 11. 1893.

Mehrstufige Verbrennungskraftmaschine.

86 946 vom 18. 6. 1895.

Veränderung des Beginnes der Brennstoffeinführung.

86 633 vom 30. 3. 1895.

Vorrichtung zum Anlassen als Zweitaktdruckluftmaschine.

90 544 vom 18. 1. 1896.

Vorrichtung zum Anlassen als Explosionskraftmaschine.

95 680 vom 6. 3. 1896.

Verfahren zur Leistungserhöhung durch Vorkompression.

Dies sind alle Patente, die angemeldet waren, als 1897 der Dieselmotor bekannt gegeben wurde. Was dann noch an Patenten folgte, konnte sich nur noch auf Konstruktionseinzelheiten beziehen und gewährte keinen generellen Schutz.

Auch von den vorstehend genannten Patenten sind 85 895, 86 946, 90 544 und 95 680 ohne Bedeutung, weil sie in dem Dieselmotor, wie er war, nicht zur Anwendung kamen. Auch 86 633, Anlassen im Zweitakt, ist von der Maschinenfabrik Augsburg selbst verlassen worden. Es bleiben somit nur das erste Hauptpatent 67 207 und das als Regulierungspatent zu bezeichnende 82 168. Das erste Hauptpatent von 1892 hat natürlich nur den rationellen Wärmemotor zum Gegenstand. Die Patentbeschreibung deckt sich im wesentlichen mit Diesels Buch über den rationellen Wärmemotor. Am Schluß der Beschreibung finden sich zwei Patentansprüche, die laut Patentgesetz angeben sollen, was unter Patentschutz gestellt ist. Den Patentanspruch I will ich hier wörtlich anführen:

„Arbeitsverfahren für Verbrennungskraftmaschinen, gekennzeichnet dadurch, daß in einem Zylinder vom Arbeitskolben reine Luft oder anderes indifferentes Gas (bzw. Dampf) mit reiner Luft so stark verdichtet wird, daß die hierdurch entstandene Temperatur weit über der Entzündungstemperatur des zu benutzenden Brennstoffes liegt, worauf die Brennstoffzufuhr vom toten Punkte ab so allmählich stattfindet, daß die Verbrennung wegen des ausschiebenden Kolbens und der dadurch bewirkten Expansion der verdichteten Luft (bzw. des Gases) ohne wesentliche Druck- und Temperaturerhöhung erfolgt, worauf nach Abschluß der Brennstoffzufuhr die weitere Expansion der im Arbeitszylinder befindlichen Gasmasse stattfindet.“

Den zweiten Anspruch kann ich übergehen, da er sich nur auf den Verbundmotor bezieht und somit ohne praktische Bedeutung geblieben ist.

In der Beschreibung des Hauptpatentes ist eine Regulierung der Maschine durch Aussetzer angenommen. Das ist folgerichtig,

da die unter Beibehaltung des Prozesses einzig mögliche Regelung schwierig durchzuführen gewesen wäre.

Für den abweichenden Prozeß lag es nahe und ist auch von Diesel in seinem Buch angedeutet worden, die Länge der Verbrennungslinie für verschiedene Leistungen zu ändern. Das hätte eine Änderung in der Dauer der Brennstoffzufuhr bedeutet. Diese Regelungsart war nicht mehr patentfähig oder durfte vielleicht nicht einmal angewandt werden, da sie bereits in einem Patent von Öchelhäuser enthalten war, wie Diesel selbst angibt. Er ließ sich deshalb noch eine andere Regulierungsart patentieren, für die der Anspruch im Patent 82 168 wie folgt lautet:

„Verbrennungskraftmaschinen der im Patent Nr. 67207 gekennzeichneten Art, bei welcher die Veränderung der Leistung durch Veränderung der Gestalt der Verbrennungskurve, und zwar durch Einblasen eines einfachen oder gemischten Brennstoffstrahles in den Verdichtungsraum der Maschine bei wechselndem Überdruck und veränderlicher Dauer der Brennstoffeinführung herbeigeführt wird.“

Dasselbe Patent 82 168 enthält noch einen zweiten Anspruch, der mit dem ersten ganz außer Zusammenhang steht. Er lautet:

„Eine Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1, bei welcher die zum Einblasen dienende Druckluft durch den Arbeitskolben selbst erzeugt wird, und zwar bei normalem Betriebe ohne Abstellung des Arbeitsprozesses während eines Teiles des Kompressionshubes, wobei der nötige Überdruck dadurch entsteht, daß die Brennstoffzuführung mehr oder weniger lange nach Beginn des Kolbenhubes erst eingeleitet wird.“

Dieses Verfahren der Erzeugung der Einblaseluft ist unter dem Namen „Selbsteinblasung“ untersucht worden. Ich habe selbst an solchen Versuchen teilgenommen. Die Ergebnisse waren durchaus befriedigend, aber man hat von einer weiteren Anwendung des Verfahrens abgesehen, weil zur Erzeugung genügend hohen Einblasedruckes der für die Maschinenkonstruktion maßgebende Kolbendruck zu hoch wurde.

Um den Wert dieser beiden einzigen in Betracht kommenden Patente beurteilen zu können, ist erstens die Frage der Neuheit im Sinne des Patentgesetzes und zweitens die Frage zu beant-

worten, ob durch diese Patente der Dieselmotor auch wirklich geschützt war. Beides hat natürlich heute nur noch historisches Interesse, da zurzeit die Patente nicht mehr in Kraft sind. Die Frage der Neuheit ist Gegenstand einer Nichtigkeitsklage gewesen, die von Emil Capitaine, vielleicht als Vertreter einer Interessentengruppe, angestrengt und die 1898 entschieden wurde. Capitaine wurde mit seiner Klage abgewiesen. Er veröffentlichte sein Material in einer Prospektbeilage zur Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure und drohte, die Angelegenheit beim Reichsgericht weiter verfolgen zu wollen.

Hierzu kam es jedoch nicht. Capitaine einigte sich mit den Patentinhabern, wobei er vermutlich der empfangende Teil gewesen sein wird. Eine derartige Vorbeugungsmaßregel gegen einen möglicherweise unerwünscht auslaufenden Patentstreit kann man natürlich niemand verargen, denn auch die Beschlüsse des Reichsgerichtes sind zuweilen unerforschlich.

Weitere Angriffe auf das Hauptpatent waren nun nicht mehr möglich, da inzwischen fünf Jahre seit Erteilung verflossen waren, womit bekanntlich die Möglichkeit der Nichtigkeitsklage aufhört.

Ich will deshalb hier nicht untersuchen, ob die beiden Patente als zu Recht bestehend angesehen werden mußten. Dazu reicht auch das Material, das zugleich Veranlassung und Grenze meiner Mitteilungen bildet, bei weitem nicht aus. Wohl aber will ich auf die Frage näher eingehen, ob denn diese beiden Patente, die doch ursprünglich auf den rationellen Wärmemotor genommen waren, einen ausreichenden Schutz für den Dieselmotor gewährten.

Diese Frage ist nämlich niemals praktisch entschieden worden, und, soviel ich weiß, auch niemals öffentlich erörtert.

Anspruch 1 von 67 207 kennzeichnet die geschützte Verbrennungskraftmaschine durch die Kompression reiner Luft auf eine Temperatur weit über der Entzündungstemperatur und durch so allmähliche Einführung des Brennstoffes, daß die Expansion ohne wesentliche Druck- und Temperatursteigerung erfolgt.

Beide Kennzeichen treffen beim Dieselmotor nicht mehr zu. Die Entzündungstemperatur wird, wie an anderer Stelle schon erwähnt wurde, nicht wesentlich überschritten, sondern nur so weit, wie nötig ist, um die Entzündung auch beim Anlassen

sicher zu stellen. Dagegen wird, wenn auch nicht der Druck, so doch die Temperatur im Verlauf der Verbrennung sehr wesentlich, nämlich auf das Mehrfache erhöht.

Daher konnte nach meiner Auffassung, da die beiden einzigen Kennzeichen nicht mehr zutreffen, dieser Patentspruch wohl den rationellen Wärmemotor, aber nicht mehr den Dieselmotor schützen.

Der einzige, der dann noch in Frage kommen konnte, war Anspruch 1 von 82 168. Dieser schützt bei einer Maschine nach Patent 67 207 die Regulierung durch Veränderung der Gestalt der Verbrennungskurve bei wechselndem Überdruck und veränderlicher Dauer der Brennstoffeinführung.

Bekanntlich ändert sich beim Dieselmotor, vgl. die Diagrammtafel, bei der Regulierung die Gestalt der Verbrennungskurve. Das geschieht aber mehr unbeabsichtigt. Es wäre aus thermodynamischen Gründen sogar besser, wenn nur die Länge der Kurve geändert würde. Aber das einfache Regulierungsmittel, nämlich verschieden abgemessene Brennstoffmengen in die Düse zu bringen, ergibt von selbst Kurven verschiedener Gestalt, ohne daß die im Patentanspruch genannten Mittel, wie Wechsel des Überdruckes und Veränderung der Dauer der Brennstoffeinführung, angewandt werden.

Daß man bei durchschnittlich hoher Belastung einen anderen Einblasedruck einzustellen pflegt als bei durchschnittlich kleiner Belastung, ist eine Sache für sich.

Ich bin daher der Meinung, daß der Dieselmotor nicht durch Patente geschützt war. Das ist natürlich eine persönliche Meinung. Andere können anderer Meinung sein, und man kann nicht wissen, wie die Gerichte entschieden haben würden. Diese Meinung habe ich auch ausgesprochen, als ich einmal während des Bestehens der Patente vor die Frage gestellt wurde, Dieselmotoren zu bauen. Trotzdem zog man vor, sich nicht auf die jahrelange Ungewißheit eines Patentprozesses einzulassen. Ob von anderer Seite ein Eingriff in die vermeintlichen Patentrechte erfolgt ist, kann ich nicht mit Bestimmtheit sagen. Ich glaube es aber. Ich glaube nämlich, daß Gebr. Körting den Trinklermotor anfänglich ohne eine Übereinkunft mit Augsburg gebaut haben, und daß erst nachträglich eine Einigung zustande gekommen ist. Der Trinklermotor mußte aber genau so gut oder

so wenig unter die Patente 67 207 und 82 168 fallen wie der eigentliche Dieselmotor.

Demnach ist die Frage nach der Wirksamkeit des Patentschutzes niemals einer ernstlichen Probe unterworfen worden. Aber ich meine, daß allein schon die Möglichkeit, diese Frage ernstlich zu erörtern, ein eigentümliches Schlaglicht auf den Wert unseres gewerblichen Rechtsschutzes wirft.

Das Patentgesetz fordert die Neuheit des Gedankens. Der größten Errungenschaft, mag sie auch mit ungewöhnlichem Aufwand von Intelligenz und materiellen Mitteln geboren sein, wird der Schutz versagt, wenn irgendjemand irgendeinmal in irgendeiner verborgenen Druckschrift ähnliche Ideen geäußert hat. Wir besitzen demnach keinen Schutz gewerblicher oder industrieller Geistes- und Forschungsarbeit, sondern nur einen Ideenschutz.

Aber selbst dieser Schutz wird umso schwieriger erreichbar und umso hinfälliger, je mehr sich die Idee auf wirklich gangbaren Wegen bewegt; denn hier steigt die Gefahr, ähnlichen Ideen anderer zu begegnen. Am leichtesten findet die Idee Schutz, die sich in das Traumland verirrt, in dessen unermeßlichem Reich die Begegnungsgefahr verschwindet.

Wie dem abzuhelpen ist? Das ist ein schwieriger Fall. Oft wird hingewiesen auf den Schutz literarischer Erzeugnisse, der für jedes, auch das kleinste Produkt ohne weiteres besteht und den Schöpfer noch 30 Jahre überdauert. Aber das ist doch ganz etwas anderes. Die literarische Produktion ist ins Unermeßliche steigerungsfähig. Das Urheberrecht des einen ist niemals ein Hindernis für den Schaffensdrang eines anderen.

Ganz anders in der Technik. Eine Erfindung ist der Weg zur Erreichung eines bestimmten Zieles, das vielleicht schon lange von vielen erstrebt wurde. Oft ist die Erfindung der einzige Weg, und das Patent ist dann gleichzeitig das Ausschließungsrecht allen anderen gegenüber, und deshalb muß es sehr wohl mit ganz anderer Vorsicht gehandhabt werden als der Schutz literarischer Erzeugnisse.

Vielleicht ist die Möglichkeit, unseren gewerblichen Rechtsschutz zu verbessern eher gegeben, wenn man aufhört, das Gesetz mit wenigen Worten für jeden gewerblichen Fortschritt ganz allgemein anwendbar zu gestalten, wenn statt dessen besondere

Bestimmungen für bestimmte Gebiete oder für Verfahren, für Konstruktionen usw. getroffen werden.

War nun der Dieselmotor wirklich nicht geschützt durch die genannten Patente, dann, sollte man meinen, hätten doch spätere rechtzeitige Anmeldungen den veränderten Verhältnissen Rechnung tragen können.

Ich glaube nicht, daß Herr Diesel, der in Patentsachen höchlichst erfahren war, dies übersehen hat. Aber ich glaube, daß auf den Dieselmotor, wie er ist, kein Patentschutz zu erlangen war, da ähnliche Ideen, wie sie in ihm verwirklicht sind, nicht mehr scharf zu trennen waren von dem, was auch andere schon gewollt hatten. Man hat hierbei nicht allein an die Motoren zu denken, die wirklich bestanden haben, sondern auch an die unendliche Zahl derer, die gänzlich unentwickelt in Patentbeschreibungen oder sonstigen Drucksachen schlummern, um von Zeit zu Zeit vom Patentamt oder von Konkurrenten aus ihrem Schlaf aufgerüttelt zu werden und sich dem erstaunten Patentbewerber zu präsentieren. Damit komme ich auf die Vorläufer des Dieselmotors; aber entsprechend meinem Programm, nur selbst Gesehenes und Gedachtes oder allgemein Zugängliches zu behandeln, muß ich mir versagen, hierauf näher einzugehen, da dies ohne gründliches Quellenstudium nicht möglich sein würde. Ich denke, daß Herr Prof. Nägel hierüber einmal ausführlich berichten wird.

Daß aber auch Herr Diesel seine Vorläufer keineswegs verleugnet, wie zuweilen angenommen wird, beweist eine Fußnote zu seinem Kasseler Vortrag, die bei Aufzählung der Forderungen, die an ein rationelles Arbeitsverfahren zu stellen sind, also lautet: „Einzelne der genannten Forderungen finden sich vielfach in der früheren Literatur über Gasmotoren, u. a. in dem ausgezeichneten Werke von Otto Köhler, Theorie der Gasmotoren (Leipzig 1887), wo bei Besprechung einzelner Prozesse auf die Möglichkeit isothermischer Verbrennungen, auf den Nutzen des Luftüberschusses, auch auf die Ausführbarkeit des vollkommenen Prozesses hingewiesen wird. Es ist jedoch niemals ein Verfahren in seiner Gesamtheit beschrieben, welches die Forderungen der Theorie mit den Bedürfnissen der Praxis in Einklang gebracht und dadurch eine neue Maschinenform hätte schaffen können.“ —

Ein Punkt, den ich schließlich nicht umgehen kann, wenn

ich nicht auch den Anschein erwecken will, als wollte ich andere totschweigen und sie ihres Ruhmes berauben, das ist die Personenfrage, die Frage, wem kommen bei der Entstehung des Dieselmotors gewisse Verdienste zu.

Einige Personen habe ich schon erwähnt, allerdings wiederholt auch mich selbst. Aber ich habe von mir selbst immer nur gesagt, daß ich dabei gewesen sei, sogar ohne anzudeuten, ob leitend oder untergeordnet. Ich habe von mir nichts anderes sagen wollen, als daß ich dieses und jenes wohl wissen müsse. Von Verdiensten meinerseits habe ich niemals gesprochen und ich lehne solche auch ausdrücklich ab. Meine Mitarbeit hat das normale Maß nicht überschritten. Soll ich nun alle diejenigen aufzählen, die sich in ungefähr gleicher Lage befunden haben? Auf die Gefahr hin, jemand vergessen zu können, tue ich es lieber nicht. Es könnte auch sein, daß jemand glaubt, daß ihm hiermit nicht genügend Ehre angetan sei. Die Verdienste der Leiter der Maschinenfabrik Augsburg und der Firma Krupp liegen zu wenig in der Sphäre, in der ich mich damals bewegte, um von mir beurteilt werden zu können.

Daß man sehr vorsichtig sein muß mit der Behauptung, daß sie in richtiger Erkenntnis der großen Bedeutung der Dieselschen Erfindung gehandelt hätten, habe ich schon an anderer Stelle hervorgehoben. Sie hatten die Erfindung eben nicht richtig beurteilt oder vertrauten dem Glück, das das noch fehlende unentbehrliche Stück zur rechten Zeit bringen sollte.

Ich habe aber doch häufig fühlen können, welche gewaltige Förderung der Entwicklung der Dieselmachine zuteil wurde durch die patriarchalische, mit wohltuender Ruhe wirkende Macht, die Herr Heinrich Buz, jetzt Heinrich von Buz und Geh. Kommerzienrat, in der Maschinenfabrik Augsburg ausübte. Weniger jedenfalls aus technischer Berechnung als aus rein menschlicher Klugheit hielt er dem Dieselmotor die Stange und hielt gleichzeitig die Gegenströmung nieder. Es ist erfreulich, daß er in hohem Alter noch immer an der Spitze des Werkes die Erfolge seiner Beharrlichkeit genießen kann.

Würde ich nun ferner nicht von Herrn Oberingenieur Imanuel Lauster sprechen, so würde das sicher viele in Erstaunen versetzen. Auch Herr Diesel hatte in seinem Berliner

Vortrag diesen Namen nicht genannt, und wurde darüber von Herrn Geheimrat Riedler zur Rede gestellt.

Ganz zu Unrecht muß ich sagen, denn Herr Lauster gehört für die Zeit, die Herr Diesel behandelt hat, in eine Reihe mit einer Anzahl anderer, die von Herrn Diesel ebenfalls nicht namentlich aufgezählt wurden. Auch für die von mir behandelte Zeit gehört Herr Lauster eigentlich unter die von mir nicht besonders zu nennenden. Seine Zeit kam erst später. Als der Dieselmotor dem Gefrierpunkt näherrückte und sich gleichzeitig diese Temperatur auf das Verhältnis Diesel — Maschinenfabrik ausdehnte, da begann die selbständige Wirksamkeit des Herrn Lauster. Ihm fiel die Lösung aller Betriebsschwierigkeiten zu, und die zeitweilig recht künstliche Konservierung des Dieselmotors wurde seine, nicht immer angenehme Aufgabe, der er sich mit viel Liebe und Aufopferung hingegeben hat. Daß diese Aufgabe noch mal eine dankbare werden könne, schien damals wenig wahrscheinlich. Ich kann die Verdienste des Herrn Lauster über diese Anfänge hinaus nicht schildern, aus dem einfachen Grunde, weil sie erst in eine Zeit fallen, die ich in Augsburg nicht mehr miterlebt habe. Ich müßte sonst dem Grundsatz untreu werden, daß ich mich auf das beschränke, worüber ich aus eigener Anschauung urteilen kann.

Am schwierigsten festzuhalten bleibt in der Entstehungsgeschichte des Dieselmotors das Bild des Herrn Diesel selbst.

Was Schiller von Wallenstein sagt, paßt auf ihn:

„Von der Parteien Gunst und Haß verwirrt,
schwankt sein Charakterbild in der Geschichte.“

Von dem Beherrscher der Thermodynamik, der mit weiterschauendem Blick der Technik die Wege gewiesen hat, wie man zu höchster Wärmeausnutzung in Kraftmaschinen gelangen könne, sinkt die Beurteilung auf einen recht tiefen Grad. Er habe Mäßiges geleistet. Was er behauptet hätte, hätten andere schon vor ihm gewußt. Seine Erfindung selbst sei unbrauchbar gewesen, und erst der Maschinenfabrik Augsburg sei es gelungen, etwas Brauchbares zu schaffen, was man dann Dieselmotor genannt habe.

Ich will mich redlich bemühen mit der Feststellung, wo zwischen diesen beiden Extremen die Wahrheit zu finden ist.

Gründe für die so ungeheuer verschiedene Beurteilung der Leistung Diesels bestehen allerdings. Erstens ist seine Idee des rationellen Wärmemotors nur mit recht erheblichen, von ihm anfangs grundsätzlich verschmähten Abweichungen verwirklicht worden, und zweitens haben Optimismus und Phantasie ihn verleitet (vgl. z. B. das Schlußkapitel seines Buches), die Zukunft des rationellen Wärmemotors in solchen Farben zu malen, daß die heutige doch wirklich bedeutungsvolle Entwicklung daneben vollkommen verblaßt. Das mag an sich unschuldig sein, ja es kann sogar als ein Fehler angesehen werden, der mit dem Genie des Erfinders untrennbar verbunden ist; aber ein Angriffspunkt bleibt es doch immer, wenn auch nicht in dem Maße wie das ständige Bemühen, in der Form wissenschaftlicher Berichterstattung die Tatsachen gar zu sehr zu beschönigen, wovon mehrfach Proben von mir gekennzeichnet sind. Das geschichtliche Bild muß dadurch Schaden leiden. Der Optimismus des Herrn Diesel, der bei ihm mit einer außergewöhnlichen Weltgewandtheit gepaart ist, ist dagegen sicher für das Gelingen der Sache von großer Bedeutung gewesen. Er hat seiner Erfindung die nötigen finanziellen und technischen Hilfsquellen geöffnet, er hat im Verlauf der Versuche oftmals Brücken über den gähnenden Abgrund der scheinbaren Unmöglichkeit geschlagen und hat so das Werk zum guten Ende geführt.

Aber dieser Optimismus hat auch Schaden angerichtet. Er hat 1897 und später die technische und nichttechnische Welt in Aufruhr versetzt und hat vielen, die glaubten, daß hier Geld zu verdienen sei, schwere Enttäuschungen bereitet. Anstatt der erwarteten stürmischen Nachfrage nach Dieselmotoren erfolgte bald eisiges Schweigen. Die vielen Lizenznehmer stellten die Fabrikation wieder ein oder nahmen sie gar nicht erst auf, und die Dieselmotorenfabrik in Augsburg liquidierte. Alle die im Anfang getroffenen gewaltigen Maßregeln zur Aufnahme der Fabrikation wären für heute nicht übertrieben gewesen, aber sie waren damals einige Jahre verfrüht. Der Dieselmotor war, was ich schon näher begründet habe, noch nicht marktfähig, und hieran hat der Optimismus des Herrn Diesel nicht glauben wollen, wohl aber müssen.

Dieser Optimismus war aber kein Privileg des Herrn Diesel. Die Maschinenfabrik Augsburg besaß auch davon. Ich erinnere

mich, daß ich bei der Elektrizitäts-Gesellschaft Helios in Köln-Ehrenfeld im Jahre 1897 einen Brief der Maschinenfabrik Augsburg gelesen habe, worin sie mitteilte, daß sie die für 1900 geplante Pariser Weltausstellung nicht mehr mit einer Dampfmaschine, sondern nur noch mit Dieselmotoren beschicken werde. Wer der verantwortliche Redakteur dieses Schreibens war, kann ich nicht sagen. Von den leitenden Herren des Dampfmaschinenbaues kann es kaum ausgegangen sein; denn die habe ich, als ich später selbst nach Augsburg kam, von einer andern Seite kennen gelernt. Ich will niemandem aus diesem vorzeitigen Optimismus einen Vorwurf machen, aber er erklärt, daß sich eine Partei der Enttäuschten, der sich betrogen Fühlenden zusammenfinden mußte, die über Diesel und sein Werk lieblos und hart urteilte. Ein Ausfluß dieser Beurteilung war erst jüngst die Entgegnung Riedlers auf den Berliner Vortrag von Diesel. Ich will hier in keine Untersuchung eintreten, was an den Vorwürfen berechtigt war. Ich besitze zu wenig Material, um dies entscheiden zu können, und beschränke mich deshalb auf die Wiedergabe meiner Meinung über den Anteil, der Herrn Diesel an dem Zustandekommen des Dieselmotors gebührt, des Motors, der in aller Welt seinen Namen trägt.

Daß der Dieselmotor Vorläufer gehabt hat, was schon Capitaine in seiner Flugschrift behauptete, und was Herr Prof. Nägel in Berlin hervorhob, und was Diesel selbst in seinem Kasseler Vortrag, wenn auch bedingungsweise, andeutet, gebe ich zu.

Daß die Theorie schon vor Diesel auf den Nutzen der Kompressionserhöhung hingewiesen hat, schreibt Diesel selbst in seinem Buch von 1893, S. 37. Auch die Kompression reiner Luft mit nachfolgender Einführung des Brennstoffes, um zu höherer Kompression gelangen zu können, war nicht mehr neu, und so ist es möglich, daß wir eine dem Dieselmotor ähnliche Maschine auch ohne Diesel erhalten hätten.

Aber, um die von Herrn Riedler benutzten Beispiele zu gebrauchen, wie Watt nicht der erste war, der eine Dampfmaschine erdachte, und Stephenson nicht der erste, der an eine Lokomotive dachte, und sie doch beide ihren Erfinderruhm empfangen haben, so gebührt Herrn Diesel der Ruhm, der Mitwelt durch sein Vorgehen eine neue Wärmekraftmaschine

von großer wirtschaftlicher Bedeutung verschafft zu haben. Mag auch sein erster Schritt dazu nicht ganz der richtige gewesen sein, so ist er doch auch weiterhin der Pionier geblieben, der, allerdings mit großer materieller Unterstützung anderer, die ursprüngliche Idee in eine gangbare Maschine umgesetzt hat. Damit war aber auch die eigentliche Erfindung des Dieselmotors abgeschlossen.

Was dann kam, war auch noch durchaus unerlässlich, nämlich der Ausbau der vermeintlichen Marktfähigkeit zu einer wirklichen. Hier treten die Verdienste Diesels zurück. Die Maschinenfabrik Augsburg in erster Linie erfüllte diesen Teil der Aufgabe ohne seine Mitwirkung. —

Hiermit schließe ich meine Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors ab. Es sollte mich freuen, wenn meine Mitteilungen einmal ein wichtiger Baustein zu einer zusammenhängenden Geschichte der Verbrennungsmotoren würden.

Anhang.¹⁾

I. Die Organisation zur Entwicklung und Verwertung des Dieselmotors.

Nach Erfindung seines rationellen Wärmemotors schloß Herr Diesel 1893 mit der Maschinenfabrik Augsburg (damals noch nicht mit Nürnberg vereinigt) und Friedr. Krupp in Essen Verträge ab, die diese beiden Firmen zu Inhabern der deutschen Patentrechte machten und ihnen die Verpflichtung auferlegten, die Maschine auszubilden.

Zu diesem Zwecke wurde auf Kosten beider Firmen in der Maschinenfabrik Augsburg eine Versuchsstation eingerichtet, die in der Hauptsache unter Leitung des Herrn Diesel stand. Über alle Versuche wurden eingehende Berichte geschrieben, von denen Abschriften an beide Firmen gingen.

Als die Versuche 1897 einen gewissen Abschluß erreicht hatten, begannen die Maschinenfabrik Augsburg und die Firma Krupp mit Entwürfen für die Fabrikation.

Herr Diesel selbst unterhielt in München ebenfalls ein technisches und kaufmännisches Bureau zur Sammlung und Bearbeitung aller Erfahrungen, zu Entwurfsarbeiten, zur Vorbereitung der Münchener Ausstellung von 1898 und zur Verwertung der ihm gehörigen Auslandspatente.

Im Oktober 1898 wurde die Allgemeine Gesellschaft für Dieselmotoren A.-G. mit dem Sitz in Augsburg gegründet zur Übernahme aller von Herrn Diesel mit Auslandsfirmen abgeschlossenen Verträge und aller noch in seinem Besitz befindlichen Patentrechte. Fabrikation oder Verkauf von Motoren betrieb diese Gesellschaft nicht, wohl aber führte sie das technische Bureau des Herrn Diesel fort und stellte auch einen Ingenieur

¹⁾ Hierin sind Mitteilungen über die technische Organisation und über die wärmetheoretischen Grundlagen aufgenommen, soweit Beides zum Verständnis der Entwicklung des Dieselmotors nötig ist.

als ihren Vertreter zur Teilnahme an den Arbeiten der Versuchstation, wie dies Herr Diesel selbst auch schon eine Zeitlang getan hatte. Dem Aufsichtsrat der „Allgemeinen“ gehörten Vertreter der Maschinenfabrik Augsburg und der Firma Krupp sowie Herr Diesel an.

Schon vor der „Allgemeinen“ war von Herrn Diesel zusammen mit Augsburger Bankiers die Dieselmotorenfabrik A.-G. in Augsburg gegründet, zum Zweck, Dieselmotoren zu bauen und zu verkaufen.

In Augsburg baute außerdem noch Dieselmotoren die Firma L. A. Riedinger A.-G. als Lizenznehmerin.

In Deutschland gab es noch eine Reihe anderer Lizenznehmer und ebenso in den Auslandstaaten.

II. Der Carnotsche Kreisprozeß.

Die Umwandlung von Wärme in Arbeit erfolgt bei den Verbrennungsmotoren durch Übertragung der Wärme auf eine in einem Zylinder mit Kolben eingeschlossene Gas- oder Luftmasse, deren Temperatur und somit auch Druck oder Volumen dadurch erhöht wird.

War die Gasmasse vorher mit Hilfe des Kolbens komprimiert, dann kann sie infolge der Wärmezuführung bei der Expansion mehr Arbeit leisten, als zur Kompression nötig war. Man erhält also einen Arbeitsüberschuß, der einem ganz bestimmten Wärmeverbrauch entspricht. Der nicht in Arbeit umgesetzte Teil der zugeführten Wärme muß durch Abkühlung entfernt werden, um die Gasmasse wieder auf den Anfangszustand zu bringen. Ein solcher Prozeß, der immer wieder zu seinem Ausgangspunkt zurückkehrt, wird Kreisprozeß genannt.

Hat man dabei eine Wärmemenge Q_1 zugeführt und muß eine Wärmemenge Q_2 durch Abkühlung abführen, dann ist die Differenz in Arbeit umgewandelt.

Man bezeichnet das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Wärmemenge zur aufgewandten als thermischen Wirkungsgrad und schreibt dies

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Wird die Gasmasse in dem Zylinder zusammengedrückt, oder dehnt sie sich aus, ohne daß dabei nach außen Wärme zu- oder abgeführt wird, so bezeichnet man dies als eine adiabatische Zustandsveränderung, und die Kurve, die in einem Koordinatensystem den Verlauf von Druck und Volumen bei dieser Zustandsveränderung angibt, wird als *Adiabate* bezeichnet. Bei dieser Zustandsänderung ändern sich auch die Temperaturen. Sie steigen und fallen mit dem Druck.

Wird aber bei steigendem Druck so viel Wärme abgeführt, daß die Temperatur nicht steigt, oder bei fallendem Druck so viel Wärme zugeführt, daß die Temperatur nicht fällt, sondern konstant bleibt, dann sind die Kurven der Zustandsänderungen andere. Sie werden *Isothermen* oder Kurven von gleicher Temperatur genannt.

Wird nun ein Kreisprozeß gebildet aus 4 Kurvenstücken, von denen zwei gegenüberliegende Adiabaten und die beiden anderen Isothermen angehören, dann findet nur auf der einen Isotherme, also bei gleicher Temperatur, Wärmezufuhr und nur auf der anderen Isotherme, also ebenfalls bei gleichbleibender Temperatur, Wärmeabfuhr statt.

Die Thermodynamik beweist, daß dieser nach Carnot benannte Kreisprozeß den Wirkungsgrad hat:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

T_1 und T_2 sind die absoluten Temperaturen der Isothermen, unter denen man die um 273° erhöhten gewöhnlichen Celsius-temperaturen versteht.

Es ist nun ohne weiteres ersichtlich, daß der Wirkungsgrad eines Carnotprozesses sich umsomehr der Vollkommenheit, d. h. 1 nähert, je kleiner der abzuziehende Bruch $T_2 : T_1$ wird.

Man muß deshalb trachten, T_2 so klein wie möglich zu nehmen. Man kommt mit T_2 nicht unter die Temperatur der Atmosphäre oder des Kühlwassers, also etwa $15^\circ \text{C} + 273$. Wie hoch man aber mit T_1 gehen kann, ist viel schwieriger zu beantworten. Angenommen, es wäre hierfür eine bestimmte Temperatur gegeben, so würde allerdings der Carnotprozeß, der sich zwischen diesen beiden Temperaturen hält, der denkbar günstigste sein.

Bevor man aber bei dem Carnotprozeß bei Maschinen, die mit eingeschlossenen Luftmassen arbeiten, die zulässige Temperaturgrenze erreicht, kommt man schon auf Drücke, die in einem so ungünstigen Verhältnis zu der Arbeitsleistung des Prozesses stehen, daß die uns zur Ausführung des Prozesses zur Verfügung stehenden Maschinen nicht imstande sind, mit dieser Arbeit ihre Eigenreibung zu überwinden.

Um diese Tatsache dreht sich die Entwicklung des rationellen Wärmemotors zum Dieselmotor.

Literaturübersicht für die Zeit bis 1898.

Bücher :

- Otto Köhler, Theorie der Gasmotoren. Leipzig 1887.
Rudolf Diesel, Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors. Berlin 1893.

Zeitschriften :

- Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure:
1893, S. 291. Gutermuth, Besprechung des Buches: Diesel, Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors.
S. 596. Sitzung des Bayr. Bezirksvereines. Prof. Schröter spricht über den rationellen Wärmemotor.
S. 1103. Otto Köhler, Der rationelle Wärmemotor im Vergleich mit anderen Wärmemotoren.
1897, S. 785, 817. Rud. Diesel, Diesels rationeller Wärmemotor. Vortrag gehalten in Kassel.
S. 845. Prof. M. Schröter, Diesels rationeller Wärmemotor. Vortrag in Kassel.
S. 1108. E. Meyer, Die Beurteilung der Kreisprozesse.
S. 1239. F. Krauß, Der Dieselmotor und der Carnotsche Kreisprozeß.
1898, S. 783. J. Lüders. Der Hochdruckwärmemotor.
Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen:
1893, II, S. 65. J. Lüders, Zuschrift betr. Diesels Theorie eines rationellen Wärmemotors.

Der außerdem mehrfach erwähnte Vortrag von Herrn Dr.-Ing. R. Diesel, gehalten in der Schiffbautechnischen Gesellschaft am 21. November 1912 zu Berlin, lag in der Versammlung selbst „als Manuskript gedruckt“ vor, und ist im Februar 1913 erschienen im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft für 1913.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors
zum Ersatz der Dampfmaschinen und der heute bekannten Ver-
brennungsmotoren. Von Ingenieur **Rudolf Diesel**. Mit 13 in den
Text gedruckten Figuren und 3 Tafeln. 1893. Vergriffen.

Diesel's rationeller Wärmemotor. Zwei Vorträge. Von Ingenieur
Rudolf Diesel und **M. Schröter**, Professor an der Technischen
Hochschule in München. Mit 17 in den Text gedruckten Figuren.
1897. Vergriffen.

Die Entstehung des Dieselmotors. Von Dr.-Ing. **Rudolf Diesel**,
München. Mit zahlreichen Textfiguren und Tafeln. In Vorbereitung.

Dieselmotoren für Land- und Schiffsbetrieb. Von **A. P. Chalkley**,
B. Sc. (Lond.), A. M. Inst. C. E., A. J. E. E. Mit einer Einleitung
von Dr.-Ing. **Rudolf Diesel**, München. Ins Deutsche übertragen
von Dr. phil. **Ernst Müller**, Dipl.-Ing., Gent. Zweiter, unver-
änderter Abdruck. Mit 90 Textfiguren. 1913.
In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

**Das Vorkommen, die Beschaffenheit und die wirtschaftliche
Bedeutung des Erdöles.** Von Geh. Hofrat Professor **Dr. Oebbeke**,
München. — **Die neuere Entwicklung der ortsfesten Öl-
maschine.** Von **A. Nägel**, Dresden. Mit 92 Textfiguren. -- **Über-
blick über den heutigen Stand des Dieselmotorbaues und
die Versorgung mit flüssigen Brennstoffen.** Diskussionsrede,
gehalten von **R. Diesel** am 13. Juni 1911 in Breslau, nach den Vor-
trägen der Herren **Dr. Oebbeke** und Professor **A. Nägel**. 1912.
Preis M. 2,50.

Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungsmotoren.
Handbuch für Konstrukteure und Erbauer von Gas- und Ölkraft-
maschinen. Von **Hugo Güldner**, Oberingenieur, Direktor der Güldner-
Motoren-Gesellschaft in München. Dritte, bedeutend erweiterte
Auflage. Unter der Presse.

Die flüssigen Brennstoffe, ihre Gewinnung, Eigenschaften und Unter-
suchung. Von **Dr. L. Schmitz**, Chemiker. Mit 56 Textfiguren. 1912.
In Leinwand gebunden Preis M. 5,60.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Die Entropie - Diagramme der Verbrennungsmotoren einschließlich der Gasturbine. Von Dipl.-Ing. **P. Ostertag**, Professor am Kantonalen Technikum Winterthur. Mit 17 Textfiguren. 1912. Preis M. 1,60.

Zwangläufige Regelung der Verbrennung bei Verbrennungsmaschinen. Von Dipl.-Ing. **Karl Weidmann**, Assistent an der Technischen Hochschule zu Aachen. Mit 35 Textfiguren und 5 Tafeln. 1905. Preis M. 4,—.

Die Gasmaschine. Ihre Entwicklung, ihre heutige Bauart und ihr Kreisprozeß. Von **R. Schöttler**, Geh. Hofrat, o. Professor an der Herzogl. Technischen Hochschule zu Braunschweig. Fünfte, umgearbeitete Auflage. Mit 622 Figuren im Text und auf 12 Tafeln. 1909. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Gemischbildungen der Gasmaschinen. Von Dr.-Ing. **G. Hellen-schmidt**. Mit 21 Textfiguren und 1 Tafel. 1911. Preis M. 1,60.

Physikalisch-chemische Betrachtungen über den Verbrennungsprozeß in den Gasmotoren. Vortrag, gehalten in der 46. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Magdeburg von **Walter Nernst**. 1905. Preis M. 1,—.

Technische Thermodynamik. Von Prof. Dipl.-Ing. **W. Schüle**. Zweite, erweiterte Auflage der „Technischen Wärmemechanik“. Erster Band: Die für den Maschinenbau wichtigsten Lehren nebst technischen Anwendungen. Mit 223 Textfiguren und 7 Tafeln. 1912. In Leinwand gebunden Preis M. 12,80.

Thermodynamische Behandlung einiger Eigenschaften des Wassers und des Wasserdampfes. Von Dr. **Herbert Levy**. 1910. Preis M. —,80.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Additional information of this book

(*Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors*;978-3-662-24476-0) is provided:



<http://Extras.Springer.com>