

Le tube de la vis est plus rempli pendant le fonctionnement que l'on le peut supposer compte tenu de la quantité acheminée dans chaque filet et du nombre de filets, car les grains qui tombent à chaque instant au-dessus du bord de la surface de la vis constituent à la paroi intérieure du tube un écran qui est toujours partiellement défilé et reconstruit et qui se déplace plus lentement que la vis dans le sens de la rotation. L'épaisseur de l'écran dépend du régime et du degré de remplissage des différents filets qui lui-même dépend de la conception de l'entrée.

Adolf Koenig y Udo Riemann: «Ensayos hechos con el transportador vertical de tornillo sin fin.»

Forma y dimensiones de la boca de entrada de los transportadores de tornillo sin fin, empleados en la agricultura, tienen una influencia decisiva en la capacidad transportadora, pero también en la potencia que requieren estas instalaciones.

A medida que aumente el largo de la entrada, aumenta también la carga de las células, y con ésta la capacidad transportadora, hasta llegar al valor máximo, del que no es posible pasar, ni tampoco alargando más el extremo libre del tornillo sin fin. Este valor máximo depende del número de rotaciones que da el tornillo sin fin.

Aumentando la velocidad periférica, la capacidad transportadora se acerca cada vez más al valor máximo, del que no puede pasarse, aumentando más el número de rotaciones, porque va bajando el grado de carga de las células.

Aumentando el ancho de la superficie helicoidal, bajando en cambio el diámetro del eje en la entrada, la carga de las células aumenta, y con ella la capacidad transportadora hasta llegar al máximo que, una vez alcanzado, ya no puede aumentar con el empleo de anchos mayores de la superficie helicoidal. Este aumento sólo conducirá a que el material se remueva más, aumentando el consumo de energía en proporción lineal.

Aumentando el grado de carga de las células, el rendimiento óptimo del transportador desplaza el ángulo de inclinación de entre 45° y 60° al ángulo de 90° . La potencia necesaria, aumentando la capacidad transportadora en transporte con ángulo de 90° , aumenta en proporción lineal; en cambio, en transporte con ángulo de 45° aumenta más que la capacidad transportadora.

Aumentando la distancia libre entre el tornillo sin fin y la superficie interior del tubo de transporte, la capacidad transportadora decrece. Un ancho mayor de la superficie helicoidal en la entrada reduce la desventaja que produce esta distancia excesiva.

El tubo de transporte de un transportador de tornillo sin fin, estando la máquina en marcha, contiene mayor cantidad de grano que la que se supone, fundándose en la cantidad transportada por cada paso individual y en el número de pasos que tenga el tornillo, porque los granos que caen continuamente por el borde de la hélice, forman una capa en la pared interior del tubo, deshaciendo y rehaciéndose esta capa continuamente, circulando más despacio que el tornillo en su sentido de rotación. El grueso de esta capa depende del número de rotaciones que da el tornillo y del grado de carga de las diferentes células que, a su vez, depende de la forma de la boca de entrada.

RUNDSCHAU

Der neue NSU-Wankel-Rotationskolbenmotor

Das Prinzip der Rotationskolbenmaschine ist schon lange bekannt. Es gibt über diese Maschinen ein umfangreiches Patentschrifttum; doch war es bisher nur gelungen, nach diesem Prinzip Pumpen und Kompressoren zu bauen, jedoch keine Verbrennungsmaschinen mit ausreichender Betriebssicherheit. Alle Versuche scheiterten am Abdichtungsproblem der rotierenden gegenüber den feststehenden Teilen und am Problem der Beseitigung der Verbrennungsrückstände. Es ist das Verdienst des Ingenieurs FELIX WANKEL, Technische Entwicklungsstelle, Lindau, und seiner Mitarbeiter, auf Grund jahrelanger Untersuchungen Wege zu befriedigenden Lösungen für die Abdichtung gefunden zu haben. Anfang 1954 kam ein Entwicklungsvertrag mit den NSU-Werken in Neckarsulm zustande und damit konnte die Versuchsbasis wesentlich erweitert werden. Dem Entwicklungsleiter dieser Werke, Dr.-Ing. FROEDE ist es zu verdanken, daß es in mühevoller Entwicklungsarbeit gelungen ist, einige Prototypen von Rotationskolbenmotoren als Verbrennungsmaschinen zu bauen, welche die Brauchbarkeit des Prinzips und der Konstruktion für einen Ottomotor unter Beweis stellten. Über den NSU-Wankel-Motor ist auf einer VDI-Tagung in München im Januar 1960 vor einem großen Kreis von Ingenieuren ausführlich berichtet worden [1 ÷ 4].

Die wesentlichen Merkmale

Der neue Rotationskolbenmotor von NSU-Wankel besteht im wesentlichen aus einem umschließenden Körper, dessen Mantellinie eine Epitrochoide ist, und einem umschlossenen Körper, dem sogenannten Läufer, der bei Drehbewegung mit seinen Ecken an

der Mantelfläche entlanggleitet. So werden kontinuierliche Räume mit veränderlichem Volumen gebildet, wie bei einem üblichen Verbrennungsmotor. Auf diese Weise werden die Ansaug-, Verdichtungs-, Expansions- und Ausschubvorgänge verwirklicht, genau wie bei einem Viertaktmotor.

Wenn der umschließende Körper und der umschlossene Körper eine Drehbewegung um ihre parallel zueinander liegenden Achsen ausführen, dann spricht man von *Drehkolbenmaschinen* (DKM), wenn der umschließende Körper jedoch feststeht, und der umschlossene Körper eine kreisende Bewegung ausführt, dann ist dafür die Bezeichnung *Kreiskolbenmaschine* (KKM) gewählt worden. Bei den NSU-Werken sind beide Bauarten entwickelt und erprobt worden. Beide Bauarten haben Vor- und Nachteile. Die Vorteile der KKM-Bauart — festes äußeres Gehäuse, eine Zündkerze, einfache Kühlmittelzuführung — haben dazu geführt, daß diese für die letzten Prototypen ausschließlich verwendet wird.

Wie entsteht eine Trochoide?

Eine Trochoide entsteht, wenn ein Rollkreis auf einem feststehenden Kreis abrollt; man spricht von einer Epitrochoide, wenn das Abrollen auf der Innenseite des feststehenden Kreises vor sich geht. Bei dem neuen NSU-Wankel-Motor handelt es sich um eine Epitrochoide. Ihr Entstehen ist in Bild 1 veranschaulicht.

Wir haben uns vorzustellen, ein außenverzahntes Rad R mit dem Durchmesser $2r$ und ein innenverzahntes Rad K mit dem Durchmesser $3r$; beide Räder stehen im Eingriff miteinander, wobei Rad R mit seiner Achse a rotiert. Das Rad K dreht sich um seine feststehende Achse i mit $2/3$ der Drehzahl von a und in gleicher Richtung. Abstand e ist die Exzentrizität. Stellt man sich nun an der Seitenfläche des Rades K einen Schreibstift P angebracht vor, dann zeichnet dieser bei der Drehung des Getriebes auf der mit R festverbundenen Ebene eine zweibogige Trochoide T auf.

Die Wirkungsweise des neuen Motors

In Bild 2 ist ein perspektivischer Schnitt und in Bild 3 im Schema die Wirkungsweise eines Kreiskolbenmotors mit einer Epitrochoide im feststehenden Gehäuse und einer inneren Hüllfigur in Form eines dreieckigen Läufers mit gewölbten Seiten dargestellt. In Bild 2 sind die umlaufenden Teile: Die Triebwelle (1) mit einem Exzenter, über welchen das Drehmoment auf die Triebwelle übertragen wird. (Der Exzenter ist im Bild 2 direkt nicht sichtbar, seine Lauffläche mag durch den Kreis (9) gekennzeichnet

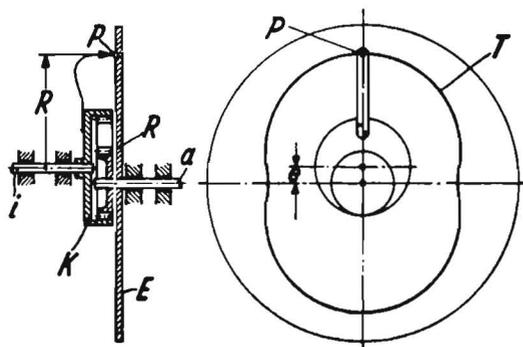


Bild 1: Entstehung einer zweibogigen Epitrochoide

sein), die Schwungmasse (5) und der Massenausgleich (7) sowie der auf dem Exzenter drehbar gelagerte Läufer (6). Die Innenverzahnung des Läufers greift in ein Ritzel ein, das fest auf der vorderen Kammerwand des Gehäuses sitzt, also stillsteht. Die Achse des Läufers ist damit zum Mittelpunkt der Triebwelle versetzt, so daß der Läufer im Inneren der Trochoide kreist. Wenn sich nun der Läufer relativ zum Gehäuse mit $\frac{1}{3}$ der Winkelgeschwindigkeit der Triebwelle und ihres Exzenters bewegt, so beschreiben alle 3 Eckpunkte des Läufers die gleiche Epitrochoide. Auf eine Umdrehung des Läufers kommen 3 Umdrehungen der Triebwelle. Der Läufer bleibt also hinter der Triebwelle mit 2 Umdrehungen zurück. Diese verschiedenen Drehgeschwindigkeiten von Welle und Läufer erreicht man durch die Wahl der Teilkreisdurchmesser der Verzahnung des Läufers und des Ritzels, die sich wie 3:2 verhalten.

In Bild 3 ist der Läufer in vier Stellungen gezeichnet, wobei die Versetzung zur Triebwelle in Bild a) = 0°, in b) = 90°, in c) = 180° und in d) = 270° ist. Der Läufer (Mittelpunkt der Achse durch + gekennzeichnet) dreht sich mit einer geringeren Winkelgeschwindigkeit als die Triebwelle (Mittelpunkt durch ● gekennzeichnet) entsprechend dem Übersetzungsverhältnis zwischen Ritzel und Innenverzahnung des Läufers, er bleibt also ständig gegenüber der Triebwelle zurück. Die drei Punkte A, B, C, die um 120° auf dem Läufer versetzt sind, durchlaufen die gleiche Bahn.

Verfolgen wir nun die Bahn des Punktes A und die Veränderung der Kammer, die gebildet wird von der Wand des Läufers zwischen den Punkten A und C, der Epitrochoide des feststehenden Gehäuses und den Seitenwänden (Bild 3a—3d). Das Gehäuse hat auf der oberen Seite eine Öffnung für die Auspuffgase und eine Öffnung für das Brennstoff-Luftgemisch. Auf der unteren Seite sitzt die Zündkerze, die so angeordnet ist, daß der Läufer darüber hinweggleiten kann. Beim Kreisen im Uhrzeigersinn des Punktes A vergrößert sich die Kammer (1), die über das Ansaugrohr mit dem Vergaser verbunden ist. Es wird Kraftstoff-Luftgemisch angesaugt: in Bild 3b Raum (2) und in Bild 3c Raum (3). Der Ansaugvorgang ist beendet, wenn Punkt C des Läufers den Ansaugerschnitt überlaufen hat, Raum (4). Die Kammer ist jetzt nach außen hin abgeschlossen. Beim Weiterlaufen des Punktes A wird die Kammer kleiner, das Kraftstoff-Luftgemisch wird verdichtet: Bild 3a Raum (5), Bild 3b Raum (6), Bild 3c Raum (7). Anstelle Punkt B ist jetzt Punkt A und anstelle Punkt A ist Punkt C zu denken. Nach Erreichen der größten Verdichtung [Raum (7)] erfolgt die Zündung und die Verbrennung wird eingeleitet: Bild 3d Raum (8), Bild 3a Raum (9) und Bild 3b Raum (10). Sobald Punkt A den Auslaßschlitz freigibt, werden die Abgase ausgeschoben. Bild 3c Raum (11), Bild 3d Raum (12).

Punkt A hat damit 1 mal die Bahn des feststehenden Gehäuses durchlaufen, dabei erfolgte Ansaugen, Verdichten, Zündung, Expansion und Ausschleiben, genau wie beim Viertakt-Kolbenmotor bei zwei Umdrehungen oder beim Zweitaktmotor bei einer Umdrehung der Kurbelwelle. Bei jedem Umlauf des Läufers durchläuft jede der drei Kammern alle vier Arbeitsphasen; in bezug auf die Zahl der Zündungen bei einer Umdrehung der Triebwelle kann man den NSU-Wankel-Motor mit einem Einzylinder-Zweitaktmotor oder mit einem Zweizylinder-Viertaktmotor vergleichen.

Bisherige Ergebnisse auf dem Prüfstand

Es sind die Ergebnisse der Untersuchungen mit zwei Kreiskolbenmaschinen bei Benzinbetrieb und bei einer Verdichtung von 15,5 bekanntgegeben worden, für eine Maschine mit einer Kammergröße von 125 cm³ und einer solchen von 250 cm³ (Bild 4).

Die KKM 125 leistete bei 11000 U/min 26 PS bei einem mittleren Arbeitsdruck von etwas über 9 kg/cm². Der spez. Kraftstoffverbrauch über ein Drehzahlgebiet von 6000—11000 betrug 250 bis 270 g/PSH. Die trockene Maschine wiegt ohne Zubehör 17 kg (0,65 kg/PS) bei Ausführung des Gehäuses in Grauguß und 11 kg bei Leichtmetallausführung. Bei letzterer wird die Trochoidenbahn des feststehenden wassergekühlten Gehäuses mit einer Chromschicht versehen. Der Läufer ist ölgekühlt, das Kühlöl wird durch die hohle Welle geführt.

Der Aufbau der KKM 250 ist ähnlich demjenigen der KKM 125. Bei 9000 U/min gab diese Maschine 44 PS bei einem mittleren effektiven Arbeitsdruck von 9 kg/cm² ab, das sind 176 PS/l, be-

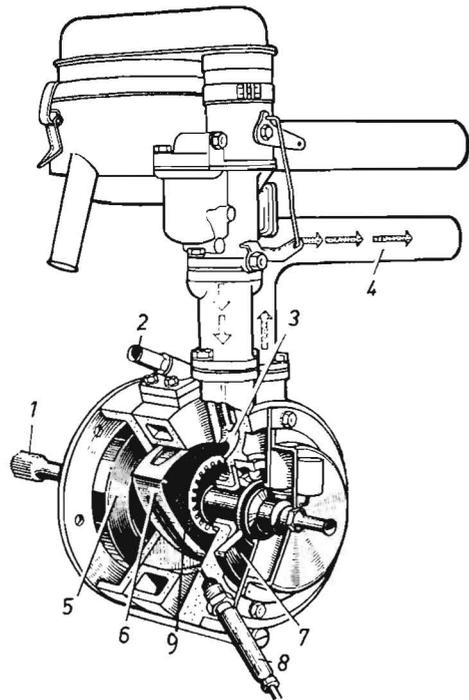
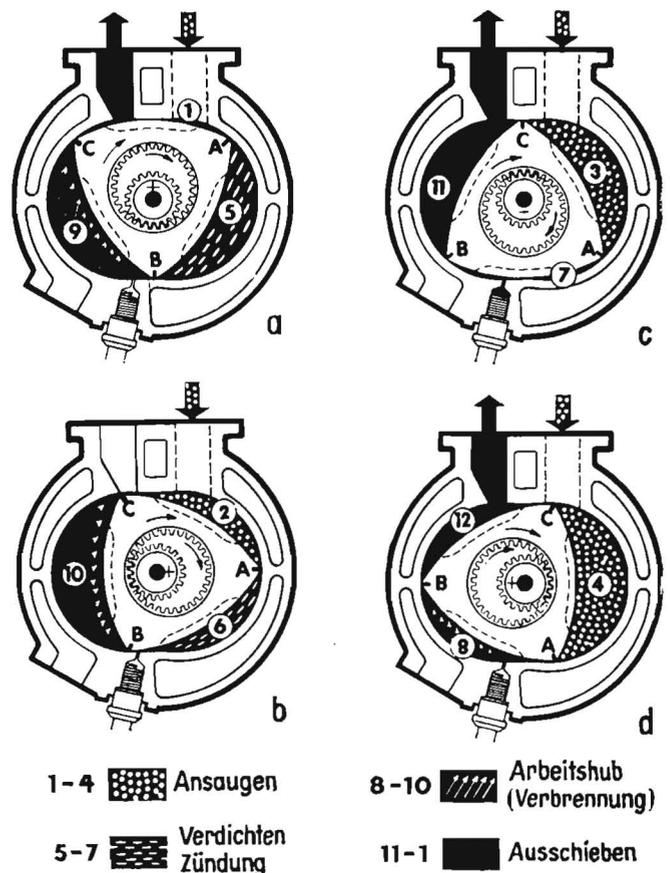


Bild 2: Der NSU-Wankel-Motor

zogen auf 1 l Kammervolumen oder rund 60 PS/l, bezogen auf alle drei Kammern. Der bei etwa 6000 U/min liegende maximale effektive Arbeitsdruck betrug 9,8 kg/cm². Der spezifische Kraftstoffverbrauch lag zwischen 250 und 300 g/PSH. Die ermittelten Luftverhältniszahlen liegen zwischen 0,92 und 1,04. Es wird für möglich gehalten, bei beiden Größen den Kraftstoffverbrauch noch zu reduzieren. Das Trockengewicht der KKM 250 ist bei Gußeisenausführung 33 kg (= 0,75 kg/PS), bei Leichtmetallausführung 22 kg (= 0,5 kg/PS). Das entspricht etwa dem heutigen Leistungsgewicht eines Kolbenflugmotors. Ein luftgekühlter



1-4		Ansaugen	8-10		Arbeitshub (Verbrennung)
5-7		Verdichten Zündung	11-1		Ausschieben

Bild 3: Arbeitsweise des NSU-Wankel-Motors

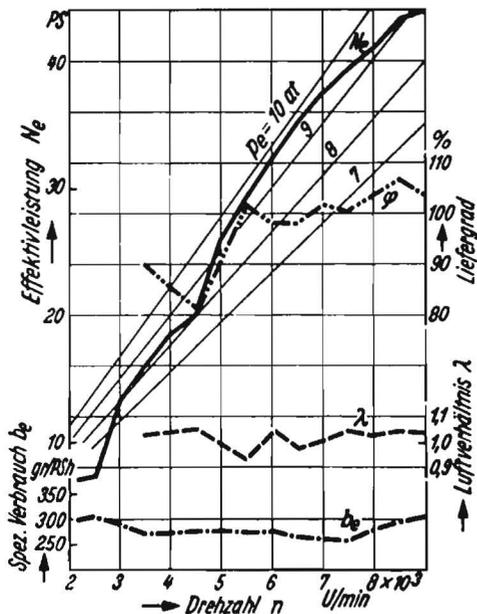


Bild 4: Prüfstandsergebnisse mit der KKM 250 nach Froede [4]

Personenwagenmotor von 30 PS hat 2,8 kg/PS, ein Schlepper-Dieselmotor von 30 PS liegt bei etwa 10 kg/PS. Der Raumbedarf für den NSU-Wankel-Motor ist außerordentlich gering, so daß für seinen Einbau eigentlich der Platzbedarf für die Zubehörteile, wie Ansaugleitung, Vergaser, Auspufftopf usw., maßgebend ist. Zwei 100-Stundenläufe der KKM 250 mit 31 PS bei 5500 U/min bei einem mittleren effektiven Arbeitsdruck von über 10 kg/cm² zeigten keinerlei Anstände. Der spezifische Ölverbrauch lag beim zweiten 100-Stundenlauf ziemlich gleichmäßig hoch zwischen 0,82 und 0,97 g/PSH. Er entspricht etwa demjenigen eines üblichen Viertakt-Ottomotors. Verwendet wurde dabei ein Normalöl SAE 10. Für die Untersuchungen wurde neben normalen Vergaserkraftstoffen auch ein Benzin mit einer Oktanzahl bis herab zu 30 ohne Anstände verwendet.

Die Dichtungselemente

Eines der schwierigsten Probleme, die zu lösen waren, war, wie erwähnt, die Abdichtung des Läufers gegen das Motorgehäuse,

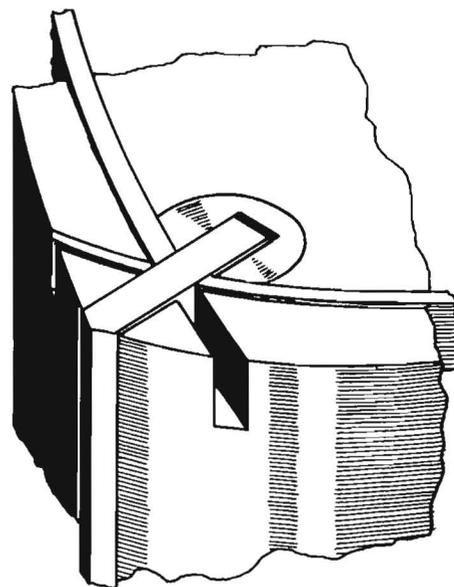


Bild 5: Eckendichtung mit stirnsseitigen Bogenleisten, tangential angeschnittenen Dichtbolzen und einstückigen radialen Dichtleisten

also nach der Trochoide und nach den beiden Stirnflächen des Motorgehäuses. Bild 5 zeigt, wie an jeder Ecke des Läufers zwei seitlich abdichtende Bogenleisten, eine rechteckige radiale Dichtleiste und ein zweimal tangential angeschnittener Dichtbolzen zusammengefügt sind. Die Trochoidenbahn wird bei Ausführung des Gehäuseteilteils aus Gußeisen oder Sphäroguß weich nitriert, bei Leichtmetallausführung mit einer Chromschicht versehen. Es sind Versuche mit Läufern aus Leichtmetall und geschweißtem Stahl gemacht worden. Letztere Ausführung ist überlegen.

Entwicklungsaussichten

Nach Ansicht von Dr.-Ing. FROEDE ist es zur Zeit noch schwierig, über die Entwicklungsaussichten bestimmte Angaben zu machen. Tatsache ist, daß die Prüfstandsversuche mit Kreiskolbenmaschinen zwischen 125 und 1000 cm³ Kammerinhalt bei Benzinbetrieb gute Ergebnisse gebracht haben, die nach der einen oder anderen Richtung noch verbesserungsfähig sein sollen. Die Frage, ob auch Dieselmotoren Verwendung finden können, wurde in München so beantwortet, daß dies wohl möglich sei, wenn das Achsenverhältnis der Trochoide so ausgelegt wird, daß genügend hohe Verdichtung erreicht wird. Die langgestreckte Brennraumform kann für eine gute Flammenausbildung von Vorteil sein.

Der nächstliegende Einsatz der Kreiskolbenmotoren ist nach Ansicht von NSU der Antrieb von Kompressoren, Pumpen, Baumaschinen, also von Maschinen mit konstanter Drehzahl und konstanter Last. Ferner ist er auch geeignet für den Antrieb von kleineren und größeren Flugzeugen (die amerikanischen Flugmotorenfabrik Curtiss Wright hat 1958 die Lizenz erworben). In München wurde auch zum Ausdruck gebracht, daß berechtigte Hoffnungen bestehen, daß der NSU-Wankel-Motor auch im Kraftfahrzeug Eingang finden wird, wobei hier die umfangreichsten Anforderungen gestellt werden. Der Gedanke, ihn auch als Schleppermotor zu verwenden, ist durchaus nicht abwegig; es ist nur die Frage, wie am besten die Getriebeuntersetzung gelöst werden soll. Was den Platzbedarf für den Motor anbelangt, werden wohl die kühnsten Wünsche der Landtechniker erfüllt werden.

AUS DEM FACHSCHRIFTTUM

Rechtschreibung der technischen und chemischen Fremdwörter

von H. JANSEN und L. MACKENSEN. 267 Seiten, VDI-Verlag, Düsseldorf 1959. Preis in Plastikeinband 17.— DM.

Der Verein Deutscher Ingenieure hat zusammen mit der Gesellschaft Deutscher Chemiker das seit langem schon vergriffene Nachschlagewerk von JANSEN neu bearbeitet und herausgegeben. Die letzte Auflage aus dem Jahre 1907 enthielt 9000 Stichwörter, heute sind es 22000 geworden, mit ein Zeichen dafür, wie sich unser technischer Wortschatz vermehrt hat. Es ist also notwendiger als je, ein Nachschlagewerk zu besitzen. Der „Duden“ hat uns schon in vielen Zweifelsfragen geholfen und er hat manches Fremdwort zu einem deutschen werden lassen. Aber gerade bei den Fachwörtern auf dem technischen und chemischen Gebiet brauchen wir einen Ergänzungsband zum Duden. Es handelt sich bei diesem Nachschlagewerk nicht um ein Fachwörterbuch mit Erklärungen, sondern nur um ein Rechtschreibbuch für Fremdwörter. Wer Fachberichte schreibt oder wer an Fachzeitschriften zusammenstellt, wird dem Buch gerne einen Platz auf seinem Schreibtisch einräumen.

Schrifttum

- [1] WANKEL, F., u. W. FROEDE: Bauart und gegenwärtiger Entwicklungsstand einer Trochoiden-Rotationsmaschine. MTZ. 1960. S. 33—45
- [2] SCHMIDT, E.: Die Drehkolbenmaschine, Entstehung einer neuen Bauart des Verbrennungsmotors mit überraschenden Eigenschaften. VDI-Zeitschrift 102 (1960), S. 293—297
- [3] HUBER, E. W.: Thermodynamische Untersuchungen an der Kreiskolbenmaschine. VDI-Zeitschrift 102 (1960), S. 298—314
- [4] FROEDE, W.: Entwicklungsarbeiten an Dreh- u. Kreiskolben-Verbrennungsmotoren. VDI-Zeitschrift 102 (1960), S. 314—322

Artur Seifert