

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Mühlhaus, Werner

Erprobung eines Mehrgang-Getriebes MS 150/2,81-1 für den Schiffsantrieb

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Schifffahrt

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105785>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Mühlhaus, Werner (1961): Erprobung eines Mehrgang-Getriebes MS 150/2,81-1 für den Schiffsantrieb. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Schifffahrt 1. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 157-181.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Erprobung eines Mehrgang-Getriebes MS 150/2,81-1
für den Schiffsantrieb

Ing. W. Mühlhaus

Erprobung eines Mehrgang-Getriebes MS 150/2,81-1 für den
Schiffsantrieb

Ing. W. Mühlhaus

Im Gegensatz zum Frachtschiff mit langen Relationen müssen sich Fischereifahrzeuge, Schlepper, Motorgüterschiffe und teilweise auch Fahrgastschiffe verschiedenen Fahrzuständen anpassen. Sie sollen in der Freifahrt eine hohe Geschwindigkeit besitzen und bei kleinerer Geschwindigkeit eine hohe Schleppleistung aufbringen.

Während bei dampfbetriebenen Fahrzeugen diese Anpassung möglich ist, trifft dies für den heute gebräuchlichsten Antrieb, den Dieselmotor, nicht zu. Der Dieselmotor mit seinem konstanten Drehmoment müßte einen Propeller mit veränderlichem Drehmoment bei verschiedenen Vortriebsgeschwindigkeiten antreiben, was bei gleicher Leistung nicht möglich ist.

Der Propeller hat nämlich bei gleicher Drehzahl und verringerter Geschwindigkeit ein höheres Drehmoment, während der Motor bei einer bestimmten Drehzahl nur ein konstantes Moment abgeben kann. Dieser charakteristische Unterschied hat zur Folge, daß die Drehzahl des Propellers so weit absinkt, bis das Gleichgewicht der Drehmomente wieder hergestellt ist. Mit sinkender Drehzahl bei konstantem Moment fällt aber auch die vom Motor abgegebene Leistung nach der bekannten Beziehung

$$Md = 716,2 \cdot \frac{N}{n}$$

Der Motor arbeitet im Überlastbereich, der spezifische Treibstoffverbrauch pro PS und Stunde steigt an, die thermische und mechanische Beanspruchung des Motors wird erhöht und damit die Gesamtlaufzeit des Motors bis zur Grundüberholung herabgesetzt.

Zur Vermeidung dieser Nachteile und zur Steigerung der Rentabilität des Schiffsbetriebes ist man bestrebt, Einrichtungen des Schiffsantriebes zu schaffen, um die investierte Motorleistung auch bei verschiedenen Fahrzuständen voll zu nutzen.

3 Antriebssysteme sind geeignet und bieten sich zum Einsatz an:

- 1) der Verstellpropeller
- 2) der dieselelektrische Antrieb und
- 3) das Mehrgang-Getriebe.

Mit dem Verstellpropeller ist es möglich, bei gleicher Drehzahl und damit voller Ausnutzung der vom Motor angebotenen Leistung eine Anpassung an alle Fahrzustände innerhalb eines bestimmten Intervalls zu erreichen, das von den Grenzgeschwindigkeiten bestimmt wird. Damit der Verstellpropeller aber einen guten Schub beim Schleppen hat, soll der Durchmesser möglichst groß sein, was unter Umständen ein Untersetzungsgetriebe erforderlich macht. Damit verteuert sich aber eine derartige Anlage und wird kompliziert. Es ist daher zu prüfen, ob es im gegebenen Falle nicht vorteilhafter ist, das Untersetzungsgetriebe zu einem Mehrgang-Getriebe auszubauen und einen Festpropeller zu nehmen.

Der dieselelektrische Antrieb kann bei jeder Belastung stufenlos die volle Leistung an den Propeller abgeben. Dabei läuft der Dieselgenerator mit unveränderter Drehzahl und wird nicht umgesteuert. Die Steuerung des Antriebs wird mit dem Fahrmotor durchgeführt. Der Nachteil dieser eleganten Lösung liegt

- 1) in seinen hohen Anlagekosten und
- 2) in den hohen elektrischen Verlusten zwischen Dieselmotor und Fahrmotor, die außer den bei allen Antriebsarten vorhandenen mechanischen Verlusten noch zusätzlich bis 20 % betragen können, so daß, um gleiche Leistung am Propeller zu haben, eine höhere Leistung investiert werden muß.

Das Mehrgang-Getriebe hat im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Antriebsarten nicht die Möglichkeit der vollen Leistungskonstanz innerhalb eines bestimmten Intervalls. Durch Einschaltung festgelegter Untersetzungsverhältnisse ist es aber möglich, bestimmte Fahrzustände, Freifahrt mit hoher Geschwindigkeit und hohe Schleppleistung bei kleiner Geschwindigkeit

keit, mit voller Ausnutzung der investierten Leistung zu erreichen. In vielen Fällen ist eine stufenlose Anpassung kaum erforderlich. Die Verwendung eines zusätzlichen kleinen Ganges bringt noch insofern eine Verbesserung, als damit Drehzahlen an dem Propeller ohne Rücksicht auf die gebrauchte Leistung eingestellt werden, die ein vorsichtiges und genaues Manövrieren gestatten. Durch die Untersetzung bleibt die Motordrehzahl dabei noch erheblich über der zulässigen Mindestdrehzahl. Bei Auslegung der Propellerdrehzahl unter 100 % der Nenndrehzahl oder der Leistung besteht unter bestimmten Voraussetzungen, über die im späteren Teil des Vortrages noch etwas gesagt wird, die Möglichkeit, eine Steigerung des Motordrehmoments durch automatische Veränderung der Füllung des Motors vom Getriebe her herbeizuführen.

Ein anderer wichtiger Grund, der für die Auswahl der Antriebsart bestimmend sein kann, sind die Anlagekosten. Während der Preis für ein 3-stufiges Mehrgang-Getriebe mit Rückwärtsgang für ein 150 PS-Getriebe auf 10 bis 12.000.-- DM und ein solches für 400 PS auf 20 bis 30.000.-- DM geschätzt werden kann, sind die Anlagekosten für die beiden anderen angeführten Antriebsarten etwa um das Zwei- bis Dreifache höher.

Allen 3 gemeinsam ist aber

- 1) die volle Ausnutzung der investierten Leistung
- 2) Schonung des Antriebsmotors und
- 3) damit die Verlängerung der Lebensdauer der Anlage und des Einsatzes des Schiffes
- 4) Einhalten des günstigsten spezifischen Treibstoffverbrauches
- 5) die Möglichkeit, die Motoranlage durch Verzicht auf die Umsteuereinrichtung zu vereinfachen und Gewicht einzusparen
- 6) weiteres Gewicht dadurch einzusparen, daß auf eine Vielzahl Luftflaschen verzichtet werden kann
- 7) und daraus folgernd eine Reihe wirtschaftlicher

und organisatorischer Vorteile wie Einsparung an Material, Erhöhung der Umläufe pro Jahr u.a.

Beispiele der Anwendung eines Mehrgang-Getriebes bieten sich überall an: So ist die Fahrgastschiffahrt Stralsund daran interessiert, weil sie zur Ausnutzung ihrer Flotte außerhalb der Sommersaison Schleppdienste übernehmen soll; die Fahrgastschiffahrt in Berlin hat Interesse am Einbau leichter, schnellaufender Dieselmotoren, die wegen der bestehenden Vorschriften Geschwindigkeiten zwischen 3 und 18 km/h und deswegen einen großen Drehzahlbereich verlangen; unsere Fischereiflotte, die schnell zu den Fangplätzen gelangen will und am Fangplatz hohe Schleppleistung fordert. Ich darf annehmen, daß bei der DBR ähnliche oder anders geartete Vorstellungen bestehen.

Die erforderlichen Untersetzungsverhältnisse eines Mehrgang-Getriebes sind abhängig von dem Unterschied der gewünschten Grenzgeschwindigkeiten, denn der Drehzahlabfall bzw. der Leistungsabfall ist eine Funktion der Geschwindigkeit. Damit ist auch verbunden, daß das Untersetzungsverhältnis von Schiff zu Schiff jeweils zu bestimmen ist. Diese Möglichkeit ist für ein Getriebe mit bestimmtem Drehmoment durch Änderung der Zähnezahlgewinnungsverhältnisse gegeben. Das Getriebe kann als solches serienmäßig hergestellt werden.

Alle diese Erwägungen regten die Forschungsanstalt an, die Entwicklung eines Mehrgang-Getriebes für Schiffsantriebe einzuleiten.

So wurden in Zusammenarbeit mit der FA von Herrn Obering. Jokl, SKL Magdeburg, 2 Getriebe konstruiert, ein Getriebe für eine Leistung von 180 PS und ein zweites für eine Leistung von 400 PS mit 3 Vorwärts- und einem Rückwärtsgang. Das erste Getriebe wurde für einen Antrieb durch den Motor 6 DV 224 mit 150 PS und einer Antriebsdrehzahl von 750 Um/min bestimmt und erhielt die Bezeichnung MS 150/2,81-1.

2,81 deutet an, daß der erste Gang mit einer Untersetzung von 2,81 : 1 festgelegt ist (Drehzahl 750 : 267).

Die weiteren Untersetzungen betragen:

im 2. Gang	2,36 : 1	Drehzahl 750 : 318
im 3. Gang	2,03 : 1	" 750 : 369
im Rückwärtsgang	2,143 : 1	" 750 : 350

Das 400-PS-Getriebe erhielt die Bezeichnung MS 600/2-1 mit den Untersetzungen

im 1. Gang	2,0 : 1	500 : 250
im 2. Gang	1,81 : 1	500 : 276
im 3. Gang	1,57 : 1	500 : 319
im Rückwärtsgang	1,29 : 1	500 : 386

und ist vorgesehen für den Antrieb durch den Motor 8 NVD 36 mit einer Leistung von 400 PS bei einer Antriebsdrehzahl von 500 U/min.

Das Mehrgang-Getriebe ist ein Stirnradumlaufgetriebe. Vorbild der Konstruktion ist das von SKL Magdeburg entwickelte Schiffswendegetriebe SW 150/22 und SW 150/23, erweitert um 2 Stufen. Die Steuerung erfolgt hydraulisch. Wird ein rechts- oder linksdrehender Motor benutzt, so ist nur eine Änderung der Steuerung erforderlich.

Bild 1 zeigt Ihnen den Aufbau des Getriebes im Längsschnitt.

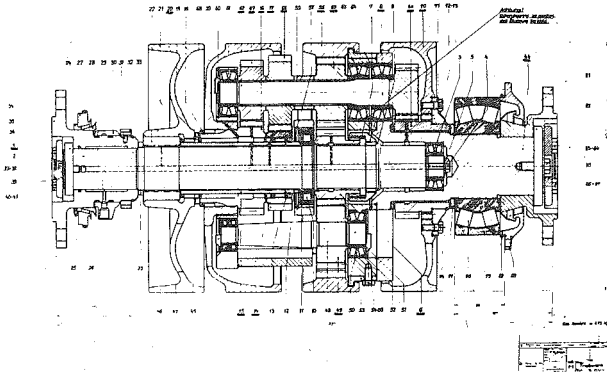


Bild 1

Das Drehmoment wird über die Antriebswelle (1) und über eine Zahnkupplung (8) auf ein Zentralrad übertragen. Über 3 Zwischenräder wird der Kraftfluß auf einen weiteren Radsatz (65) auf eine Ritzelwelle und weiter auf die Abtriebswelle, die im Sinne der Antriebswelle umläuft, geleitet.

Bild 2 zeigt den Querschnitt des Getriebes.

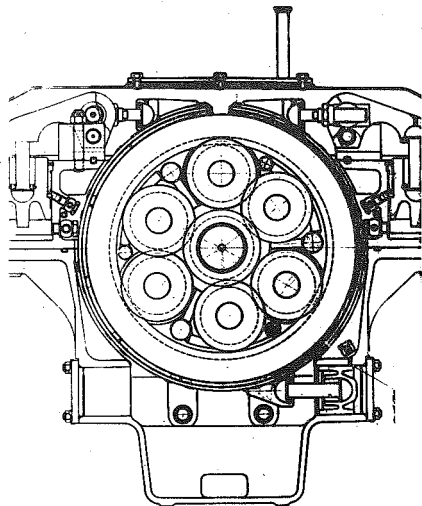


Bild 2

Die Funktion des Getriebes sei am Beispiel des 1. Ganges erläutert:

Die Bremstrommel (70) wird durch Bremsband festgehalten. Dadurch wird das mit der Trommel durch Verzahnung verbundene Zentralrad (69) arretiert. Es wälzen sich nun die 3 Ritzelwellen (62), angetrieben durch die Räder (65), auf dem Zentralrad ab und erteilen der Abtriebswelle eine Drehbewegung im Sinne der Antriebs-

welle. Beim Rückwärtsgang wird die Trommel mit dem Innenzahnkranz festgehalten und die Räder (65) erteilen der Abtriebswelle eine Drehbewegung im entgegengesetzten Sinne der Antriebswelle.

Beim Betrieb irgendeines Ganges bewegen sich die Trommeln der anderen Gänge frei und zentrieren sich in der Verzahnung der Planetenräder.

Die Bremsbänder sind im Leerlauf durch Schraubenfedern zwangsläufig von den Trommeln abgehoben.

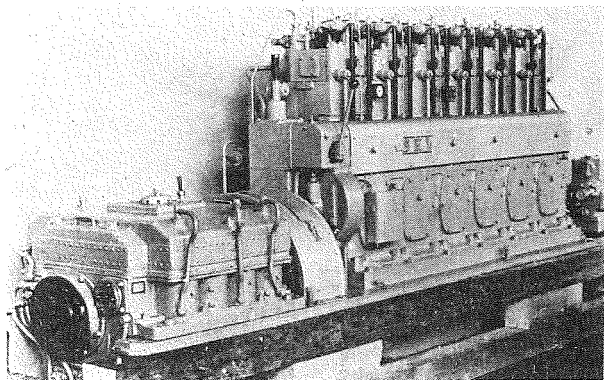


Bild 3

Mehrgang-Getriebe angeflanscht an den Antriebsmotor

Die angebauten Ölpumpen versorgen den Steueröl- bzw. den Schmierölkreislauf und können nach Bedarf umgeschaltet werden. Der Öldruck ist einstellbar.

Der zum Festhalten der Bremsbänder erforderliche Öldruck stellt sich selbsttätig ein und zwar folgendermaßen:

Ist das zu übertragende Drehmoment klein, so überwiegt der Öldruck in den Zylindern A u. C, das bewirkt ein Gleiten des Bandes auf der Trommel und ein Verschieben des Bremsbandes und gleichzeitig ein Verschieben des Kolbens B. Mit dem Kolben B

ist ein Steuerventil verbunden, das ein Fallen des Öldrucks einleitet, bis im ganzen System wieder Gleichgewicht herrscht. Steigt das Drehmoment, so herrscht im Zylinder B Übergewicht und verschiebt das Band nach der anderen Seite, schiebt das Steuerventil so weit zu, bis ebenfalls wieder Gleichgewicht herrscht. Durch die Anordnung der Kolben und die selbsttätige Steuerung wird noch erreicht, daß die Getriebeachse in jeder Laststufe kraftfrei ist. Die Getriebebeschaltung erfolgt über einen Drehschieber, der von der Brücke zu schalten ist. Das Getriebeöl wird durch einen angebauten Ölkühler gekühlt.

Zur Weiterentwicklung des Getriebes ist noch einiges hinzuzufügen:

Die selbsttätige Einstellung des Öldrucks kann man dazu ausnutzen, die bisher von Hand vorzunehmende Umschaltung von einem auf den anderen Gang zu automatisieren bzw. bei vorgegebener Einstellung der Nenndrehzahl auf etwa 90 % eine Erhöhung des zu übertragenden Drehmoments in gewissen Grenzen vorzunehmen.

Verändern sich die Fahrverhältnisse, so verändert sich auch das Drehmoment an der Abtriebswelle und damit der geforderte Öldruck. Koppelt man nun den Öldruck über ein hydraulisch-pneumatisches System mit der Pumpenfüllung des Motors, so kann man auf diese Weise eine Veränderung des abzugebenden Drehmoments in einem festgelegten Bereich innerhalb eines Ganges erzwingen. Kommt dann der Druck über eine bestimmte Höhe hinaus, so kann man mit einer Servoschaltung eine Umsteuerung des Ganges, etwa vom 3. zum 2., automatisch bestimmen. Da der 1. Gang und der Rückwärtsgang als reine Manövriergänge anzusehen sind, so wären diese aus einer automatischen Steuerung auszulassen.

Das Besondere einer derartigen Einrichtung liegt darin, daß neben der Konstanthaltung der Leistung ein weiterer Vorzug sich dadurch ergibt, daß der Schiffsführer sich nur der Navigation widmen und eine Überlastung des Motors, die beim direkten Antrieb trotz aller Versicherungen für das einwandfreie Arbeiten der Regler immer noch mal vorkommt, ausgeschlossen werden kann. Ein Mustergetriebe MS 150/2,81 wurde in Magdeburg gebaut. Es

war in seinen Untersetzungen ausgelegt für den Antrieb und die Verhältnisse eines Schleppers der DBR "Spree". Da sich die Fertigstellung aber aus verschiedensten Gründen nicht rechtzeitig erreichen ließ, wurde das Getriebe nach der Prüfstanderprobung in ein Motorgüterschiff "Hauptstadt Schwerin" zur fahrdynamischen Untersuchung und Dauererprobung eingebaut. Auf die sich daraus ergebenden Folgerungen komme ich noch zu sprechen.

Die Berechnung der Wellen, Zahnräder und Lager wurde den Belastungen entsprechend unter Beachtung der notwendigen Sicherheit, Festigkeit und Fressung vorgenommen. Die Zahnräder sind aus den Werkstoffen 16 Mn Cr 5 hergestellt, gehärtet und geschliffen. Der ermittelte Lebensdauerfaktor für die verschiedenen Wälzlager entspricht einer Lebensdauer von 10 bzw. 40 000 Stunden.

Vor dem Einbau wurde das Getriebe einer Prüfstanderprobung bei 85 % Last in allen Gängen in einem 100-stündigen Lauf ausgesetzt. Der Lauf konnte einwandfrei nach Abänderung einiger Fehler abgeschlossen werden. Eine 4-stündige Erprobung durch Schaltmanöver vom 3. auf den 2., auf den 1. und Rückwärtsgang und in anderen Variationen konnte ohne Beanstandung abgeschlossen werden. Die jeweilige Schaltdauer bis zur Einstellung der konstanten Drehzahl betrug 6 Sekunden. Die Erprobung auf dem Prüfstand wurde mit einem 5-stündigen Kontrolllauf unter Aufsicht der DSRK beendet.

Nach Abschluß der Prüfstandversuche erfolgte der Einbau des Antriebsaggregates in den Versuchsträger MS "Hauptstadt Schwerin". Als Antriebsmotor diente der 6 DV 224 mit einer Leistung von 150 PS bei 750 Umdrehungen pro Minute, als Propeller ein Hohlpropeller der Wageninger Serie B. 3. 50 mit einem Durchmesser von 1,2 m und einem Steigungsverhältnis $H/D = 1,0$. Aus den Schiffsdaten ergab sich nach überschläglicher Berechnung eine Nachstromziffer γ mit 0,43 und eine Sogziffer ν mit 0,29.

Die Verwendung dieses Propellers, da er auf den 2. Gang ausgelegt war, brachte bei Einschaltung des 3. Ganges eine Überlastung

des Motors, so daß die Drehzahl erheblich zurückging. Eine Änderung der Verhältnisse, etwa Auslegung des Propellers auf den 3. Gang bzw. Änderung des Untersetzungsverhältnisses, war jedoch aus Zeitgründen und durch Fertigungsschwierigkeiten nicht möglich, so daß die Versuche unter den gegebenen Verhältnissen durchgeführt wurden. Das, was durch die Versuche gezeigt werden sollte, wurde in allen Fällen durch die Versuchsergebnisse deutlich gemacht.

Gefahren wurde mit leerem, halbabgeladenem und $\frac{3}{4}$ abgeladenem Schiff und bei allen Stufen mit verschiedenem Anhang im freien Wasser, im Kanal und im Strom. Die Füllungseinstellung von der Brücke her wurde durch Einsetzen von 3 verschiedenen starken Nocken auf 3 Einstellungen begrenzt. Allerdings wurde damit der Einfluß des Reglers nicht ausgeschaltet, so daß er je nach Einstellung des Ganges zur Wirkung kommen konnte.

Bei allen Stufen wurden gemessen:

- 1) Drehzahl des Motors
- 2) Abgastemperatur des Motors
- 3) Verbrauch an Treibstoff während der Messung
- 4) die Schiffsgeschwindigkeit
- 5) Drehzahl der Abtriebswelle
- 6) die Öltemperaturen von Motor und Getriebe
- 7) der Öldruck des Motors und der des Steuerölkreislaufes und Schmierölkreislaufes des Getriebes
- 8) der Trossenzug bei Fahrt mit Anhang
- 9) vor Beginn der Versuche durch Schleppen der Widerstand des Schiffes bei den verschiedenen Abladungen.

Aus den Ergebnissen der Messungen, die zur Sicherung der Genauigkeit immer mehrfach erfolgten, wurden die vom Motor abgegebene Leistung, das Drehmoment vor dem Getriebe und an der Abtriebswelle und der stündliche und spezifische Verbrauch errechnet. Diese Werte wurden mit den aus der Propellernachrechnung sich ergebenden Werten in Vergleich gesetzt.

Aus der Vielzahl der Versuche greife ich die Versuchsreihe mit $\frac{3}{4}$ Abladung mit und ohne Anhang heraus und erläutere sie

anhand von Tabellen und Diagrammen.

Bild 4 zeigt Ihnen die gemessenen Widerstandswerte des Schiffes bei 0,53 und 1,75 m Abladung. Da der Schlepper nur eine Geschwindigkeit von 12 km/h hergab, mußten die höheren Werte aus der Rechnung ergänzt werden. Es zeigte sich, daß bei den höheren Geschwindigkeiten die gemessenen Werte höher lagen als die der Rechnung. Es empfiehlt sich also generell eine Bestimmung des Widerstandes durch Versuche.

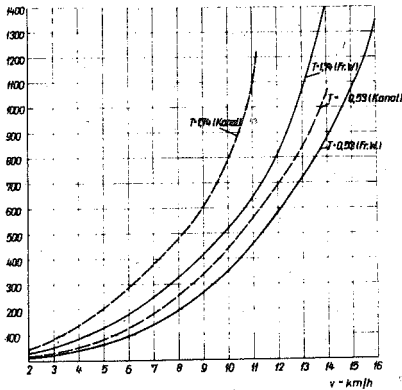


Bild 4

Bei Füllung III im 3. Gang, also bei einer Untersetzung 2,03 : 1, ergaben sich bei einer Abladung von 1,75 im freien Wasser folgende Werte:

Motor DV 224; MS „Hauptstadt-Schwerin“

Fahrt	Getriebe- unter- setzung	Schiffs- geschw.	U·min ⁻¹	Md kg	W PS	Schub S·kg	ermittelt aus
T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 203	12,85	613	168	143	—	Versuch
T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 236	13,30	735	170	170	—	Versuch
T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 281	12,3	785	106	116	—	Versuch

Propeller

T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 203	12,85	302	308	129	—	Versuch
				302	127	1680	Rechnung
T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 236	13,30	312	354	153	—	Versuch
				330	143	1800	Rechnung
T·175 Fr.Wasser Freifahrt	1 281	12,3	279	259	100	—	Versuch

Tabelle 1

Nach Umschalten auf den 2. Gang wurde also bei gleichem Antriebsdrehmoment, unveränderten Widerstandsverhältnissen am Schiff eine Erhöhung der Drehzahl der Schraube, Verbesserung der nutzbaren Leistung an der Welle von 127 auf 143 PS und eine Geschwindigkeitssteigerung um 0,5 km/h erzielt. Der dazu erforderliche Schub stieg von 1680 auf 1800 kg an.

Der Abfall der Leistung im 1. Gang liegt darin begründet, daß das von der Schraube bei 279 Umdrehungen erforderliche Drehmoment erheblich geringer ist und der Regler die Füllung entsprechend einstellt. Der erreichte Schubgewinn, der sich in der Geschwindigkeitserhöhung äußert, beträgt $\sim 8\%$.

Die Belastung der Schraube wurde nun durch Anhang eines Kahnese mit 216 t Ladung erhöht, gleichfalls bei eingestellter Füllung III im 3. Gang. Damit sank die Drehzahl des Motors auf 580 und die Geschwindigkeit auf 7,5 km/h. Bei unverändertem Drehmoment von Motor und Propeller sinkt die übertragbare Leistung von 129 auf 124 PS. (Tabelle 2)

Motor DV 224; MS „Hauptstadt-Schwerin“

Fahrt	Getriebeunter-setzung	Schiffs-geschw.	U-min ⁻¹	Md kg	W PS	Schub S + kg	ermittelt aus
T=175 Fr.Wasser Freifahrt	1:203	12,85	613	168	143	—	Versuch
T=175 Fr.Wasser m.Anhang	1:203	7,5	580	168	138	—	Versuch
T=175 Fr.Wasser m.Anhang	1:236	8,1	715	168	159	—	Versuch

Propeller

T=175 Fr.Wasser Freifahrt	1:203	12,85	302	308	129	—	Versuch
			302	302	127	1380	Rechnung
T=175 Fr.Wasser m.Anhang	1:203	7,5	290	312	124	—	Versuch
			290	310	123	1800	Rechnung
T=175 Fr.Wasser m.Anhang	1:236	8,1	302	343	143	—	Versuch
			302	339	143	1990	Rechnung

Tabelle 2

Nach Umschalten auf den 2. Gang steigt die Drehzahl von Motor und Propeller wieder an und die Leistung auf 159 bzw. 143 PS, der Schub von 1680 kg auf 1990 kg und die Geschwindigkeit von

7,5 auf 8,1 km/h. Somit ergibt sich ein Schubgewinn von 18 % und ein Geschwindigkeitsgewinn von $\sim 8,5$ %.

Der bei Anwendung eines Mehrgang-Getriebes erreichbare Schubgewinn ist abhängig von dem Unterschied der vorgegebenen Geschwindigkeiten und der richtigen Auslegung des Propellers für ein gegebenes Schiff. Er kann zwischen 20, 30 und mehr % betragen. Die Geschwindigkeiten sind dabei abhängig von der Drehzahl bzw. umgekehrt. Bei allen anderen Fahrzuständen bei Füllung III stellen sich ähnliche Verhältnisse ein. Bei konstantem Drehmoment des Motors wird durch die Untersetzung das abgegebene Drehmoment erhöht, und es stellt sich ein Leistungsgewinn ein, der sich entweder als höhere Geschwindigkeit oder erhöhte Schleppleistung ausweist. Im Falle des vorgegebenen Versuchsträgers zwischen 8 und 18 %. Die Differenz zwischen Messung und Rechnung der Werte liegt im allgemeinen innerhalb einer Grenze bis zu 8 %. Dort, wo größere Differenzen aufgetreten sind (bis 10 %), liegen teils ausgesprochene Fehlmessungen vor, die auszuschließen sind, teils ergeben sie sich aus der Annahme von Konstanten bei der Rechnung.

Bei der festeingestellten Füllung II ergibt sich von Gang 1 bis zum 3. eine steigende Tendenz der Propellerdrehzahl und fallende Tendenz der Motordrehzahl, eine Steigerung des übertragenden Drehmoments und ebenso eine Steigerung der Leistung und Geschwindigkeit, da hier durch Einfluß des Reglers eine Erhöhung des Moments bis zur Grenzeinstellung möglich ist.

Interessant ist noch das Ergebnis bei Füllung I im 1. Gang. Bei 127 Umdrehungen des Propellers (1,75 m Abladung) hat das Schiff eine Geschwindigkeit von 6 km/h, und die Motordrehzahl beträgt 357 U/min. Da man die Drehzahl des Motors bis auf $1/3$ der Nenn Drehzahl herabmindern kann, ist es bei Einsatz des 1. Ganges möglich, auf mindestens 95 U/min herabzumindern. Die bei dieser Drehzahl erreichbare untere Geschwindigkeit liegt bei 3,0 - 4 km/h. Die Manövriergeschwindigkeit bei eingeschaltetem Motor und Getriebe kann auf diese Weise sehr klein gehalten werden.

Eine Übersicht über die bei allen Versuchen gefahrenen Leistungen

gibt das Bild 5, das zeigt, daß bei dem vorhandenen Propeller die erforderlichen Leistungen im 3. Gang über 500 U/min im Überlastbereich, im 2. Gang sich der Leistungskurve des Motors angleichen und bei ca. 700 U/min im Überlastbereich liegen. Die geforderten Leistungen im 1. Gang bleiben in jedem Falle unter der vom Motor bei den jeweiligen Drehzahlen abzugebenden Leistungen.

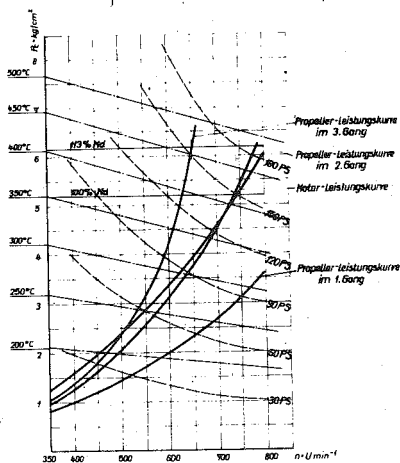


Bild 5

Der mittlere spezifische Treibstoffverbrauch, ermittelt aus allen gefahrenen Versuchswerten, wird durch die Einschaltung des 2. Ganges bei der Freifahrt und der Kanalfahrt um durchschnittlich 4 - 6 g/PSH gegenüber dem Verbrauch im 3. Gang gesenkt. Anders ausgedrückt, bedeutet dies eine Verschiebung der Drehzahlen in den Bereich, in dem der Motor am wirtschaftlich-

sten läuft und den besten thermischen und mechanischen Wirkungsgrad hat (Bild 6).

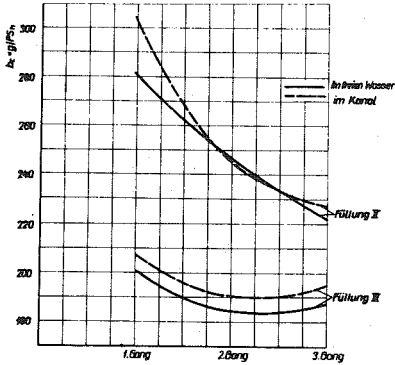


Bild 6

Die gefahrenen Geschwindigkeiten werden in Bild 7 zusammengefaßt und zeigen die Verhältnisse im 2. und 3. Gang bei Füllung III. Fahrdynamisch ist noch interessant, daß bei 3/4-Abladung des schleppenden Schiffes die erreichten Geschwindigkeiten absolut und relativ günstiger sind als die bei halbabgeladenem Schiff.

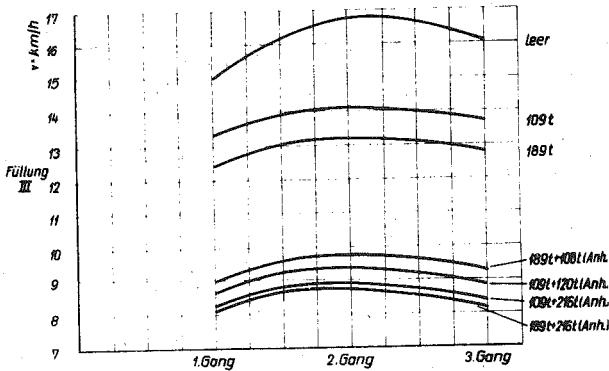


Bild 7

Der Trossenzug bei $\sim 7,5$ km/h steigt nach Umschalten vom 3. auf den 2. Gang von ~ 900 kp auf 1040 kp an.

Die Temperaturen des Getriebeöles kommen auch bei höchster Belastung nicht über 60° C hinaus.

Der Schaltvorgang, der nur durch Drehung eines Servoschiebers von der Brücke mit einem Handrad eingeleitet wird, dauert nur Bruchteile von Sekunden und ist bis zur Einstellung der neuen Drehzahlen am Propeller in ca. 8 Sekunden abgeschlossen. Dabei ist es möglich, von voll-voraus unmittelbar auf voll-zurück zu schalten. Gefährliche Stöße treten dabei nicht auf, da das Getriebe immer im Öl läuft und beim Anlegen des Bremsbandes einen Schlupf zwischen Bremsband und Trommel zuläßt, der in der Schaltzeit dämpfend wirkt.

Andererseits bewirkt das Öl aber bei Leerlauf des Getriebes eine Reibung zwischen Trommel und Bremsband und läßt dadurch eine gewisse Kraftübertragung zu. Diesem Mangel kann man durch

eine Leerlaufbremse begegnen oder man schaltet kurz auf Rückwärtsgang, ehe man Leerlauf einstellt. Grundsätzlich ist aber die Leerlaufbremse vorgesehen.

Das Getriebe soll 10 000 Stunden im Einsatz erprobt werden. Bisher sind etwa 3 000 Stunden ohne besondere Beanstandung gefahren worden.

Er ermittelte Schubgewinn von 18 %, der bei diesem Versuch nach Umschaltung auf den 2. Gang erreicht wurde, ist verhältnismäßig niedrig und ist darauf zurückzuführen, daß der Propeller auf den 2. Gang ausgelegt war und die Differenz der Freifahrt- und Schleppgeschwindigkeit klein war.

Welchen Schubgewinn man erreichen kann, soll an einem Beispiel mit dem MS 600/2-1 gezeigt werden.

Der Propeller soll ausgelegt sein auf den 3. Gang und auf eine Leistung von 90 % der Nennleistung, einer Drehzahl von 100 % und einem Drehmoment von 90 %. Diese Auslegung hat den Vorteil, daß die Maschine mit 100 % Belastung laufen kann, ohne daß das Drehmoment 100 % erreicht. Eine grundsätzliche Schonung der Maschine wird dadurch gewährleistet. Fordert man eine Schleppgeschwindigkeit von 7,0 km/h und eine Freifahrtgeschwindigkeit von 18 km/h, so ergeben sich folgende Werte:

Motor: 8 DV 136 Propeller ausgelegt auf 90% der Leistung

Fahrt	U/min	rpm	WPS	U/min	Md	WPS	Schub	Unter- setzung
Freifahrt 18 km/h	500	516	360	320	760	340	3200	1:157
Schlepp 70 km/h o. Mehrg.	400	516	288	255	760	270	3760	1:157
Schlepp 70 km/h m. Mehrg.	459	450	288	255	760	270	3760	1:181
Schlepp 70 km/h m. Mehrg.	500	516	360	276	885	340	4300	1:181
bei 100% Leistung 73 km/h	518	555	400	287	940	376	4590	1:181

Tabelle 3

Schubgewinn $\sim 35\%$ bei 90%iger Ausnutzung der investierten Leistung.

Bei noch höherem Leistungsbedarf (100 %) kann durch Erhöhung der Drehzahl auf $518 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$ (103,5 %) ein Schub von 4590 kp (44 %) erreicht werden.

Das gleiche Ergebnis kann mit einem Verstellpropeller gewonnen werden, wenn man bei konstanter Antriebsdrehzahl und einer Umdrehung von 1,57 : 1 das Steigungsverhältnis von 0,86 auf 0,7 abändert. Eine weitere Verringerung des Verhältnisses ist in dem gegebenen Falle wegen des Propellerwirkungsgrades nicht möglich.

Die Notwendigkeit, den Schiffsbetrieb rentabel zu gestalten durch volle Ausnutzung der investierten Leistung, hat überall befruchtend auf die Untersuchung derartiger Antriebsaggregate und deren Anwendung gewirkt. So hat die Schiffbau-Versuchsanstalt Hamburg den Einsatz eines Getriebes in einem Fischereifahrzeug untersucht und Rechnung und Versuche miteinander verglichen, die im Prinzip übereinstimmen. Hier das Ergebnis:

Steigerung des Schubes um	59 %	bei konstanter
" " Momentes um	30 %	Leistung

und Geschwindigkeitssenkung von 14,0 auf 3,4 kn.

Niedrigste Drehzahl bei einer Motordrehzahl von 125 U/min = 35 U/min am Propeller. Manövrierfähigkeit dadurch differenzierter beim Halten des Netzes. Der hohe Schubgewinn ist ein Ausdruck der Differenz der Geschwindigkeiten.

In Belgien hat A. Chardome, Direktor einer Schiffswerft, den Antrieb eines Trawlers durch ein Mehrgang-Getriebe mit dem durch einen Verstellpropeller, durch den dieselektrischen Antrieb und den Vater-und-Sohn-Antrieb rechnerisch gegenübergestellt und die Fahrversuche mit der Rechnung verglichen.

Unter der Annahme, daß für jede der Antriebsarten 2 Motoren a 500 PS und 500 Umdrehungen vorgesehen sind, stehen sich fol-

gende Ergebnisse gegenüber:

Freifahrt (bei 14,1 kn)					Schleppen bei 3,5 (konstant)				
Antrieb	U·min ⁻¹ n	PS	Schiffsg. V = kn	Unter- setzung	U·min ⁻¹ n	PS	Md	Schub- S = kg	Unter- setzung
Vater u. Sohn 750+250 PS	145	900	14,1	1:3,45	103	640	4440	9525	1:3,45
Mehrgangg. 500+500 PS	145	900	14,1	1:3,45	120	845	5050	11565	1:4,7
Verstellprop. 500+500 PS	150	900	14,1	1:3,45	150	900	4300	12225	1:3,45
Dieselelektr. Antrieb 500+500 PS	138	750	13,7	1:3,6	103	750	4950	10650	1:3,6

aus Hansa 46/48, 1953 (A. Chardome)

Tabelle 4

Von den 1 000 PS können bei Annahme von 10 % Verlust in Welle und Getriebe 900 PS an der Welle genutzt werden:

Untersetzung des Getriebes bei Freifahrt	3,45 : 1
" " " " Schleppfahrt	4,7 : 1
Schubgewinn beim Antrieb Verstellpropeller	53 %
" " " Mehrgang-Getriebe	45 %
" " " dieselelektrisch	33 %
" " " Vater u. Sohn	20 %.

Im Bild 8 sind die sich ergebenden Werte graphisch dargestellt

und deutlich vergleichbar gemacht:

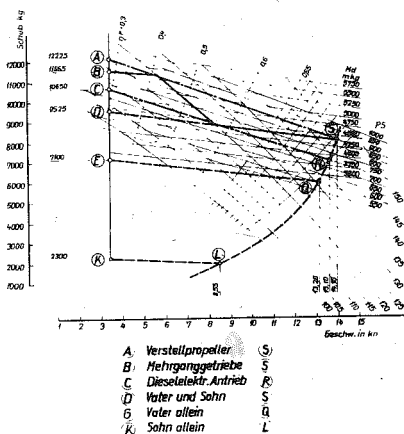


Bild 8

Der Schraubenschub des Verstellpropellers ist um 8 % höher als der des Mehrgang-Getriebes. Diese Differenz kann evtl. ausgeglichen werden, wenn ein Untersetzungsverhältnis von 500 : 115 anstatt 500 : 120 gewählt wird.

Das Mehrgang-Getriebe hat gegenüber dem Vater-und-Sohn-Antrieb einen um 25 % höheren Schub und gegenüber dem dieselektrischen Antrieb von 12 %.

Dabei bleibt beim Verstellpropeller und beim dieselektrischen Antrieb die an der Welle zur Verfügung stehende Leistung gleich. fällt beim Antrieb Vater und Sohn um 40 % und beim Mehrgang-Getriebe um 6 % bei einer Untersetzung 4,7 : 1.

Die Möglichkeiten, die die Anwendung eines Mehrgang-Getriebes im Schiffsbetrieb bietet, seien nochmals kurz zusammengefaßt:

- 1) Schubgewinn und volle Ausnutzung der investierten Leistung bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Belastungen des Propellers;
- 2) einfacherer Aufbau des Motors und der Hilfsanlagen;
- 3) Schonung der Maschine durch Konstanthalten der Drehzahl und Wegfall des Umsteuervorganges, damit Erhöhung der Lebensdauer der Maschine;
- 4) Erhöhung der Geschwindigkeit bei konstanter Propellerbelastung;
- 5) Fahren der Maschine bei verschiedenen Fahrzuständen im Bereich des günstigsten spezifischen Verbrauchs.

Ein Einwand gegen das vorliegende Getriebe muß noch erwähnt werden. Abmessungen des Getriebes (MS 150/2,81: 937 mm lang und 800 mm hoch, MS 600/2-1: 1630 mm lang, 1050 mm hoch) und das Gewicht (1 000 bzw. 3 000 kg) werden als ungünstig bezeichnet, da sie Raumverlust für die Ladung und Gewichtserhöhung bedeuten.

Auch hier sind schon konkrete Vorstellungen für eine Verbesserung durch Anbau eines Vorsatzschaltgetriebes vorhanden, wodurch die Abmessungen und das Gewicht vermindert werden können.

Ich hoffe, Ihnen mit meinen Ausführungen den Sinn und den Wert der Anwendung von Mehrgang-Getrieben verständlich gemacht zu haben.

Es kommt nun nur noch darauf an, die Möglichkeiten auch zu nutzen, unter Umständen generell zu nutzen, da doch zu erwarten ist, daß auch bei uns die Gewichts- und Raumvorteile schnelllaufender Dieselmotoren in absehbarer Zeit bei der Projektierung von Antriebsanlagen beachtet und genutzt werden.

D i s k u s s i o n

Herr Dipl.-Ing. Grötschel vom Institut für Schiffbau, Rostock, ging nochmals eingehend auf die Fragen der Kosten, des Gewichts und der Abmessungen des besprochenen Mehrgang-Getriebes ein und kam zu dem Schluß, daß ein derartiges Getriebe im Vergleich mit einem normalen Wendegetriebe für Anlagen, bei denen ein Getriebe unbedingt erforderlich ist, kostenmäßig günstig, gewichts- und abmessungsmäßig zu verbessern sei. Er brachte Vergleiche mit westdeutschen Getrieben (Fa. Renk). Des weiteren beleuchtete er die Situation des Interesses für derartige Getriebe in Schiffahrtskreisen des In- und Auslandes. Hier neige die Tendenz, z.B. in den nordischen Ländern, sich anscheinend mehr dem Verstellpropeller zu. Im Inland seien Forderungen nach derartigen Getrieben noch nicht zwingend erkennbar. Er weise aber darauf hin, daß sich die in Frage kommenden Stellen (Fischkombinate, DBR u.a.) mit dem Problem gründlich auseinandersetzen sollten, um die doch ins Auge springenden Vorteile zu nutzen, nämlich dort, wo man sich so oder so zur Anwendung eines Getriebes, aus welchen Gründen auch immer, entschlossen hat oder gezwungen ist.

Herr Dipl.-Ing. Schönknecht, Kom. Abteilungsleiter der DBR, Berlin, beleuchtete die spezifischen Probleme, die sich für eine Binnenschiffsreederei bei der Auswahl der Antriebsanlagen ergeben. Die Ausnutzung der investierten Leistung sei durch die verschiedenen Wasserverhältnisse nicht gegeben, auch dann nicht, wenn verschiedene Belastungsstufen berücksichtigt wurden. Die Anwendung eines Verstellpropellers bzw. als Alternative die eines Mehrgang-Getriebes sei also in solchen Fällen durchaus zweckmäßig. Jedoch ständen dem Einsatz eines Mehrganggetriebes infolge seines Raumbedarfs Schwierigkeiten gegenüber, die zu bedenken seien: Raumverlust für die Fracht infolge Verlegung des Schottes um 1,5 m, der bei Anwendung eines Verstellpropellers nicht ins Gewicht fällt. Allerdings sei bei Einbau von schneller laufenden Motoren die Verwendung von Mehrganggetrieben diskutabel, jedoch müßte man dann die angedeutete neue Konstruktion (leichter und kleiner in den Abmessungen) in Erwägung ziehen. Eine Anwendung bei den zur Zeit im Bau befindlichen Motorgüterschiffen sei unmöglich aus Gründen des Verlustes von Frachtraum und der Schwierigkeit, Verstellpropeller oder Mehrganggetriebe zu erhalten.

Bei Einsatz von schnellaufenden Maschinen müsse man wegen der Vereinfachung und Schonung des Motors das Problem der Verwendung von Mehrganggetrieben erneut prüfen.

Herr Bradler, SKL Magdeburg, Vertreter des Konstrukteurs des Mehrganggetriebes, Oberring. Jokl, ging in seinen Ausführungen auf die Mängel ein, die dem Mehrganggetriebe zur Zeit noch anhaften:

1. relativ großer Raumbedarf und
2. feststehendes Untersetzungsverhältnis, nachteilig

für den Bau von Seriengetrieben.

Herr Bradler wies darauf hin, daß alle Getriebe, ob Umlauf- oder Standgetriebe, den Raum benötigen. Man erwäge, den Raum dadurch zu verkleinern, daß das nur mit einem Vor- und Rückwärtsgang ausgestattete Umlaufgetriebe durch ein angebautes Vorsatzregelgetriebe ausgestattet wird. Dadurch wird es möglich sein, der Abtriebswelle Drehzahlen in einem größeren Grenzbereich zu vermitteln. Die Möglichkeit, eine solche Anlage als Schaltgetriebe und stufenlos regelbares Getriebe zu bauen, ist gegeben.

Voraussetzungen, das Untersetzungsverhältnis zu variieren, könnten in gewissen Grenzen konstruktiv geschaffen werden; das hängt von den Forderungen ab, die von der Serie erwartet werden. Am zweckmäßigsten ist die Stufung einer Getriebereihe nach dem geforderten Drehmoment.