

Dieselhydraulische Lokomotiven im Verschiebedienst

Von Oberingenieur A. NEUMANN, Wildau, und
Oberingenieur F. KUGEL, Heidenheim (Brenz)

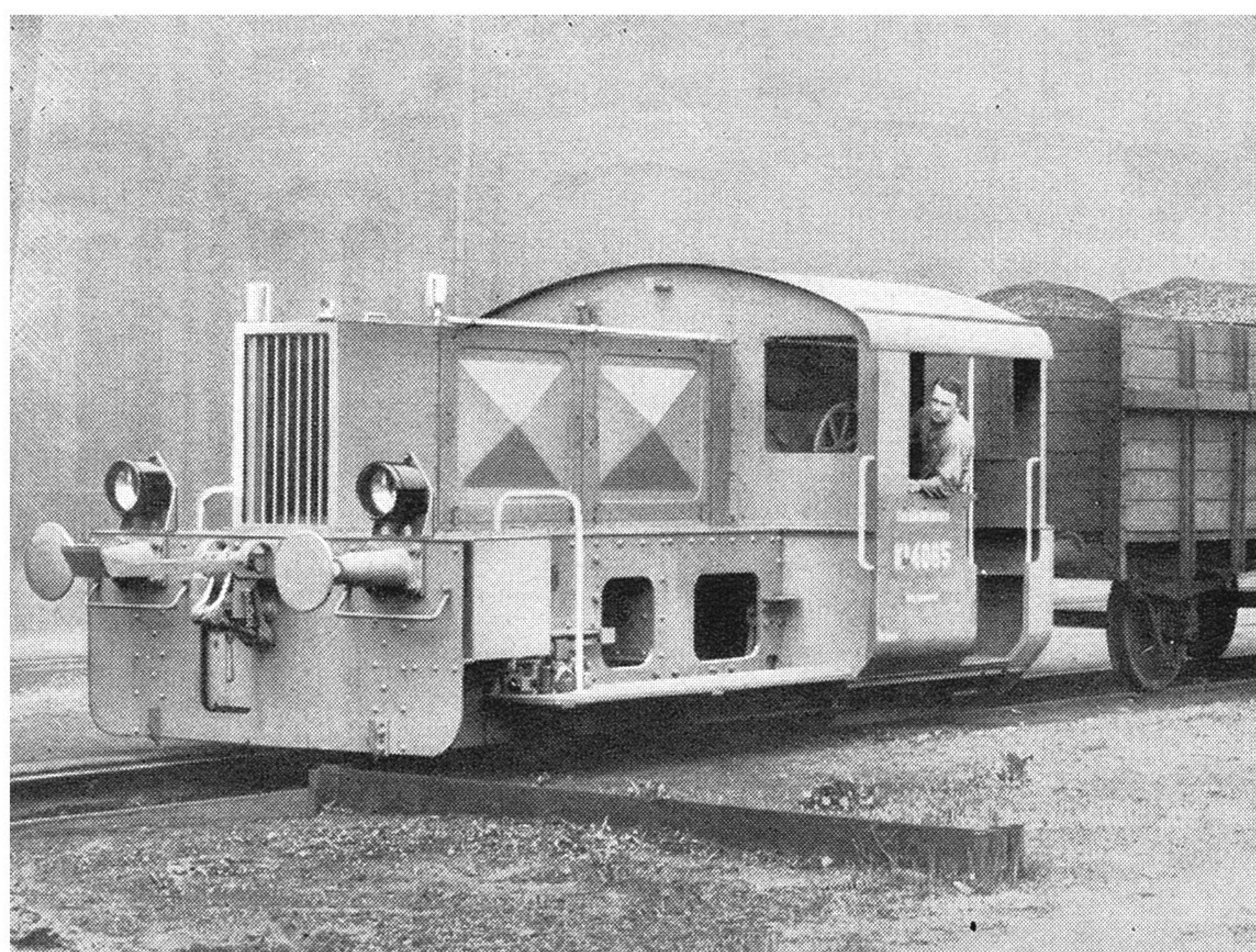


Bild 1: Einheits-Motor-Kleinlokomotive, Leistungsgruppe II, der Deutschen Reichsbahn im Verschiebedienst

Sonderdruck aus der Zeitschrift
„Die Lokomotive“, März 1941



J.M.Voith G.m.b.H., Maschinenfabrik, Heidenheim (Brenz)

Dieselhydraulische Lokomotiven im Verschiebedienst

Von Oberingenieur A. NEUMANN, Wildau, und Oberingenieur F. KUGEL, Heidenheim (Brenz)

Entwicklung der Motorverschiebe-Lokomotive

Die betriebliche und wirtschaftliche Bewährung der Motor-Lokomotive kleinerer Leistung, insbesondere im Verschiebedienst, kann heute als erwiesen gelten, nachdem bei der Deutschen Reichsbahn seit mehreren Jahren mehr als 1200 Motor-Lokomotiven mit Erfolg in Betrieb sind und auch maßgebende Industriewerke für ihre umfangreichen Werksanlagen und Anschlußgleise derartige Lokomotiven in großer Stückzahl eingesetzt haben.

Die Bauart der modernen Verschiebe-Lokomotive geht auf Entwicklungsarbeiten zurück, die im Jahre 1927 für die Niederländische Staatsbahn, kurze Zeit später aber auch für die Deutsche Reichsbahn durchgeführt wurden. Für die konstruktive Durchbildung waren folgende Gesichtspunkte maßgebend: 1. Einmann-Bedienung durch ungelerntes Personal, um Rangierer als Lokomotivführer einsetzen zu können; 2. beiderseitige Bedienungsstände mit der Möglichkeit, diese schnell wechseln zu können, um dem Bediener gute Streckenübersicht bei allen Rangiervorgängen zu verschaffen; 3. Anordnung einer selbsttätigen Zug-Hakenkupplung, um ohne Verlassen des Bedienungsstandes bei der Verschiebearbeit Waggon nach Bedarf kuppeln und entkuppeln zu können.

Diese Lokomotive, erstmalig gebaut von der Berliner Maschinenbau-Actien-Gesellschaft vormals L. Schwartz-

kopff, deren charakteristisches Aussehen der zwischen den Achsen tief durchgekröpfte Rahmen ist, um die beiden Bedienungsstände an den Längsseiten der Lokomotive wechseln zu können, bewährte sich im normalen Rangierdienst gut, so daß innerhalb kurzer Zeit mehrere Lokomotiven nachgeliefert wurden. Die Deutsche Reichsbahn griff den Gedanken auf, dieses Spezialfahrzeug auf Unterwegsbahnhöfen einzusetzen, um damit die Zuglokomotive der Güterzüge zu entlasten und den Güterverkehr zu beschleunigen (s. Galle und Witte: Die Kleinlokomotive im Rangierdienst auf Unterwegsbahnhöfen der Deutschen Reichsbahn). Nachdem die Reichsbahn mit verschiedenen Firmenbauarten Versuche gemacht hatte, um Erfahrungen über die Eignung und Wirtschaftlichkeit der Motor-Lokomotive zu sammeln, wurde auf ihre Anregung hin im Jahre 1932 in einer „Arbeitsgemeinschaft für Motor-Kleinlokomotiven“, der maßgebende deutsche Lokomotivfabriken angehören, die „Einheits-Kleinlokomotive Leistungsgruppe II“ entwickelt, die, mit einem 60-PS-Otto- bzw. Dieselmotor und einem vierstufigen mechanischen Lamellenkupplungsgetriebe — Geschwindigkeiten 5—10—15—30 km/h — ausgerüstet, sehr bald in großen Stückzahlen beschafft wurde und heute, auf vielen Bahnhöfen des Reiches eingesetzt, ein gewohntes Bild im normalen Reichsbahnbetrieb geworden ist.

Bei dieser Einheitsbauart ist der Bedienungsstand und

damit die Rahmenkröpfung ans Ende des Fahrzeuges verlegt und als geschlossene Umhüllung ausgeführt, um dem Bediener möglichst Schutz vor Witterungs-unbilden zu verschaffen. Dank ihrer leichten Bedienbarkeit führten sich die Lokomotiven sehr schnell ein und wurden ein nicht mehr entbehrliches Hilfsmittel für Unterwegsbahnhöfe, um Rangierarbeiten schnell und unabhängig von der Zuglokomotive erledigen zu

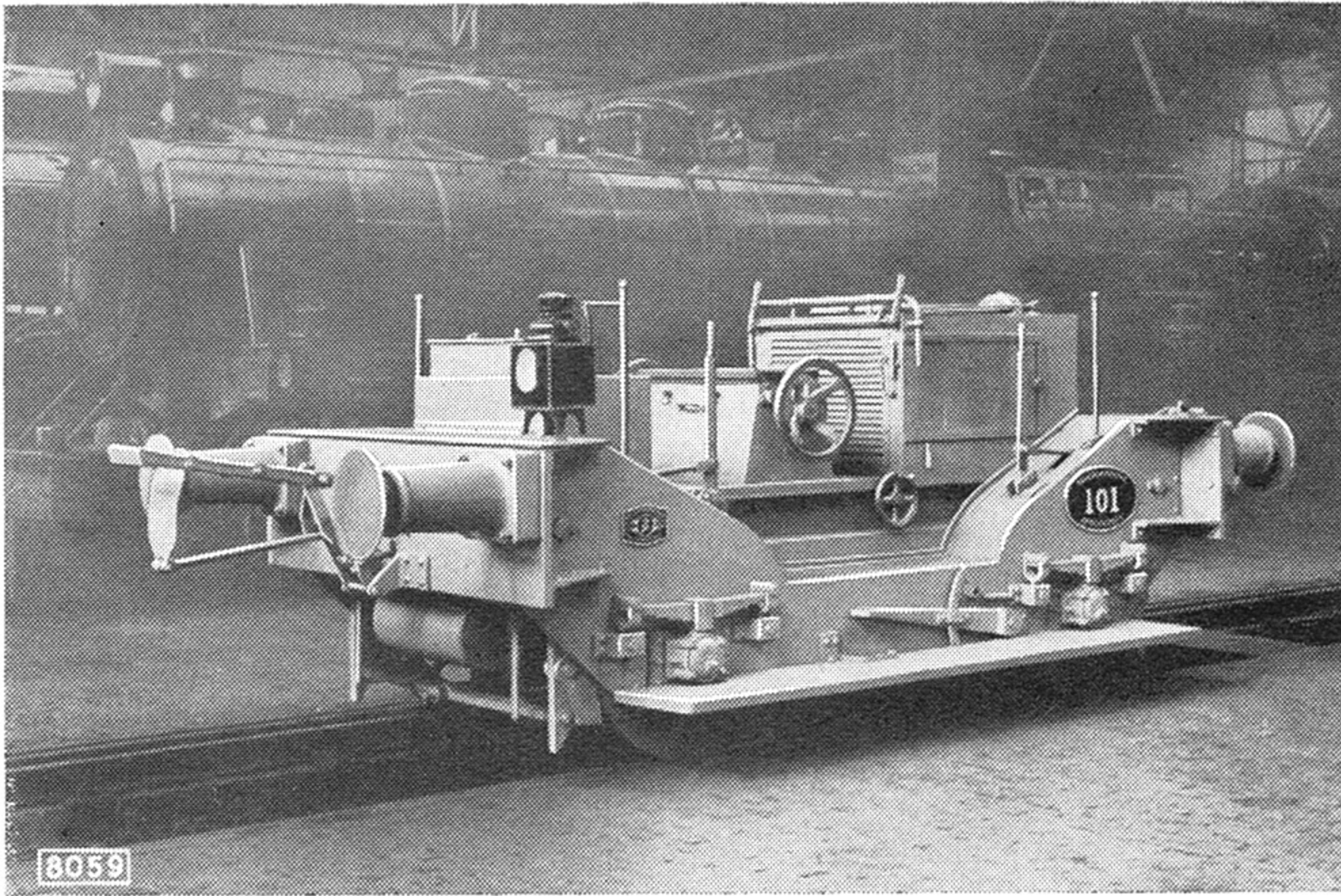


Bild 2: Lokomotor für die niederländische Staatsbahn

können. Für Bahnhöfe mit nur geringem Rangierverkehr wurde kurze Zeit später eine zweite Type, die Leistungsgruppe I, mit einer Motorleistung von 40 PS mit dreistufigem Getriebe und den Geschwindigkeiten 4—8—18 km/h entwickelt, deren Konstruktionsmerkmale im übrigen die gleichen wie die der Leistungsgruppe II sind.

Auch Industriewerke und sonstige Anschlußgleisbesitzer erkannten bald die Vorteile der Motor-Lokomotive mit ihrer sofortigen Betriebsbereitschaft, der Einmann-Bedienung und den niedrigen Brennstoffkosten, so daß heute vielfach die Rangierarbeiten nicht mehr durch Dampf-, sondern durch Motor-Lokomotiven ausgeführt werden.

Auf Grund dieser Erfahrungen stiegen die Anforderungen, die an die Leistungsfähigkeit der Motor-Rangierlokomotive gestellt wurden, sehr schnell. Der Weiterentwicklung waren jedoch zunächst technische Grenzen gesetzt, insofern, als bei größeren Leistungen das mechanische Getriebe zwischen Motor und Lokomotivachse, das zur Umformung des gleichförmigen Motordrehmomentes in eine für den Lokomotivbetrieb geeignete Drehmomentcharakteristik erforderlich ist, eine Vielzahl von Kupplungen und außerdem Öl- oder Druckluftsteuerungen benötigt, durch die der Aufbau des Getriebes und damit der ganzen Lokomotive stark kompliziert wird. Abgesehen hiervon wird es mit steigender Leistung naturgemäß auch immer schwieriger, die für die hohen Anfahrzugkräfte benötigten, entsprechend groß zu dimensionierenden Kupplungen konstruktiv zu beherrschen und unterzubringen, so daß Leistungen von 300—400 PS überhaupt als äußerste Grenze für die Verwendung mechanischer Getriebe anzusprechen sind.

Von hier ab beherrschte bisher die dieselektrische Übertragung das Feld, die jedoch infolge ihres vierteiligen Antriebsaggregates größere Gewichte und höheren Anschaffungspreis bedingt und damit die Möglichkeit wirtschaftlichen Einsatzes verringert.

Diese Schwierigkeiten sind nunmehr überwunden, nachdem sich in mehrjährigen Erprobungen gezeigt hat, daß das hydrodynamische Getriebe, dessen Bau auch für größte Leistungen ohne Schwierigkeiten durchführbar ist, als Kraftübertragungsmittel für Lokomotiven gut geeignet ist.

Dieses Getriebe ist aus dem bei Eisenbahnfahrzeugen dringenden Bedürfnis nach einer einfachen, betriebssicheren und wirtschaftlichen Kraftübertragung zwischen Verbrennungsmotor und Treibachse entstanden. Es wurde als Lokomotivgetriebe erstmalig durch zwei für die Deutsche Reichsbahn von der Berliner Maschinenbau - Aktien - Gesellschaft vormals L. Schwartzkopff entwickelte 65-PS-Versuchslokomotiven bekannt. Diese mit Ausnahme des Getriebes der Einheitsbauart entsprechenden Lokomotiven sind seit den Jahren 1934/35 in Betrieb, stellen also eine Weiterentwicklung der Einheitslokomotiven dar und haben sich ausgezeichnet bewährt, so daß das Einheitsgetriebe heute nicht mehr eingebaut wird, sondern zum größten Teil durch das von der Firma J. M. Voith, Heidenheim, entwickelte hydraulische Getriebe ersetzt wird.

Die hydraulische Kraftübertragung

Beim Voith-Turbogetriebe handelt es sich um ein Strömungsgetriebe, bei dem zur Kraftübertragung die Massenkräfte einer Flüssigkeit benutzt werden, die im leistungsaufnehmenden Teil, einer Kreiselpumpe, durch Beschleunigung, und im leistungsabgebenden Teil, einer Turbine, durch Verzögerung einer Flüssigkeitsmasse entstehen. Die Entwicklung der Strömungsgetriebe geht auf die grundlegenden Arbeiten des deutschen Ingenieurs Prof. Dr.-Ing. Föttinger zurück, dessen Erfindung im wesentlichen darin bestand, daß er die an sich bekannten Elemente, wie Kreiselpumpe und Wasserturbine, so eng zueinander anordnete, daß Rohrleitungen, Spiralgehäuse usw. wegfielen und so unter weitgehender Erhaltung der Austrittsenergie aus den einzelnen Schaufelrädern, durch die Verkürzung der Strömungswege und Verringerung der Reibungsverluste usw. sich brauchbare Wirkungsgrade in der Größenanordnung von 80—85 % im Scheitel ergaben.

Auf Grund umfangreicher Erfahrungen in der Strömungstechnik, über welche die Firma Voith als führende Turbinenfabrik verfügt, war es in enger Zusammenarbeit mit führenden Fahrzeugfirmen, insbesondere der Lokomotivfabrik Schwartzkopff, möglich, im Voith-Turbogetriebe eine Kraftübertragung zu schaffen, welche die fahrtechnischen Vorzüge der elektrischen Übertragung mit den wirtschaftlichen Vorteilen der Zahnradgetriebe vereinigt.

Als Elemente der Strömungsgetriebe sind der Drehmomentwandler und die Strömungskupplung zu betrachten. Die Drehmomentwandlung hat grundsätzlich zur Voraussetzung, daß außer dem leistungsaufnehmenden und -abgebenden Glied noch ein drittes vorhanden ist, das die Differenz der Drehmomente aufnimmt. Bild 3 zeigt einen Strömungswandler in einfachster Form, bestehend aus einer Kreiselpumpe, einer Turbine und einem feststehenden Leitrad, wobei alle 3 Teile, eng zusammengebaut in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. Der Motor treibt durch das Pumpenrad die Flüssigkeit in geschlossenem Kreislauf durch die Schaufelräder des Wandlers. Durch die Umlenkung der Flüssigkeitsströmung in den Schaufelkanälen der Laufräder entstehen Massenkräfte, deren

in die Umfangsrichtung fallende Komponenten als Drehmomente an der An- und Abtriebswelle und im Leitrad in Erscheinung treten. Unter Annahme gleichbleibender Pumpendrehzahl ergeben sich beim Durchlaufen der verschiedenen Betriebszustände des mit der Treibachse des Fahrzeuges verbundenen Turbinenrades vom Anfahren bis zur vollen Geschwindigkeit verschieden große Änderungen der Bewegungsgeschwindigkeit der Flüssigkeitsmasse und dadurch mit der Fahrgeschwindigkeit wechselnde Drehmomente, wie dies aus Bild 3 ersichtlich ist. Beim Anfahren wird

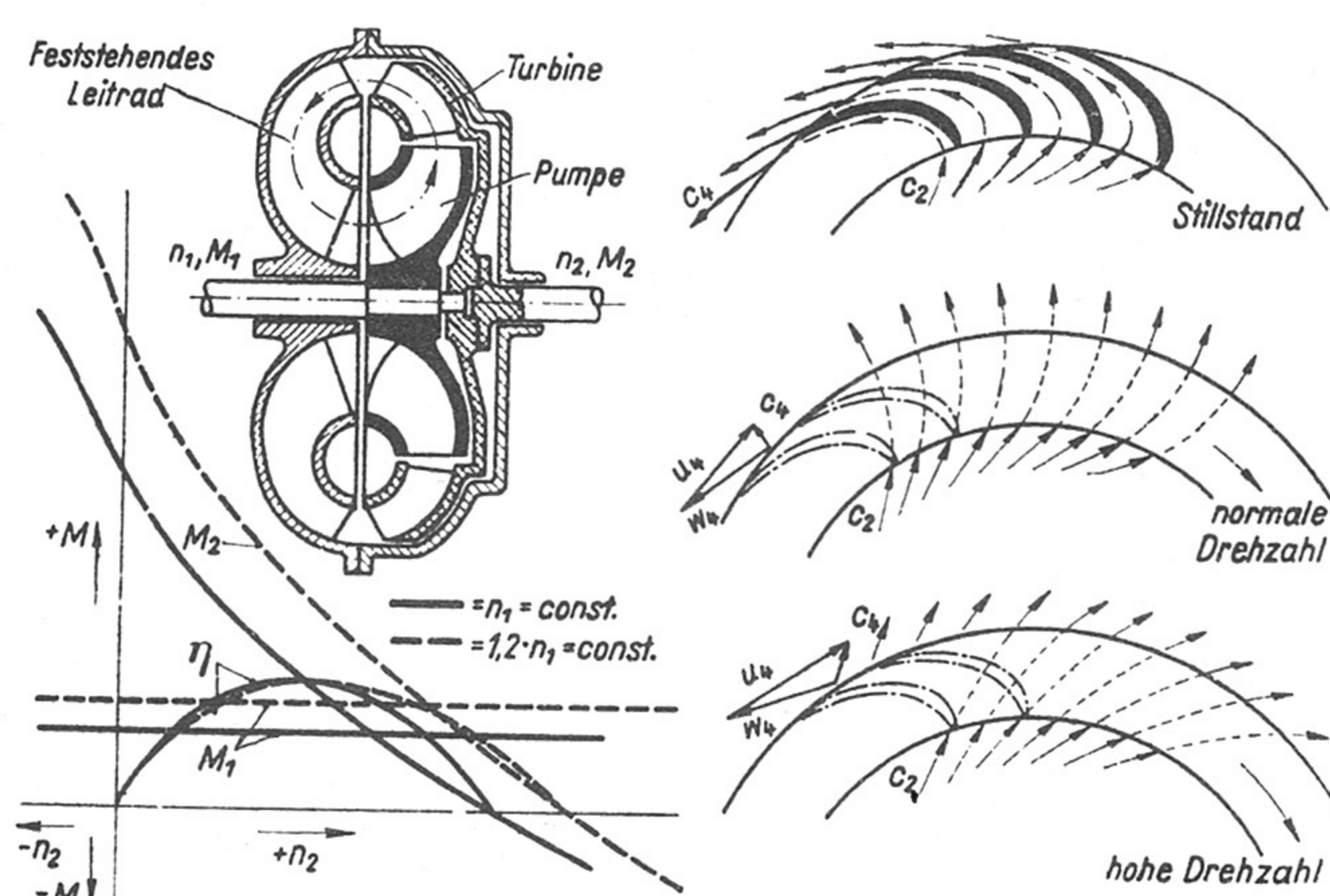


Bild 3: Drehmomentwandler

eine gewisse Flüssigkeitsmasse in der Sekunde unter einem bestimmten Winkel zum Umfang gegen das zunächst noch stillstehende Turbinenrad getrieben, welches die Flüssigkeit in Richtung der Schaufelenden in einer stark entgegen der Drehrichtung umgelenkten Richtung wieder verläßt. Dementsprechend wird auf das Turbinenrad ein sehr großes Drehmoment ausgeübt, das bei geeigneter Ausführung ein Vielfaches des Drehmomentes an der Pumpe beträgt. Infolge dieses Drehmomentes beginnt sich das Turbinenrad zu drehen, wodurch den austretenden Flüssigkeitsteilchen noch die Umfangsgeschwindigkeit des Turbinenrades erteilt wird. Mit zunehmender Drehzahl des Turbinenrades nimmt also die Umlenkung und damit das Drehmoment stetig ab, bis es schließlich bei der sogenannten Durchgangsdrehzahl zu Null wird.

Eine höhere Drehzahl als die Durchgangsdrehzahl ist, solange die Motordrehzahl gleich bleibt, nur durch Antreiben des Turbinenrades möglich, da nunmehr die Flüssigkeit in letzterem beschleunigt werden muß. In diesem Bereich wirkt der Wandler als Bremse. Greift am Turbinenrad ein größeres Drehmoment an, als es der Wandler bei Stillstand des Turbinenrades erzeugen kann, so dreht sich dieses rückwärts; der Wandler wirkt in diesem Bereich als Gegenbremse.

Der Verlauf der Drehmomentlinie in Bild 3 zeigt, daß auch trotz starkem Wechsel des Abtriebsmomentes und der Abtriebsdrehzahl der Antriebsmotor bei einer solchen Wandlerausführung nichts von diesen Änderungen zu spüren bekommt und der Antrieb Eigenschaften erhält, etwa wie ein Gleichstrom-Hauptstrommotor. Der Strömungswandler stellt also ein Wechselgetriebe für veränderliche Übersetzung mit unendlich vielen sich selbsttätig schaltenden Stufen dar und ist somit für Fahrzeugantriebe, vor allem im Verschiebedienst mit seinen stark schwankenden Zugkraftanforderungen, hervorragend geeignet.

Bei anderen Wandlerkonstruktionen ergeben sich grundsätzlich ähnliche Eigenschaften.

Eine willkürliche Verlegung der Drehmoment- bzw. Zugkraftlinie läßt sich durch Veränderung der Motordrehzahl erreichen. Die Drehmomente ändern sich hierbei für dasselbe Drehzahlübersetzungsverhältnis mit dem Quadrat der Motordrehzahl entsprechend dem Gesetz der Massenkräfte.

Darüber hinaus ist eine Beeinflussung des Drehmomentverlaufs noch möglich durch betriebsmäßige Verstellung von drehbar angeordneten Schaufeln, z. B. am Pumpenrad oder am Leitrad oder etwa dadurch, daß eines der Schaufelräder wechselweise festgehalten wird oder umläuft. Auf die hierdurch mögliche Änderung des Drehmomentverlaufs wird weiter unten noch näher eingegangen.

Bei der Strömungskupplung ist keine Drehmomentwandlung möglich, da bei dieser das Leitrad als drittes Glied fehlt (Bild 4). Das aufgenommene Drehmoment ist daher grundsätzlich stets gleich dem abgegebenen, woraus der Wirkungsgrad sich in einfacher Weise als das Verhältnis der Abtriebsdrehzahl zur Antriebsdrehzahl ergibt, sofern man von der Lufttreibungsarbeit des umlaufenden Gehäuses absieht. Im übrigen sind die Vorgänge in der Strömungskupplung ähnlich denjenigen im Wandler. Bei Synchronlauf der beiden Kupplungsteile heben sich die in ihnen wirksamen Fliehkräfte gegenseitig auf und es findet daher kein Flüssigkeitsumlauf und deshalb auch keine Drehmomentübertragung statt. Zur Drehmomentübertragung ist stets ein gewisser Drehzahlunterschied erforderlich, der Schlupf genannt wird und der durch die Drehzahl der Kupplung und vor allem durch deren Abmessungen bestimmt wird. Letztere werden in der Regel so festgelegt, daß sich für das normale Vollastdrehmoment

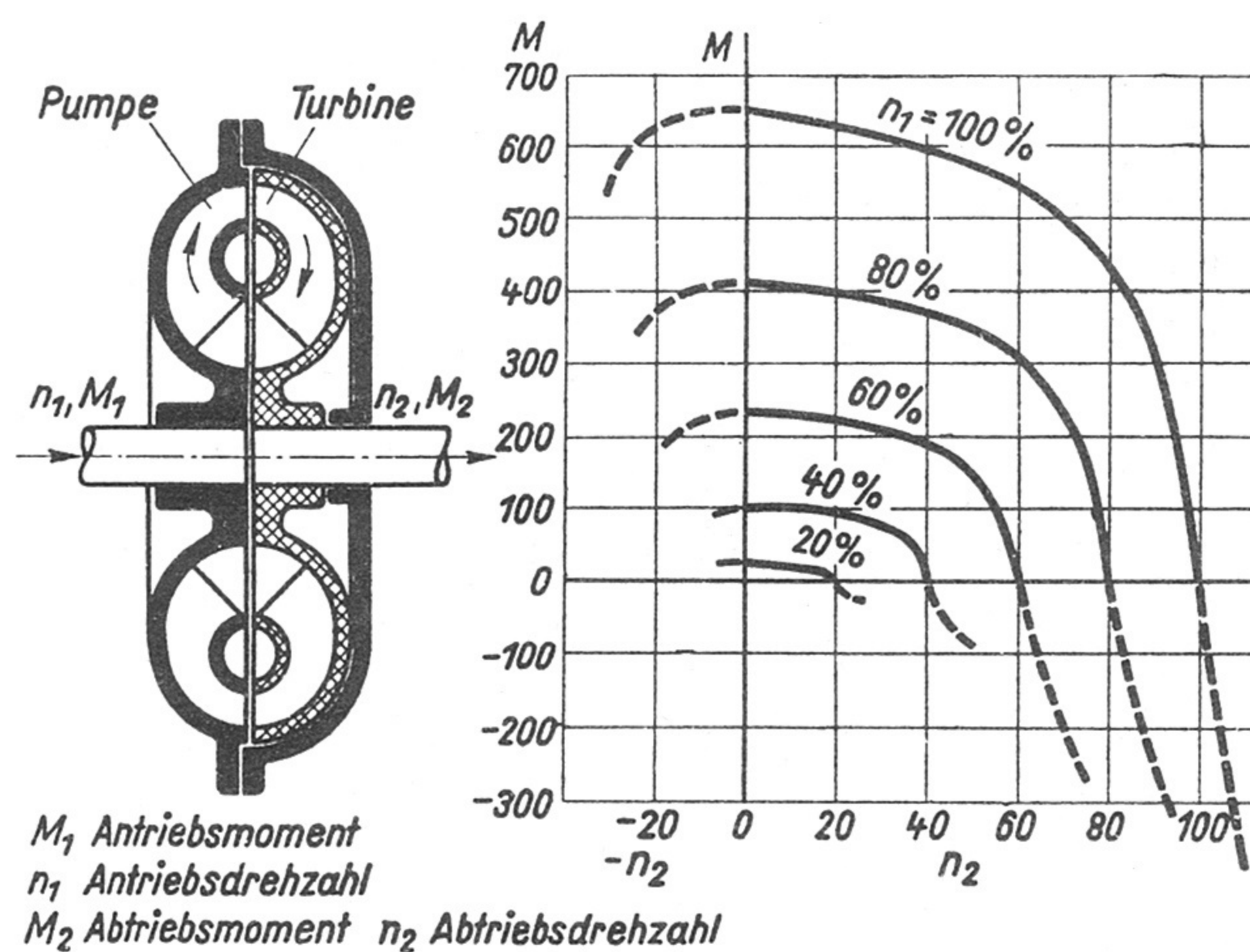


Bild 4: Strömungskupplung

ein Schlupf von 2—3% und dementsprechend ein Kupplungswirkungsgrad von 97—98% ergibt. Die Übertragung erfolgt hierbei stets von der rascher auf die langsamer umlaufende Seite. Mit zunehmendem Schlupf wird die Überschußfliehkraft des rascher umlaufenden, treibenden Pumpenrades immer größer und daher auch der Flüssigkeitsumlauf und das übertragbare Drehmoment, bis mit dem Festbremsmoment ein Höchstwert erreicht wird. Die Zusammenhänge zwischen dem übertragbaren Drehmoment und der Antriebs- und Abtriebsdrehzahl sind in Bild 4 dargestellt.

Die hinsichtlich des Zugkraftverlaufs der Lokomotive an die Kraftübertragung zu stellenden Anforderungen sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß eine gewisse Zugkraft für das Anfahren und für das Befahren der größten Steigung sowie gleichzeitig noch eine genügend hohe Zugkraft bei der Höchstgeschwindigkeit, d. h. ein genügend hoher Beschleunigungsüberschuß über die auftretenden Fahrwiderstände vorhanden sein muß. Ferner darf mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der Wirkungsgrad der Kraftübertragung im höheren Geschwindigkeitsbereich ein gewisses Maß nicht unterschreiten. Mit zunehmender Abtriebsdrehzahl strebt der Wirkungsgrad eines Wandler jedoch dem Wert Null zu; es muß also die Übersetzung zwischen Wandler und Treibachse so gewählt werden, daß die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeuges zumindest bei voller Motordrehzahl noch bei einem genügend hohen Wirkungsgrad erreicht

zunehmender Fahrgeschwindigkeit der Wirkungsgrad einem Höchstwert zustrebt, was insbesondere mit Rücksicht auf die Abführung von Verlustwärme wichtig ist.

Bemerkenswert ist noch, daß bei der Verwendung von Kupplungen der Motor mit seiner Drehzahl der Änderung der Fahrgeschwindigkeit in dem verwendeten Bereich folgen muß; eine Abweichung tritt nur in dem Maße ein, als der Schlupf der Kupplung bei gleichem Drehmoment mit abnehmender Motordrehzahl etwas zunimmt. Um die Motordrehzahl von der Fahrgeschwindigkeit unabhängiger zu machen, wird daher oft auch für den höheren Fahrgeschwindigkeitsbereich an Stelle der Kupplung ein sogenannter Marschwandler verwendet.

Durch Nachschaltung eines besonderen Zahnradwechselgetriebes ist eine weitere Möglichkeit für die günstige Ausgestaltung des Zugkraftverlaufes gegeben. Es wird hiervon vor allem dann Gebrauch gemacht, wenn zwei ausgesprochen verschiedene Betriebsarten durchgeführt werden sollen, etwa z. B. Rangierdienst und Streckendienst, da hierbei die Umschaltung des Wechselgetriebes im Stillstand erfolgen kann.

Das Ein- und Ausschalten der verschiedenen Elemente der Strömungsgetriebe erfolgt entweder durch Füllen und Entleeren, durch Reibungs- oder Klauenkupplungen oder, soweit dies angängig, durch Klauengesperre usw.

Neben der erwähnten Zusammenstellung verschiedener Wandler oder Kupplungen zu einem Getriebe werden auch, wie bereits angedeutet, Wandler mit drehbaren Pumpenschaufeln gebaut, um eine bessere Anpassung der Zugkraft an die Fahrbedingungen zu erreichen. Durch die Verstellung der Pumpenschaufeln wird eine gewisse Wirkungsgradverbesserung gegenüber einer festen Stellung derselben erreicht. Eine Steigerung der Zugkräfte gegenüber denjenigen eines Wandler mit festen Schaufeln ergibt sich jedoch nur in beschränktem Maße, da durch die Verstellung der Schaufeln des Pumpenrades gleichzeitig die Leistungsaufnahme verringert wird. Die Schaufelverstellung dient daher praktisch vor allem dem Zweck des raschen Ein- und Ausschaltens des Wandler, so daß dieser auch im Leerlauf dauernd gefüllt bleiben kann. Die Anpassung der Zugkräfte an die Fahrbedingungen erfolgt daher in der Hauptsache in der üblichen Weise durch Regelung der Motordrehzahl.

Im Gegensatz zu anderen bekanntgewordenen Konstruktionen wird beim Voith-Turbogetriebe je nach dem erforderlichen Geschwindigkeitsbereich und den geforderten Anfahrzugkräften ein Drehmomentwandler mit einer oder zwei Strömungskupplungen, letztere mit verschiedener Abtriebsübersetzung, zu einem Getriebe vereinigt.

Das Ein- und Ausschalten der Kreisläufe erfolgt durch Füllen und Entleeren der Betriebsflüssigkeit. Reibungs- und Klauenkupplungen, Klemmgesperre und Verstellvorrichtungen für Schaufeln usw. sind vollständig vermieden. Diese vollkommen hydraulische Arbeitsweise des Voith-Turbogetriebes ergibt das gewünschte Maß von Betriebssicherheit, wie es mit anderen Mitteln zur Zeit wohl kaum erreichbar sein dürfte; sie ist daher ohne weiteres bis zu den größten Leistungen verwendbar und hat sich aufs beste bewährt. In zäher Entwicklungsarbeit gelang es auch, geeignete Maßnahmen ausfindig zu machen, um die Füll- und Entleerzeiten so klein zu halten, daß den zu stellenden Anforderungen Genüge geleistet werden konnte. Eine

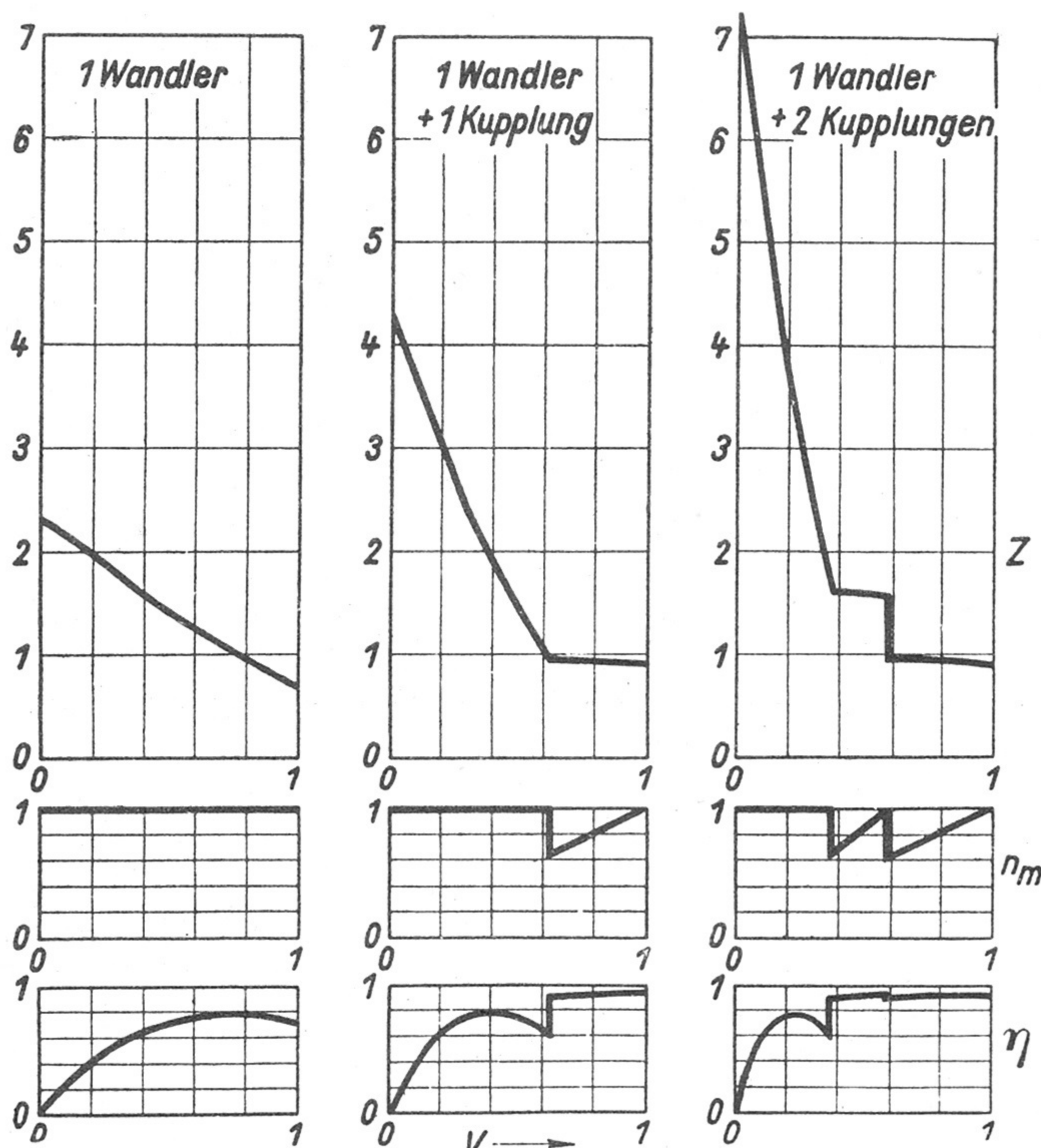


Bild 5: Änderung der Drehmoment- und Wirkungsgradcharakteristik in Abhängigkeit von der Zahl der Kreisläufe

wird. Mit der Festlegung der Achsübersetzung und dem gegebenen Drehmomentverlauf des Wandler ist dann auch der gesamte Zugkraftverlauf vom Anfahren bis zur Höchstgeschwindigkeit festgelegt.

Bei Verschiebe-Lokomotiven können mit einem Wandler allein die gestellten Anforderungen nicht erfüllt werden; es müssen daher anschließend an diesen für den höheren Geschwindigkeitsbereich günstigere Übertragungsorgane in Form eines weiteren Wandler oder Kupplungen verwendet werden. Die auf diese Weise erzielbaren Zugkräfte sind unter Berücksichtigung der für den einzelnen Fall dieselbe Höchstgeschwindigkeit ergebenden Achsübersetzung in Bild 5 vergleichbar dargestellt. Wie daraus hervorgeht, läßt sich der Verlauf von Zugkraft und Wirkungsgrad durch die Verbindung mehrerer Kreisläufe ganz erheblich verbessern. Durch die Ergänzung des Wandler durch eine Strömungskupplung wird auch erreicht, daß mit

nennenswerte Zugkraftunterbrechung während des Umschaltens wird hierbei verhindert durch die Überschneidung des Füllvorganges des einzuschaltenden und des Entleervorganges des auszuschaltenden Kreislaufes. Die im Voith-Turbogetriebe benutzte Arbeitsweise gestattet weiterhin ohne Begrenzung der Leistung und ohne den Aufbau zu verwickeln eine betriebssichere, völlig selbsttätige Umschaltung, so daß an die Bedienung hinsichtlich des Getriebes keinerlei Ansprüche mehr gestellt zu werden brauchen. Es ist weiterhin ohne weiteres möglich, mehrere Fahrzeuge gleichzeitig zu betreiben und von einem einzigen Führerstand aus zu steuern.

Durch die Verwendung von Öl als Betriebsflüssigkeit wird die Gefahr von Korrosionen an den Schaufelrädern vollständig vermieden. Das Betriebsöl dient gleichzeitig zur Schmierung der Lager und Zahnräder, so daß keinerlei Abdichtungsschwierigkeiten innerhalb des Getriebes vorhanden sind. Im übrigen wird bei dem Voith-Turbogetriebe die Abdichtung lediglich durch Labyrinth und nicht etwa durch Stopfbüchsen irgendwelcher Art vorgenommen, so daß auch in dieser Beziehung betriebliche Schwierigkeiten praktisch unmöglich sind.

Bild 6 zeigt schematisch den Aufbau eines Voith-Turbogetriebes mit Wandler und Strömungskupplung. Der Antrieb erfolgt vom Motor aus über eine in das Turbogetriebe eingebaute Zahnradübersetzung ins Schnelle. Dadurch werden einmal genügend kleine Abmessungen des eigentlichen Strömungsgetriebes möglich; außerdem gestattet dieser Hochgang, durch Änderung seiner Übersetzung ein Strömungsgetriebe gegebener Abmessungen den verschiedensten Leistungen anzupassen, und ermöglicht so eine Serienfabrikation. Auf der Abtriebsseite ist eine Zahnradübersetzung ins Langsame angeschlossen, um mit genügend niedriger Drehzahl in das an das Turbogetriebe anschließende Wendegetriebe hereinzukommen. Das Füllen und Gefüllthalten der Kreisläufe erfolgt durch eine kleine Kreispumpe und der Zufluß zu den Kreisläufen wird durch einen Steuerkolben gesteuert, der unter dem Einfluß eines kleinen Fliehkraftreglers steht. Nachdem der Motor angelassen ist, geschieht die Inbetriebsetzung in einfacher Weise dadurch, daß das Füllventil des Wandlers über ein Gestänge oder ein Handrad von Hand oder aber mechanisch, pneumatisch oder elektrisch ferngesteuert wird. Dadurch kommt das Fahrzeug in Fahrt und mit zunehmender Geschwindigkeit erfolgt dann selbsttätig die Umschaltung auf die Kupplung. Hierbei wird gleichzeitig der Auslaß am Wandler geöffnet, so daß dieser sich rasch entleeren kann. Die Kupplung besitzt in ihrem umlaufenden Gehäuse Entleerungsventile, die sich selbsttätig sofort schließen, sobald durch die Steuerung Öl dem Einlauf der Kupplung zugeführt wird. Wird beim Zurückschalten die Ölzufuhr zur Kupplung unterbrochen, so öffnen sich diese Schnellentleerventile ebenfalls selbsttätig. Durch Schließen des Füllventiles wird das Getriebe entleert und damit der Antrieb abgeschaltet. Die Betätigung des Füllventils ist mit derjenigen für die Drehzahlregulierung zum Motor so verbunden, daß beides in einem Handrad vereinigt ist und in der Nullstellung, also bei stehender Lokomotive, der Motor nur in der Leerlaufdrehzahl läuft. Zum Anfahren der Lokomotive sowie zum Einstellen der gewünschten Geschwindigkeit und zum Anhalten, genügt also eine

entsprechende Drehung am Handrad, alle übrigen Schaltvorgänge erfolgen vollkommen selbsttätig.

Die Tatsache, daß die Leistungsaufnahme eines Wandlers gegebener Abmessungen bei einem bestimmten Verhältnis der Abtriebs- zur Antriebsdrehzahl nur noch von der Motordrehzahl abhängig ist,

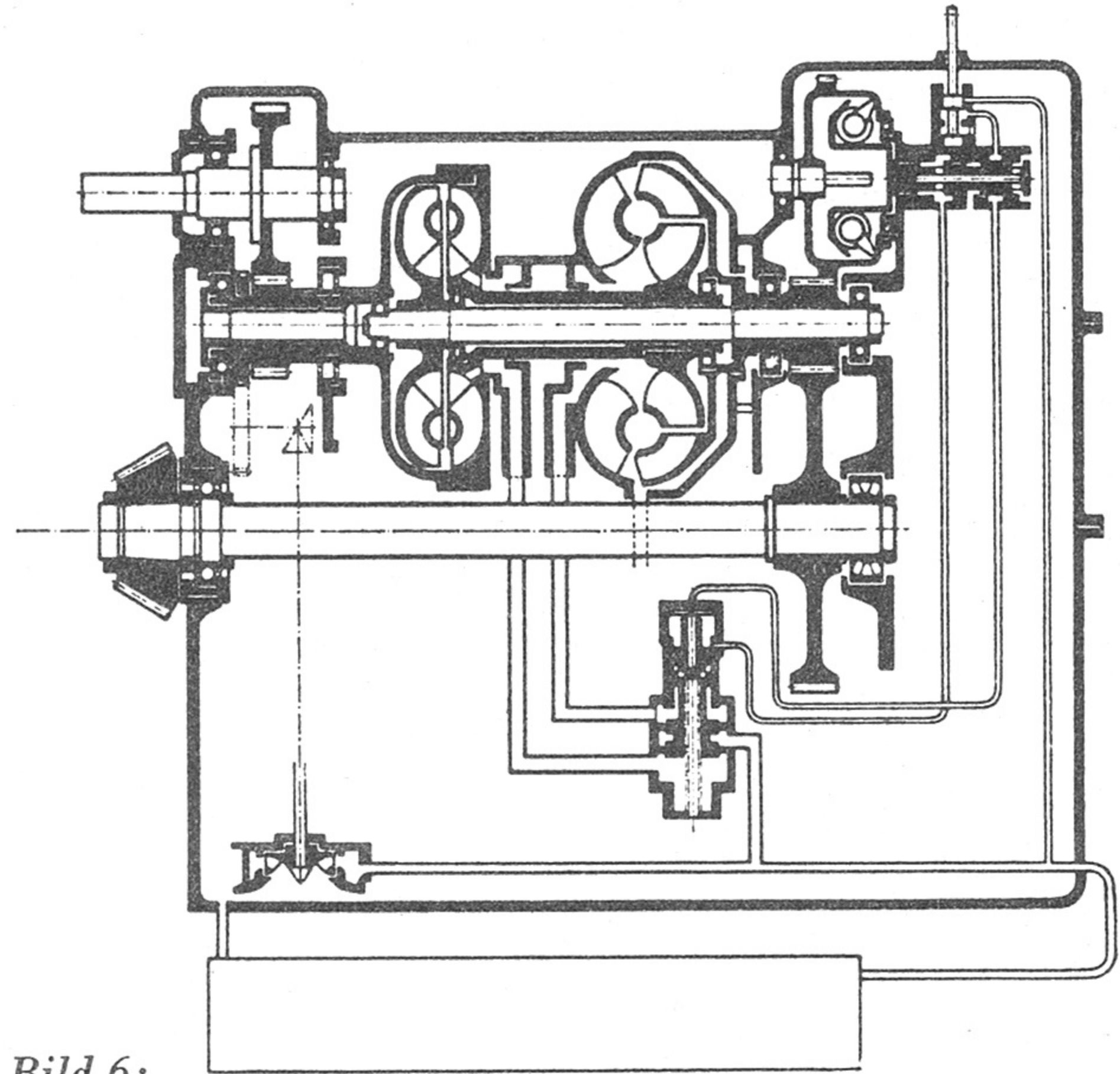


Bild 6:

Voith-Strömungsgetriebe, Bauart Wandler-Kupplung

gestattet, das Turbogetriebe zur Überwachung des Motors zu benutzen. Als eindeutig festliegender Vergleichspunkt wird hierbei zweckmäßigerweise derjenige herangezogen, der sich bei festgebremster Lokomotive, also stillstehendem Turbinenteil des Wandlers ergibt. Solange der Motor in Ordnung ist, muß dieser bei gefülltem und festgebremstem Wandler und voller Brennstoffzufuhr auf die Drehzahl hochgehen, für welche der Wandler bestimmt wurde. Erreicht er diese nicht, so ist dies in den allermeisten Fällen ein Anzeichen für Störungen am Motor, die auf diese Weise rechtzeitig erkannt werden können, bevor ein größerer Schaden eintritt.

Typisierung von Motor-Lokomotiven

Die beiden eingangs erwähnten Versuchs-Lokomotiven der Reichsbahn mit hydraulischer Kraftübertragung waren nur mit zweistufigen Getrieben Bauart „Wandler-Kupplung“ ausgerüstet und daher in der Zugkraftcharakteristik der mechanischen Lokomotive noch unterlegen. Vergleichsfahrten, die die Deutsche Reichsbahn an einer dieselmekanischen und der dieselhydraulischen Versuchs-Lokomotive über einen bestimmten Zeitraum auf einem Berliner Rangierbahnhof durchführen ließ, ergaben in bezug auf Bedienung und Wartung einwandfreie Überlegenheit der hydraulischen Kraftübertragung. Auch zeigte sich, daß die hydraulische Lokomotive das Verschiebeprogramm in kürzerer Zeit erledigte. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, daß die hydraulische Kraftübertragung stets die den gerade vorhandenen Betriebsbedingungen entsprechende Höchstgeschwindigkeit einstellt, während beim mechanischen Getriebe die Motorleistung häufig nicht voll ausgenutzt, d. h. also der höhere Geschwindigkeitsgang nicht ausgefahren werden kann, weil die erforderliche Zugkraft nicht vorhanden ist,

so daß mit verminderter Motorleistung im nächstkleineren Gang gefahren werden muß.

Hieraus ergibt sich auch, daß der Brennstoffverbrauch der hydraulischen Lokomotive trotz des geringeren Wandlerwirkungsgrades nur wenig höher ist als bei Verwendung des mechanischen Getriebes, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß ein Rangiervorgang nicht nur im ständigen Verschieben schwerer Lasten besteht, sondern daß zwischendurch immer wieder Leerfahrten

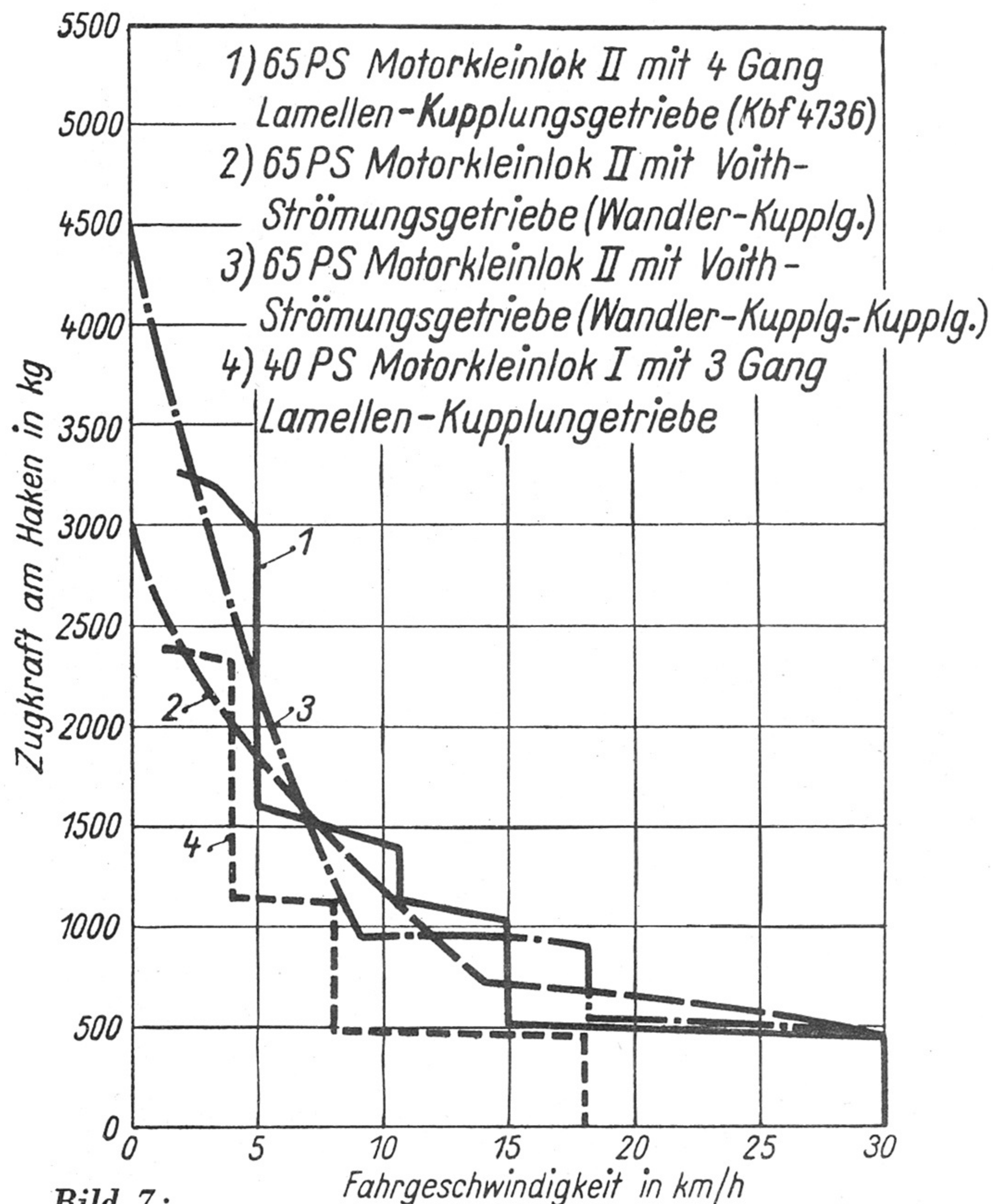
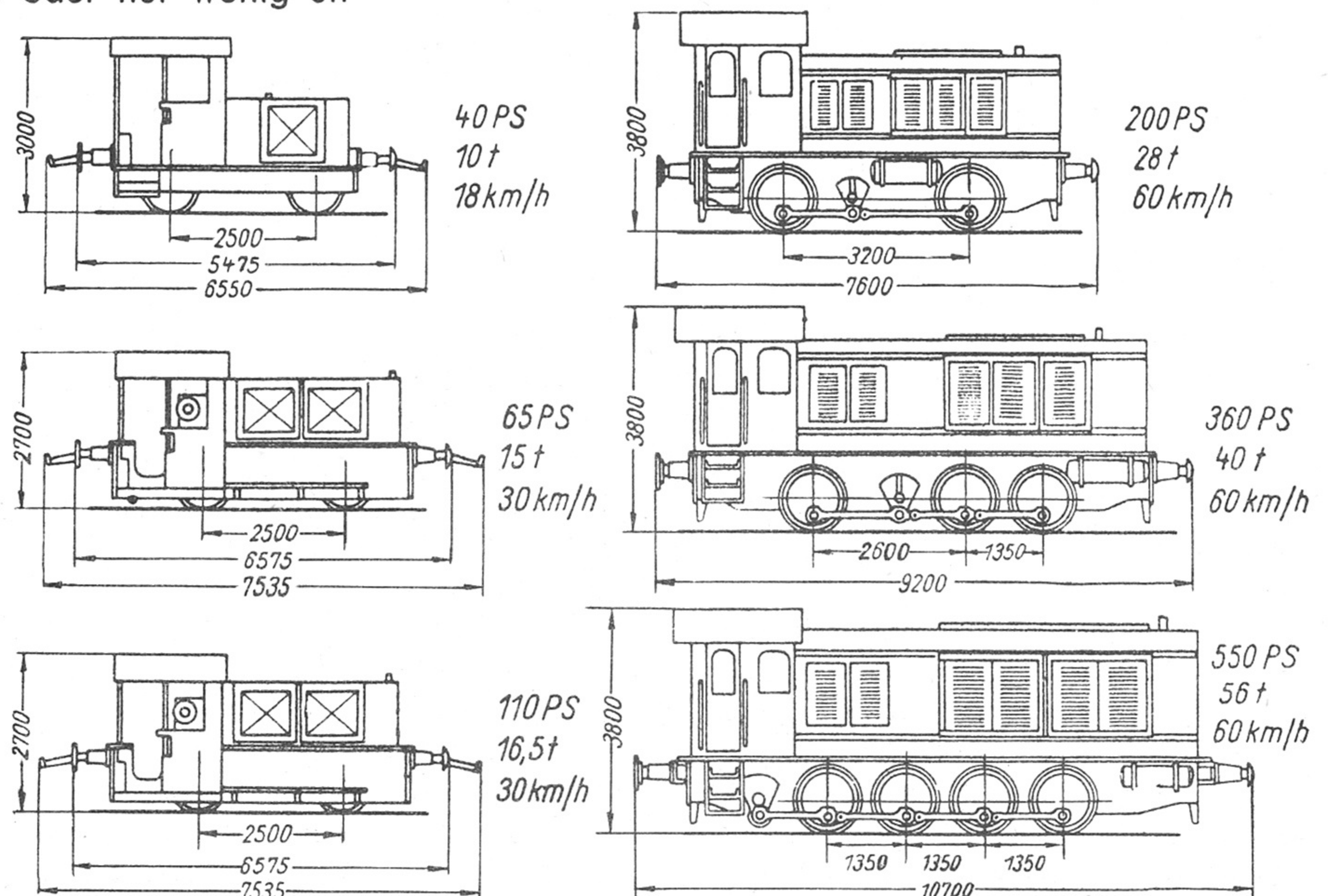


Bild 7: Zugkraftkurven der Reichsbahn-Motorkleinlokomotiven

treten, die im Kupplungsbetrieb mit günstigstem Wirkungsgrad durchgeführt werden, so daß insbesondere bei Verwendung des dreistufigen Strömungsgetriebes der mittlere Wirkungsgrad nicht oder nur wenig ungünstiger ist als bei der mechanischen Kraftübertragung. In Bild 7 sind die Zugkraftkurven der verschiedenen Reichsbahn-Lokomotiven einander gegenübergestellt.

Die in der Zwischenzeit gesammelten Erfahrungen über die hydraulische Kraftübertragung gaben nun Veranlassung, in steter Weiterentwicklung für die zahlreichen Bedarfssfälle deutscher Reichsbahnen eine Typenreihe von Motor-Lokomotiven zu schaffen, die hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Aufbau und Wartung diesen neuen technischen Erkenntnissen entsprechen. Die

Bild 8: Typentafel für Einheits-Motorlokomotiven



Konstruktionen wurden in Arbeitsgemeinschaften verschiedener Zusammensetzung unter Beteiligung der Deutschen Reichsbahn durchgeführt, so daß also alle in Deutschland gesammelten Erfahrungen restlos für die Durchbildung dieser Lokomotiven zur Verfügung standen. Daß diese Typisierung zu einem Zeitpunkt einsetzte, als in anderen Industriezweigen an Vereinheitlichung, Typenbeschränkung usw. noch nicht zu denken war, sei nur nebenbei erwähnt. Sie hat jedoch ihr Vorbild in den bewährten Einheitskonstruktionen der Reichsbahn-Dampflokomotiven.

In Bild 8 sind der Aufbau der verschiedenen Typen und ihre Hauptabmessungen zusammengestellt. Im einzelnen muß hierzu folgendes bemerkt werden:

Die Lokomotiven bis 110 PS besitzen beiderseitige Bedienungsstände, selbsttätige Zughakenkupplungen und Kettenübertragung, wobei von der im Rahmen fest eingelagerten letzten Getriebewelle ein Kettenzug zur vorderen, der andere zur hinteren Lokomotivachse führt. Der Kettenantrieb für diese Leistungen und besonders für diese Geschwindigkeiten ist anspruchslos in bezug auf Montage und Wartung und hat sich bei mehr als 1200 Lokomotiven seit Jahren ausgezeichnet bewährt. Das Problem, Kette oder Stange für normal-

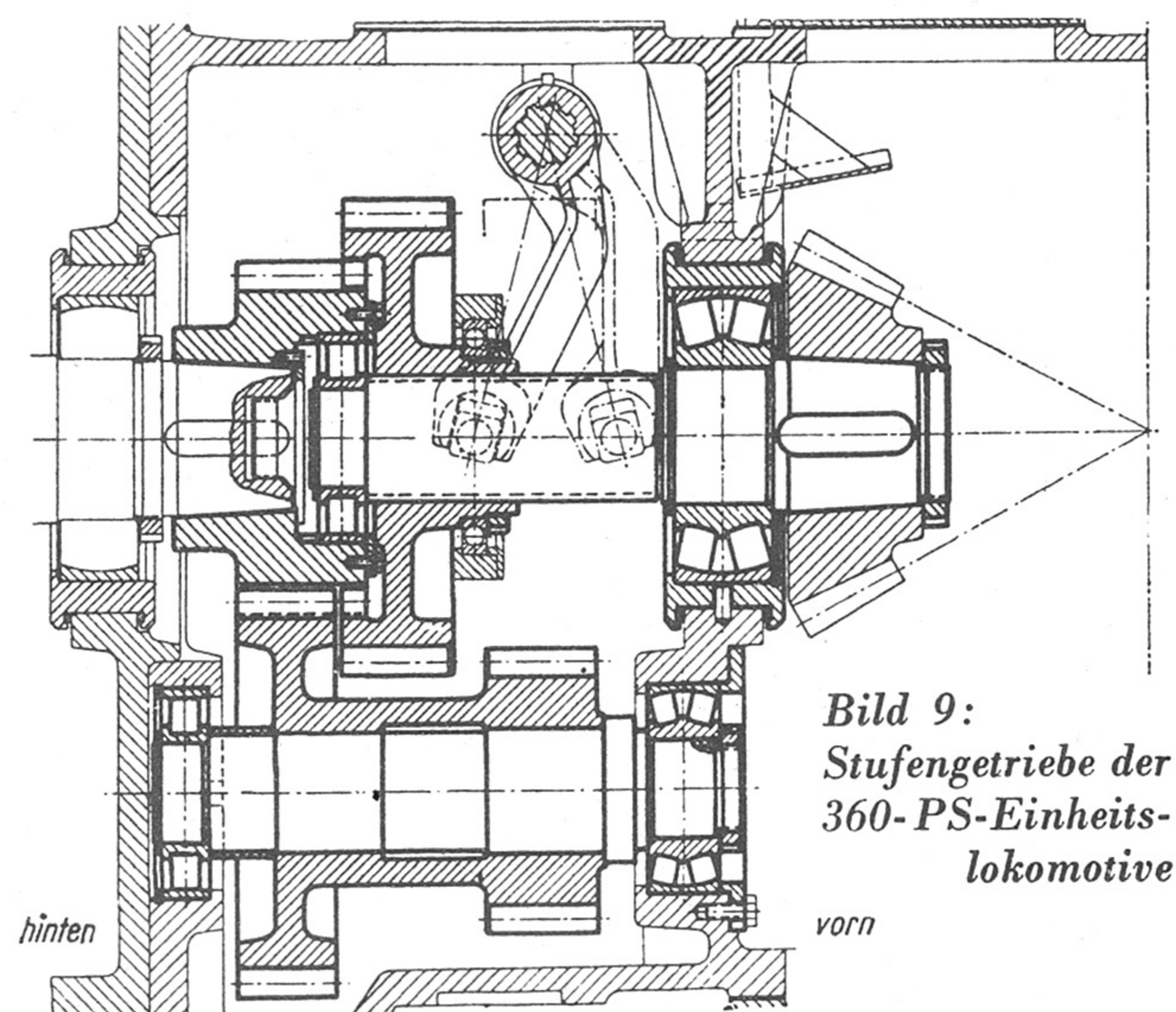
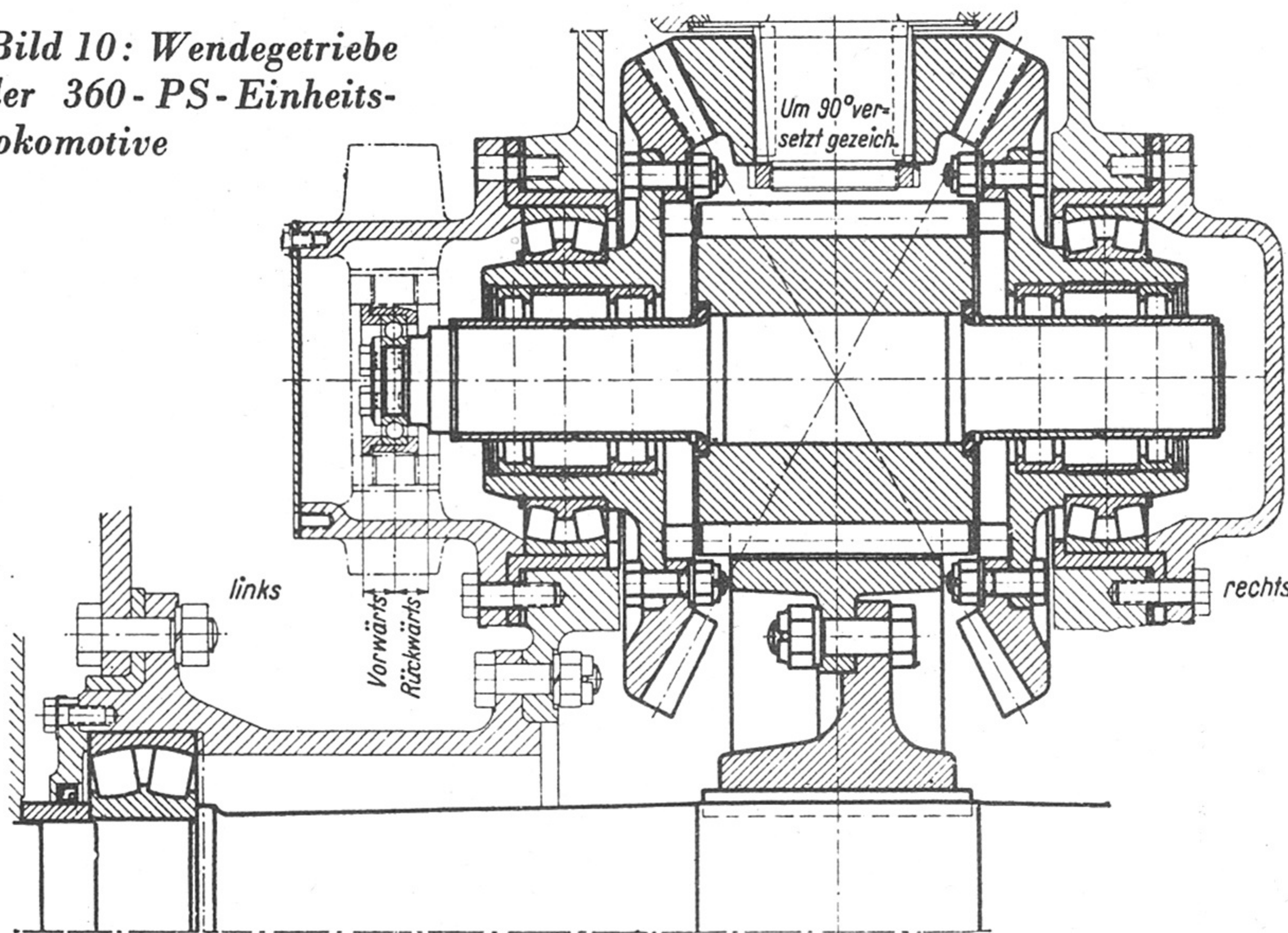


Bild 9: Stufengetriebe der 360-PS-Einheitslokomotive

Bild 10: Wendegetriebe der 360-PS-Einheitslokomotive



spurige Rangier-Lokomotiven — früher viel umstritten — kann heute als einwandfrei gelöst zugunsten der Kette bezeichnet werden.

Die Lokomotiven ab 200 PS besitzen Blindwellengetriebe, Stangenantrieb und 2 Geschwindigkeitsbereiche, die im Stillstand der Lokomotive durch einen im Führerstand befindlichen Hebel wahlweise eingestellt werden. Es ergibt sich hierbei der Vorteil, die Lokomotiven im Rangierdienst mit hohen Anfahrzugkräften bei einer Geschwindigkeit bis zu 30 km/h einsetzen zu können und nach Umschaltung die gleiche Maschine für den Streckendienst bis zu Geschwindigkeiten von 60 km/h zur Verfügung zu haben.

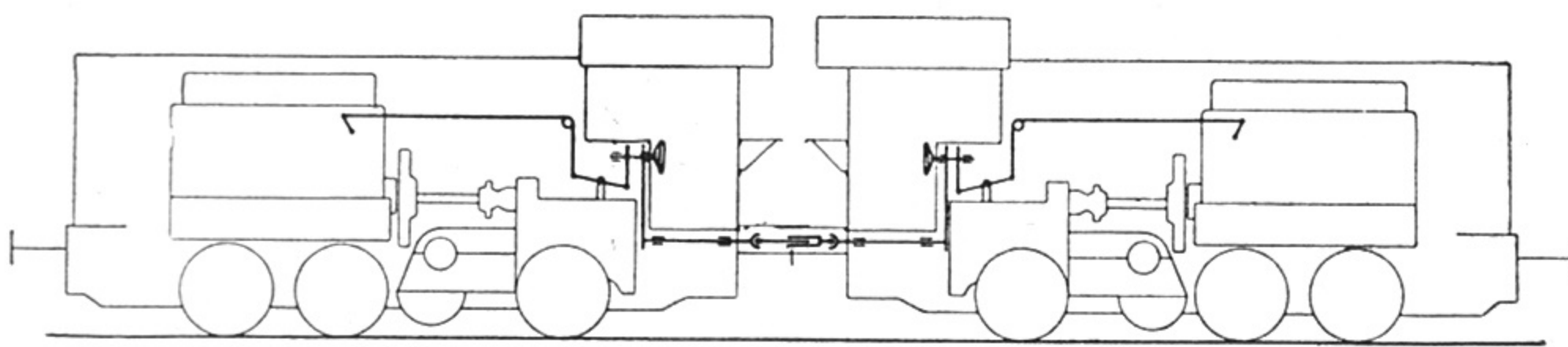


Bild 11: Fernsteuerungs-Schema

Eine weitere vielseitige Verwendungsmöglichkeit dieser Lokomotiven ist dadurch gegeben, daß die hydraulische Kraftübertragung erlaubt, auf einfache mechanische Weise zwei zusammengekuppelte Lokomotiven von einem Führerstand aus fernzusteuern. Zu diesem Zweck wurde der Führerstand mit dem Handsterrad für die Motordrehzahl und die gleichzeitige Einschaltung des hydraulischen Getriebes an einem Ende der Lokomotive angeordnet, so daß nach Herunterklappen der Übergangsbrücken und Öffnen der Stirnwandtüren der Lokomotivführer leicht und schnell die Führerstände und damit die Fahrtrichtungen wechseln kann. Die Anordnung und Durchbildung der Steuerung ist aus Bild 11 ersichtlich.

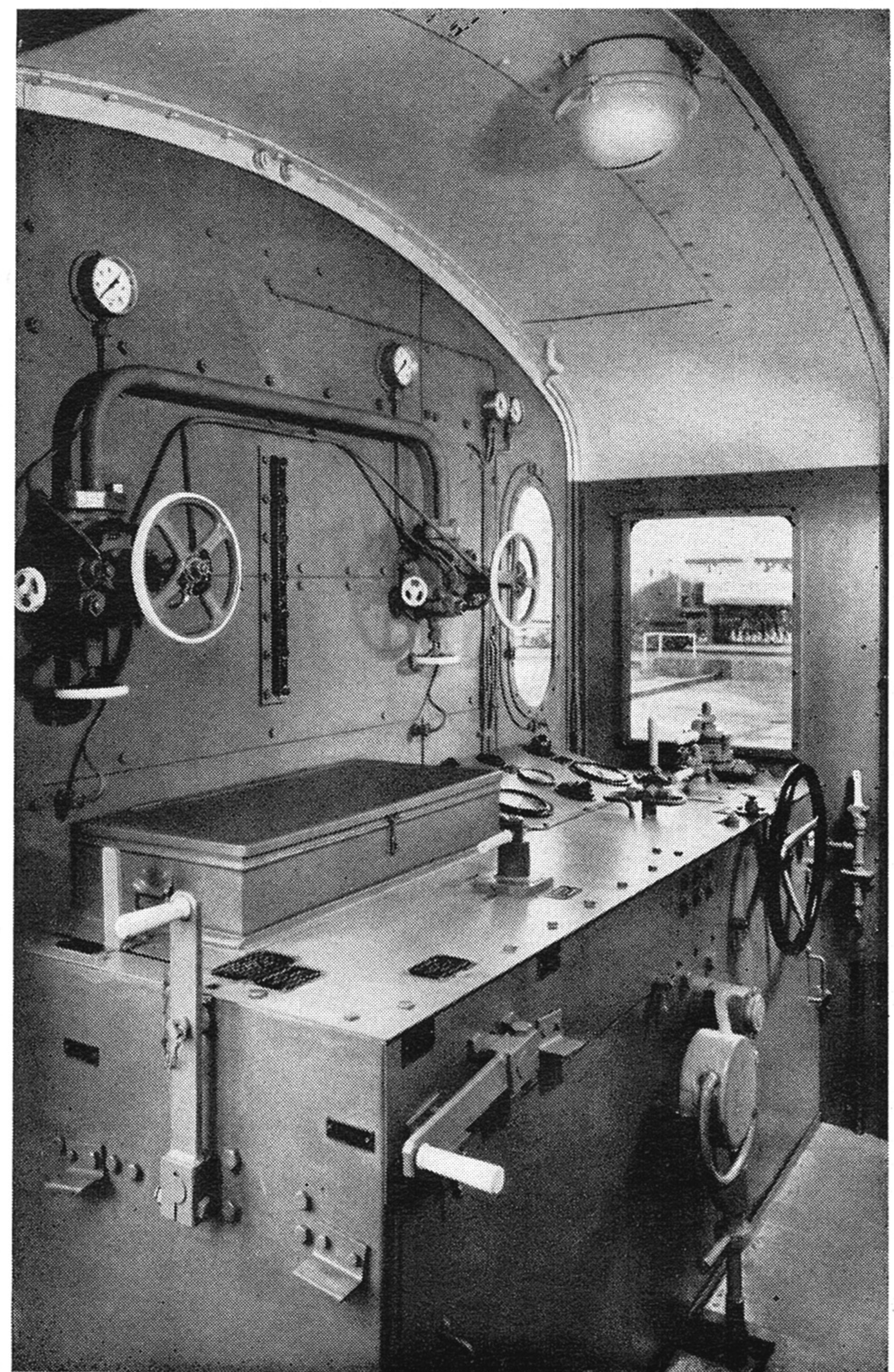
Die Getriebe dieser Lokomotiven sind sämtlich dreistufig in der Bauart „Wandler-Kupplung-Kupplung“ ausgeführt und weitgehend vereinheitlicht. Für die vier Lokomotivtypen ist grundsätzlich mit zwei Getriebebauarten auszukommen, und zwar ein Getriebe für die 110- und 200-PS-Lokomotive, ein weiteres für die 360- und 550-PS-Lokomotive, wobei für die jeweils größere Leistung lediglich die Zahnrad-, Wellen- und Lagerabmessungen verstärkt werden, während die hydraulischen Kreisläufe gleich ausgeführt sind.

Von diesen Lokomotiven ist die 360-PS-Type seit mehreren Jahren bereits in größerer Stückzahl gebaut und zur Ablieferung gebracht worden. Zwei solcher Lokomotiven im zusammengekuppelten Zustand mit Fernsteuerung wurden hinsichtlich Zugkraft, Verhalten der hydraulischen Kraftübertragung und der Fernsteuerung im Versuchsamt Grunewald der Reichsbahn mit dem Meßwagen eingehenden Untersuchungen unterworfen. Hierbei handelt es sich allerdings um Erstauführungen, die nur mit einem Fahrbereich und einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h ausgerüstet waren. Bild 14 zeigt eine Gegenüberstellung der errechneten und gemessenen Zugkräfte, Bild 15 ein Anfahrtschaubild unter Last.

Inzwischen sind mehreren deutschen Lokomotivfabriken insgesamt etwa 450 dieselhydraulische Lokomotiven mit Voith-

Strömungsgetriebe mit einer Gesamtmotorleistung von etwa 110 000 PS in Auftrag gegeben worden, von denen bereits eine sehr große Stückzahl längere Zeit im normalen Betrieb arbeitet. Dies dürfte der beste Beweis dafür sein, daß die hydraulische Kraftübertragung den gestellten Erwartungen durchaus entspricht.

Bild 12: Führerstand einer dieselhydraulischen Einheitslokomotive



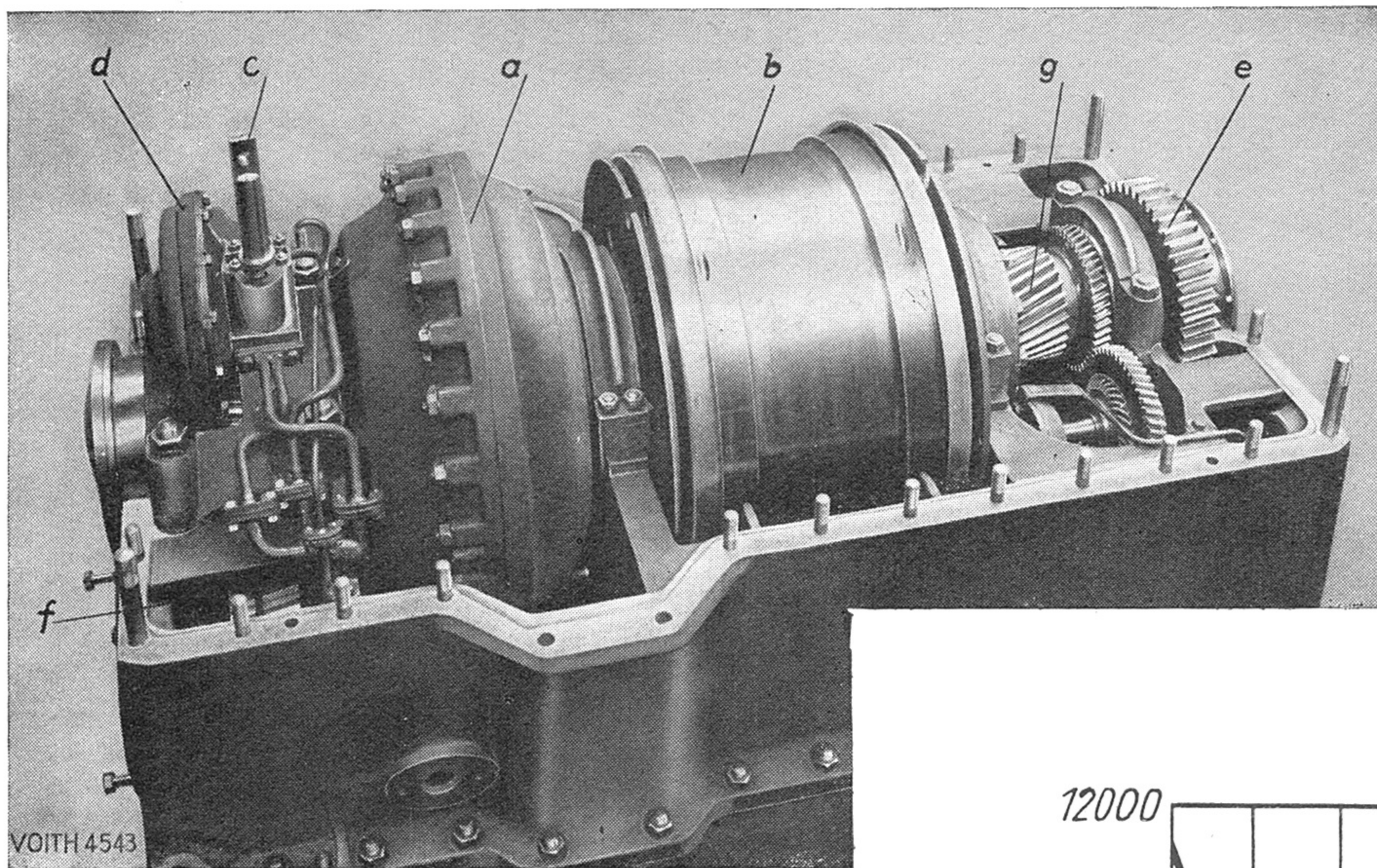
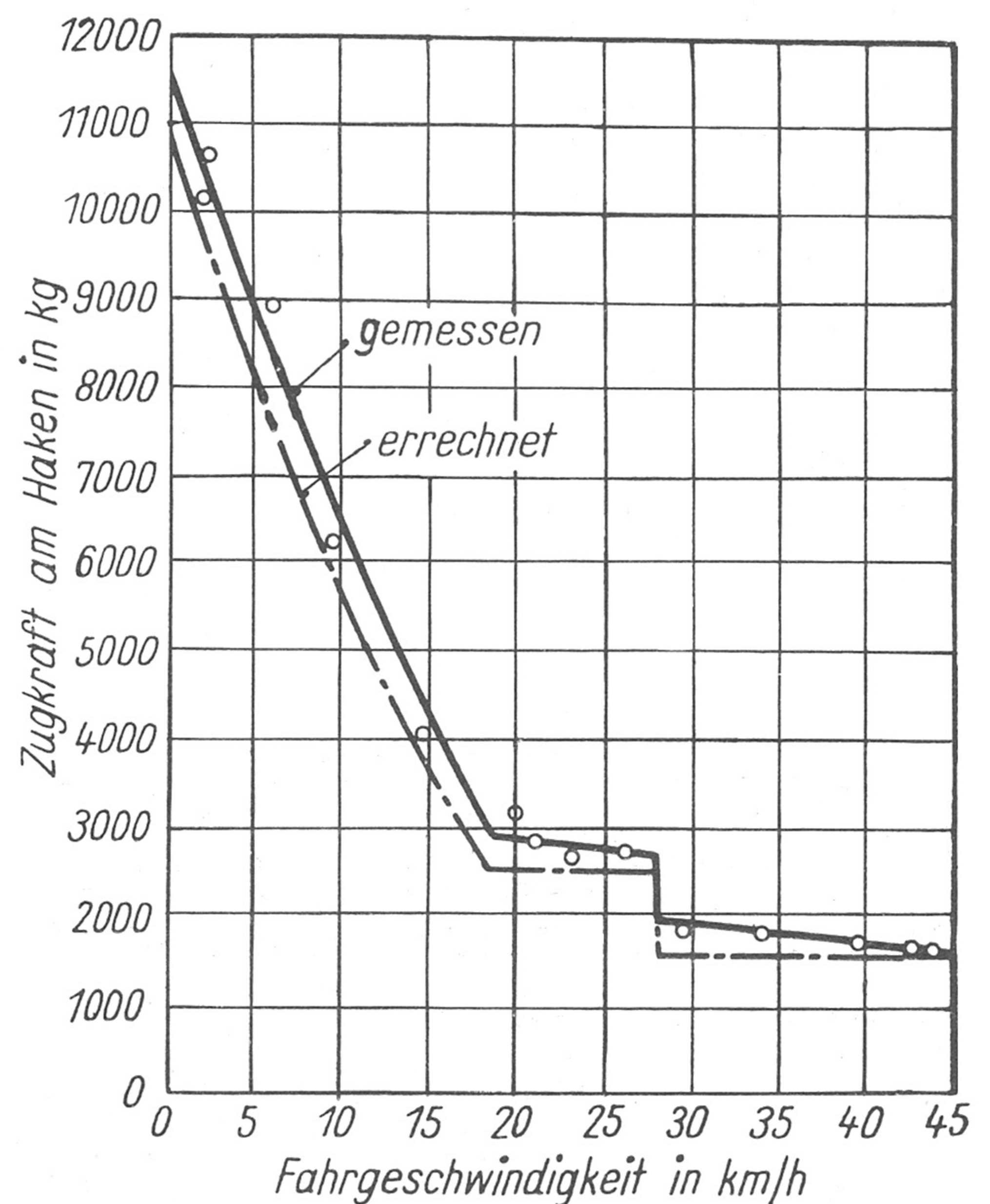


Bild 13: Dreistufiges Voith-Strömungsgetriebe 360 PS

- a = Wandlerkreislauf
- b = Kupplungskreisläufe
- c = Betätigungsventil
- d = Regler für selbsttätige Umschaltung
- e = Antriebsvorgelege
- f = Abtrieb für Wandler und Kupplung
- g = Abtrieb für Kupplung II

Bild 15:
Gemessene Zugkraftwerte einer 360-PS-Diesel-Lokomotive

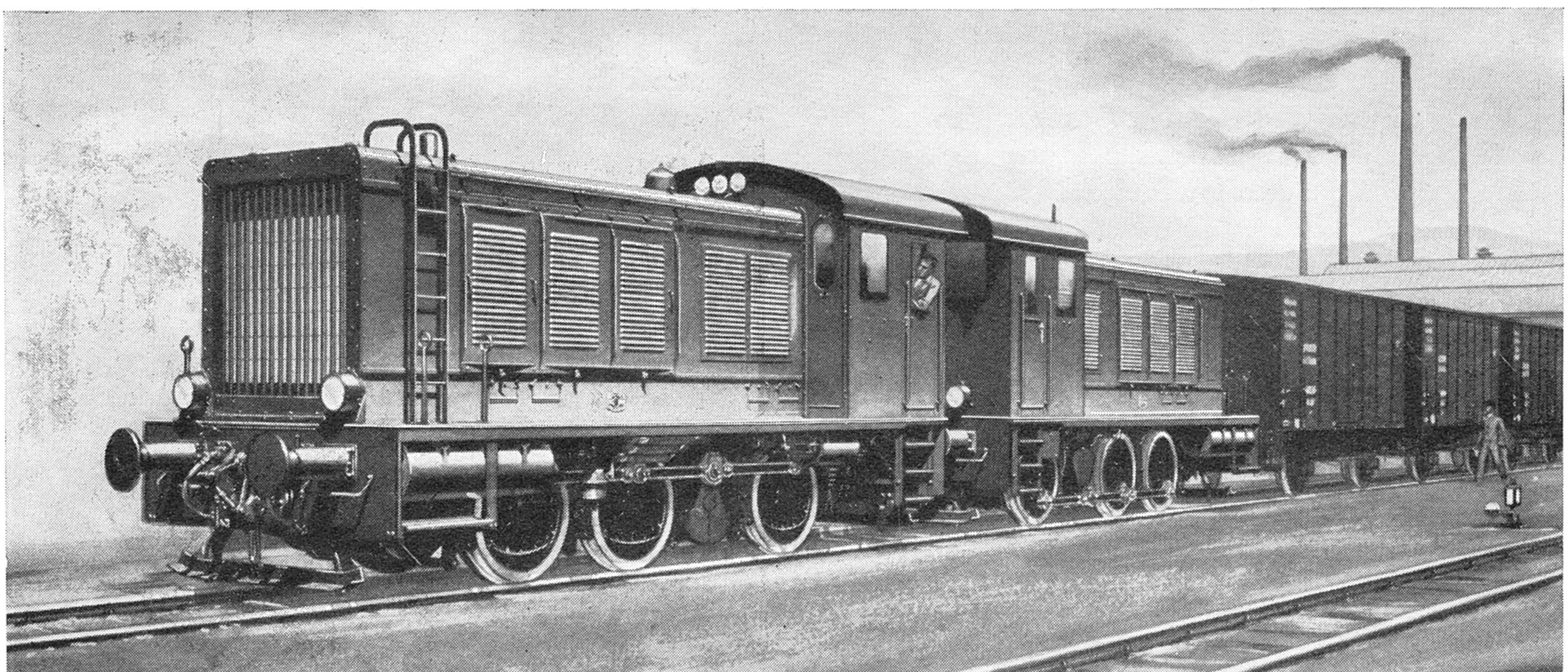


Die Typenreihe ist nun zunächst mit der 550-PS-Lokomotive als abgeschlossen zu betrachten, da noch höhere Motorleistungen für den Verschiebedienst wohl kaum in Frage kommen dürften. Durch Zusammenkuppeln zweier Lokomotiven läßt sich die gesamte Maschinenleistung überdies bis auf 1100 PS steigern, wobei die Steuerungen der einzelnen Lokomotiven so durchgebildet sind, daß auch verschiedene Typen, also z. B. eine 550- und eine 360-PS-Lokomotive, gekuppelt werden können. Die Zugkraftkennlinien aller Typen von 110—550 PS sind für die zwei Fahrbereiche in Bild 17 und 18 zusammengestellt.

Weiterentwicklung der dieselhydraulischen Lokomotive

Die Weiterentwicklung der dieselhydraulischen Lokomotive ist damit jedoch noch keineswegs am Ende. Die Grenze liegt hier weder im Motor noch in der Hydraulik, sondern einzig und allein in der konstruktiven Beherrschung des Blindwellengetriebes, und zwar besonders des Kegeltriebes für das Wendegetriebe. Dieselmotoren über 550 PS mit Drehzahlen von etwa 600 U/min — niedere Drehzahlen sind weder für die dieselektrische Lokomotive mit Rücksicht auf Gene-

Bild 14: 720-PS-dieselhydraulische Doppel-Lokomotive



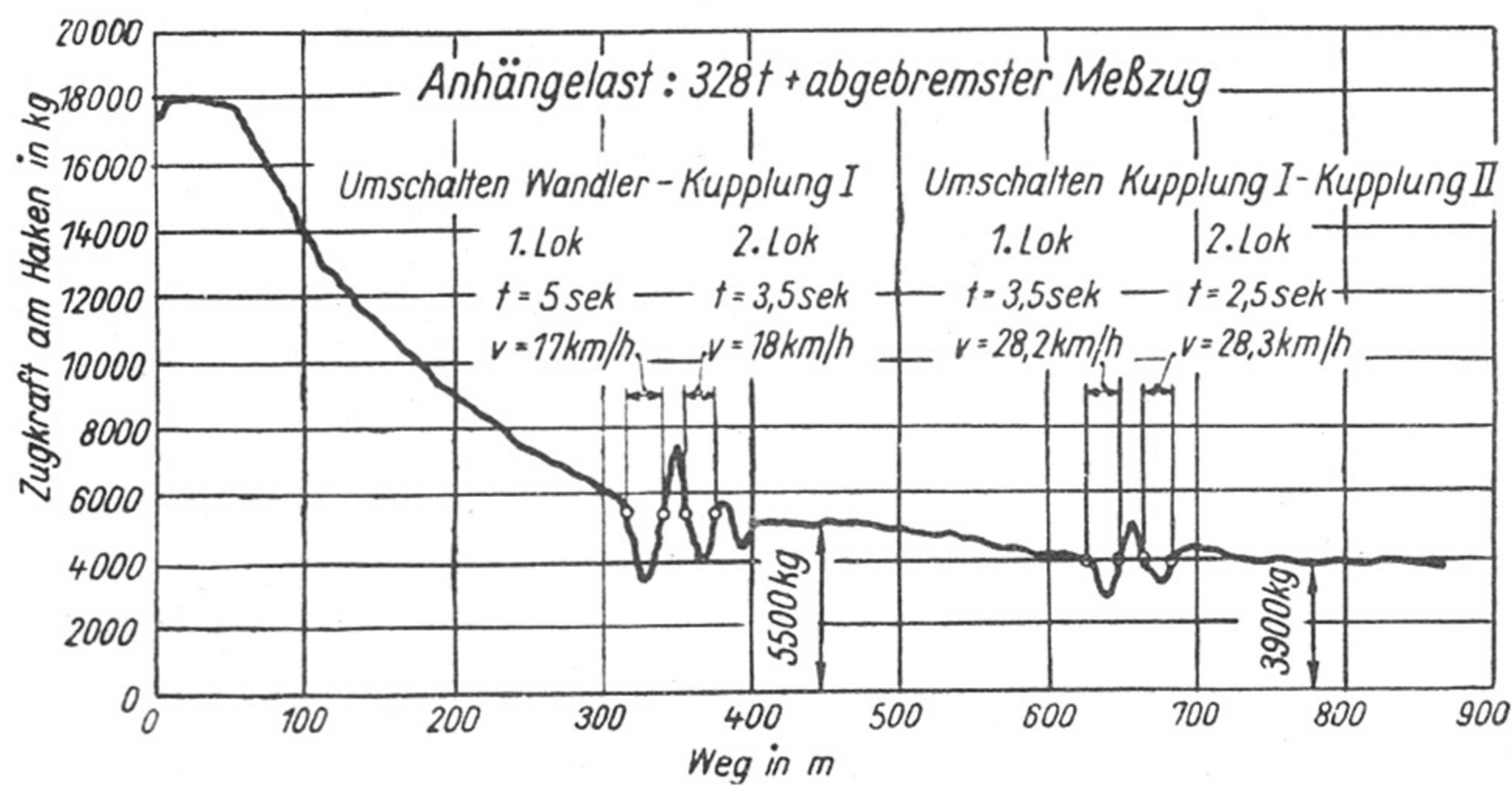


Bild 16: Anfahrtdiagramm zweier zusammengekuppelter 360-PS-Diesel-Lokomotiven

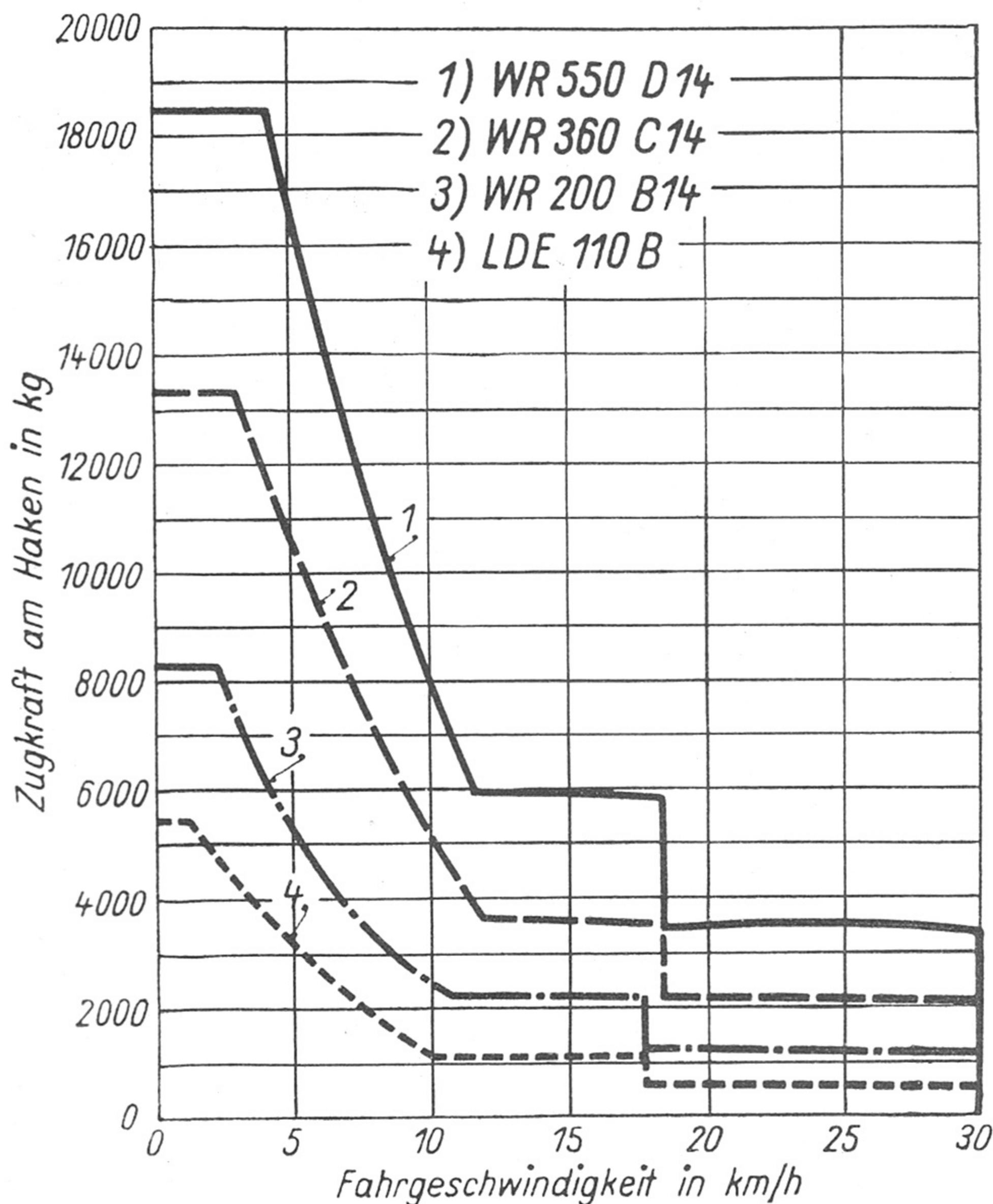


Bild 17: Zugkraftkurven von Einheits-Diesel-Lokomotiven im Rangierbereich

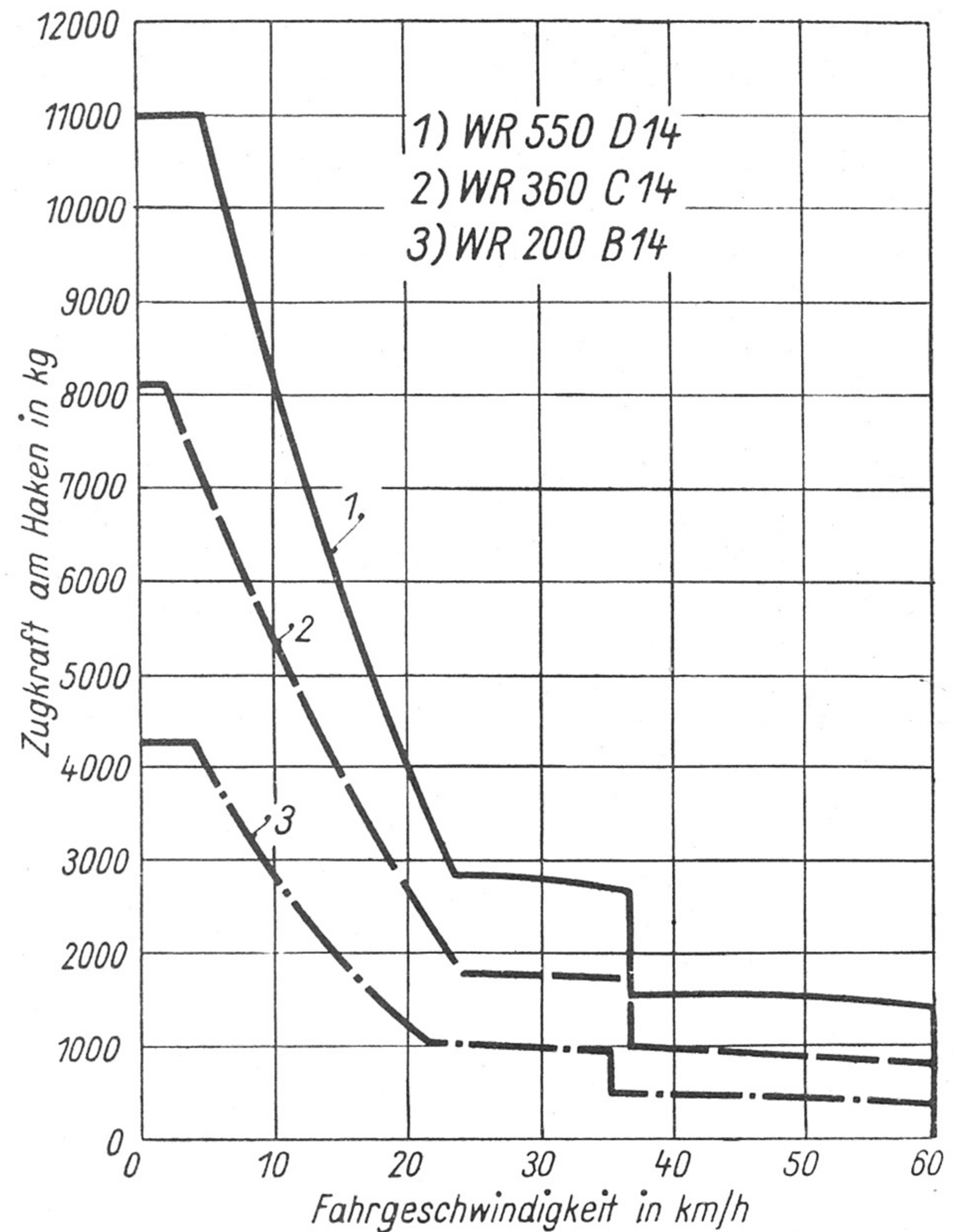


Bild 18: Zugkraftkurven von Einheits-Diesel-Lokomotiven im Streckenbereich

ratorabmessung noch für das hochtourige hydraulische Getriebe gebräuchlich — werden heute fast ausschließlich mit Aufladung gebaut, d. h. also, der 550-PS-Motor kann mit etwas höherer Drehzahl und Aufladengebläse auch zum Antrieb einer 900- bis 1000-PS-Lokomotive benutzt werden. Für eine 2000-PS-Lokomotive ergibt sich damit die Anordnung von zwei vollständigen Antriebsaggregaten mit je einem Motor, einem hydraulischen Getriebe und einem Wendegetriebe, die auf zwei oder eine gemeinsame Blindwelle arbeiten. In Bild 19 ist das Projekt einer 2000-PS-Lokomotive mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wiedergegeben. Die Lokomotive hat natürlich nur noch einen Fahrbereich, da die auszunutzenden Zugkräfte durch das Reibungsgewicht der Lokomotive beschränkt sind.

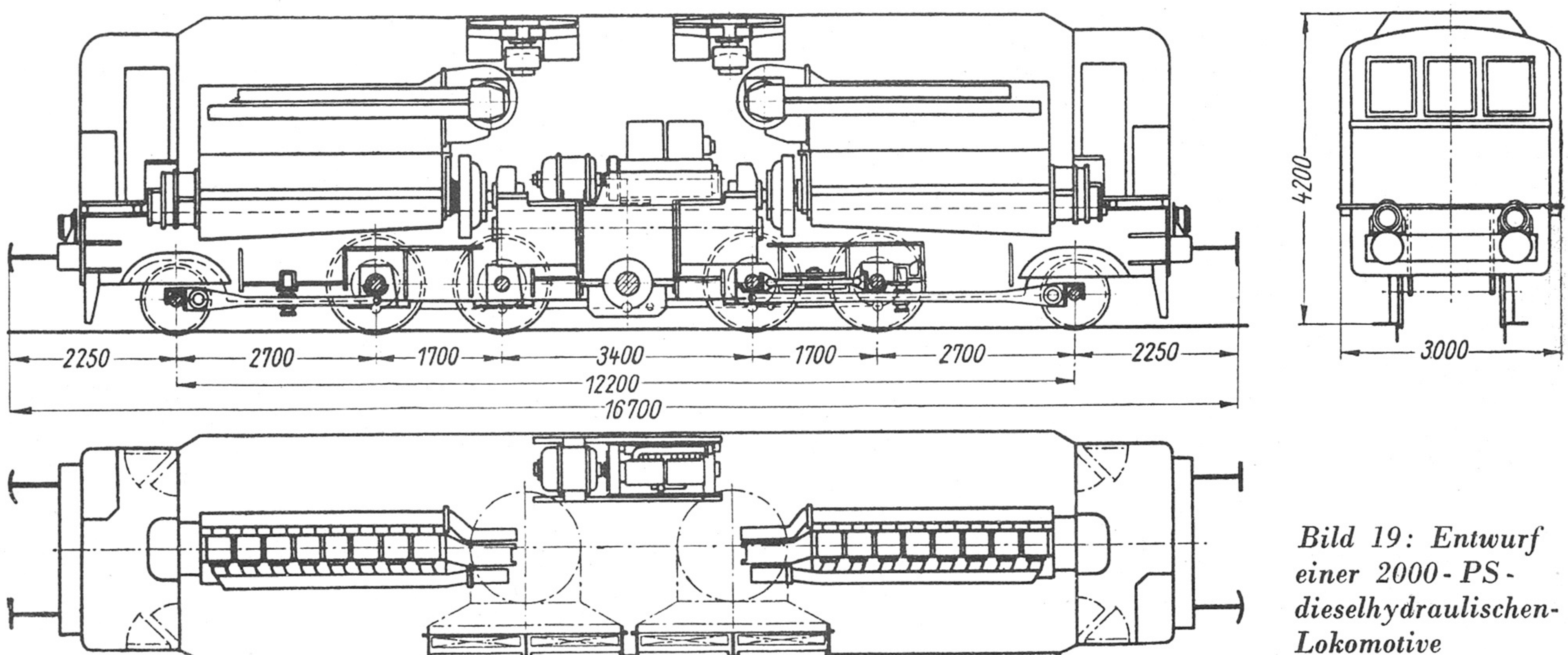


Bild 19: Entwurf einer 2000-PS-dieselhydraulischen-Lokomotive

Die erforderliche Zugkraftkurve gestattet daher wieder die Verwendung eines zweistufigen Getriebes, und zwar zweckmäßig in der Ausbildung „Wandler-Marschwandler“. Die Steuerung der Motoren und Getriebe erfolgt pneumatisch in ähnlicher Weise, wie dies bei Triebwagen der Reichsbahn bereits vielfach ausgeführt ist.

Die Bedienung einer solchen Lokomotive ist mindestens so einfach wie die einer elektrischen Lokomotive; die Zugkraftcharakteristiken beider Maschinen ähneln einander, dagegen wird der Aufbau der ersteren wesentlich einfacher, das Gewicht niedriger und der Anschaffungspreis entsprechend geringer. Der Erprobung einer solchen Lokomotive kann mit Interesse entgegengesehen werden, um die Frage dieselektrische oder dieselhydraulische Kraftübertragung für Vollbahn-Motor-Lokomotiven einer grundsätzlichen Klärung zuzuführen.

Zusammenfassung

An Hand der Entwicklung der Motorverschiebe-Lokomotiven bei der Deutschen Reichsbahn und anderen Reichsbehörden werden die Vorteile der hydraulischen Kraftübertragung gegenüber der mechanischen und dieselektrischen geschildert und der Aufbau dieses neuen Getriebes hauptsächlich hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Typisierung dargestellt. Es wird eine von maßgebenden deutschen Lokomotivfabriken in Zusammenarbeit mit deutschen Reichsbehörden durchgearbeitete Typenreihe hydraulischer Motor-Lokomotiven angegeben und auf die eingehenden Versuchsmessungen mit dem Meßwagen der Deutschen Reichsbahn hingewiesen. Vergleiche mit dieselmechanischen und dieselektrischen Lokomotiven werden herangezogen und schließlich die weitere Entwicklungsmöglichkeit der dieselhydraulischen Groß-Lokomotive aufgezeigt.
