

Der AVA-Versuchswagen.

Es wird berichtet über die Modellversuche, welche dem Bau des AVA-Versuchskraftwagens vorausgegangen sind, sowie die Versuche, welche an dem Wagen selbst vorgenommen wurden. Auf Grund der Ergebnisse wird auf die sich bietenden Möglichkeiten der weiteren Entwicklung des Kraftfahrzeugaufbaues eingegangen.

Gliederung:

- I. Einleitung
- II. Entwicklungsziele der Aerodynamik des Kraftwagenaufbaues.
- III. Die Entwicklung der AVA-Form:
 - 1. Allgemeine Beschreibung des Entwicklungsganges
 - 2. Modellversuche und deren Ergebnisse
- IV. Versuche mit dem AVA-Wagen und Ergebnisse
- V. Schlussfolgerungen
- VI. Zusammenfassung

Der Bericht umfasst:

35 Seiten einsch.

25 Bilder

AERODYNAMISCHE VERSUCHSANSTALT GÖTTINGEN E. V.



Institut Windkanäle

Der Institutsleiter:


(R. Seiferth)

Deutsche
Forschungsanstalt
für Luft-
und Raumfahrt e. V.
Hist. Archiv
Bunsenstraße 10
3400 Göttingen

Die Bearbeiter:

 
(M. Hansen - K. Schlör)

Der AVA-Versuchswagen.

Gliederung:

- I. Einleitung
- II. Entwicklungsziele der Aerodynamik des Kraftwagenaufbaues.
- III. Die Entwicklung der AVA-Form:
 - 1. Allgemeine Beschreibung des Entwicklungsganges.
 - 2. Modellversuche und deren Ergebnisse.
- IV. Versuche mit dem AVA-Wagen und Ergebnisse.
- V. Schlussfolgerungen.
- VI. Zusammenfassung.

I. Einleitung:

Die grosse Rolle, welche die Aerodynamik auch beim Kraftwagen spielt, brachte es mit sich, dass die AVA schon sehr bald nicht nur im Auftrag von Automobilfirmen Versuche durchführte, sondern auch besonders in letzter Zeit eigene Forschung auf dem Gebiet der Aerodynamik des Kraftfahrzeugs betrieb. Ein Ergebnis dieser Kraftfahrtforschung ist der AVA-Versuchswagen, über den im Folgenden Ergebnisse aus Modell- und Grossversuchen mitgeteilt werden. Dabei zeigte sich, dass bekannte Strömungsvorgänge der Tragflügelaerodynamik auf einem ferner liegenden Gebiet, dem der Aerodynamik des Kraftwagenaufbaues, in einem neuen bemerkenswerten Zusammenhang auftreten.

Die Arbeiten, die im Rahmen der vom RVM unterstützten Kraftfahrtforschung innerhalb der AVA liefen, mussten mit Beginn des Krieges eingestellt werden. Damit konnten einige ergänzende Versuche mit dem AVA-Wagen nicht mehr zu Ende gebracht werden. Die Hauptergebnisse sind im Folgenden zusammengestellt. Auf die daraus folgenden Entwicklungsmöglichkeiten wird näher eingegangen.

II. Entwicklungsziele der Aerodynamik des Kraftwagenaufbaues:

Für die aerodynamische Kraftfahrtforschung besteht vor allem die Forderung, eine Wagenform zu entwickeln, die einen möglichst geringen Luftwiderstand besitzt, dabei aber doch allen Anforderungen an ein Gebrauchsfahrzeug nachkommen kann. Die Strömungsfor-

schung, welche sich mit der Entwicklung einer solchen Wagenform befasst, hat dabei folgende Gesichtspunkte herausgearbeitet:

- 1) Scharfe Kanten sind bei der geometrischen Formgebung des Wagenaufbaues unter allen Umständen zu vermeiden.
- 2) Kotflügel müssen in die Karosserie mit einbezogen sein.
- 3) Räder sollen soweit wie möglich abgeschirmt sein.
- 4) Die obere Seite des Wagenkörpers soll möglichst ohne Vertiefung, Fensterrahmen, Zierleisten u.a., also möglichst glatt, ausgeführt sein.
- 5) Die Unterseite des Wagens ist ebenfalls möglichst ohne Öffnung sowie eben und glatt auszuführen.
- 6) Einzelteile wie Lampen, Stosstangen, Schilder u.a. sind einzubauen.

Beim augenblicklichen Stand der Forschung kann man zwei Entwicklungsrichtungen unterscheiden, welche diese Gesichtspunkte beim Bau eines Gebrauchswagens beachtet haben. Die eine Grundform wurde von Everling entwickelt. Eine von Kamm stammende Wagenform unterscheidet sich davon nicht grundsätzlich. Bei beiden Wagen weist die Grundform folgende Hauptmerkmale auf: Ausgangskörper ist der durch einfache Halbierung dem Boden angeglichene Körper geringsten Widerstandes, worüber Näheres bereits in [1] ausgeführt ist. Dieser Halbkörper ist vorne mit der heute üblichen heruntergezogenen Motorverkleidung und Sichtscheibe ausgeführt. Die Anpassung des Wagenkörpers an die Ausgangsform im Einzelnen zeigt Bild 1. Die für ein Gebrauchsfahrzeug ungünstige lange Heckspitze ist unter Verzicht auf letzte Auanutzung einer Widerstandsverminderung an passender Stelle abgeschnitten. Die Räder sind soweit wie möglich einbezogen. Vorspringende Ecken, Kanten und Teile sind möglichst vermieden. Man kann also schon von weitgehender Rücksichtnahme auf die vorangestellten strömungstechnischen Gesichtspunkte bei diesen Wagenentwicklungen sprechen, wie auch die Bilder 4 und 5 nach [2] erkennen lassen.

Hinweisentlich verschiedene Grundform wurde für den AVA-Versuchswagen benutzt. Sie stellt einen Tragflügel kleiner seitlicher Erstreckung dar, wie Bild 2 ihn zeigt. Die Kanten dieser geometrischen Grundform sind stark abgerundet, vor allen Dingen im hinteren Teil. Das Heck konnte recht gedrunen und mit stärkerem Abfall an der Oberseite ausgeführt werden, ohne dass die Strömung sich ablöste. Die erzielte Widerstandsverringerung ergibt einen Beiwert, der

kleiner ist als alle bisher bekannten. Eine Unterbringung des Motors im Heck ist bei dieser Form zweckmässig, jedoch nicht unbedingt erforderlich. Der zur Verfügung stehende umbaute Nutzraum ist von einer bei anderen Wagenformen bisher nicht erreichten Grösse. Alle oben angeführten aerodynamischen Gesichtspunkte sind in höchstmöglicher Form berücksichtigt. Einen Vergleich der drei Versuchswagen im Seitenriss gibt Bild 3.

III. Die Entwicklung der AVA-Form:

1) Allgemeine Beschreibung des Entwicklungsganges:

Die AVA-Form stellt das Ergebnis einer Entwicklung dar, welche sich über einen längeren Zeitraum erstreckte und sich zunächst überwiegend im Windkanal abspielte. Es sei hierfür zunächst auf einen Bericht von Lange verwiesen [3], der einen Vergleich verschiedener Wagenformen neben Einzelheiten der Windkanaltechnik bei Messungen an Bodenfahrzeugen behandelt. Ausserdem geht er auf weitere Fragen ein, wie z.B. auf das Verhalten der Räder beim Modell und wirklichen Fahrzeug, und auf den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit allgemein und im Einzelnen hinsichtlich des Einbaus herausragender Teile. Die gefundenen Ergebnisse zeigen, wie wichtig die aufgeführten Gesichtspunkte bei der Entwicklung einer strömungsgünstigen Wagenform sind.

Lange entwickelte eine Wagenform, welche in [4] näher beschrieben ist. Bei ihr lag der Gedanke zu Grunde, auf ein Tragflügelprofil mit geringem Dickenverhältnis d/l_0 im Bereich der unterzubringenden Personen ein zweites Profil aufzusetzen, das aber im waagerechten Schnitt vorne stark abgerundet ist. Damit wird die Form im Vorderteil weitgehend der Everling-Kammform ähnlich, während sich die Heckformen grundsätzlich unterscheiden, da bei Lange das Heck in eine waagerechte Schneide entsprechend dem zugrundegelegten Tragflügelprofil ausläuft. Eine Schnittzeichnung dieses Entwurfs gibt Bild 6.

Die bei dieser Form festgestellten Mängel führten Schlor zum Entwurf einer verbesserten Wagenform, (Bild 7). Sie vermied die durch vorne liegenden Motor und steilere Sichtscheibe verursachte Einziehung des Wagenvorderteils und damit die dort beobachtete ungünstige Strömung. Da geplant war, die zu entwickelnde Wagenform mit Hilfe eines fertig bezogenen Fahrgestells als Gebrauchswagen zu verwirklichen, schien durch diese Änderung zunächst der Weg zu einem Heckmotorfahrzeug gewesen zu sein. Es sei jedoch hier bereits ausdrück-

lich betont, dass die später mit dem Versuchswagen gewonnenen Erfahrungen einen Antrieb durch vorne liegenden Motor durchaus möglich erscheinen lassen. Eine wesentliche Veränderung wurde am Heck vorgenommen. Die mehr schneidenartig ausgebildete Form beim Entwurf von Lange wurde verlassen. Das Heck wurde seitlich nach hinten zunehmend mehr einbezogen, stärker abgerundet und dadurch im ganzen stumpfer ausgeführt. Die Vorderräder sind im Ausschlag nicht mehr beschränkt, wie das noch bei der Form von Lange der Fall war. Ueber Einzelheiten der Konstruktion und des Baus eines Versuchswagens, wie er im Anschluss an die günstigen Ergebnisse der Modellversuche vorgenommen wurde, ist Näheres in [4] angeführt.

2. Modellversuche und deren Ergebnisse:

Ueber Modellversuche an den beiden AVA-Formen liegt bereits ein Zwischenbericht der Deutschen Kraftfahrtforschung vor [5]. Auf den Inhalt dieses Berichts, der sich hauptsächlich mit den bei Seitenwind auftretenden aerodynamischen Vorgängen befasst, wird im Folgenden soweit eingegangen, wie es die von der AVA verfolgte Entwicklungslinie erfordert.

Der Masstab der untersuchten Modelle betrug 1:5. Die Untersuchungen fanden in verschiedenen Windkanälen der AVA statt. Für die in [3] beschriebenen Untersuchungen an Kraftwagenmodellen wurde der Kanal II benutzt. Es ist dies der später auf Freistahlbetrieb umgebaute älteste Göttinger Kanal. Er besitzt eine elliptische Düse mit den Abmessungen 1 x 1,5 m. Die höchste erreichbare Windgeschwindigkeit beträgt etwa 40 m/sec. Alle Messungen fanden über einer Bodenplatte statt. Hierbei wurden auch die bei seitlicher Anblasung auftretenden Kräfte und Momente untersucht. Bild 9 zeigt das Modell eines Personenkraftwagens im Kanal II. Einzelheiten über die Messungen an diesem und weiteren Modellen sowie über die Durchführung der Messungen können dem Bericht [3] entnommen werden.

Eine weitere Messreihe fand im Kanal I mit 2,24 m Düsenmesser statt, der in Ergebn. AVA, I.Lief. beschrieben ist. Sie bezog sich hauptsächlich auf die Feststellung des Kennwerteeinflusses bei den Modellen nach Lange und Schlör, weiterhin wie in [3] mit HW bzw. VW bezeichnet. Eine seitliche Anblasung wurde nicht vorgenommen. Auch wurde die Bodenplatte bei diesem reinen Vergleichsversuch weggelassen. Die Ergebnisse der Messreihe sind unten in Bild 11 in der Form Widerstandsbeiwert abhängig von der Anblasgeschwindigkeit aufgetragen.

Weitere Versuche an dem Modell VW wurden im Windkanal IV der AVA (Düsendurchmesser 1,5 m) vorgenommen. Wie bei den Versuchen im Windkanal II wurden ebenfalls die Luftkräfte bei seitlicher Anblasung ermittelt. Bild 10 zeigt das im Kanal aufgehängte Modell VW ohne Bodenplatte. Die Messungen wurden jedoch hauptsächlich mit Bodenplatte durchgeführt. Das Ergebnis einer bei dieser Gelegenheit durchgeführten Messreihe über den Einfluss des Bodenabstandes zeigt Bild 15 unten.

Zu den Angaben auf Bild 8 sei noch ergänzend bemerkt, dass als Bezugsfläche in der üblichen Weise die grösste Querschnittsfläche gewählt ist. Der Bezugspunkt für das Moment liegt in der Mitte zwischen den beiden Radaachsen. Das Vorzeichen wurde so gewählt, dass bei positivem Moment der Wagen vorne zur Leeseite gedreht wird. Da bei einem Fahrzeug eine Weiterleitung von Seitenkräften zum Boden nur über die Räder möglich ist, so ist es zweckmässig, eine Zerlegung der Seitenkraft in die beiden Anteile S_v und S_h vorzunehmen, welche in Richtung der Vorder- bzw. Hinterachse angreifen. Der Angriffspunkt der gesamten Seitenkraft ergibt sich aus der Gleichung

$$c_m/c_s = x/l.$$

Zusammen mit $S = S_v + S_h$ ist der an der Vorderachse angreifende Anteil

$$S_v/S = \frac{1+2c_m/c_s}{2}$$

und der an der Hinterachse angreifende Anteil

$$S_h/S = \frac{1-2c_m/c_s}{2}$$

Die positive Richtung der Seitenkräfte ist zur Leeseite hin gerichtet.

Der Winkel γ , welcher die Richtung der Anblasungsgeschwindigkeit gegenüber der Fahrtrichtung angibt, wurde bei einigen Messungen bis zu 30° ausgedehnt, da solche Winkel bei Fahrgeschwindigkeiten zwischen 50 und 80 km/h in einzelnen Windstössen auftreten können.

Das Verhalten des Widerstandsbeiwertes abhängig von der Geschwindigkeit bei $\gamma = 0$ zeigt Bild 11. Da alle Modelle praktisch den gleichen Masstab besaßen, kann man diese Auftragung über v unmittelbar als Kennwertdarstellung ansehen. Der Einfluss der Ge-

schwindigkeit ist bei HW¹⁾ etwa so, wie man ihn nach allen bisher vorliegenden Erfahrungen erwarten kann. Auffallend ist jedoch der Unterschied der beiden im Kanal I, also unter gleichem Turbulenzgrad, gemessenen Kurven HW und VW. Die Messwerte von VW sind nämlich praktisch unabhängig von der Geschwindigkeit.

Das Verhalten der einzelnen Beiwerte von HW und VW bei seitlicher Anblasung der Modelle zeigt die Darstellung für c_w und c_s auf Bild 12, für c_m und S_y/S auf Bild 13. Für das Modell HW wurden die Werte bei den grössten erreichten Geschwindigkeiten genommen. Es zeigt sich bei c_w ein merkliches Ansteigen bei zunehmender Schräganblasung. Die Seitenkraft nimmt ungefähr linear zu. Der Unterschied beider Modelle im c_s entspricht erwartungsgemäss dem von c_w . Beim Giermoment ist das jedoch nicht der Fall. Für VW ergibt sich ein höheres c_m als bei HW. Der Unterschied ist aus der vorne stark verschiedenen Wagenform zu erklären. Bei dem heruntergezogenen Vorderteil der Form HW sind die dort angreifenden Luftkräfte entsprechend geringer. Das geht auch aus Bild 13 unten hervor, wo der an der Vorderachse angreifende Anteil S_y der Gesamtseitenkraft S aufgetragen ist. Für die beiden verglichenen Modelle ist S_y immer +. Wegen weiterer Einzelheiten zu diesem Punkte sei auf den Bericht [5] verwiesen. In Bild 13 oben ist aus [6] zwecks Vergleich der Beiwert des Giermoments c_m einer Wagenform nach Kamm ohne Flossen gestrichelt mit eingetragen. Obwohl diese Form mehr der von HW sich nähert, liegt c_m näher bei dem der Form VW.

Als Ergebnis der Modellversuche kann Folgendes zusammengefasst werden: Der Widerstand der Form VW ist um einen beachtlichen Betrag kleiner als bei HW. Die Form VW ist vorne breiter, um vollen Radausschlag zu ermöglichen, spricht aber damit nicht gegen die Verwirklichung als Versuchswagen. Die aerodynamische Seitenkraft ist ebenso wie der Widerstand bei der Form VW kleiner als bei HW. Das aerodynamische Giermoment ist höher, was aber bei der Entscheidung über die in Grossausführung zu bauende Wagenform nicht in Betracht kam. Hierfür waren ausser den Ergebnissen der Modellversuche und Strömungsbeobachtungen, die bereits stark für die Form VW sprachen, noch weitere Gesichtspunkte massgebend. Das Modell VW besass

1) In [5] unterblieb die Darstellung des c_w der untersuchten Formen abhängig von v , weshalb sie in Bild 11 nachgeholt wird.

nämlich eine um rund ein Drittel grössere Bezugsfläche F . Damit ist auch der umbaute Rauminhalt entsprechend grösser. Dieses Verhältnis wird noch günstiger, wenn man die Einziehung im Vorderteil von HW mit berücksichtigt. Bei gleichem für den eigentlichen Luftwiderstand massgebendem Produkt $F \cdot c_w$ ergibt sich also ein recht beträchtlicher Unterschied im Nutzraum zu Gunsten von VW. Ausserdem hat der Widerstandsbeiwert von VW für eine als Gebrauchswagen wirklich gebaute und gefahrene Wagenform den bisher überhaupt erreichten niedrigsten Wert.

IV. Versuche mit dem AVA-Wagen und Ergebnisse:

Ueber Auswahl des Fahrgestells für den zu bauenden Versuchswagen, die für den Umbau erforderliche Konstruktion sowie den Bau des Versuchswagens allgemein entsprechend den Ergebnissen der Modellversuche hat Schlör in [4] ausführlich berichtet. Hier sei nur hervorgehoben, dass der Wagen zwar für Versuchszwecke gebaut, jedoch dabei soweit wie möglich als Gebrauchswagen ausgeführt wurde.

Dabei war es unter den gegebenen Umständen nicht möglich, alles technisch Erstrebenswerte auszuschöpfen. Es war z.B. ein grosser schon beim Entwurf empfundener Mangel, dass kein zweckentsprechendes Getriebe eingebaut werden konnte.

Der Versuchswagen wurde zwecks Vergleich mit den Modellmessungen im grossen Windkanal der AVA untersucht. Die benutzte Düse ist elliptisch ausgeführt mit den grössten Abmessungen $7 \times 4,5$ m. Die Versperrung des Windstroms war bei den vorhandenen Abmessungen von Windstrom und Messgegenstand noch nicht so gross, dass hierfür eine Korrektur der Messung hätte vorgenommen werden müssen. Der Wagen wurde vorne an je zwei V-förmig angebrachten Profildrähten und hinten an einem senkrechten Draht aufgehängt. Die Stellen für die Befestigung der Drähte waren bereits beim Entwurf der Karosserie mit vorgesehen worden. Zur Nachahmung des Erdbodens wurde eine vorhandene Bodenplatte auf der vor der Düse befindlichen verfahrbaren Hebebühne aufgebaut. Auf diese Weise konnte der Bodenabstand zum Wagen verändert werden, wie es sich bereits bei den Modellversuchen als wünschenswert herausgestellt hatte. Die Bodenplatte konnte gänzlich aus dem Windstrom herausgefahren werden, sodass der Wagen auch völlig ohne Bodenplatte angeblasen werden konnte.

Die beiden vorderen V-Aufhängungen griffen an zwei der vorhandenen Windkanalwagen an, mit denen der Widerstand gemessen wurde. Eine seitliche Anblasung war nicht möglich. Bild 14 zeigt den Wa-

gen im Winkanal auf der Bodenplatte mit Blick zur Düse. Ausser den Kraftmessungen wurden auch Strömungsbeobachtungen vorgenommen, wie die auf der Wagenoberfläche befestigten Fäden zeigen.

Die Ergebnisse der Kraftmessung zeigt Bild 15. Oben ist der Windwiderstandsbeiwert c_w abhängig von v aufgetragen. Bei der oberen Kurve war die Unterseite des Wagens normal, d.h. so, wie sie während der Fahrt ist. Es ergibt sich im Mittel ein $c_w = 0,186$. Zum Vergleich ist die Messung des Modells ohne Boden nach Bild 11 unten gezeichnet. Die beiden Windkanalversuche stimmen darin überein, dass praktisch keine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, also kein Kennwerteinfluss, vorhanden ist. Modell und Grossausführung ohne Boden unterscheiden sich nur unwesentlich. Anders ist es bei den Messreihen mit Boden, wie aus den unteren Kurven hervorgeht. Bei diesen wurde der Abstand x der Bodenplatte geändert. Um einen richtigen Vergleich mit dem Ergebnis der Modellmessung haben zu können, waren die Radmulden bei der Grossausführung abgedeckt worden, wie das beim Modell der Fall war, bei dem die herausragenden Radteile auf die glatte Unterseite aufgesetzt worden waren. Diese Modellmessung wurde im Kanal IV (s. Bild 10) gelegentlich der Versuchsreihe über den Einfluss seitlicher Anblasung ermittelt. Auffallend ist der hohe Einfluss des Bodenabstandes x , der bezogen auf die grösste Dicke d des Wagenkörpers als Abszisse aufgetragen ist. Es ergibt sich ein beträchtlicher Unterschied bei normalem Bodenabstand, während mit grösser werdendem x/d die Messwerte für Modell- und Grossversuch so wenig auseinander liegen, dass man praktisch von einer Übereinstimmung zwischen Modell und Grossausführung innerhalb der erzielbaren Messgenauigkeit sprechen kann. Zum Vergleich mit den Ergebnissen von Fahr- oder Auslaufversuchen ist der Wert von $c_w = 0,186$ heranzuziehen, da er bei normalem Bodenabstand und normaler Ausführung der Unterseite gewonnen wurde.

Die mittels aufgeklebter Fäden beobachtete Umströmung des Wagenkörpers zeigt vor allen Dingen, wie auch beim Modellversuch bereits beobachtet, dass die Strömung bis zu den hintersten Heckteilen recht gut anliegt. Das ist sowohl aus Bild 14 von der Seite her als auch aus Bild 15 beim Blick auf das Heck deutlich zu erkennen. Ein eng begrenztes Gebiet stark flatternder Fäden zeigt sich nur seitlich am Heck hinter den Rädern. Trotz der zur Erzielung vollen Lenkausschlags vorne verhältnismässig breit gehaltenen Wagenform ist auch dort überall ein guter Verlauf der Umströmung erzielt wor-

den.

Zur Erklärung des günstigen Verlaufs der Strömung über dem steil abfallenden Heck kann die Tragflügelwirkung des Wagenkörpers herangezogen werden. Die Form des Wagens ist nämlich trotz der geringen seitlichen Erstreckung als Tragflügel anzusehen. Die Nähe des Bodens ändert die Umströmung dieses Tragflügels nicht wesentlich. Bekanntlich entstehen an den seitlichen Enden eines Tragflügels infolge der Umströmung des Randes Wirbel, die auf den ganzen übrigen Tragflügel zurückwirken. Bei geringer Streckung des Flügels wie im vorliegenden Falle liegen die Wirbel eng beieinander. Sie vermögen durch die zwischen ihnen hervorgerufene abwärts gerichtete Strömung das Abreißen bei steil abfallender Flügeloberseite zu verhindern. Bei Kreistragflügeln oder sonstigen Tragflächen kleiner Streckung ist der günstige Einfluss der Randwirbel auf das Abreißen der Strömung bei grossen Anstellwinkeln bereits öfters beobachtet worden [7]. Bild 17 zeigt schematisch den Strömungsverlauf über dem Heck, wie er sich bei einem Blick auf Heck in Fahrtrichtung darbietet. Rechts und links sind die Wirbelköpfe angedeutet, wie sie bei der Umströmung des Wagenrandes von der Unterseite her sich ausbilden. Auf Bild 14 zeigen die stark flatternden Fäden am Heck seitlich hinter den Rädern die hier besonders starke Umströmung deutlich an. Die beiden Wirbelköpfe, die sich hinter dem Wagen ausbilden, wurden bei Fahrten im Pulverschnee auf der Assebahn beobachtet.

Um einen genaueren Einblick in die Entwicklung der Randwirbel zu bekommen, wurden Versuche an einem kleinen Modell an Wasser vorgenommen. Dabei lassen sich die Randwirbel durch Einführen von Luft in die Wirbelkerne sichtbar machen. Mit Hilfe dieser Methode gewonnene Strömungsbilder von Randwirbeln an Tragflächen sind in [7] veröffentlicht. Die Versuchsstrecke des benutzten kleinen Wasserkanals besteht seitlich und unten aus Glaswänden. Bild 18 zeigt das auf den Boden aufgesetzte Modell von unten her. Vorne ist die Sonde für die Luftzuführung angebracht. Man erkennt deutlich am Heck des Modells die Ausbildung der beiderseitigen Wirbel, welche durch die vorne eingeführte Luft sichtbar gemacht werden. Einen Blick von oben auf das Modell bei Schräganströmung zeigt das nächste Bild 19. Der eine der beiden Wirbelköpfe ist besonders gut sichtbar, da er infolge Schräganströmung stärker ausgebildet ist und fast alle eingeführte Luft in seinen Kern hinein saugt.

Es ist klar, dass für eine günstige, d.h. die Strömungsablösung verhindernde Wirkung der Randwirbel die Ausbildung des Hecks entscheidend ist. Bildet man diese mehr einer waagerechten Schneide entsprechend aus, wie das noch bei dem HW-Modell der Fall war, so ist der Abstand der Wirbelkerne voneinander zu gross, um noch genügend Wirkung bis zur Mitte des Hecks zu haben. Bei dem Modell HW wurde deshalb auch noch Strömungsablösung über der Heckmitte beobachtet [4]. Neben einer nicht zu grossen Breite des Hecks trägt aber auch eine nicht zu knapp gewählte Abrundung der Heckränder wesentlich zur Erleichterung der Umströmung bei. Es versteht sich von selbst, dass zur Hervorrufung der Tragflügelwirkung, die sich eben in den Wirbelzöpfen äussert, auch eine entsprechende Ausbildung des Wagenverderteils einer Tragflügel Nase entsprechend Voraussetzung ist. Bei der Entwicklung der AVA-Form sind also zum ersten Male bei einem Kraftwagenaufbau die mit Hilfe einer Tragflügelwirkung erzeugten Randwirbel zur Verhinderung von Strömungsablösung herangezogen worden. Es ist damit ein neuer Grundsatz in die Aerodynamik des Kraftwagens einbezogen worden.

Da der Wagen als Gebrauchsfahrzeug gefahren wurde, seien die dabei gemachten Erfahrungen mitgeteilt. Wie bereits erwähnt, konnte eine dem geringen Widerstand entsprechende Getriebeänderung zur Erzielung der höchst-möglichen Fahrgeschwindigkeit nicht vorgenommen werden. Es ist deshalb nicht angebracht, den Wagen hinsichtlich Leistung, Brennstoffverbrauch und Totgewicht zu beurteilen. Zunächst kam es hauptsächlich darauf an, die Verkehrstüchtigkeit und sonstige Brauchbarkeit eines folgerichtig bis zum Aussereraten nach aerodynamischen Gesichtspunkten gebauten Wagens beurteilen zu können. So schien z.B. durch Berücksichtigung des unbeschränkten Lenkschlags der Räder der Wagen vorne verhältnismässig breit geraten zu sein, obwohl mit 2,4 m die zugelassene Höchstbreite noch nicht erreicht ist. Der Gewinn, der jedoch durch den Vollausschlag der Lenkräder für die Brauchbarkeit des Wagens erzielt wird, überwiegt bei weitem die durch die grössere Wagenbreite etwa bedingten Nachteile. Im Gegenteil hat sich die grössere Wagenbreite im Vorderteil des Wagens für die Verkehrserschließbarkeit eher noch als Vorteil erwiesen. Die Wendigkeit im Grosstadtverkehr war ebenfalls viel günstiger als ursprünglich angenommen wurde. Dabei hat sich vor allem das seitlich stark zusammengezogene Heck in der Kurve als vorteilhaft erwiesen.

Klare Vorteile ergeben sich hinsichtlich Nutzraum. Dieser ist durch Einbeziehung auch des sonst von Kotflügeln eingenommenen Raumes so gross, wie er bisher noch von keinem Gebrauchsfahrzeug erzielt wurde. Bei der bisher üblichen engen Sitzanordnung können 7 Personen untergebracht werden. Bringt man nur 4 unter, so ergibt sich dadurch eine Fahrbequemlichkeit, die vor allem bei längerer Fahrdauer von nicht zu unterschätzendem Vorteil ist. Während das aerodynamische Verhalten der Wagenform bei seitlicher Anblasung nach den Modellmessungen nicht besonders günstig erscheint, hat bei den bisherigen Fahrten mit Seitenwind der Wagen kein Verhalten gezeigt, dass schlechter wäre als bei Wagen der bisher üblichen Formen¹⁾. Die Bilder 19 und 20 zeigen den Wagen auf der Autobahn.

Zur Ergänzung der Windkanalversuche wurde 1939 vom Institut für Kraftfahrwesen der T.H.Hannover ein Auslaufversuch vorgenommen. Hierüber liegt ein Versuchsbericht des Instituts vor, aus dem das Wesentliche im Folgenden mitgeteilt sei. Ueber Einzelheiten des Messverfahrens siehe [8]. Die Weg-Zeit-Messung erfolgte elektrisch mit Hilfe von DVL-Zählern. Als Auslaufstrecke wurde eine waagerechte Teilstrecke der Reichsautobahn Hannover-Lehrte über rd. 1,6 km Länge gewählt, welche beiderseits von Wald begrenzt war, um den Einfluss des Bodenwindes auszuschalten. Der Rollwiderstand wurde auf einem Trommelprüfstand gesondert bestimmt. Im Mittel ergab sich aus einer Reihe von Messfahrten ein Widerstandsbeiwert von $c_w = 0,189$. Dieser Wert stimmt mit dem im grossen Windkanal erhaltenen Wert 0,186 sehr gut überein. Als erzielte Endgeschwindigkeit ist ein Wert von $V = 132$ km/h angegeben worden. Eigene Messungen auf der RAB nach einem Uebergang von Gefälle auf eine waagerechte Strecke ergaben auf dieser 146 km/h bei verschiedenen Stoppungen. Der Motor war dabei stark überdreht. Seine Leistung reichte jedoch zur Aufrechterhaltung der angegebenen Geschwindigkeit über eine längere Strecke aus.

In der folgenden Tabelle sind c_w -Werte bekannter Wagenformen zwecks Vergleich zusammengestellt:

Form	c_w	Form	c_w
Norm. Pers. Wagen	0,65	Everling	0,31
Opel Admiral	0,48	Kamm	0,21
Volkswagen	0,38	AVA	0,19

Die Bilder 20 und 21 zeigen den AVA-Wagen auf der Autobahn.

¹⁾ Bei Fahrten, die mit dem Versuchswagen seitens des Kraftfahrtinstituts der T.H.Berl. durchgeführt wurden, konnte dies ebenf. festgw.

V. Schlussfolgerungen:

Da der AVA-Wagen abgesehen von der aerodynamischen Gestaltung aus den geschilderten Gründen keine Bestlösung darstellen konnte, sei zum Abschluss näher dargelegt, welche Verbesserungsmöglichkeiten sich bei Benutzung der gefundenen Ergebnisse für ein Gebrauchsfahrzeug auf der Grundlage der AVA-Form ergeben können. Als Vergleichsfahrzeug wird eine Wagenform gewählt, welche etwa der vielbenutzten DKW-Meisterklasse entspricht. Der Vergleich bezieht sich auf Leistungsaufwand bzw. Brennstoffersparnis, da nur hierfür sich feste Zahlenangaben machen lassen. Alle anderen Eigenschaften der verglichenen Wagenformen können dabei nicht erfasst werden und müssen einer anderen Beurteilungsmöglichkeit überlassen bleiben.

Zunächst wird bei gleichem Leistungsaufwand die Brennstoffersparnis ermittelt, welche sich durch Steigerung der Geschwindigkeit infolge günstigerer Wagenform ergibt. Anschliessend wird der Vergleich bei gleichen Geschwindigkeiten angestellt, um den Einfluss der Wagenform auf den Leistungsaufwand zu erkennen.

Zur Bestimmung des Leistungsaufwandes ist es erforderlich, die Verlustleistungen zu ermitteln, welche sich aus den Fahrwiderständen ergeben und die vom Antriebsmotor zu überwinden sind. Zu Grunde liegt dabei ein Wagengewicht von $G = 1000$ kg einschliesslich einer Nutzlast von 4 Personen.

Die von der Strasse selbst verursachten Fahrwiderstände werden unter der Bezeichnung Rollwiderstand zusammengefasst. Er folgt der Beziehung

$$W_R = f G,$$

worin f = Rollwiderstandsbeiwert des verwendeten Reifens ist. Auf Grund von empirischen Formeln nach Kamm, H. Hahn und Andreau [9, 10, 11], welche mit Messungen nach [9] und [13] verglichen wurden, ergeben sich abhängig von der Fahrgeschwindigkeit und für 2,5 atü Reifendruck die auf Bild 22 wiedergegebenen Kurven für f . Durch sie wurde eine Mittelkurve gelegt, welche der Berechnung der Rollwiderstandsleistung

$$N_R = W_R \frac{v}{75} = \frac{f G v}{75} \text{ in PS} \quad (v \text{ in m/sec}) \quad \text{dient.}$$

Für die Berücksichtigung des Lüfterwiderstandes der Räder und des Triebwerkswiderstandes, auch innerer Widerstand genannt, wurde nach den Angaben von G. Schmid [13] verfahren. Die aus Lüfter- oder Ventilationswiderstand der Räder bzw. inneren Widerstand herrührenden

den Leistungen $N_v = W_v \frac{V}{75}$ bzw. $N_1 = W_1 \frac{V}{75}$ wurde in Bild 23 zusammen mit der aus dem Luftwiderstand der Karosserie $W_L = c_w \cdot q \cdot F$ sich ergebenden Verlustleistung $N_L = W_L \frac{V}{75}$ über der Fahrwindgeschwindigkeit in V km/h aufgetragen.

Die Bezugsfläche F wurde für die beiden verglichenen Wagenformen als gleich angenommen. Man erkennt aus Bild 23, dass auch bei noch gar nicht so grossen V der Anteil des Luftwiderstandes an der zur Ueberwindung der Verlustleistung erforderlichen Antriebsleistung bereits recht beträchtlich werden kann.

Welche Fahrgeschwindigkeit bzw. Brennstoffersparnis man beim Vergleich der beiden Wagenformen erzielen kann, geht aus Bild 24 hervor. Unter der Voraussetzung, dass die Getriebe entsprechend bemessen sind, erreicht die AVA-Form mit 20 PS eine Höchstgeschwindigkeit von 123 km/h gegen 88 km/h bei jetzt üblichem Wagenaufbau entsprechend etwa DKW. Nach Testbuch [12] kann die DKW-Form 85 km/h erreichen, d.h. die zugrunde gelegten Annahmen entsprechen genügend genau den wirklichen Verhältnissen. Ueberträgt man die im Testbuch angegebenen Zahlen für den Brennstoffverbrauch von 6 lit/100 km bei V = 50 km/h und 8 lit/100 km bei 70 km/h auf die AVA-Form, so kann man bei gleichem Leistungsaufwand bei dieser, wie auf Bild 24 unten eingezeichnet ist, Geschwindigkeiten von 68 bzw. 97 km/h erreichen. Die Brennstoffersparnis, welche dadurch erzielt wird, ist auf Bild 24 oben dargestellt. Dort ist der längs der zurückgelegten Fahrstrecke verbrauchte Brennstoff aufgetragen. Die bis 100 km von der DKW-Form verbrauchte Menge ist mit 100 % bezeichnet. Während des gleichen Zeitraums legt der Wagen mit der strömungsgünstigen Form eine der Geschwindigkeitssteigerung von 70 auf 97 km/h entsprechende grössere Strecke zurück. Der Schnittpunkt der Verbrauchskurve mit der Ordinate bei 100 km gibt die Ersparnis unmittelbar an. Sie beträgt nicht ganz 30 % und ergibt sich allein aus der Verminderung des Luftwiderstandes.

Der Anteil des Luftwiderstandes an der Verlustleistung steigt bekanntlich mit der dritten Potenz der Fahrgeschwindigkeit. Der Vorteil, der sich also beim Leistungsvergleich unter Gleichhaltung der Geschwindigkeit ergibt, kommt beim bisher durchgeführten Vergleich nicht zur Geltung. Auf Bild 25 ist deshalb bei V = 80, 100 und 120 km/h ein Vergleich der erforderlichen Fahrleistung durchgeführt. Im oberen Schaubild ist die Ersparnis $1 - \frac{N}{N_0}$ der AVA-Form (Leistung N) gegenüber DKW (Leistung N_0) wiedergegeben. Sie erweist sich bereits

bei 80 km/h als recht erheblich und gibt unmittelbar die Brennstoffersparnis wieder, welche auf diese Weise erzielt werden könnte.

VI. Zusammenfassung:

Im Rahmen der vom RVM unterstützten Kraftfahrtforschung entwickelte die AVA auf Grund ihrer auf anderen Gebieten gewonnenen strömungstechnischen Erfahrungen zunächst mit Hilfe von Modellversuchen, über die im Einzelnen berichtet wird, eine Kraftwagenform von geringstem bisher bekanntem Luftwiderstand. Dabei wurde ein in der Aerodynamik der Kraftwagenformen bisher noch nicht benutzter Strömungsvorgang, nämlich die Induktionswirkung der Randwirbel, wie sie bei der Umströmung eines Tragflügels entstehen, für die Verbesserung der Umströmung herangezogen. Der für die Kraftwagenform benutzte Grundkörper ist nämlich in diesem Falle ein Tragflügel von geringer seitlicher Erstreckung. Die bei der Randumströmung entstehenden bekannten Wirbelköpfe rücken auf engsten Abstand zusammen. Die dabei induzierte zwischen ihnen nach unten gerichtete Strömung vermag trotz gedungen ausgebildetem Heck die dort sonst unvermeidlich abreisende Strömung anliegend zu erhalten.

Das günstige Verhalten der Strömung und der geringe erzielte Widerstandsbeiwert der so entwickelten Form gaben Anlass, ein fertig bezogenes Normalfahrgestell mit einer dem Windkanalmodell nachgebildeten Karosserie auszustatten, um nachzuweisen, dass eine solche voll nach aerodynamischen Richtlinien gestaltete Wagenform auch gebrauchsfähig ist.

Dieser Nachweis kann im Grossen und Ganzen als gelungen betrachtet werden. Auf Grund zahlreicher mit dem Versuchswagen durchgeführter Fahrten kann bei richtiger Auslegung des Getriebes und Behebung sonstiger festgestellter unwesentlicher Mängel des Versuchsfahrzeugs unter Verwertung der sonstigen damit gewonnenen Erfahrungen als Endergebnis der Entwicklung ein Gebrauchsfahrzeug erwartet werden, das bei geringstem Leistungsaufwand einen bisher nicht erreichten Nutzraum bei völlig ausreichender Verkehrstüchtigkeit aufweist.

Mit dem Versuchswagen wurden ausserdem im grossen Windkanal der AVA Versuche durchgeführt, welche im wesentlichen die aus den Modellversuchen gewonnenen Ergebnisse bestätigen. Einen Unterschied im Widerstandsbeiwert bei normalem Bodenabstand aufzuklären, bleibt einer späteren Untersuchung vorbehalten.

Was sich an Leistungsaufwand bzw. Brennstoffersparnis bei Be-

nutzung der gefundenen Ergebnisse herausholen lässt, wird zum Schluss durch einen Vergleich eines strömungsungünstigen mit einem strömungsgünstigen Fahrzeugaufbau zahlenmäßig dargestellt.

Schrifttum.

DK = Deutsche Kraftfahrtforschung.

- [1] Klemperer, Luftwiderstandsuntersuchungen an Automobilmodellen, Zeitschr.f.Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, 1922, S.201.
- [2] E.Hahn - Und wie hat doch geiegt, die Stromlinie. Stavenhagen, Allg.Auto Zeitung, 1940, Nr.21, S.369.
- [3] Lange, Vergleichende Windkanalversuche mit Fahrzeugmodellen, Bericht Nr.31, 1937, der Wirtschaftsguppe Fahrzeugindustrie.
- [4] Schlör, Entwicklung und Bau einer luftwiderstandsarmen Karosserie, auf einem 1,7-Ltr.-Heckmotor-Mercedes-Benz-Fahrgestell, DK-Zwischenbericht Nr.48.
- [5] Hansen-Schlör, Aerodynamische Modellmessungen an verschiedenen Kraftwagenformen, DK-Zwischenbr. Nr.63.
- [6] Sawatzki, Luftkräfte und Momente am Kraftwagen DK-Heft 50, 1941, S.18.
- [7] Hansen, Messungen an Kreisstragflächen und Vergleich mit der Theorie der tragenden Fläche, Ing. Arch. 1939, S.251, auch Luftfahrtjahrbuch 1939, I, S.152.
- [8] Hörner, Bestimmung des Luftwiderstandes von Kraftfahrzeugen im Auslaufverfahren, Zd.VDI, 1935 S.1028.
- [9] Kluge-Haas, Rollwiderstand von Luftreifen, DK-Heft 26,39.
- [10] Hahn,H., Beschleunigungsvermögen und Bergsteigefähigkeit des Stromlinienwagens. ATZ 1941,S.32.
- [11] Baumgarten, Luftreifenrollwiderstand. ATZ 1939, S.527.
- [12] Fischer u.a. Motor.Kritik-Festbücher 1938/ und 1939.
- [13] Schmid,O., Luftwiderstand von Kraftfahrzeugen, Versuche am Fahrzeug und Modell, DK-Heft 1, 1938.

Verzeichnis der Bilder.

- Bild 1 : Wagenform nach Everling-Kamm.
" 2 : Grundform des AVA-Wagens.
" 3 : Vergleich der verschiedenen Wagenformen.
" 4 : Ansicht des Everling-Wagens.
" 5 : Ansicht des Kamm-Wagens.
" 6 : Wagenform nach Lange (Schnittzeichnung).
" 7 : " " Schlör " "
" 8 : Bezeichnungen und Messanordnungen (Kanal III).
" 9 : Kraftwagenmodell auf Bodenplatte im Kanal II.
" 10 : Modell der Form VW im Windkanal IV der AVA.
" 11 : Einfluss der Geschwindigkeit bei verschiedenen Modellen
(untersucht im Kanal II und I).
" 12 : Beiwerte c_w , c_s und c_m abhängig von γ .
" 13 : Beiwert c_m und Seitenkraft an Vorderradachse S_y .
" 14 : Versuchswagen auf Bodenplatte im grossen Windkanal.
" 15 : Ergebnisse der Kraftmessungen.
" 16 : Strömungsbeobachtung mit Hilfe aufgeklebter Fäden,
Blick auf das Heck (s. auch Bild 13).
" 17 : Schema der Heckumströmung.
" 18 : Strömungsbeobachtung im Wasser (Modell von unten her
gesehen).
" 19 : Blick auf das schräggeströmte Modell im Wasserkanal
von oben her.
" 20 : Versuchswagen auf der Autobahn.
" 21 : " von oben her aufgenommen.
" 22 : Rollwiderstandbeiwert von Kraftfahrzeugen.
" 23 : Einzelanteile der Verlustleistung.
" 24 : Brennstoffersparnis bzw. Steigerung der Fahrgeschwin-
digkeit bei gleicher Leistung.
" 25 : Leistungersparnis bei gleicher Geschwindigkeit.

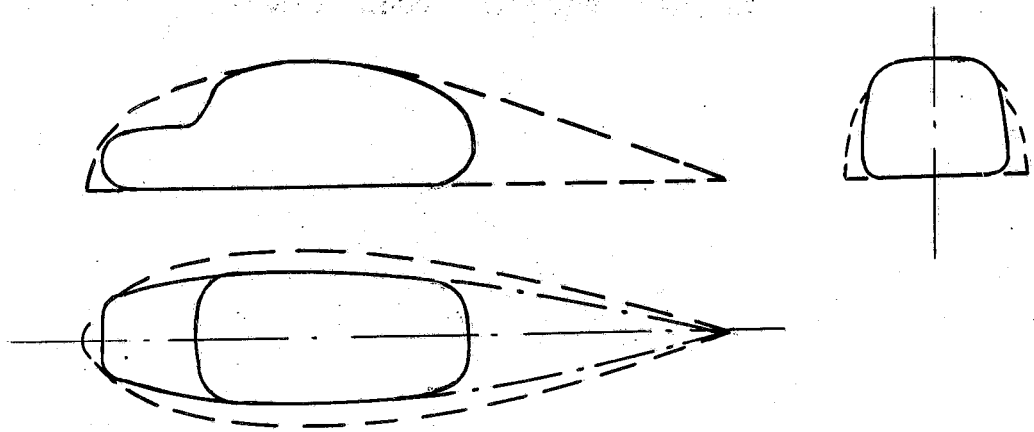


Bild 1: Grundform nach Everling - Kamm

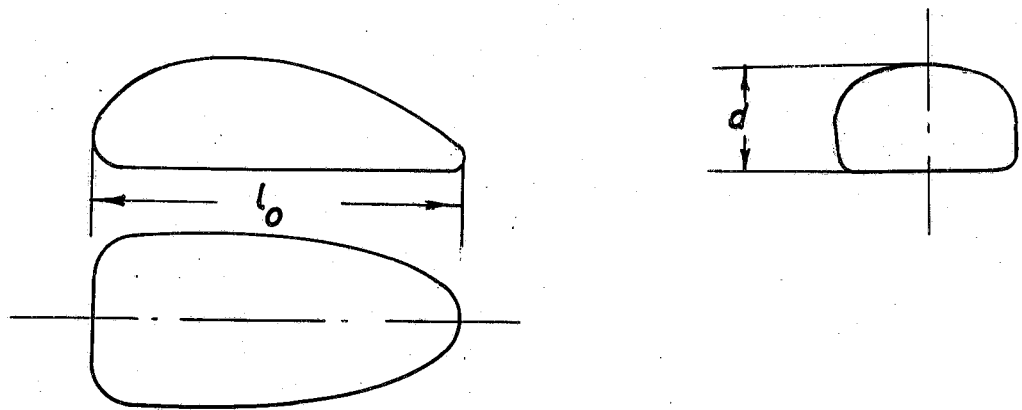


Bild 2: Grundform des AVA - Versuchswagens

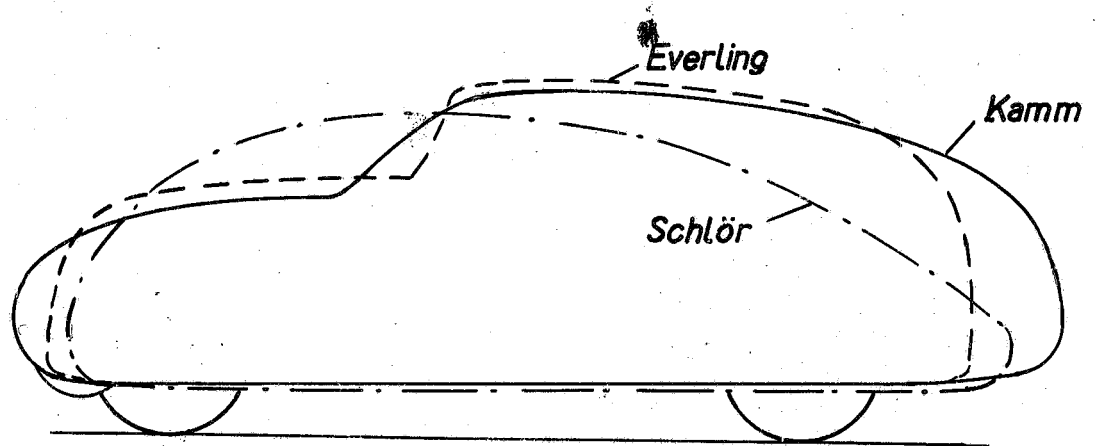


Bild 3: Vergleich der verschiedenen Wagenformen

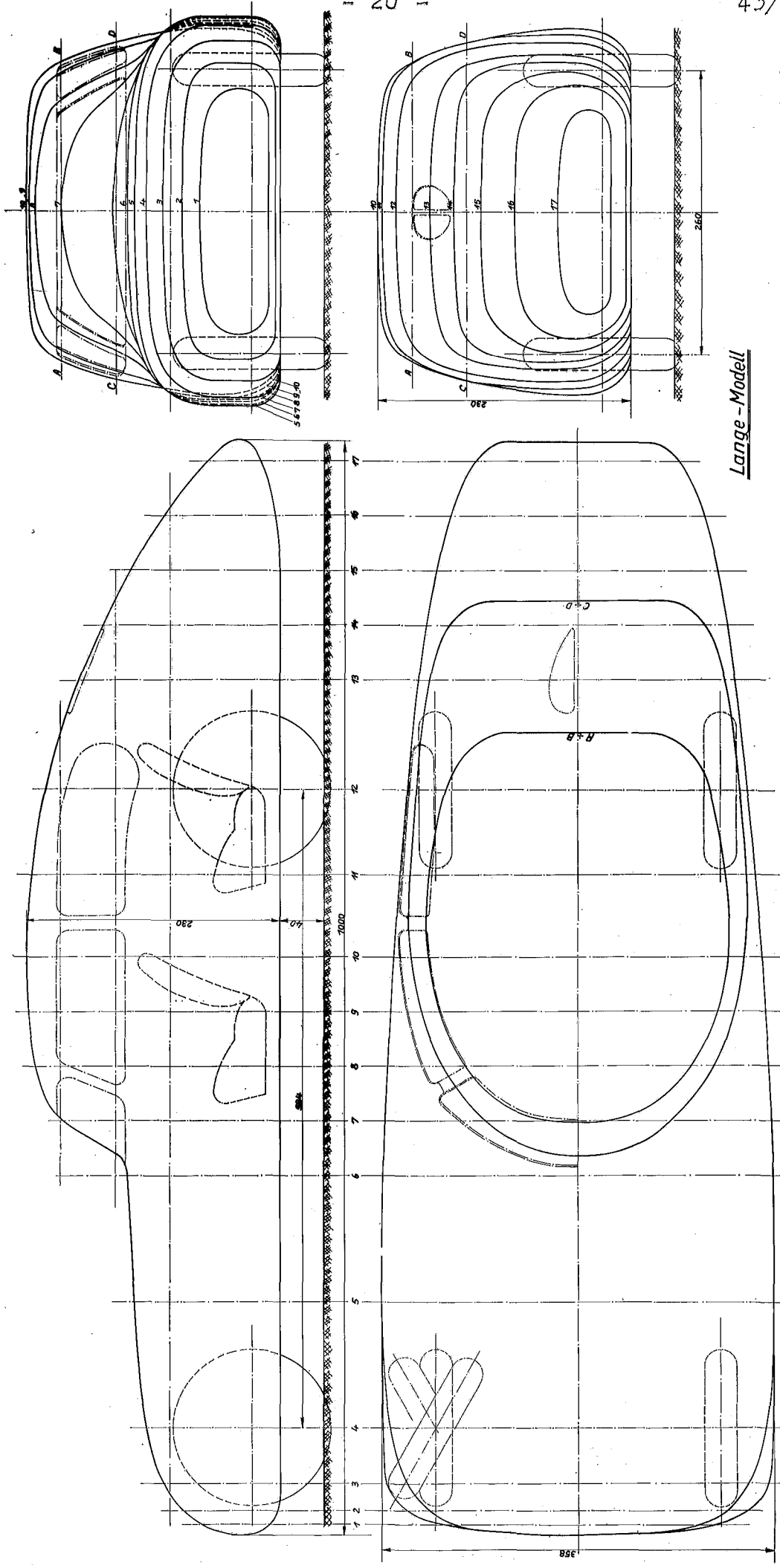


Bild 4: Ansicht des Everling-Wagens.



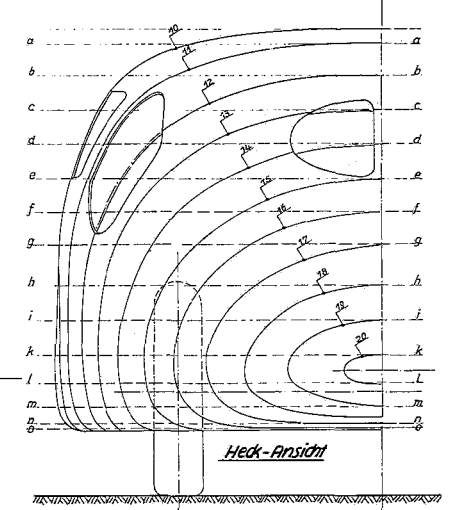
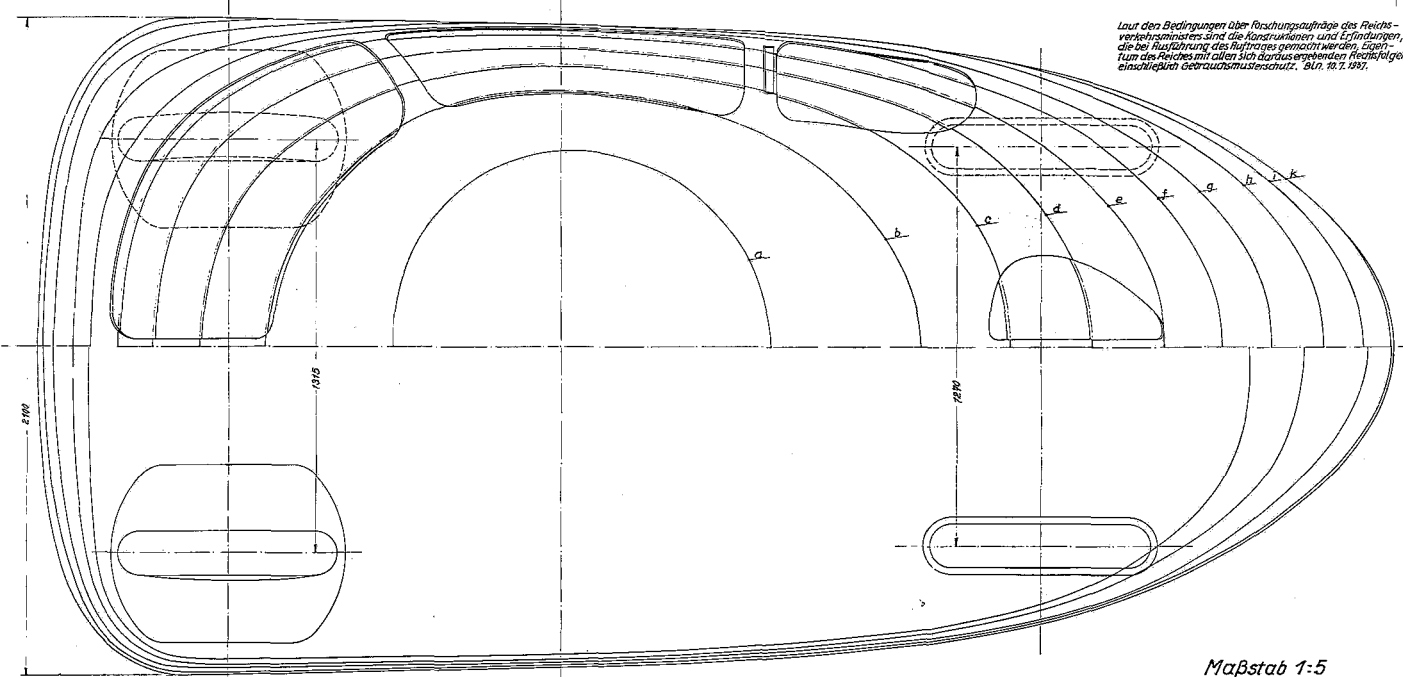
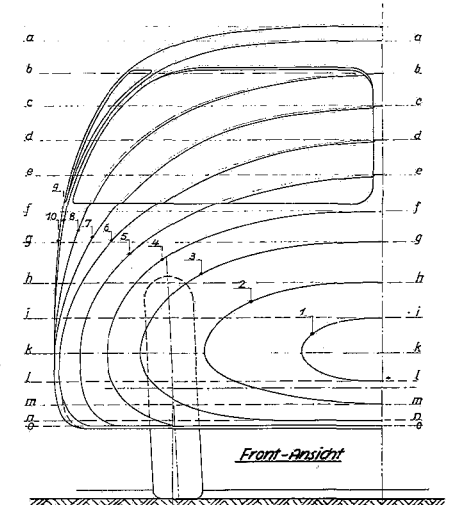
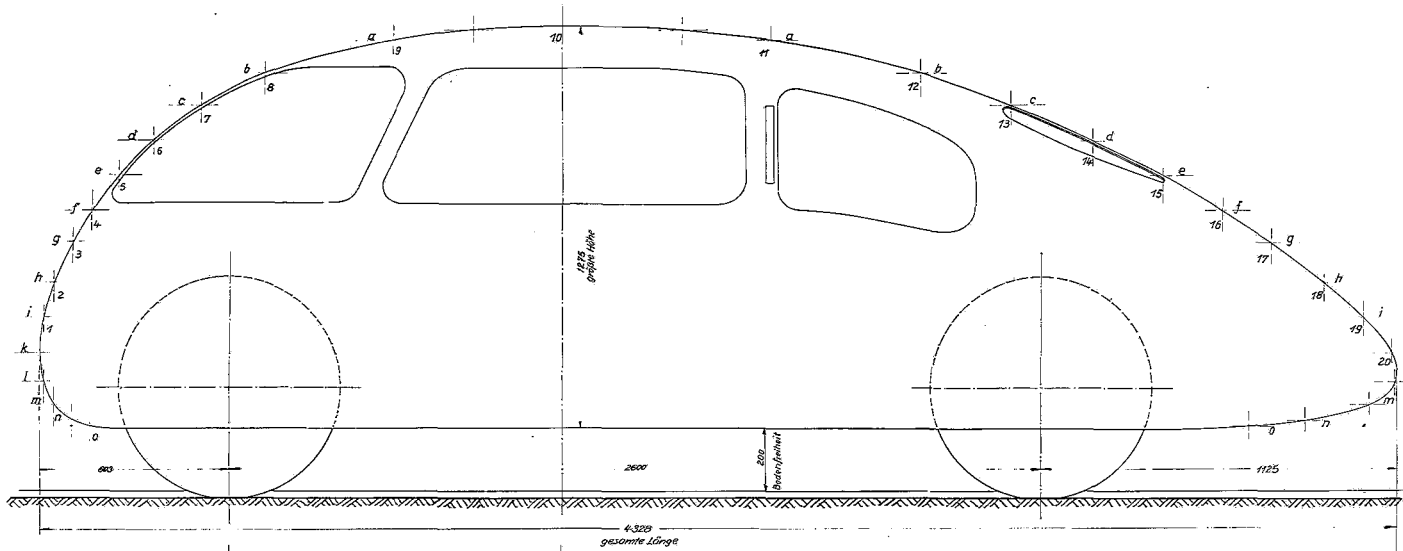
Bild 5: Ansicht des Kamm-Wagens.

1 20 1



Lange - Modell

Bild 6



Laut den Bedingungen über Forschungsaufträge des Reichsverkehrsministers sind die Konstruktionen und Erfindungen, die bei Ausführung des Auftrages gemacht werden, Eigentum des Reiches mit allen sich daraus ergebenden Rechten, einschließlich Gebrauchsmusterschutz. Bln. 10.7.1937.

Diese Lichtpase ist Eigentum des Reiches, darf weder vervielfältigt, noch dritten Personen ausgehändigt und nur zum Dienstgebrauch im Geschäftsbereich des Empfängers verwendet werden. Berlin, den 10.7.1937.

Bild 7

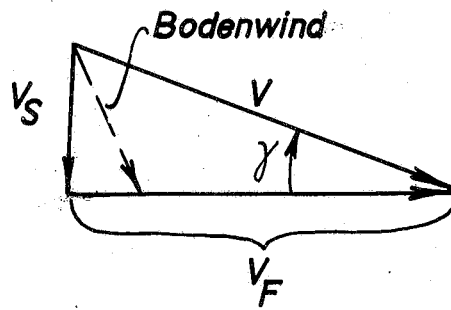
Maßstab 1:5

geg. 22.2.34. Alder. A.V.R. Göttingen, den 6. Dez. 37. *van Gahr*

Karosserie für den Merc-Benz-Heck-Typ W28

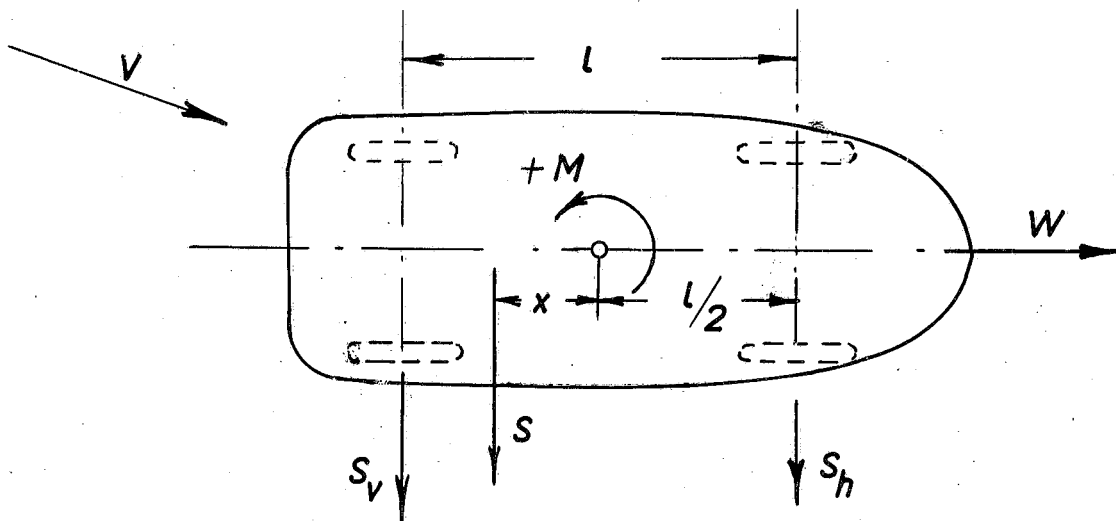
Zeich. Nr.: KII-Kr 0003

Bezeichnungen



V_F = Anblasgeschwindigkeit
in Fahrtrichtung

V_S = Seitenwindkomponente
in Fahrtrichtung



$W = c_w q F$ = Widerstand (kg)

$S = c_s q F$ = Seitenkraft (kg)

$M = c_m q Fl$ = Giermoment (kg m)

$q = \rho/2 v^2$ (kg/m²)

F = Bezugsfläche (m²)

Bild 8: Bezeichnungen und Messanordnungen (Kanal II).

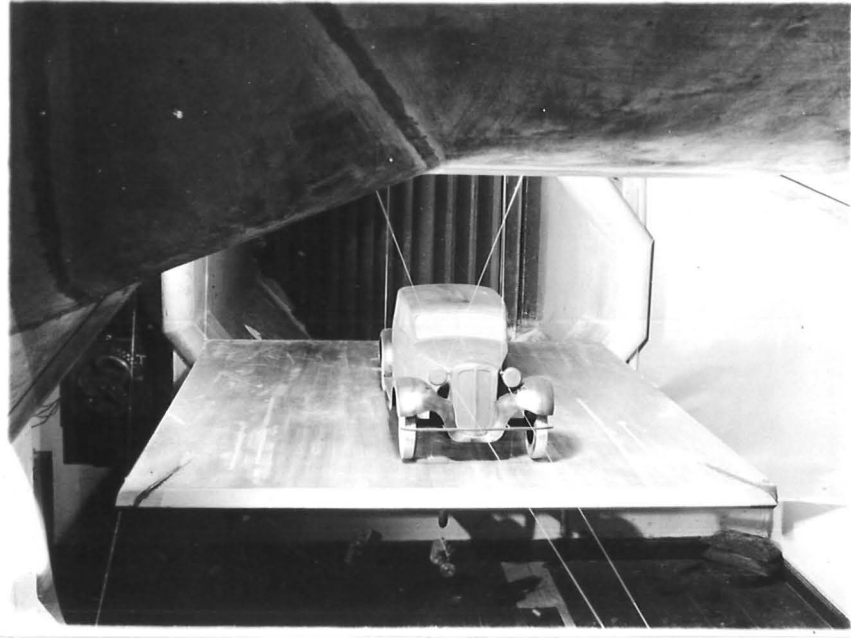


Bild 9: Kraftwagenmodell auf Bodenplatte im Kanal II.



Bild 10: Modell der Form VW im Windkanal IV der AVA.

Geschwindigkeitsreihe

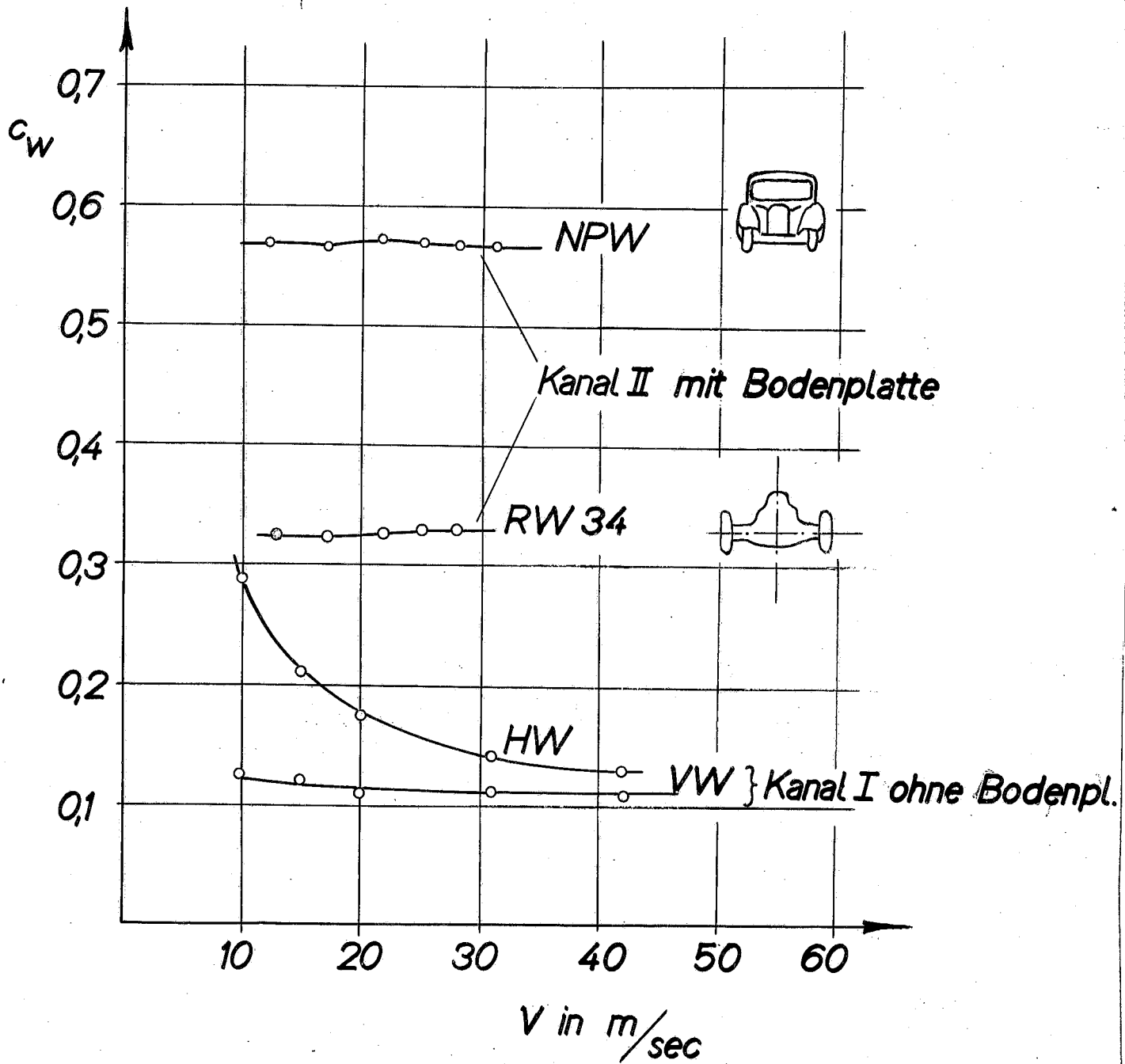


Bild 11: Einfluß der Geschwindigkeit bei verschiedenen Modellen. (untersucht im Kanal II und I).

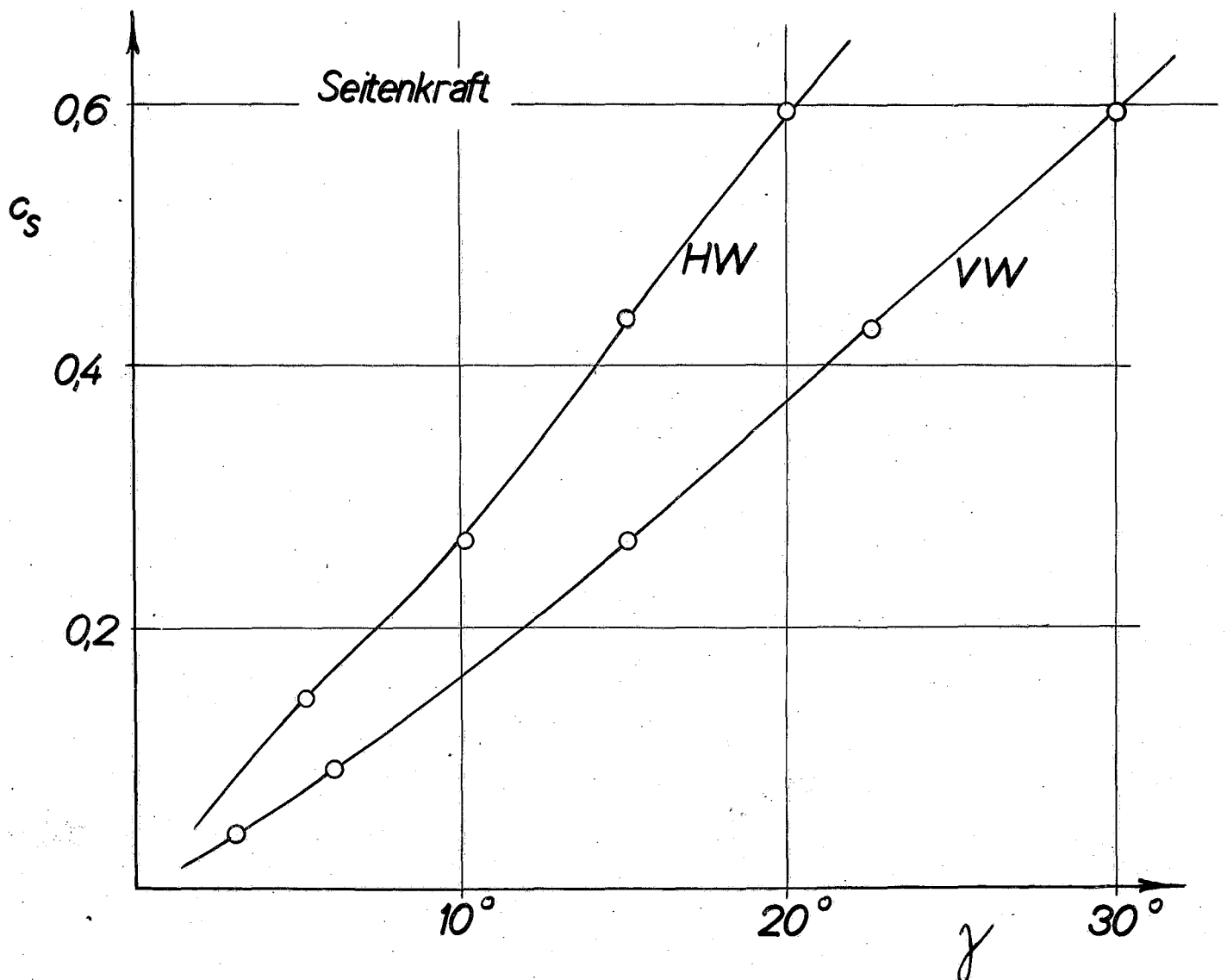
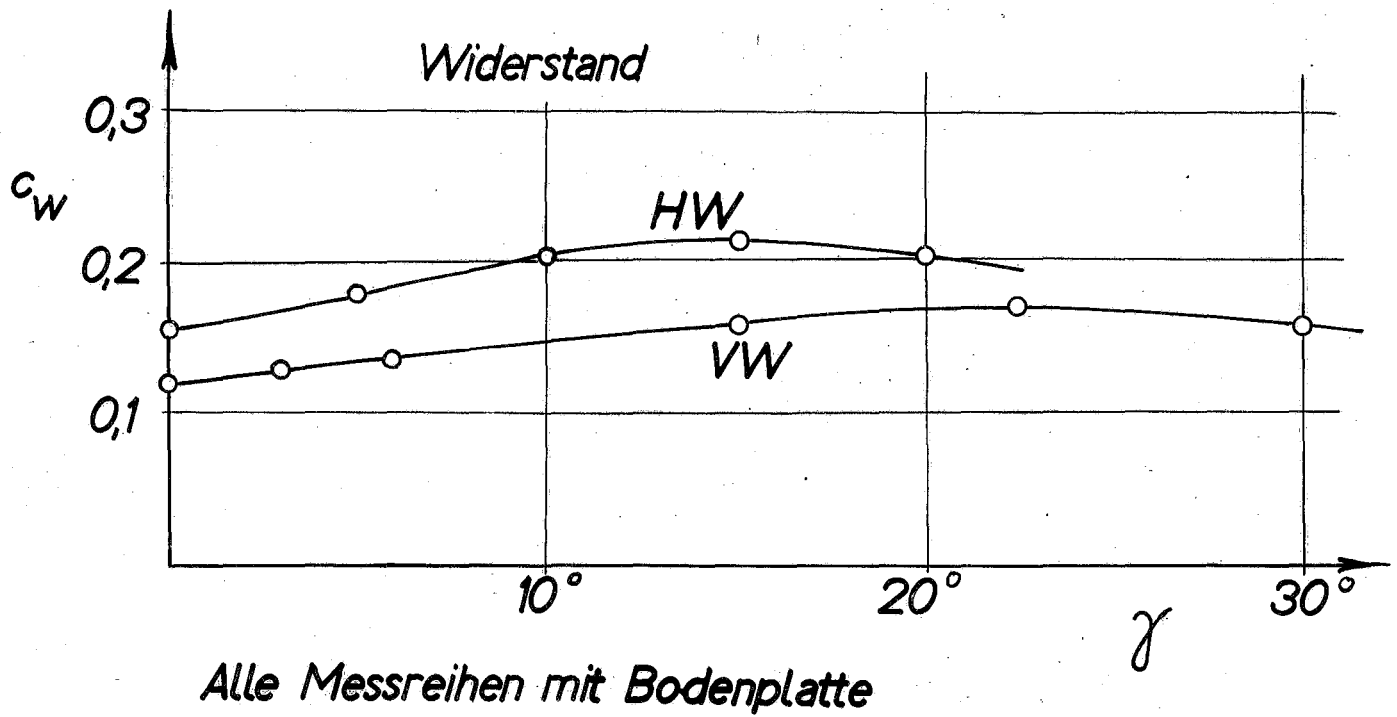


Bild 12: Beiwerte c_w , c_s und c_m abhängig von γ .

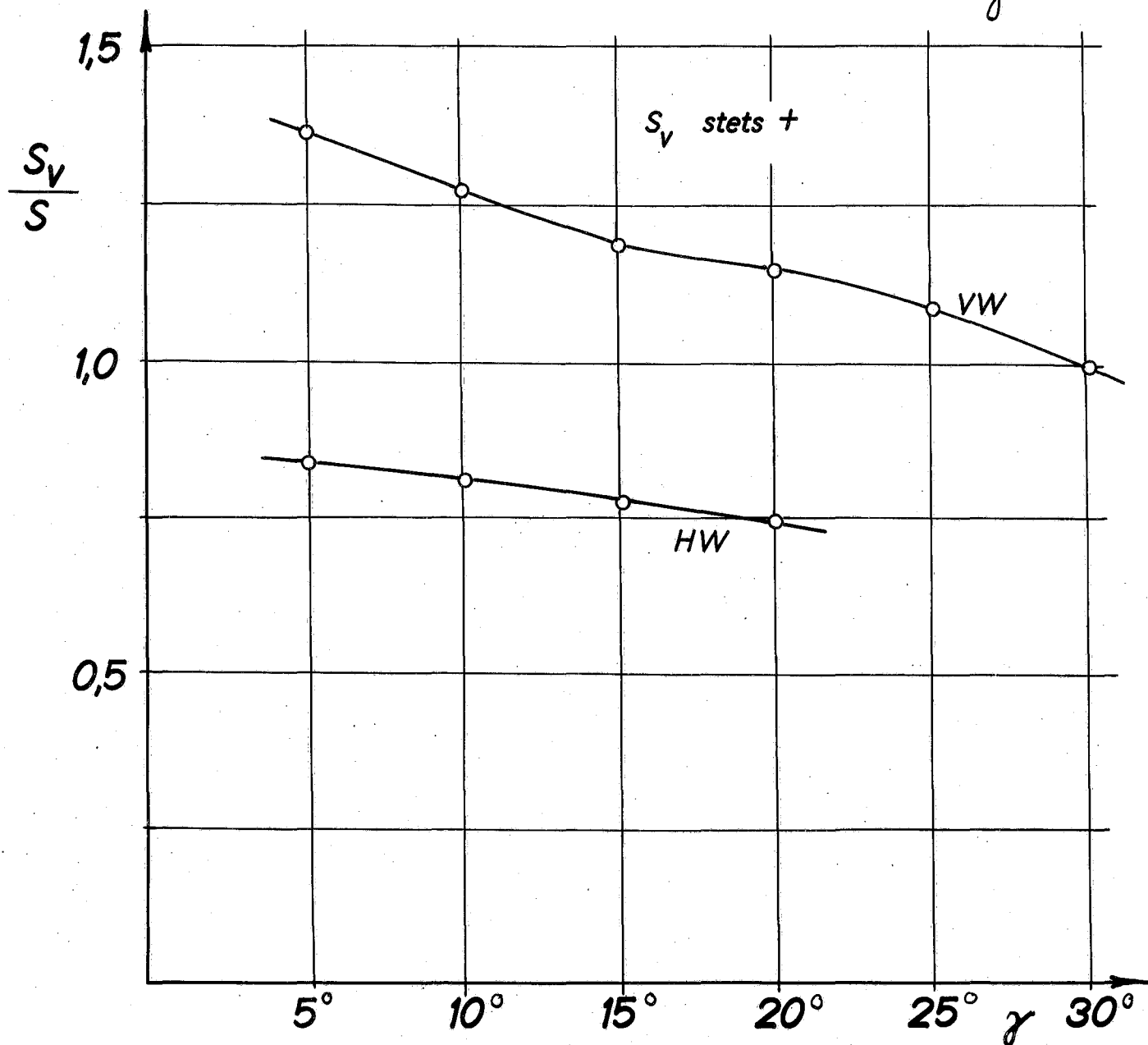
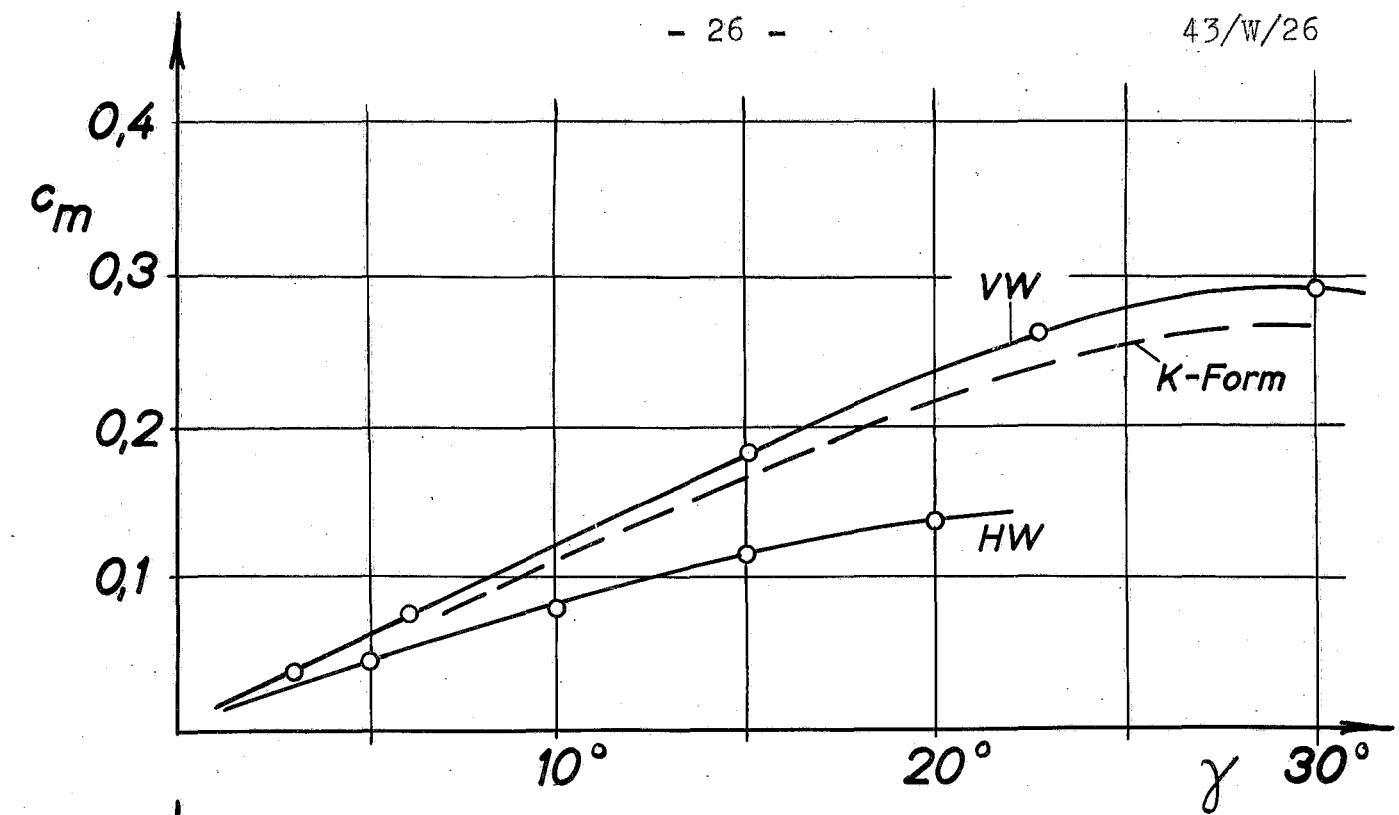


Bild 13: Belwerte c_m und Seitenkraft an Vorderradachse S_v .

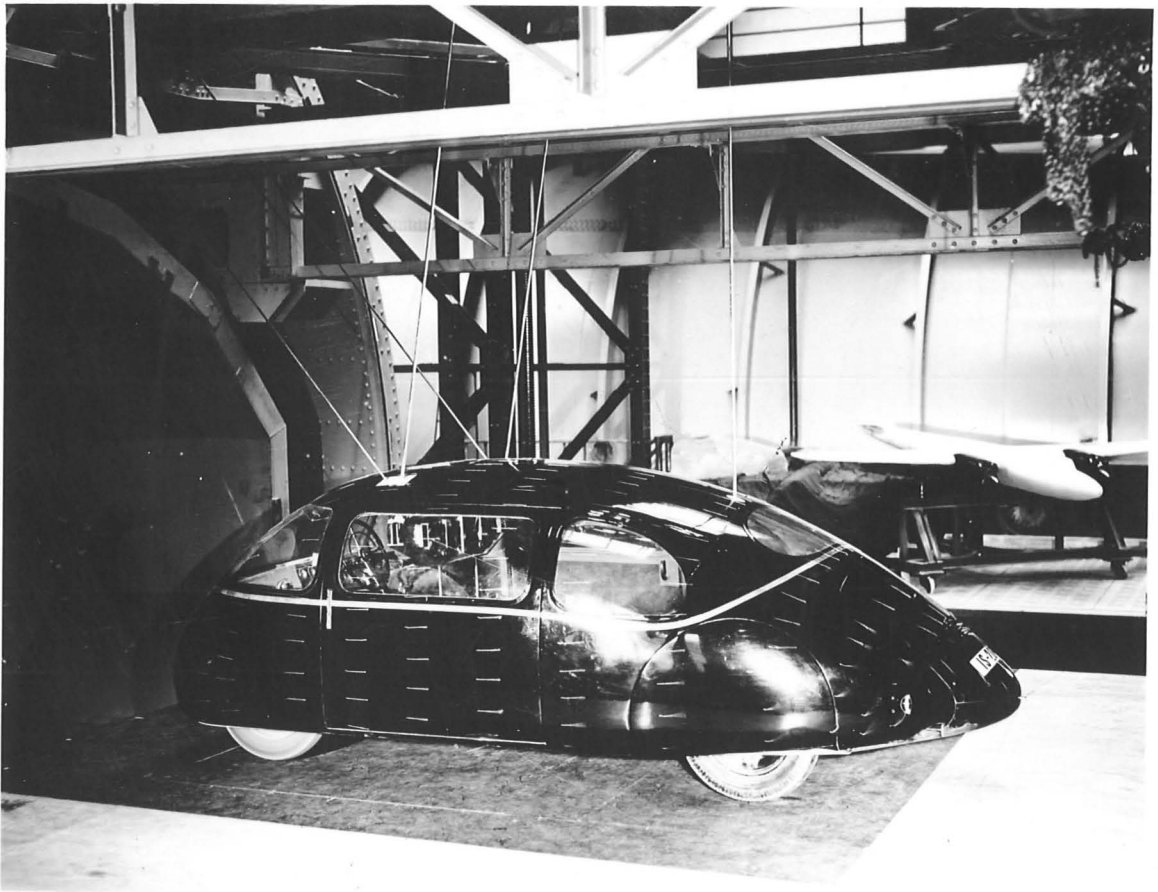


Bild 14: Versuchswagen auf Bodenplatte im großen Windkanal.



Bild 16: Strömungsbeobachtung mit Hilfe aufgeklebter Fäden, Blick auf das Heck (s.auch Bild 13).

Geschwindigkeitsreihe

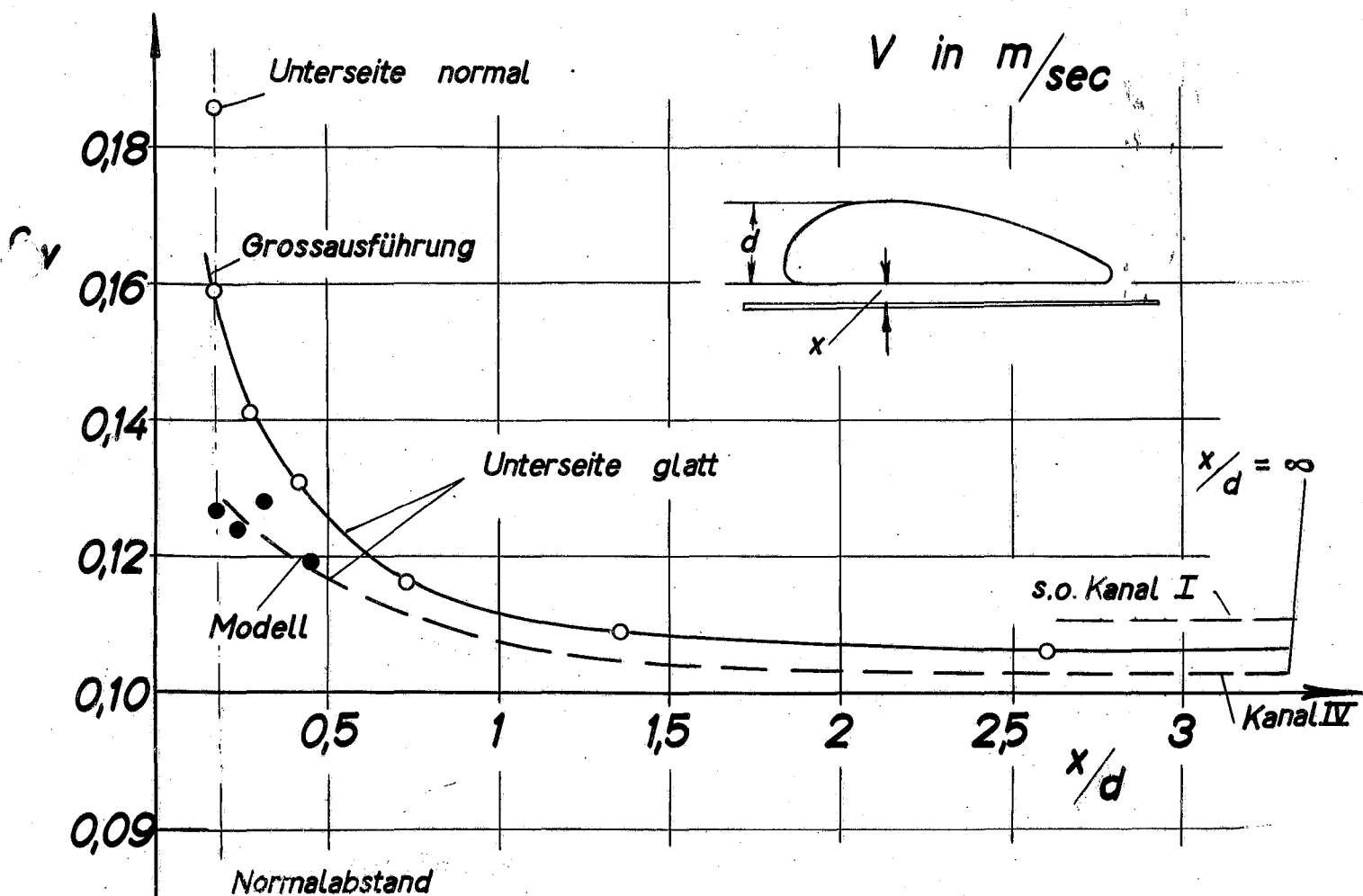
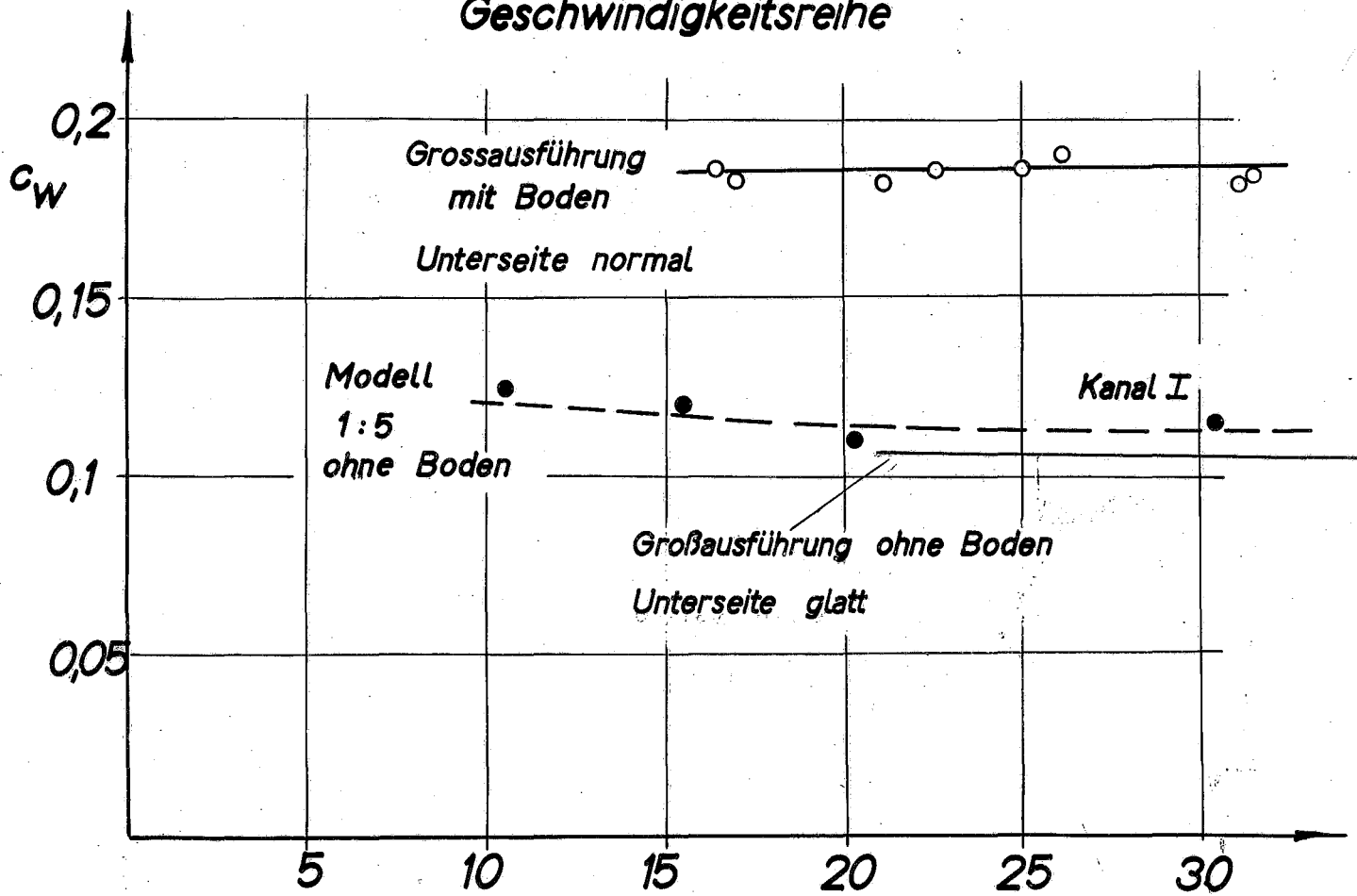


Bild 15: Ergebnisse der Kraftmessungen.

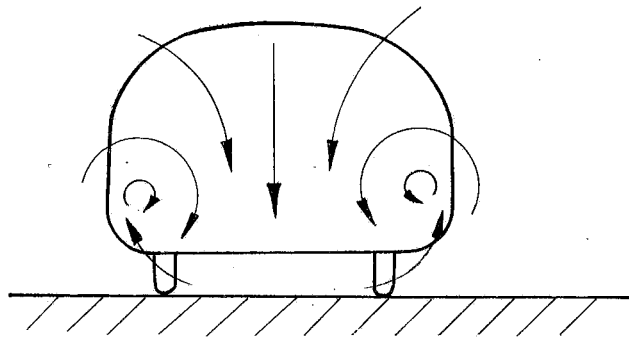


Bild 17: Schema der Heckumströmung.

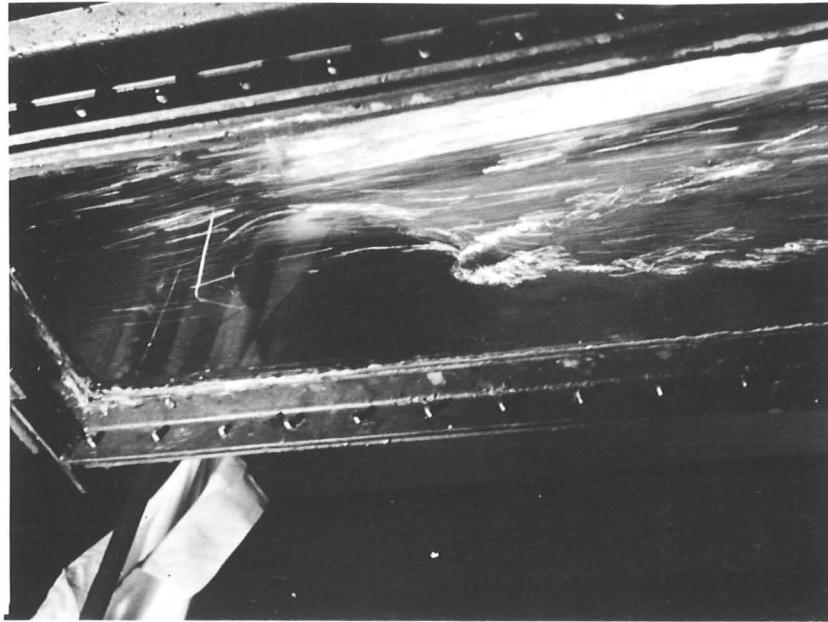


Bild 18: Strömungsbeobachtung im Wasser
(Modell von unten her gesehen).

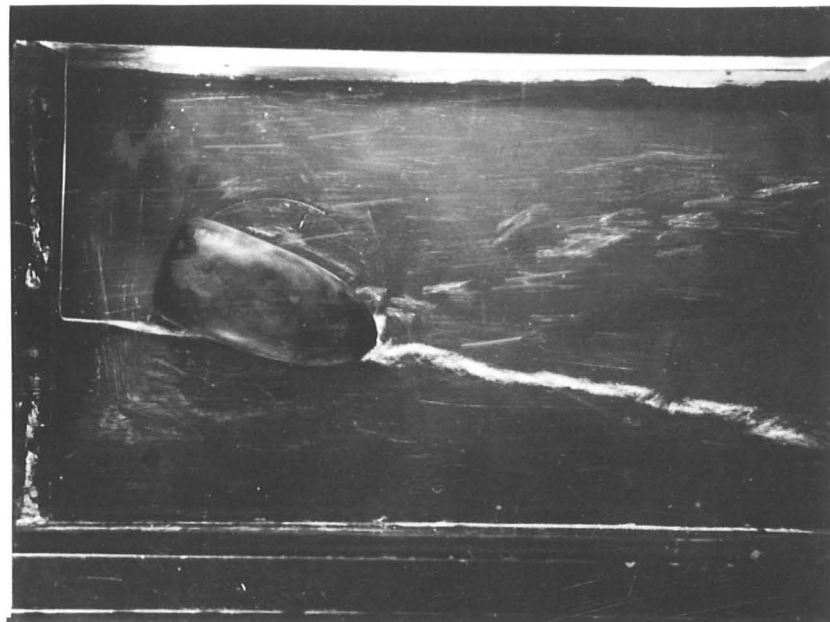


Bild 19: Blick auf das schrägangeströmte Modell
im Wasserkanal von oben her.



Bild 20: Versuchswagen auf der Autobahn.

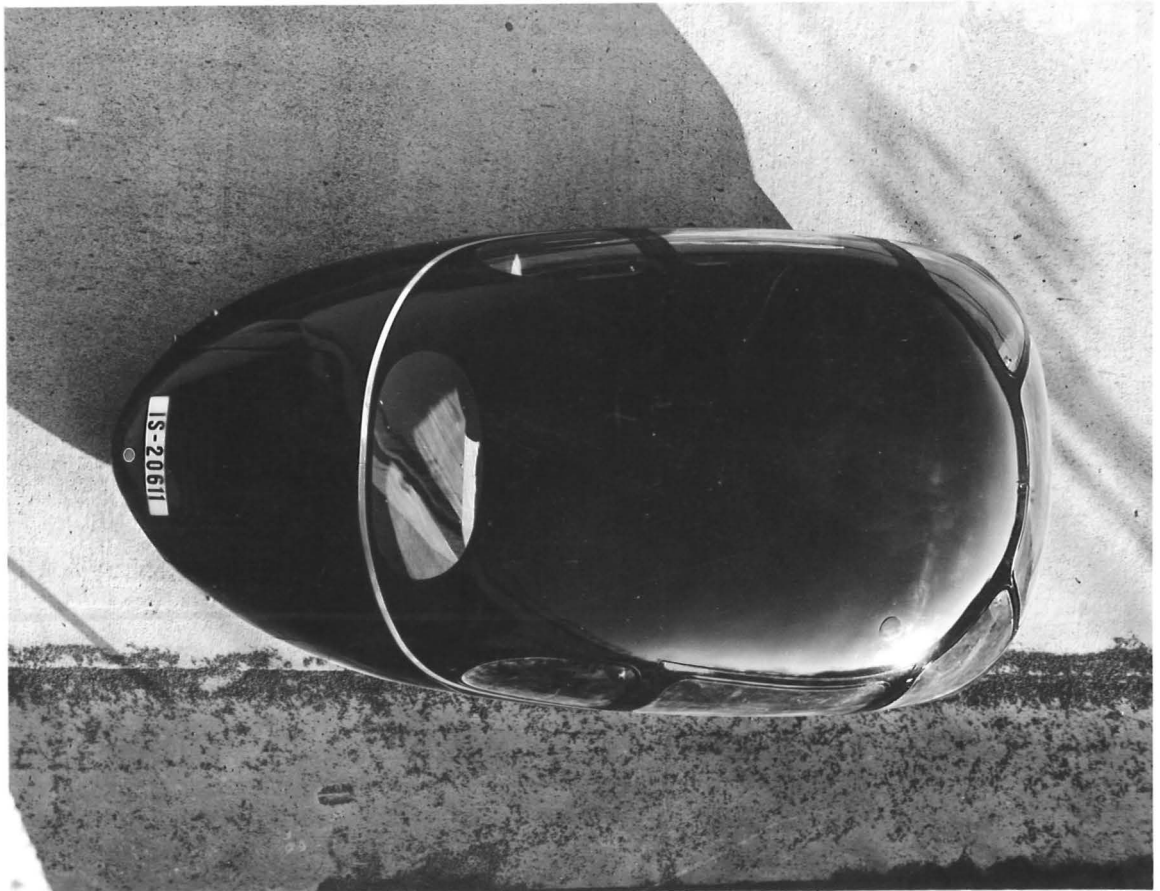


Bild 21: Versuchswagen von oben her aufgenommen.

Rollwiderstandsbeiwert f

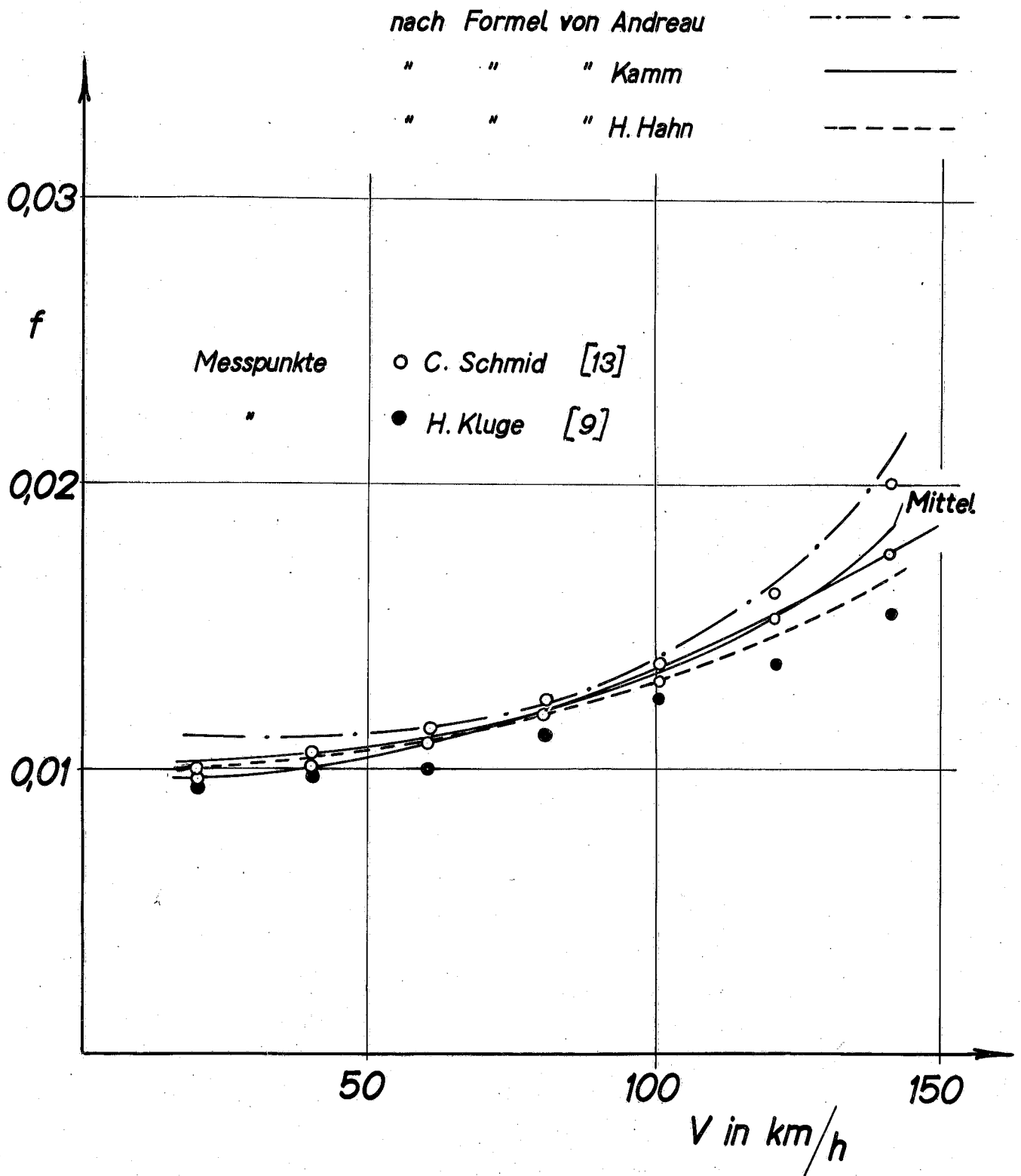
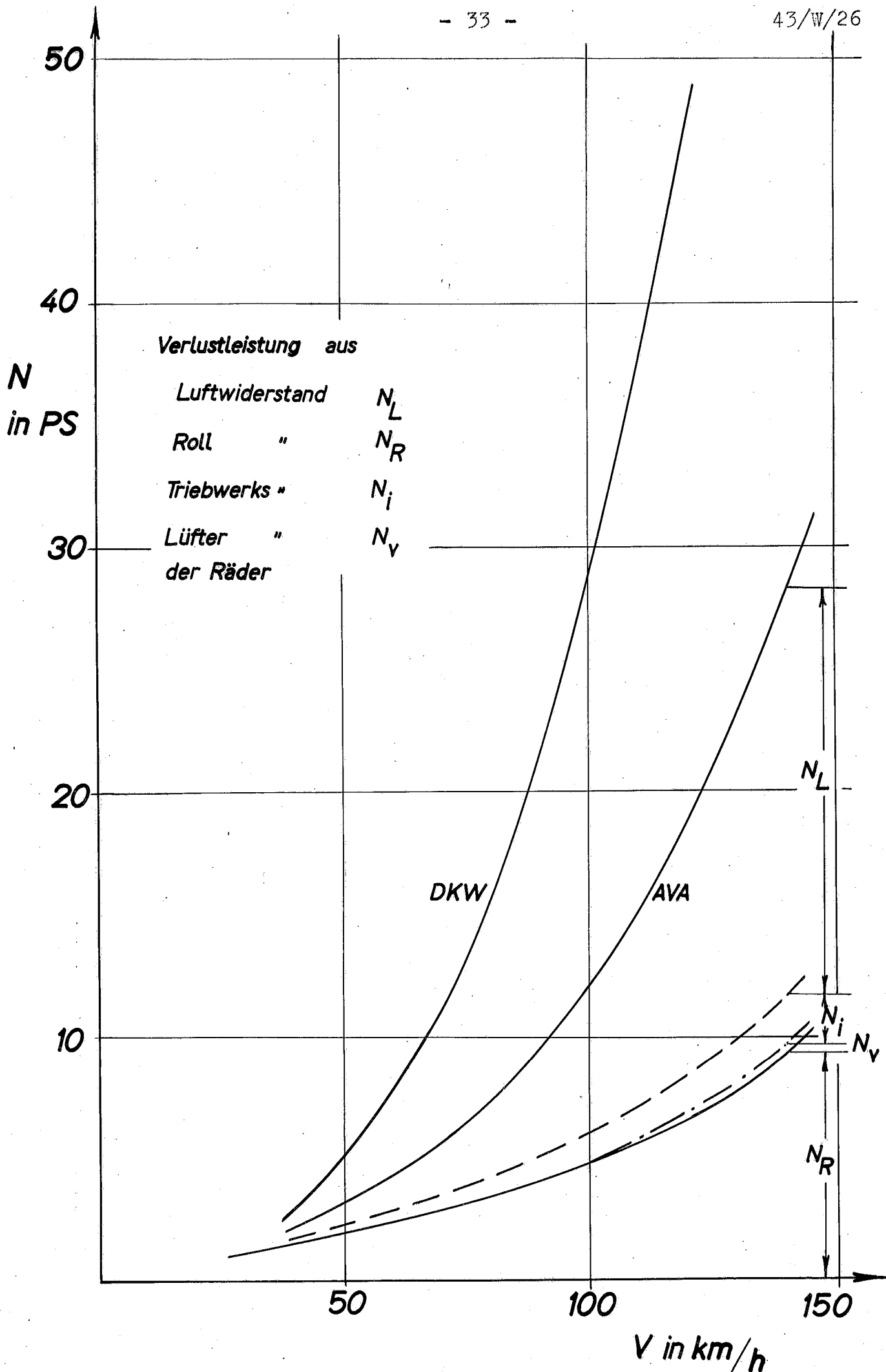


Bild 22: Rollwiderstandsbeiwert von Kraftfahrzeugen.



Verlustleistung aus
Luftwiderstand N_L
Roll " N_R
Triebwerks " N_i
Lüfter " N_V
der Räder

Bild 23: Einzelanteile der Verlustleistung.

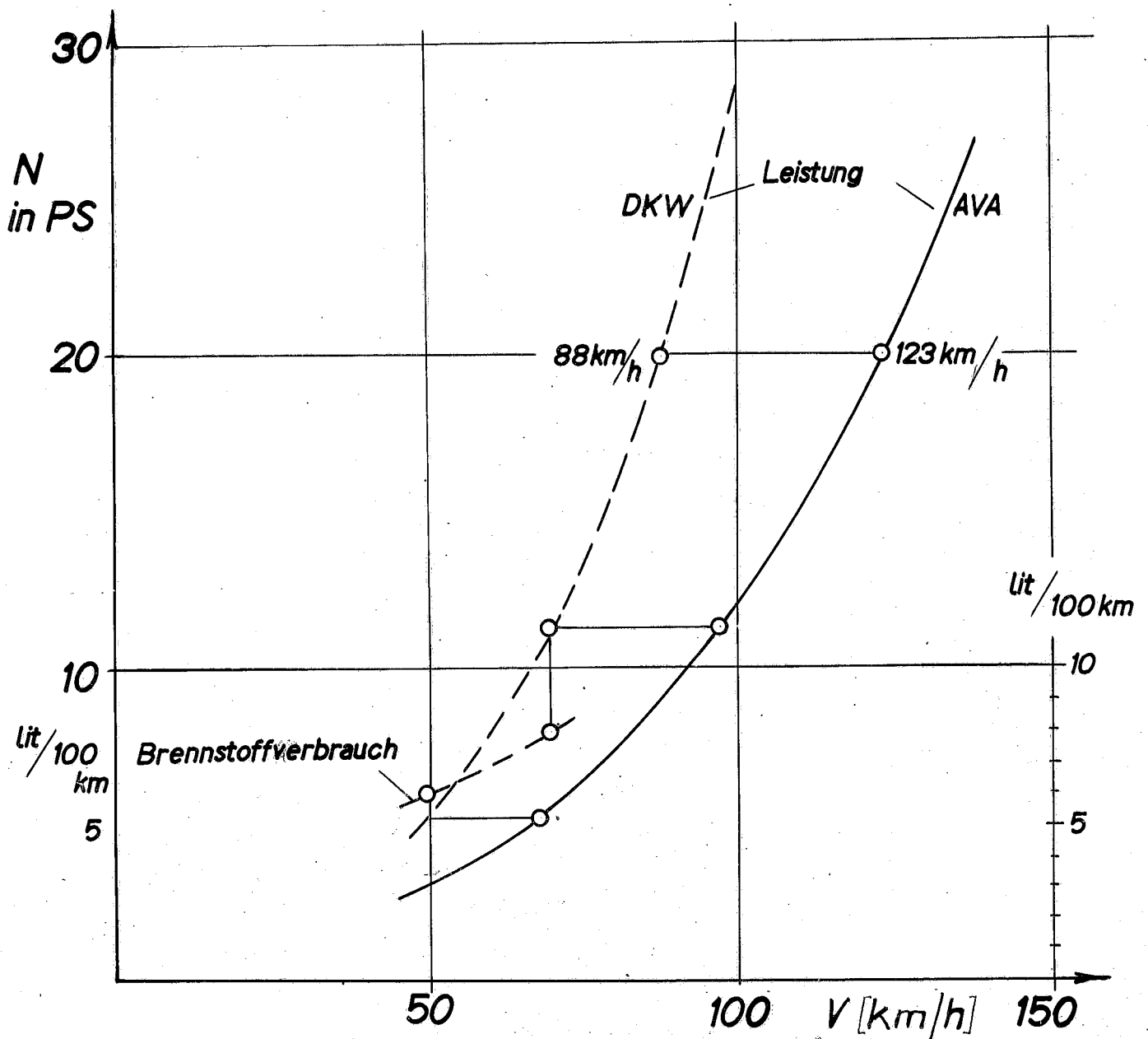
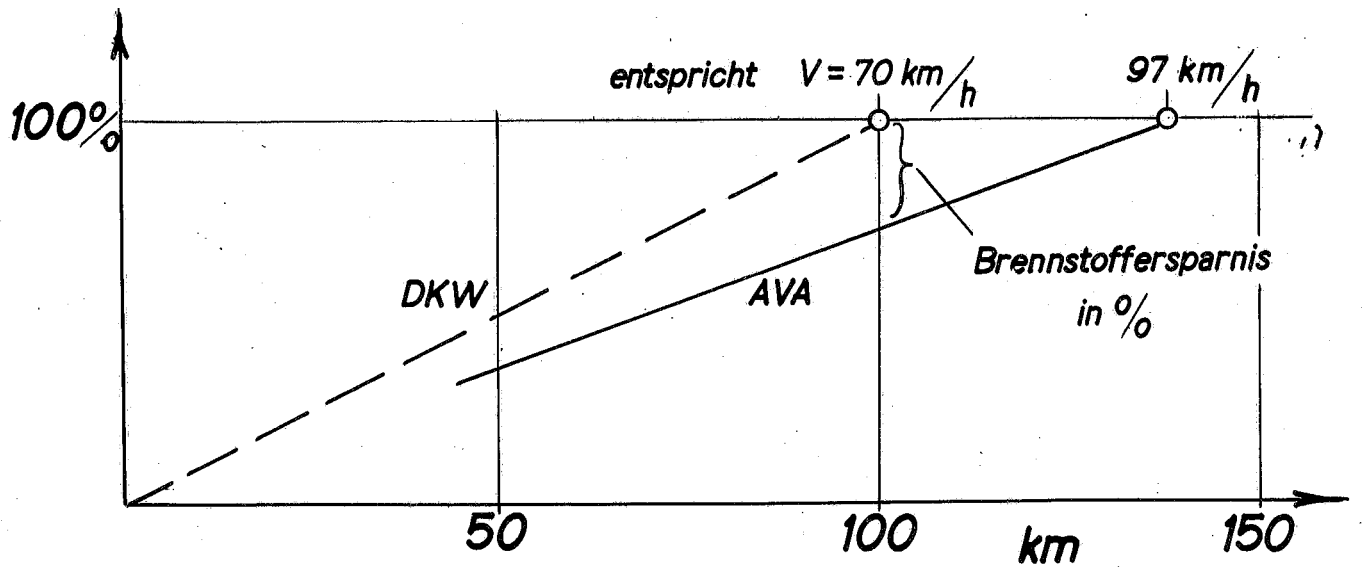


Bild 24: Brennstoffersparnis bzw. Steigerung der Fahrgeschwindigkeit bei gleicher Leistung.

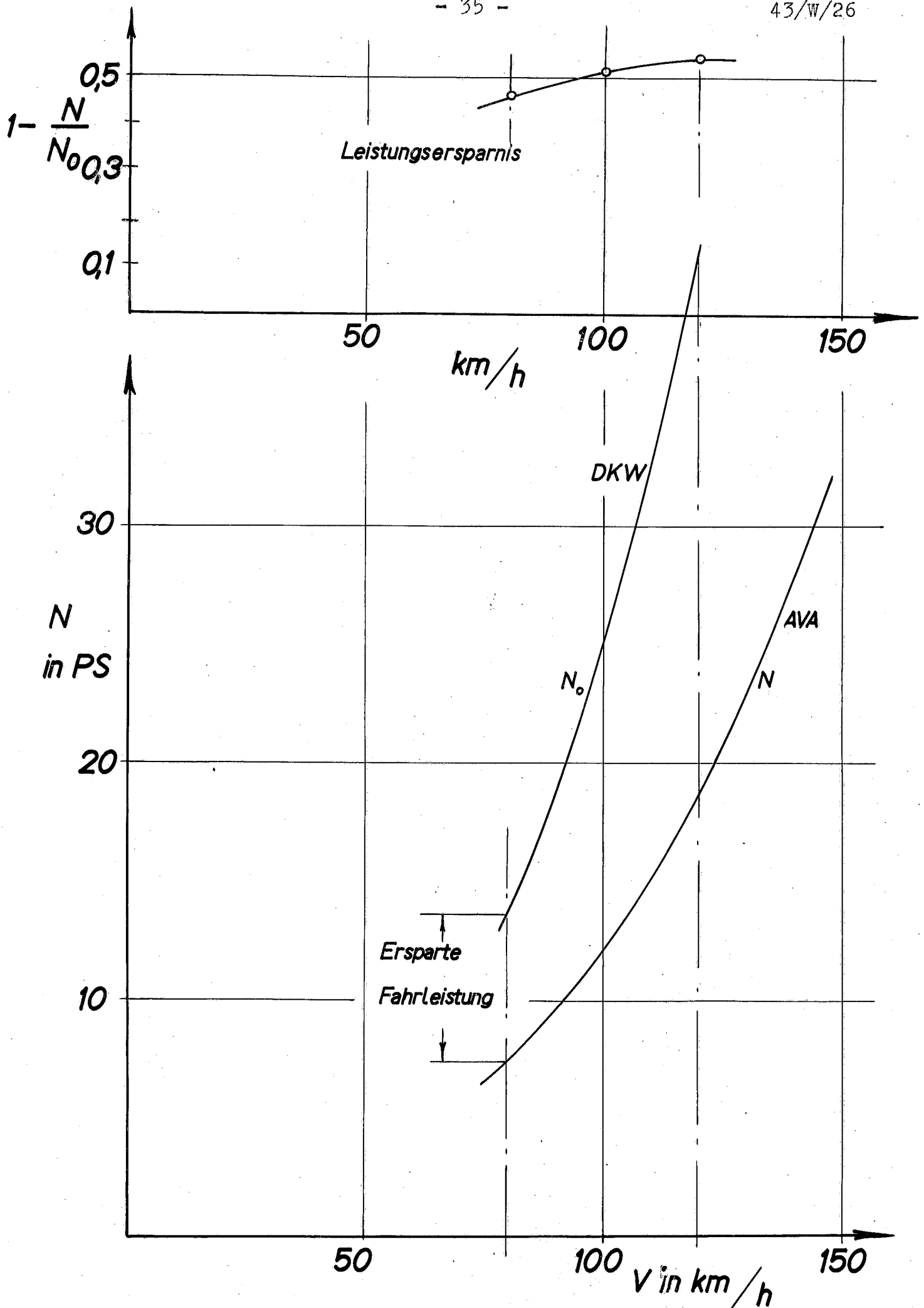


Bild 25: Leistungsparsnis bei gleicher Geschwindigkeit.