

Ueber eine  
Forschungsanlage zur Untersuchung von  
Strömungsvorgängen in der Nähe der Schallgeschwindigkeit.

Uebersicht:

Im folgenden wird für aerodynamische Mes-  
sungen bis zu Geschwindigkeiten von 500  
m/sec eine Sonderbahnanlage vorgeschlagen,  
auf der die zu untersuchenden Modelle  
durch die freie Atmosphäre geschleppt  
werden sollen.

Ein Bericht aus dem  
Institut für Geräteentwicklung der  
Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen.

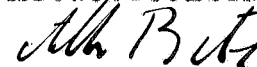
Dieser Bericht umfaßt

22 Seiten mit  
5 Bildern und  
1 Anlage mit  
28 Seiten und  
14 Bildern

Institutsleiter und Bearbeiter

  
(Mühlhäuser)

Anstaltsleiter

  
(Betz)

Heft-Nr.

Gliederung.

- I. Windkanäle und Schallgeschwindigkeit.
- II. Vorschlag zur Untersuchung der Strömungsvorgänge in der Nähe der Schallgeschwindigkeit.
- III. Die Flugmeßbahn.
- IV. Aufgaben der Flugmeßbahn.
- V. Technische Einzelheiten.
  1. a) Die magnetische Schwebeführung.  
b) Die Stromzuführung.
  2. Das Meßgleis.
  3. Das Meßfahrzeug.
  4. Fahreinrichtungen.
    - a) Startanlage.
    - b) Bremsenrichtungen.
    - c) Ueberwachungseinrichtungen.
  5. Sicherheitsmaßnahmen.
- VI. Meßmethoden.
- VII. Der Meßbetrieb.
- VIII. Energieverhältnisse.
- IX. Die Gesamtanlage.
- X. Material- und Kostenaufstellung.
  - a) Rohstoff- und Arbeitsaufwand.
  - b) Anlagekosten.
- XI. Vergleich zwischen Flugmeßbahn und Windkanal.
- XII. Oertlichkeit.
- XIII. Erweiterungsmöglichkeiten.

7' \_\_\_\_\_

## I. Windkanäle und Schallgeschwindigkeit.

Zur Untersuchung der strömungstechnischen Eigenschaften von Flugzeugen werden heute im wesentlichen Windkanäle benutzt, in denen sich bei Geschwindigkeiten, die genügend weit unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegen, brauchbare und verlässliche Ergebnisse erzielen lassen.

Schwierigkeiten treten hierbei aber schlagartig auf, sobald sich die Geschwindigkeiten der Schallgeschwindigkeit nähern. In diesem Bereich sind Messungen nur dann quantitativ übertragbar, wenn sie bei den wirklichen Geschwindigkeiten vorgenommen werden. In vielen Fällen ist es ausserdem erforderlich, daß die Messungen an annähernd naturgroßen Modellen stattfinden. Die Windkanäle müssen also solche Abmessungen haben, daß darin Modelle möglichst in Naturgröße untersucht werden könnten. Das führt zu ungewöhnlich großen Kanälen und bedingt bei den geforderten Versuchsgeschwindigkeiten sehr große Antriebsleistungen (100 000 KW und mehr).

Abgesehen von diesen Schwierigkeiten treten bei Windkanalmessungen in der Nähe der Schallgeschwindigkeit noch solche auf, die in der Natur der Sache selber liegen. Infolge der Kompressibilität der Luft entstehen beim Anblasen des zu untersuchenden Gegenstandes mit Schall- und Ueberschallgeschwindigkeit an diesem Druckwellen. Diese pflanzen sich vom Versuchskörper seitlich zur Anströmrichtung fort und werden von der Strahlführung des Windkanals unter Umständen auf den Versuchsgegenstand zurückgeworfen. Hierdurch, sowie infolge der durch das Einbringen des Modells in die Meßstrecke bedingten Kanalquerschnittänderung werden die Strömungsverhältnisse in der Meßstrecke

derart beeinflusst, daß die Meßergebnisse ein vollkommen falsches Bild der wirklichen Vorgänge geben.

Diese grundsätzlichen Schwierigkeiten schränken somit die Verwendung von Windkanälen für Untersuchungen an Luftfahrzeugen bei Geschwindigkeiten in der Nähe der Schallgeschwindigkeit und darüber weitgehend ein.

Es ist daher vor allem in jüngster Zeit, seitdem sich die Fluggeschwindigkeiten immer mehr der Schallgeschwindigkeit nähern, wiederholt von seiten der Luftfahrtindustrie und den maßgebenden Reichsstellen der Wunsch geäußert worden, Versuchseinrichtungen zu schaffen, welche diese Mängel nicht haben und die Verhältnisse in der Nähe der Schallgeschwindigkeit klar und eindeutig erkennen lassen.

II. Vorschlag zur Untersuchung der Strömungsvorgänge  
in der Nähe der Schallgeschwindigkeit.

In diesem Zusammenhange ist bereits vorgeschlagen worden, die für den Flugzeugbau notwendigen Versuche an freifliegenden Modellen durchzuführen. Die hierbei zur Fernsteuerung der Modelle und Durchführung der Messungen notwendigen Einrichtungen machen jedoch dieses Verfahren zu einer höchst verwickelten und unwirtschaftlichen Angelegenheit.

Es wurde deshalb schon vorlängerer Zeit vom Verfasser der Vorschlag gemacht, das für die Untersuchungen bei kleinen Windgeschwindigkeiten bereits früher vereinzelt angewandte Schleppen von Modellen in freier Luft wieder aufzugreifen und auf dieser Grundlage unter Verwendung modernster Hilfsmittel eine schienengebundene Schleppanlage, Flugmeßbahn, zu erstellen, mit welcher die zu untersuchenden Modelle bis zu Geschwindigkeiten von 500 m/sec durch die freie Atmosphäre geschleppt werden können.

### III. Die Flugmeßbahn.

Die Flugmeßbahn besteht in ihrem Prinzip aus einer Gleisstrecke von hinreichender Länge, auf welcher ihrem Zweck entsprechend gestaltete Fahrzeuge die zu untersuchenden Modelle mit den geforderten Geschwindigkeiten durch die freie Atmosphäre schleppen.

Da als Führungselemente für die geplanten Geschwindigkeiten die gebräuchlichen, das rollende Rad und die geschmierte Gleitbahn, als ungeeignet ausschieden, wurde die von Dipl.-Ing. H. K e m p e r angegebene "Magnetische Schwebeführung" der Entwicklung zugrunde gelegt.

Der Antrieb des Meßfahrzeuges erfolgt durch ein Rückstoßtriebwerk.

Zum Hochfahren auf die Meßgeschwindigkeit dient ein mit dem Rückstoßtriebwerk des Fahrzeuges zusammenarbeitendes Katapult.

Das Bremsen geschieht durch die Luftkräfte unter Verwendung von Bremsklappen, nach Erreichen kleinerer Geschwindigkeiten mechanisch.

Die Meßwerte werden durch selbsttätige Aufzeichnung festgehalten.

#### IV. Aufgaben der Flugmeßbahn.

Eine derartige Schleppanlage, bei welcher zweckmäßigerweise mehrere, den verschiedenen Versuchszwecken und Aufgaben angepaßte Meßfahrzeuge Verwendung finden, gestattet die Untersuchung und Messung von Modellen bis zur Naturgröße bei den für den Flug geforderten Geschwindigkeiten einschließlich der Schallgeschwindigkeit.

Es lassen sich auf diese Weise messen und bestimmen:

1. die Gesamtluftkräfte, bei Triebwerken die Triebkräfte,
2. die Druckverteilungen,
3. die Ruderwirkung,
4. das Stabilitätsverhalten,
5. das dynamische Verhalten (Schwingungen, Flattern),
6. die Festigkeitseigenschaften eines Bauteiles oder Konstruktionsverbandes,
7. das Zusammenwirken und die gegenseitige Beeinflussung von Luftkräften und Deformationen.

Die bei Schall- und Uberschallgeschwindigkeiten sehr beliebte Untersuchung der Strömung durch Schlierenbeobachtung könnte unter Benutzung Cranz'scher Methoden auch angewendet werden.

V. Technische Einzelheiten.

Das Meßfahrzeug im Meßgleis wird von dem am Schluß dieses Berichtes angehefteten Bild 1 gezeigt. Weitere Einzelheiten sind aus den Anlagen zu ersehen.

1a) Die Magnetische Schwebeführung.

Die von K e m p e r angegebene magnetische Schwebeführung, die in der Zwischenzeit im Institut für Geräteentwicklung der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen vom Erfinder selbst betriebsreif entwickelt worden ist, benutzt zur Uebertragung der Führungskräfte zwischen dem festen Teil (Schiene) und dem verschieblichen Teil (Fahrzeug) magnetische Kräfte, wie sie beim Stromdurchgang durch einen Elektromagneten zwischen diesem und dem zugehörigen Anker entstehen. Diese Zugkräfte werden so gesteuert, daß sie den von außen auf das Fahrzeug wirkenden Kräften, einerlei ob diese gleichförmig, stoß- oder schlagartig auftreten, das Gleichgewicht halten. Die Steuerung ist so eingestellt, daß bei allen Lastfällen zwischen Magneten (Fahrzeug) und Anker (Schiene) ein bestimmter, fester Abstand (5 bis 8 mm) bestehen bleibt. Die magnetische Schwebeführung erlaubt somit, Führungskräfte zwischen Fahrzeug und Schiene ohne jede mechanische Berührung zu übertragen. Sie läßt Fahrgeschwindigkeiten von 500 m/sec ohne weiteres zu. (Anlage S. 2 ).

1b) Stromzuführung.

Die Stromversorgung der Schwebereinrichtung geschieht durch Sondergeneratoren, die in einer Kraftzentrale aufgestellt sind. Die Stromzuführung zum fahrenden Meßfahrzeug erfolgt über Stromschienen, die an den Gleisführungen verlegt sind. Verwendet wird Gleichstrom von etwa 5 000 Volt Betriebsspannung.

2) Das Meßgleis.

Der Aufbau des eigentlichen Meßgleises ist im wesentlichen durch die Schwebeführung bestimmt. Der Anker des auf dem Fahrzeug aufgebauten Magnetsystems ist die Fahrschiene. Durch sinnngemäße Anordnung mehrerer Schienen können Kräfte aufgenommen werden, welche sowohl von oben nach unten als auch von links nach rechts und umgekehrt wirken. Die Schienen sind zu einer linken und rechten Gleisführung zusammengefaßt. Das Fahrzeug wird somit abgesehen von der Fahrriichtung nach allen Seiten hin in der Schwebeführung gehalten.

Um dem Fahrzeug die zum störungsfreien Betrieb notwendige Bodenfreiheit zu geben, sind die Führungen auf 1,8 m hohen Stützen in Abständen von 2 m verstellbar gelagert. Die Spur des Meßgleises beträgt 2,5 m.

Die hohe Meßgeschwindigkeit verlangt genauestes Ausrichten des Gleises nach Seite und Höhe. Dieses erfolgt nach einem System geodätischer Festpunkte.

Zur Durchführung von Bau- und Ueberwachungsarbeiten am Meßgleis ist neben diesem ein Regelspurgleis (Arbeitsgleis) verlegt.  
(Anlage S. 10)

3) Das Meßfahrzeug.

Das Meßfahrzeug als eigentlicher Versuchsträger besteht aus

den Führungskufen,  
dem Triebwerk und  
dem Meßaufbau.

In den Kufen des Meßfahrzeuges sind die Schwebemagnete untergebracht. Die Magnete sind in Gruppen so angeordnet, daß das Meßfahrzeug neben Kräften auch noch auftretende Momente übernehmen kann. An die Kufen angeschlossene Träger, welche in ihrem Innern genügend Raum zur Unterbringung der für die Steuerung der Magnete notwendigen Einrichtungen bieten, halten das gegenüber den Kufen überhöht angeordnete Rückstoßtriebwerk. In der Spitze der Triebwerksverkleidung ist zur Aufnahme der aerodynamischen Meßgeräte hinreichend Platz vorhanden.

Das zu untersuchende Modell ist auf einem besonderen, vor und über dem eigentlichen Fahrzeug angeordneten Meßaufbau befestigt und wird in solcher Höhe über dem Gleis geschleppt, daß eine Beeinflussung durch die Bodennähe möglichst klein gehalten wird.

(Anlage S. 15)

4) Fehreinrichtungen.

a) Startanlage.

Zum Start des Meßfahrzeuges dient ein preßluftgetriebenes Heinkel-Katapult üblicher Bauart, welches diesem eine Anfangsgeschwindigkeit von 100 bis 120 m/sec erteilt. Die weitere Beschleunigung auf die geforderte Endgeschwindigkeit erfolgt durch das

auf dem Meßfahrzeug befindliche Rückstoßtriebwerk (Anlage S.18).

b) Bremseinrichtungen.

Das Abbremsen des Meßfahrzeuges geschieht zunächst durch die Luftkräfte unter Verwendung von Bremsklappen, welche die Geschwindigkeit auf ein solches Maß herabsetzen, daß eine Reibungsbremse in Tätigkeit treten kann. Diese Reibungsbremse sieht am Meßfahrzeug angebrachte Bremsbacken vor, welche mit am Gleis befindlichen Bremsleisten in Tätigkeit treten und das Meßfahrzeug zum Stillstand bringen (Anlage S27 ).

c) Ueberwachungseinrichtungen.

Eine Ueberwachungsanlage läßt vom Befehlsstand der Strecke aus jederzeit Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Meßfahrzeuges erkennen.

Vermittels einer weiteren Anlage kann dem Meßfahrzeug an jedem Ort und zu jeder Zeit der Befehl zum Stillsetzen des Antriebes und zum Abbremsen gegeben werden.

5) Sicherheitsmaßnahmen.

Im Gefahrenfall, beim Ausbleiben des elektrischen Stromes für die Magnetführung, kommt es zu mechanischer Berührung zwischen Schiene und Meßfahrzeug. Um die dabei auftretenden Reibungskräfte, die bei hohen Geschwindigkeiten zu großen Kraftäußerungen führen, möglichst klein zu halten, sind zur Erzielung von Flüssigkeitsreibung die Schienenflächen mit einem bei Normaltemperatur festem, bei höherer Temperatur sich verflüssigendem

Anstrich versehen. Am Meßfahrzeug sind Gleitschuhe angebracht, auf welche es sich absetzen kann. Mit dem Absetzen wird die gesamte Bremsanlage ausgelöst.

## VI. Meßmethoden.

Bei der Durchführung der Versuche sind grundsätzlich die Meßmethoden anwendbar wie im Windkanalbetrieb, nur sind die Meßzeiten beschränkt. Für die Durchführung einer Messung genügt aber im allgemeinen die Zeit von 10 bis 15 sec.

Die Aufhängung der Modelle kann auf zwei Arten erfolgen. Ein zu untersuchendes Tragflügelmodell kann zum Beispiel aufrecht stehen oder waagrecht liegend geschleppt werden. Im ersten Falle wird ein nahezu unverfälschtes Meßergebnis erhalten, da der Einfluß der Bodennähe weitgehend ausgeschaltet ist. Im anderen Falle ist mit einer Beeinflussung durch die Bodennähe zu rechnen. Durch einen genügend hohen Meßaufbau könnte diese Störung klein gehalten werden.

Wegen der hohen Fahrbeschleunigungen (max 14g) sind die Meßfahrzeuge unbemannt. Es muß daher auf eine subjektive Beobachtung verzichtet werden. Aus diesem Grunde und der Kürze der Meßzeit wegen werden selbstschreibende Meßgeräte benutzt. Zur Erreichung eines hohen Ausnutzungsgrades einer jeden Meßfahrt sollen möglichst viele Meßwerte gleichzeitig erfaßt werden. Elektrische Sondergeräte entsprechen diesen Anforderungen am besten.

## VII. Der Meßbetrieb.

Die Anlage der Flugmeßbahn erlaubt die Durchführung eines großen und vielseitigen Meßprogrammes. Eine dichte Folge von Meßfahrten ermöglicht das Nebeneinanderarbeiten mehrerer Arbeitsgruppen, denen für ihre jeweilige Aufgabe ein der Untersuchung angepaßtes Fahrzeug zur Verfügung steht.

Die Meßstrecke wird nur in einer Richtung befahren. Nach Beendigung einer Meßfahrt wird das Fahrzeug der Strecke entnommen und auf einem Sonderfahrzeug über ein Regelspurgleis zurückgeholt (Rückholgleis). Bei entsprechendem Ausbau können drei bis vier Fahrzeuge in der Stunde gestartet werden.

Die Flugmeßbahn ist bei jedem Wetter betriebsfähig. Störungen sind lediglich durch starke Seitenwinde, Böigkeiten, Schnee und Eis zu erwarten. Die Windeinflüsse lassen sich durch Verlegen der Strecke in einem Waldgelände mit hoher natürlicher Bodengrenzschicht weitgehend ausschalten.

VIII. Energieverhältnisse.

Zum Aufladen des Heinkel-Katapults sind je Start 600 KWh nötig. Bei einem Meßbetrieb von 4 Starts in der Stunde beträgt dann die benötigte elektrische Dauerleistung 2 400 KW. Bei einem weiteren Bedarf von etwa 1 000 KW für Werkstätten und sonstige Betriebe müssen dem Ueberlandnetz insgesamt 3 500 bis 4 000 KW entnommen werden. Die Schwebeleistung beträgt 500 KW. Aus Sicherheitsgründen soll diese nicht dem Ueberlandnetz sondern einem eigenen Diesellaggregat entnommen werden.

Die Treibflüssigkeit für die Rückstoßtriebwerke wird in Kesselwagen angefahren und in einer Betankungsanlage gelagert. Der Verbrauch beträgt für eine Meßfahrt im Mittel etwa 1 500 bis 1 800 kg.

IX. Gesamtenlage.

Eine Planskizze der Anlage zeigt Bild 2.

Unter Berücksichtigung einer Anfahr-  
länge von ..... 4,0 km,  
einer Meßlänge bei 15 sec Meßdauer  
u. 500 m/sec Meßgeschwindigkeit von .. 7,5 km  
und einer Bremslänge von ..... 7,0 km  
ergibt sich eine Streckenlänge von ... 18,5 km.

Mit einem Sicherheitsauslauf von 1,5 km  
ist die zu erstellende Gesamtstrecken-  
länge ..... 20,0 km.

Zur Gesamtenlage sind neben den beschriebenen,  
zur Strecke selbst gehörenden Einrichtungen, wie  
Start- und Bremsanlagen, noch erforderlich:

1. Eine Kraftstation (Transformatoren, elektr. Maschinen für die Schwebeführung u. sonstigen Bedarf, Druckluftanlage für das Kapitult u.a.),
2. Eine Betankungsanlage für die Rückstoßtriebwerke,
3. Eine Befehlsstelle für den Meßbetrieb (Streckenmeister),
4. Vorbereitungshallen für die Meßfahrten,
5. Werkstätten,
6. Ein Regelgleisnetz zum Verkehr längs der Meßstrecke (Arbeits- und Rückholgleis) sowie zwischen Meßstrecke, Werkstätten u. Hallen,
7. Ein Straßennetz für leichten und mittleren Kraftverkehr,
8. Bauten zur Aufnahme technischer Büros, Entwicklungsstätten, verwaltungstechnischer und sozialer Einrichtungen.

X. Material- und Kostenaufstellung.

a) Rohstoff- und Arbeitsaufwand.

1. Stahl.

Meßstrecke	650 kg/m	l=20 km	13 000 t
Regelgleis	120 kg/m	l=45 km	5 400 t
Maschinen, Werkstätten u. Bauten			1 600 t
			<u>20 000 t</u>

2. Kupfer.

Gesamtausbau einschließlich

Kabel u. 4 Meßfahrzeugen ..... 12 t

3. Aluminium ..... 50 t

4. Holz

Schwellen 7 000 m<sup>3</sup>

Bauten und Sonstiges 1 500 m<sup>3</sup>

8 500 m<sup>3</sup>

5. Zement ..... 24 000 t

6. Sand und Kies ..... 100000 m<sup>3</sup>

7. Erdbewegungen für eine Trasse

von 30 m Breite bei 50 m<sup>3</sup>/m

Meßstrecke 1 500 000 m<sup>3</sup>

b) Anlagekosten.

Kosten für den Grunderwerb von etwa 2 000 ha Baugelände werden nicht angegeben.

1. Erdarbeiten 1 500 000 m <sup>3</sup> .....	3 000 000 RM
2. Meßgleisaufbau 750 RM/m <sup>+</sup> einschl. Montage .....	15 000 000 RM
3. Elektrische Ausrüstung .....	1 700 000 RM
4. Katapult .....	900 000 RM
5. 4 Meßfahrzeuge .....	2 000 000 RM
6. Regelspurgleis ...130 RM/m .....	5 850 000 RM
7. Straßen 25 km, 6m breit, 10 RM/m <sup>2</sup> ..	1 500 000 RM
8. Bauten .....	3 000 000 RM
9. Maschinen (Kompressoren, Diesel, E-Masch., Lokomotiven, Wagen) .....	350 000 RM
10. Werkstätteneinrichtungen .....	500 000 RM
	<u>33 800 000 RM</u>

<sup>+</sup>) Vergleichsweise würden sich die Kosten für eine zweigleisige Hauptbahnstrecke im gleichen Gelände auf 350 RM/m belaufen.

XI. Vergleich zwischen Flugmeßbahn und Windkanal.

Legt man bei einem Vergleich zwischen Flugmeßbahn und Windkanal diesem eine Modellgröße von 3 m Spannweite und eine Meßgeschwindigkeit von 320 m/sec zu Grunde, so kommt man zu einem Meßstreckendurchmesser von mindestens 8 bis 10 m. Der Leistungsaufwand für den Antrieb eines solchen Windkanals liegt bei etwa 50 000 bis 60 000 KW und beträgt mithin etwa das 15 bis 20 fache desjenigen der Flugmeßbahn. Die Erstellungskosten des Windkanals sind mit 60 000 000 bis 70 000 000 RM etwa doppelt so hoch wie die der Flugmeßbahn.

1

### XII. Ortlichkeit.

Für den Bau der Flugmeßbahn ist ein Gelände notwendig, welches über die geforderte Länge möglichst eben und unbesiedelt, von Eisenbahnen, Straßen und Wasserläufen nicht durchschnitten sein soll. Aus meßtechnischen Gründen ist ein bewaldetes Gelände vorzuziehen.

Gelände dieser Art stehen wahrscheinlich in den neuen Ostgebieten beliebig zur Verfügung.

Es ist jedoch zu überlegen, ob man einen solchen wehrtechnischen Betrieb in die äußeren Grenzgebiete des Reiches verlegen soll, zumal die naturgemäß rege Zusammenarbeit zwischen dieser Forschungsanstalt und den Schwesteranstalten sowie der Luftfahrtindustrie durch die großen Entfernungen und die schlechten Verkehrsmöglichkeiten zum Osten hin äußerst behindert wäre.

Da innerhalb der Reichsgrenzen ein Gelände ausfindig gemacht werden konnte, welches für den Bau der Flugmeßbahn als gut geeignet anzusehen ist, soll dieses vorgeschlagen und der weiteren Planung zu Grunde gelegt werden.

Dieses Gelände, dessen Lage aus der beigefügten Kartenskizze Bild 3 ersichtlich ist, liegt 5 km nordöstlich der Stadt Schwerin a. d. Warthe. Es ist ein völlig verkehrsloses, sich nach Osten hin erstreckendes sandiges Waldgebiet, dessen weitere Vorteile noch folgende sind:

Das Baugelände kann mit einem etwa 2 km langen Gleis an die Reichsbahn angeschlossen werden. Die

Zubringemöglichkeiten über Reichsstraße und Wasserstraße (Warthe) sind ebenso günstig.

Die guten und beständigen Wetterverhältnisse des deutschen Ostens sind für den Meßbetrieb sehr vorteilhaft.

Die verhältnismäßig zentrale und verkehrsgünstige Lage ist noch besonders hervorzuheben.

Die Nähe und gute Erreichbarkeit der Städte Landsberg a.d. Warthe und Schwerin a.d. Warthe erleichtern die Unterbringung der Gefolgschaft.

### XIII. Erweiterungsmöglichkeiten.

Das vorgeschlagene Gelände erlaubt eine Verlängerung der Meßstrecke auf 50 km. Eine längere Meßstrecke ergibt entsprechend längere Meßzeiten, welche bei gewissen Messungen später einmal erwünscht sein können. Dadurch wird es möglich, nicht nur Modelle sondern auch ganze, bemannte Flugzeuge zu schleppen. Zum Schleppen größerer Flugzeuge, zum Beispiel mehrmotoriger Bomber, dürfte die vorgesehene Spurweite von 2,5 m nicht mehr ausreichen. Eine Erweiterung der Spurweite auf etwa 7 bis 8 m ist durch Verlegen einer dritten Führung parallel zum bereits verlegten Meßgleis ohne Beeinträchtigung des Meßbetriebes nachträglich möglich.

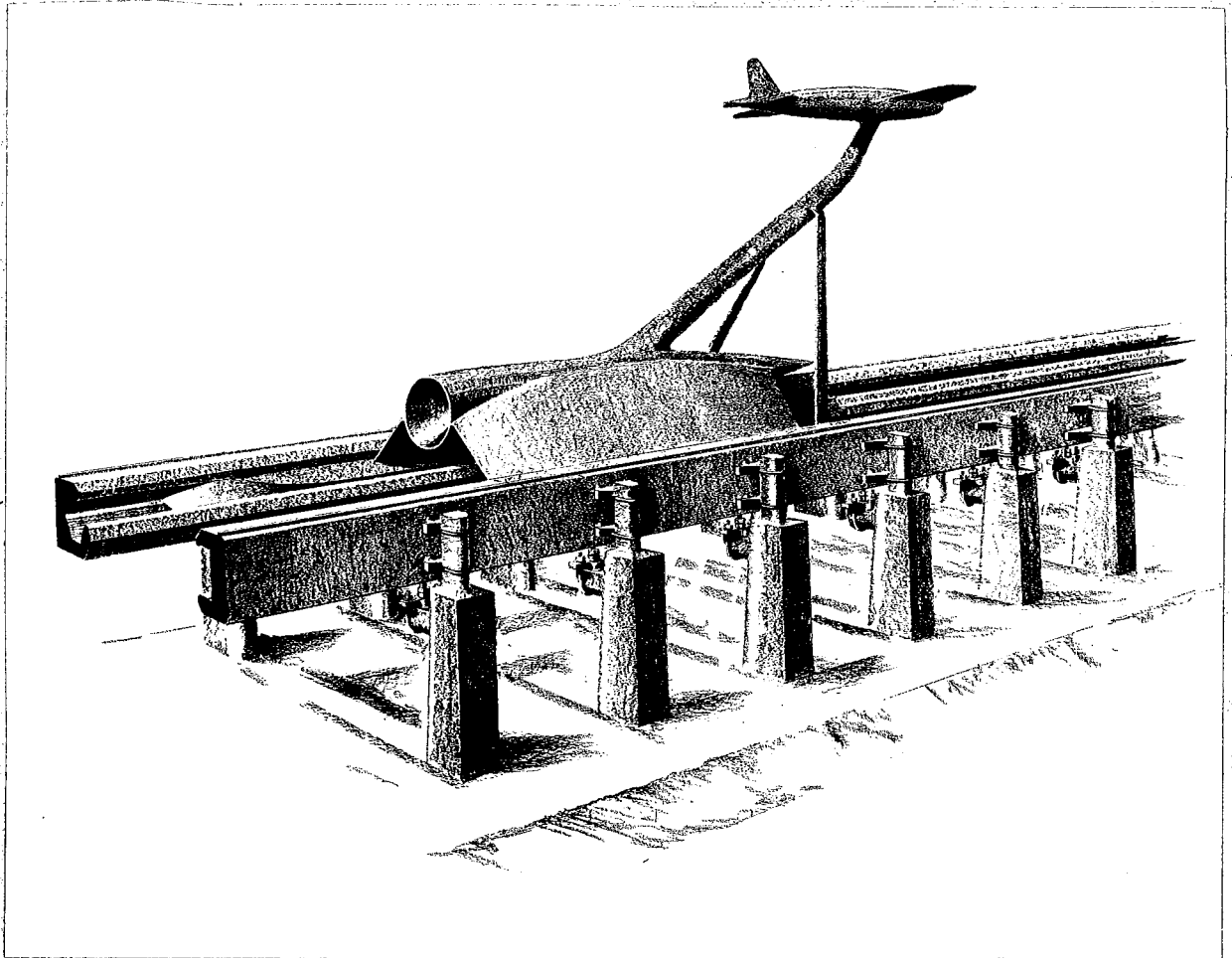
Bild 4 und 5 zeigen das auf 7 m Spur erweiterte Meßgleis mit einem auf einem Sondermeßfahrzeug aufgebauten Großflugzeug vom Muster FW 200 "Condor".

Aus wirtschaftlichen Gründen und zur Verminderung der bewegten Masse des Meßfahrzeuges ist später der Einbau einer Großkatapultanlage vorgesehen, welche das Meßfahrzeug ohne Beihilfe des Rückstoßtriebwerkes bis auf die höchsten Meßgeschwindigkeiten beschleunigen soll. Sie kann ebenfalls ohne Behinderung des laufenden Meßbetriebes eingebaut werden. Das Großkatapult arbeitet mit Druckluft.

Die Erstellung der Großkatapultanlage macht es ratsam, sich vom Ueberlandnetz unabhängig zu machen und den gesamten Energiebedarf der Flugmeßbahn in einem eigenen Kraftwerk zu decken. Die Kohlezufuhr kann zu Schiff auf der Warthe erfolgen.

Triebwerk

Modell



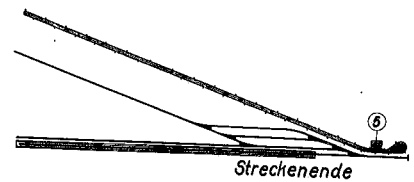
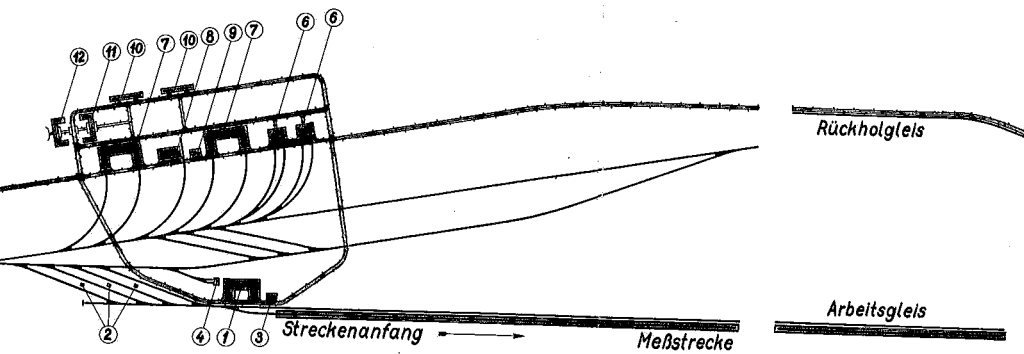
Gleisführung

Stütze

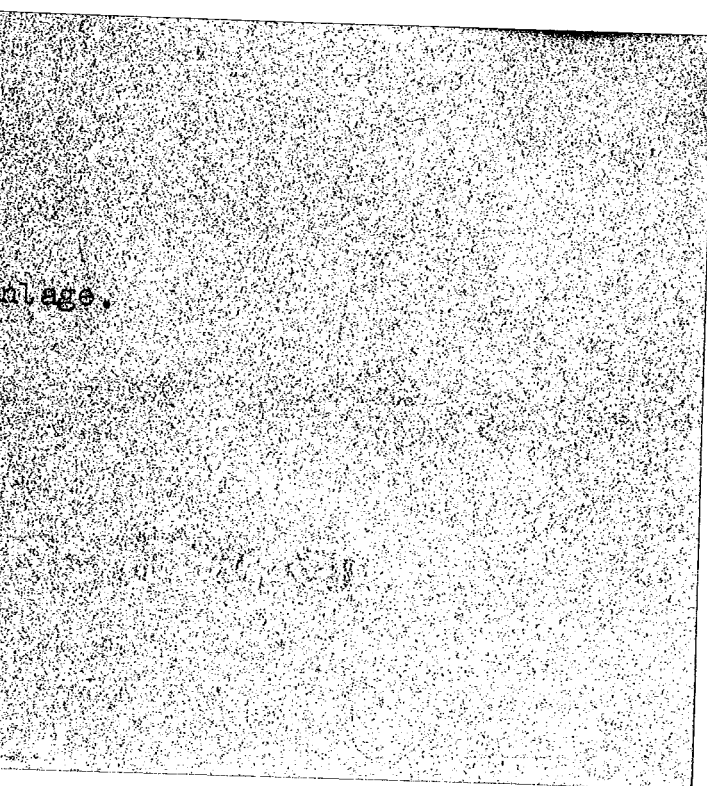
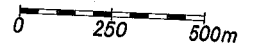
Stellhalterung

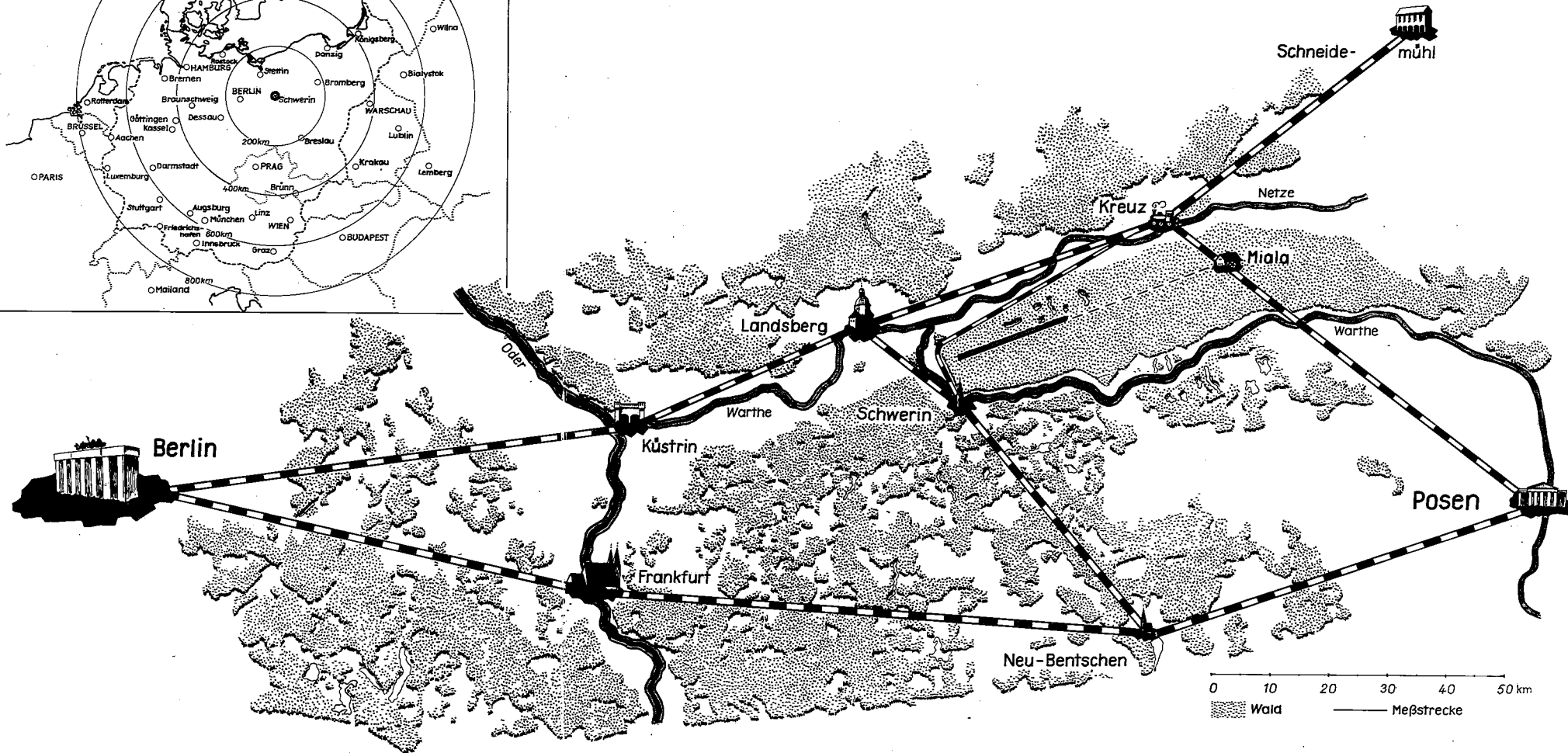
Bild 1. Meßfahrzeug mit Meßgleis.

- ① Kraftstation
- ② Betankungsanlage
- ③ Streckenmeister
- ④ Lokschuppen
- ⑤ Endstation
- ⑥ Meßvorbereitung
- ⑦ Werkstätten
- ⑧ Lager
- ⑨ Garage
- ⑩ Konstr., Labor
- ⑪ Verwaltung
- ⑫ Gefolgschaft
- ⑬ Pförtner



**Flugmeßbahn**  
Planskizze





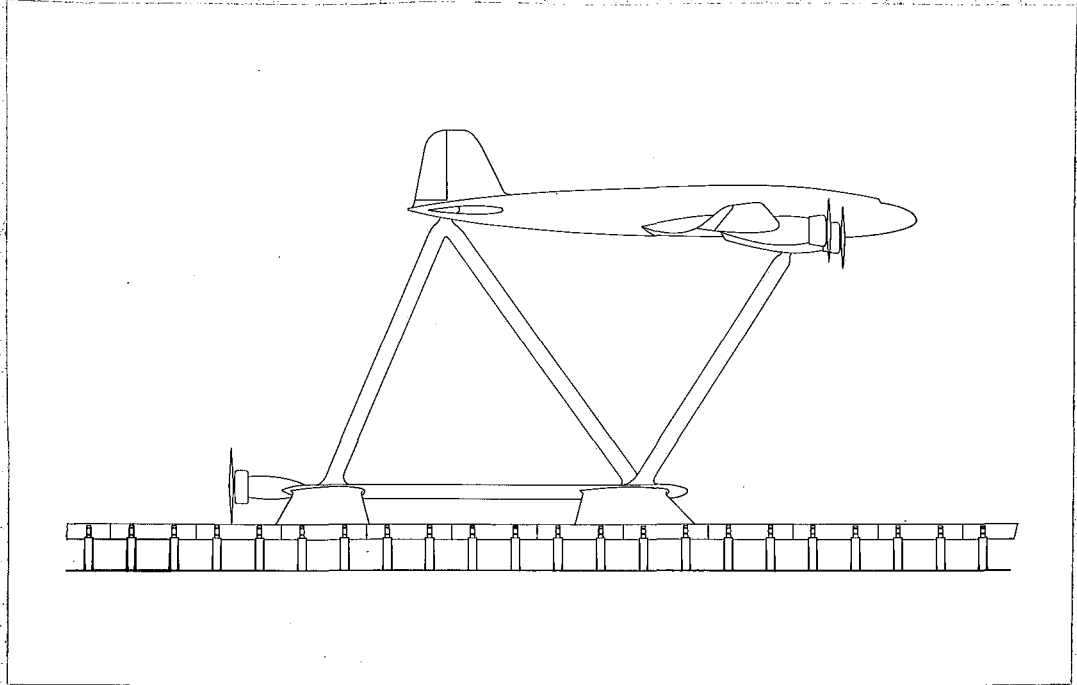


Bild 4. Seitenansicht.

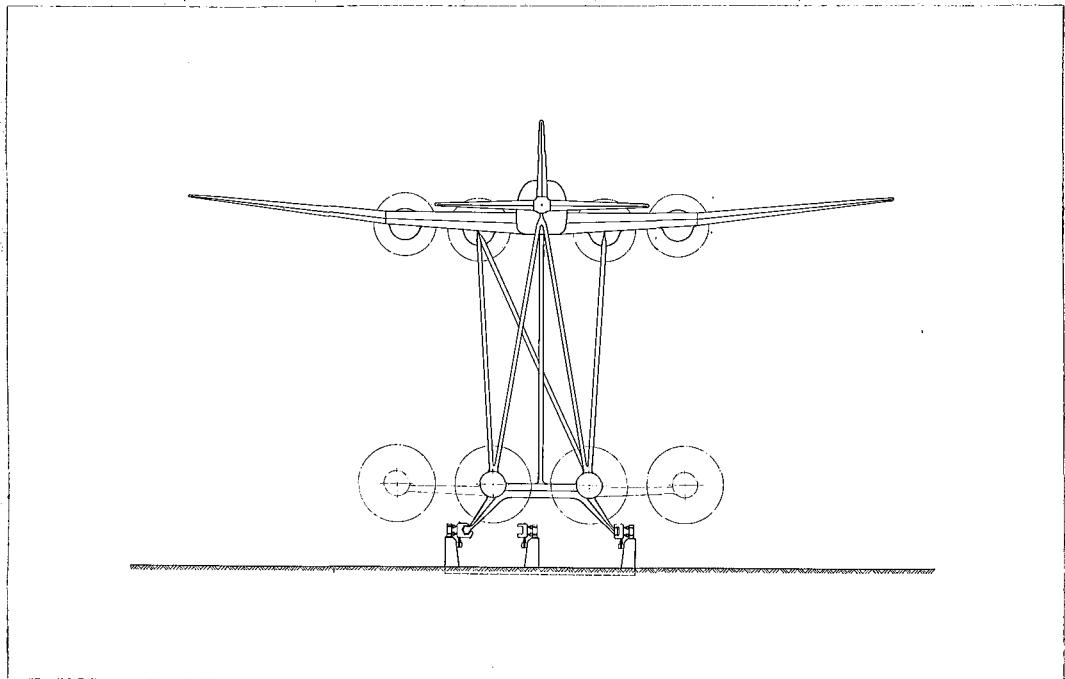


Bild 5. Ansicht von hinten.

Bild 4 und 5. Flugmeßbahn mit Großflugzeug (Baumuster Fw 200)

A n l a g e

zum Bericht Nr. 42/G/4  
aus dem Institut für Geräteentwicklung  
der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen.

Gliederung.

- I. Die Schwebemagnetführung.
  - a) Allgemeine Beschreibung.
  - b) Tragfähigkeit.
  - c) Technische Daten zur Schwebeführung.
  
- II. Das Meßgleis.
  - a) Allgemeine Beschreibung.
  - b) Daten und Werte zum Meßgleis.
  
- III. Das Meßfahrzeug.
  - a) Uebersicht.
  - b) Das Schwebemagnetsystem.
  - c) Daten zum Magnetsystem.
  - d) Das Triebwerk.
  - e) Daten zum Triebwerk.
  - f) Der Meßaufbau.
  - g) Modellgrößen.
  
- IV. Die Meßfahrt.
  - a) Meßfahrt.
  - b) Treibstoffverbrauch.einer Meßfahrt.
  - c) Start und Startanlage.
  - d) Treibstoffverbrauch beim Hochfahren auf die Meßgeschwindigkeit.
  - e) Anfahrzeit.
  - f) Anfahrweg.
  - g) Bremsen und Bremseinrichtungen.

I. Die Schwebemagnetführung.

a) Allgemeine Beschreibung.

Die magnetische Schwebeführung benutzt zur Uebertragung der Führungskräfte zwischen dem festen Teil (Schiene) und dem verschieblichen Teil der Anordnung (Fahrzeug) magnetische Zugkräfte, wie sie beim Stromdurchgang durch einen Elektromagneten entstehen.

Bei einem Elektromagneten unterscheidet man Magnet und Anker. Im vorliegenden Falle befindet sich der Magnet auf dem Fahrzeug, während der Anker von der Fahrschiene dargestellt wird. Während des Betriebes der Schwebeführung besteht zwischen Anker (Fahrschiene) und Magnet (Fahrzeug) ein Spalt wählbarer Größe von etwa 5 bis 8 mm, sodaß keine mechanische Berührung zwischen beiden möglich ist.

Die Arbeitsweise des Schwebemagneten soll nun an Hand von Bild 1 beschrieben werden.

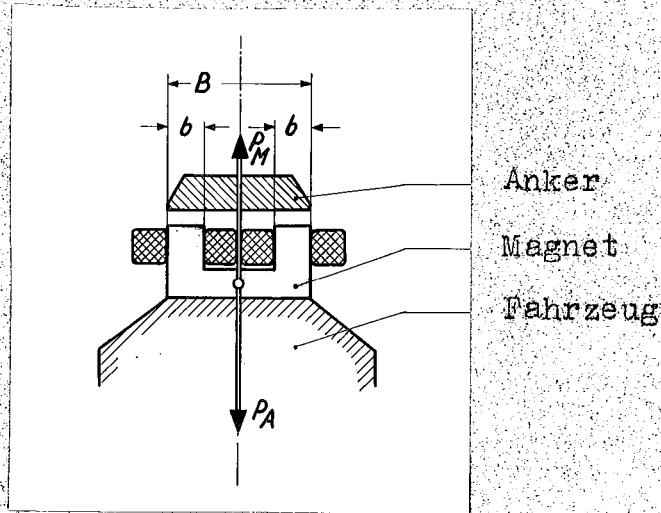


Bild 1. Kraftangriff am Elektromagneten.

Zwischen Magnet und Anker entstehen beim Stromdurchgang magnetische Zugkräfte  $P_M$ , die den Abstand zwischen beiden zu verkleinern suchen. Wirkt nun bei festgehaltenem Anker auf den Magneten eine äußere Kraft  $P_A$  entgegen  $P_M$ , so kann man beide Kräfte für einen gewissen Abstand zum Gleichgewicht bringen. Wird jedoch bei einem gewöhnlichen Magneten durch irgendwelche Umstände der Abstand zwischen Magnet und Anker geändert, dann wird der Magnet durch die äußere Kraft entweder vom Anker abgelöst oder im umgekehrten Falle von der Magnetkraft herangezogen. Ein solcher Magnet ist also unstabil. Es läßt sich ein festbleibender Abstand zwischen Magnet und Anker nicht einhalten.

Nach Dipl.-Ing. K e m p e r kann man das Arbeiten des Magneten stabilisieren und einen festen Betriebsabstand frei wählbarer Größe dadurch erhalten, daß man den Magnetisierungsstrom dem Abstand entsprechend steuert. Der Magnetisierungsstrom wird so gesteuert, daß bei Abstandsverkleinerung eine Magnetkraftminderung, bei Abstandsvergrößerung eine Magnetkraftzunahme erzielt wird.

Als Magnetkraftsteuerung hat sich für die Zwecke des Fahrzeugbetriebes die magnetisch induktive, sogenannte indirekte als zweckmäßig erwiesen:

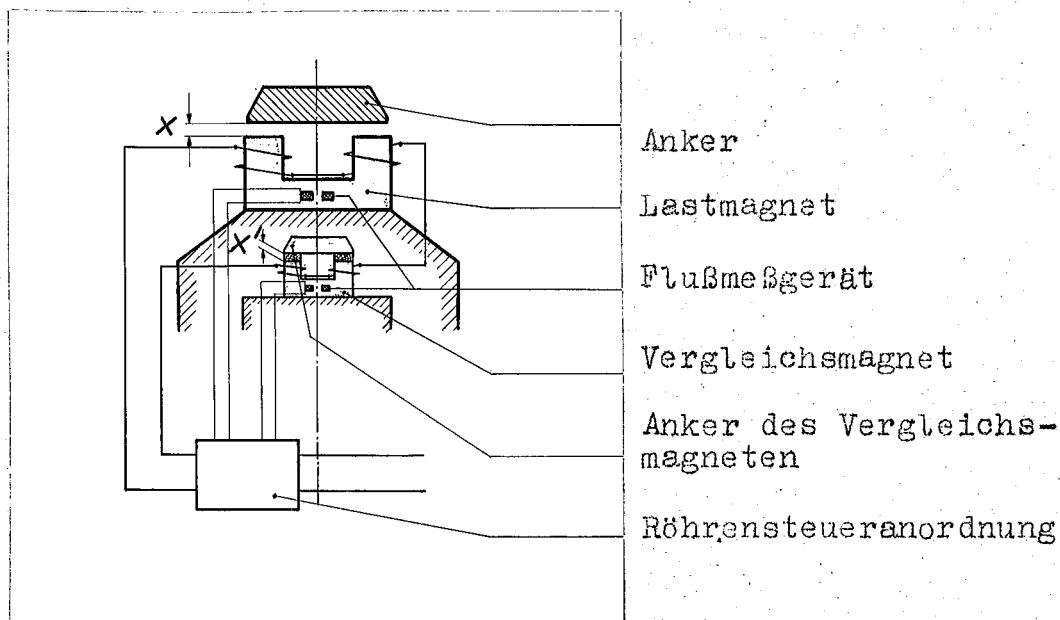


Bild 2. Schaltbild der Abstandssteuerung.

Bei dieser Art der Steuerung, die Bild 2 schematisch zeigt, ist dem Lastmagneten, der einen bestimmten Abstand  $x$  zwischen Anker und Magnet einhalten soll, ein Vergleichsmagnet vorgeschaltet. Der Vergleichsmagnet befindet sich mit den Lastmagneten zusammen auf dem Fahrzeug und wird von dem gleichen Magnetisierungsstrom durchflossen.

Zwischen dem Vergleichsmagneten und dessen Anker ist ein bestimmter fester Abstand  $x'$  eingestellt. In Bild 2 ist eine holzartig schraffierte Zwischenlage als Abstandshalterung angegeben. Der Vergleichsmagnet ist so bemessen, daß für  $x = x'$  der Magnetfluß in beiden Magneten der gleiche ist. Für  $x \neq x'$  wird der Fluß im Lastmagneten ein anderer sein als im Vergleichsmagneten.

Bringt man nun in jedem der beiden Magnete ein elektrisches Meßgerät unter, welches den Magnetfluß mißt und einen dem Fluß entsprechenden Stromwert gibt, so kann man durch Subtraktion der aus beiden Geräten sich ergebenden Ströme einen dem Abstand entsprechenden Steuerstrom zur Beeinflussung des Magnetstromes erhalten. Die Steuerung des Magnetstromes erfolgt unter Zwischenschaltung von Verstärkerröhren über sogenannte Stromtore. Nach Bild 2 sind die Steuergeräte in der schematisch gezeichneten Röhrensteueranordnung untergebracht.

Das Verhalten eines so gesteuerten Schwebemagneten läßt sich an Hand der Arbeitskennlinie, die Bild 3 zeigt, sehr gut übersehen.

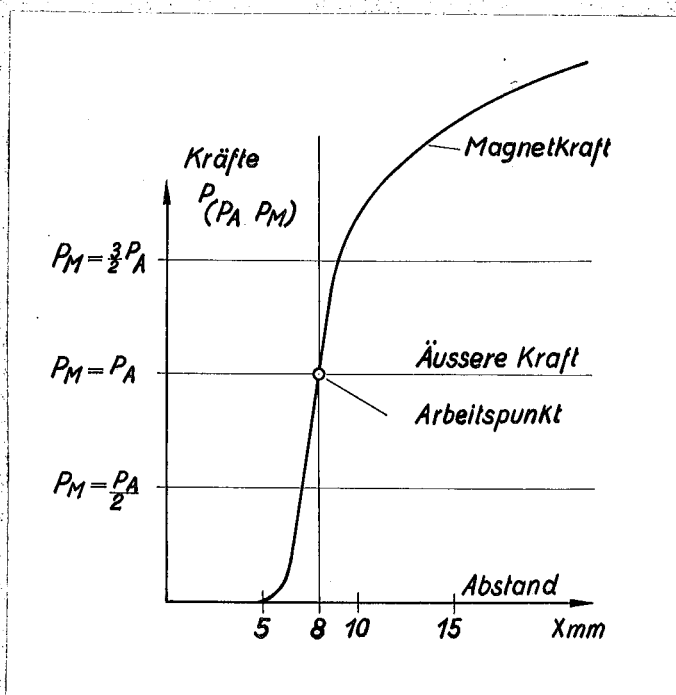


Bild 3. Arbeitskennlinie des Schwebemagneten.

Hier sind die Kräfte, also die Magnetkraft  $P_M$  und die äußere Kraft  $P_A$  auf der senkrechten, der Abstand  $x$  auf der waagerechten Achse aufgetragen. Man erhält dann 2 Kurven,

1. den Verlauf der Magnetkraft  $P_M$  in Abhängigkeit von dem Abstand  $x$  und
2. die äußere Kraft  $P_A$ , die für alle Abstände  $x$  einen festen Wert hat.

Beide Linien schneiden sich im Arbeitspunkt der Kennlinie. Hier ist  $P_M = P_A$ .

Wird nun bei gleichbleibendem  $P_A$  der Abstand  $x$  vergrößert, also der Magnet bei feststehendem Anker gegen die Magnetkraft  $P_M$  bewegt, so steigt die Magnetkraft dem Kurvenverlauf entsprechend an und sucht den Magneten nach dem Arbeitspunkt zurückzuholen. Verkleinert man umgekehrt den Abstand, dann nimmt die Magnetkraft entsprechend ab. Nunmehr holt die überwiegende äußere Kraft den Magneten wieder zum Arbeitspunkt zurück. Der Magnet schwebt also bei festbleibendem Abstand  $x$  stabil.

Der Anstieg der Arbeitskennlinie ist durch Anpassung und Dimensionierung der elektrischen Steuereinrichtungen wählbar. Es ist also möglich, durch die Wahl einer flachlaufenden Kennlinie eine weiche, nachgiebige, durch die einer steil verlaufenden eine harte, unnachgiebige magnetische Federung zu erhalten.

Ein mit einer solchen magnetischen Schwebereinrichtung ausgerüstetes Fahrzeug wird sich beim Fahren ähnlich wie ein gefedertes Kraftfahrzeug verhalten. So ist ein weichgefedertes Fahrzeug wohl in der Lage, gewisse Fahrbahnunebenheiten auszugleichen. Es besteht jedoch die Gefahr, daß beim Fahren in Resonanzbereichen das Fahrzeug zu Schwingungen angeregt wird. Diese Schwingungen können solche Ausschläge annehmen, daß bei magnetisch geführten Fahrzeugen Berührungen zwischen Magnet und Schiene eintreten können.

Ein hart gefedertes Fahrzeug ist dagegen nicht in der Lage, Fahrbahnunebenheiten auszugleichen. Es ist gezwungen, diesen starr zu folgen, und wird auf diese Weise zu Erschütterungen angeregt.

Da die Schienen der Flugmeßbahn aus technischen Gründen nicht ideal gerade verlegt werden können, ist dafür Sorge getragen, daß sich diese Fahrbahnunebenheiten nicht auf den Lauf des Fahrzeuges auswirken.

Es wird daher außer dem Abstandsmeßgerät noch ein weiteres auf dem Fahrzeug aufgebaut, welches in der Magnetkraftichtung wirkende Erschütterungen, das heißt Beschleunigungen, mißt und einen diesen entsprechenden elektrischen Stromwert gibt. Dieser Strom wird in gleicher Weise wie oben benutzt, um unter Zwischenschaltung entsprechender Schaltgeräte den Magnetisierungsstrom des Lastmagneten so zu steuern, daß das Fahrzeug auch bei schlechter Schienenlage praktisch ruhig bleibt. Die nach Aussteuerung der Erschütterungen noch auf das Fahrzeug wirkenden Restbeschleunigungen können damit auf Werte unter  $1/25$  g gebracht werden. Diese sind genügend klein, um die aerodynamische Messung nicht zu stören, andererseits genügend groß, um das Beschleunigungsmeßgerät zum Ansprechen zu bringen.

Die Untersuchungen der Beschleunigungssteuerung wurden im Standversuch durchgeführt und zwar auf Grund folgender Ueberlegungen:

Betrachtet man während einer Fahrt vom ideal fahrenden Fahrzeug aus eine nicht ideal verlegte Schiene, dann sieht man, daß diese scheinbar mehr oder weniger periodische Schwingungen um eine gewisse Mittellage ausführt. Diese periodischen Schwingungen lassen sich am Versuchstand durch schwingende Bewegungen des Ankers nachahmen und ermöglichen so, die Beschleunigungsuntersuchungen im Stand durchzuführen.

b) Tragfähigkeit.

Die Tragfähigkeit eines Schwebemagneten ist die eines gewöhnlichen Elektromagneten. Sie wird angegeben, durch die bekannte Maxwell'sche Zugkraftformel.

Diese ist

$$P = 0,04 \cdot \left(\frac{\mathcal{L}}{1000}\right)^2 \cdot F \text{ kg,}$$

worin P der Polquerschnitt des Magneten und  $\mathcal{L}$  die Induktion in ihm ist.

Bei einem Betriebsabstand von 5 bis 8 mm zwischen Anker und Magneten lassen sich beim Schwebemagneten mit erträglichen Aufwendungen an elektrischer Energie Induktionen bis zu  $\mathcal{L} = 11\ 200$  Gauß erzielen. Damit kommt man zu Höchsttragfähigkeiten von etwa

$$P_{\text{max}} = 5,1 \text{ kg/cm}^2 \text{ Polfläche.}$$

Diese erreichbare Höchsttragfähigkeit ist für die Konstruktion eines Meßfahrzeuges als kurzzeitiger Spitzenwert angesetzt. Für die mittlere Dauerbelastung wird ein Wert von

$$p = 1,0 + 1,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ Polfläche}$$

vorgesehen.

Die Studien und Entwicklungsarbeiten zur Schwebemagnetführung wurden an der AVA zunächst an einem kleinen Modell, später an einem Großmodell der magnetischen Schwebeführung unter den später zu erwartenden Lastverhältnissen vorgenommen und geklärt.

c) Technische Daten zur Schwebemagnetführung.

Für die Konstruktion der Meßfahrzeuge sind Magnete mit folgenden Polabmessungen vorgesehen.

1. Größte Breite des Blechschnittes (Bild 1)  $B = 14 \text{ cm}$
2. Aktive Polbreite (Bild 1)  $2b = 8,8 \text{ cm}$
3. Für die langgestreckten Schwebemagnete ergibt sich damit eine Polfläche je Längeneinheit (lfd.m)  $F = 880 \text{ cm}^2/\text{m}$

Der Betriebsspalt (Abstand zwischen Anker und Magnet) ist  $a = 5 + 8 \text{ mm}$

Die höchste Tragfähigkeit eines Magneten der Längeneinheit ergibt sich bei einer Betriebsdauer von 2 Min. zu  $P_{\text{max}} = 4,5 \text{ t/m}$

(Bei kleineren Belastungen können der geringen Erwärmung wegen entsprechend längere Betriebszeiten zugelassen werden)

Die für die Höchstlast vom Generator aufzubringende elektrische Wirkleistung wird etwa  $N_e = 25 \text{ kW/m}$

Die im Magnetsystem pulsierende Blindleistung (Steuerströme), die der Bemessung der Wicklungen und Schaltgeräte sowie der Stromerzeuger zu Grunde zu legen ist, wird für die Höchstlast  $N_B = 150 \text{ kVA/m}$

Das angenäherte Einheitsgewicht der Magnetanordnung einschließlich zugehöriger Steuereinrichtung (auf dem Fahrzeug befindliche Geräte) ist  $G_M = 120 \text{ kg/m}$

## II. Das Meßgleis.

### a) Allgemeine Beschreibung.

Der Meßgleisaufbau sieht 5 Fahr s c h i e n e n vor. Ihre Anordnung zeigt Bild 4. Hiernach sind die Schienen 1, 2 und 3 zu der linken (I), die Schienen 4 und 5 zu der rechten Gleisführung (II) zusammengefaßt. Aus dem gleichen Bild ist die Anordnung der Fahrzeugmagnete mit ihrer Lage zu den Fahrzeugschienen ersichtlich.

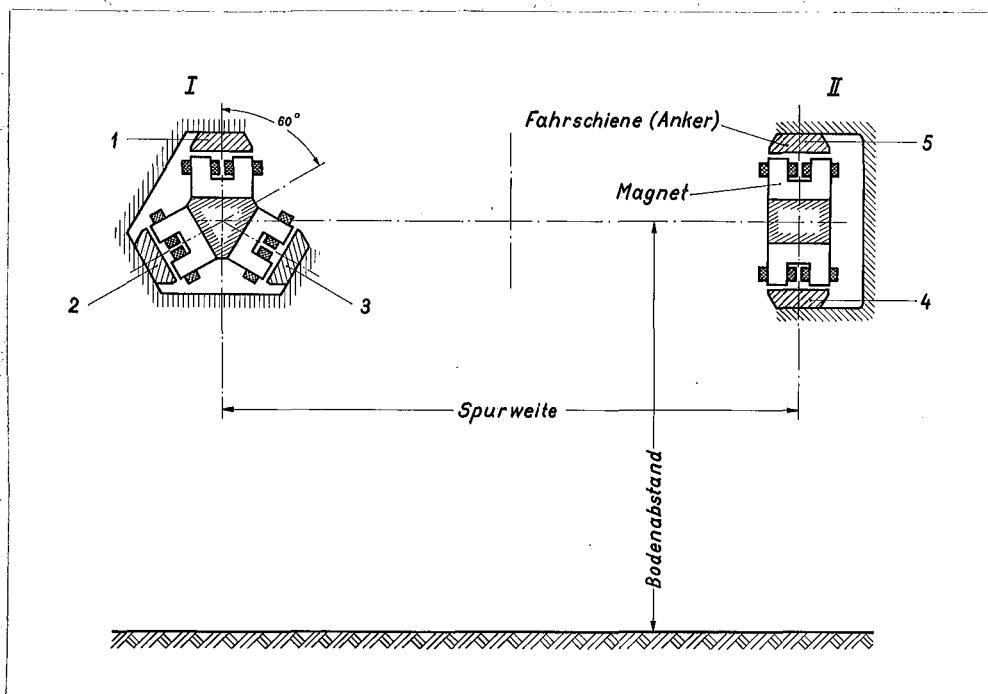


Bild 4. Anordnung der Fahr s c h i e n e n und Magnete.

Auf das Fahrzeug senkrecht nach unten wirkende Kräfte werden von der Schwebemagneteinrichtung durch magnetische Zugkräfte auf die Schienen 1 und 5 übertragen. Auf das Fahrzeug senkrecht nach oben wirkende Kräfte werden von den Schienen 2 und 3 sowie von der Schiene 4 übernommen. Bei den Schienen 2 und 3 wirkt jedoch nicht die volle Magnetkraft nach oben, sondern nur deren  $\cos$ -Komponenten. Kräfte in waagerechter Richtung nach rechts werden von der  $\sin$ -Komponente der Schiene 2, nach links von derjenigen der Schiene 3 übernommen. Die Neigung der Krafrichtung der Schienen 2 und 3 zur Senkrechten beträgt  $60^\circ$ . Damit wird die Summe der  $\cos$ -Komponenten der Schienen 2 und 3 gleich einer Magnetnormalkraft.

Die Fahrschienen müssen als Anker der Magnetsysteme zum Kleinhalten der Wirbelstrom- und Hystereseverluste beim Fahren und beim Steuern der Magnete aus Blechen lamelliert werden.

Die Führungen werden aus Eisenbeton hergestellt. Dadurch lassen sich die Blechpakete der Fahrschienen fest und verhältnismäßig billig halten. Außerdem werden Betonführungen billiger als solche ganz aus Stahl. Sie benötigen weniger Eisen und können von angelernten Kräften ohne Zuhilfenahme hochwertiger Maschinen oder Walzwerkeinrichtungen hergestellt werden.

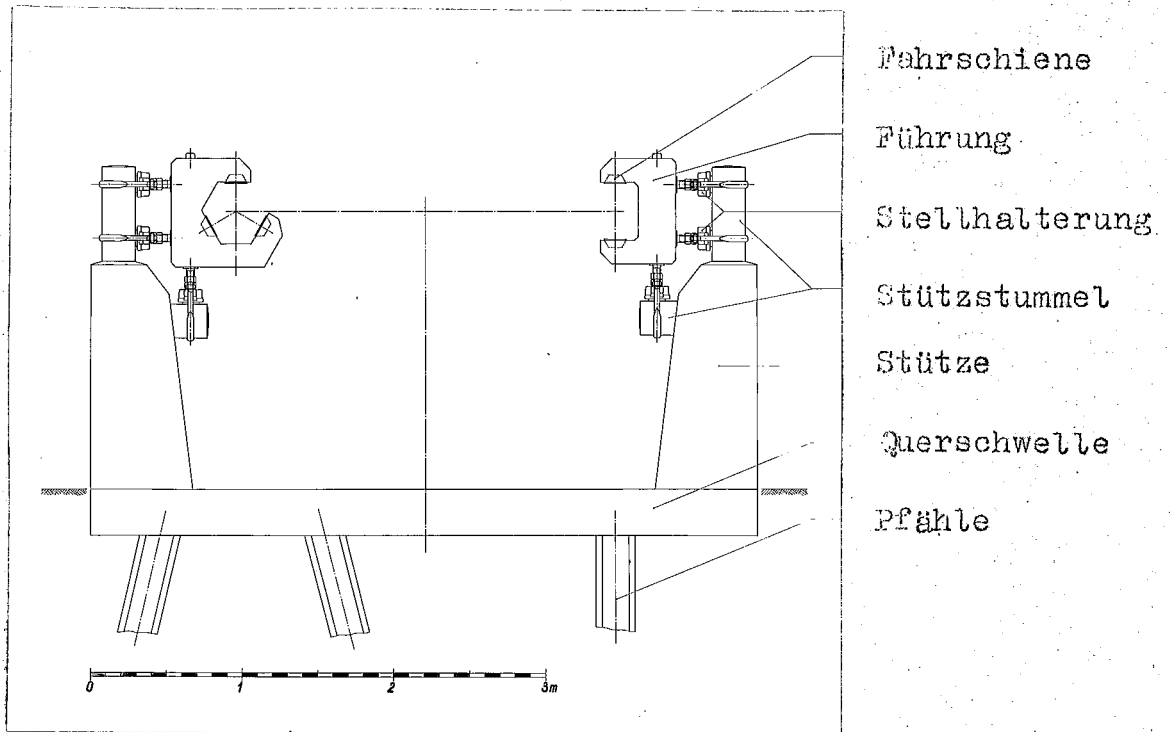


Bild 5. Das Meßgleis.

Bild 5 zeigt den Meßgleisaufbau im Querschnitt. Hiernach werden die Führungen, welche eine Stücklänge von 4 m haben, von 1,8 m hohen Stützen an deren Stützstummeln getragen. Diese Stützen sind im Abstände von 2 m aufgestellt. Gegenüberliegende Stützen sind mit einer Querschwelle zu einem Eisenbetonrahmen vereinigt, welcher von 3 in den Grund gerammten Eisenbetonpfählen getragen wird. Die Spurweite des Meßgleises beträgt 2,5 m.

Die Befestigung an den Stützenstummeln erfolgt durch Stellhalterungen (Bild 6). Diese erlauben ein genaues Ausrichten der Führungen nach Seite und Höhe. Die Stelltoleranzen sind so groß gewählt, daß nach längerer Betriebsdauer zu erwartende Verlagerungen an den Stützen ausgeglichen werden können.

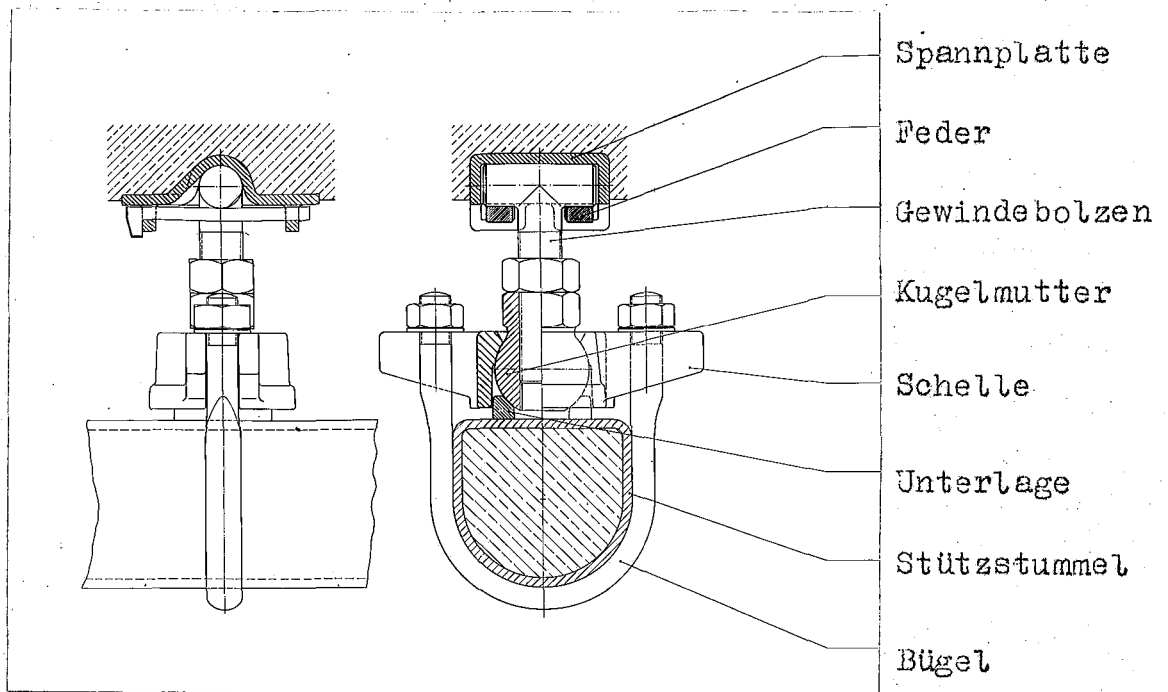


Bild 6. Die Stellhalterung.

Die Stellhalterung besteht aus:

der Spannplatte mit zwei Federn,  
dem hammerartigen Gewindebolzen,  
der Kugelstellmutter mit Gegenmutter,  
der Unterlage und  
der Schelle mit Bügel und Muttern.

Die Spannplatte ist ein Teil der Führung. In ihr lagert um eine zur Fahrrichtung parallele Achse beweglich der Gewindebolzen. Er trägt die Kugelstellmutter, welche von Schelle und Bügel über die Unterlage gegen den Stützstummel gezogen wird. Nach Lockern der Bügelmuttern und der Gegenmutter kann die Führung durch Drehen und Verschieben der Kugelstellmutter allseitig nachgestellt werden. An jeder Stütze greifen drei Stellhalterungen an.

Für Bau-, Montage- und Ueberwachungsarbeiten ist links neben dem Meßgleis ein Regelspurgleis (Arbeitsgleis) verlegt (Bild 12).

Da Bodenunebenheiten die Messungen beeinträchtigen, wird die Trasse der Meßstrecke auf einer Breite von 30 m eingeebnet.

b) Daten und Werte zum Meßgleis.

Der Bemessung und Nachrechnung des Meßgleises sind folgende Werte zu Grunde gelegt:

Die Breite einer Fahrschiene, die einer Magnetpolbreite entspricht, ist  $B = 14 \text{ cm}$

Die im Betriebe auftretende Höchstlast je lfd. m Fahrschiene kann werden  $P_p = 4,5 \text{ t/m}$

Als größte elastische Durchbiegung einer Führung wird bei ungünstigster Magnetlänge und Laststellung zugelassen  $f = 1,0 \text{ mm}$

Aus der Schienenanordnung (linke und rechte Fahrschiene zusammen) ergibt sich die größte vom Meßgleis in der Senkrechten getragene Last mit  $P_z = 9 \text{ t/m}$

In der Waagerechten (sin-Komponente einer Fahrschiene) kann das Gleis eine größte Last übernehmen von  $P_y = 3,9 \text{ t/m}$

Bei einer Stützweite von  $L=2\text{m}$  wird die größte senkrechte Last je Stütze  $P_{sz} = P_z/2 \cdot L = 9 \text{ t}$

Bei der gleichen Stützweite von  $L=2\text{m}$  wird die größte waagerechte Last, die von der linken Stütze zu übernehmen ist,  $P_{sy} = P_y \cdot L = 7,8 \text{ t}$

Die Spurweite des Meßgleises ist  $s = 2,5 \text{ m}$

Die Bodenfreiheit (Mitte Führung bis Oberkante Querschwelle) ist  $h = 1,8 \text{ m}$

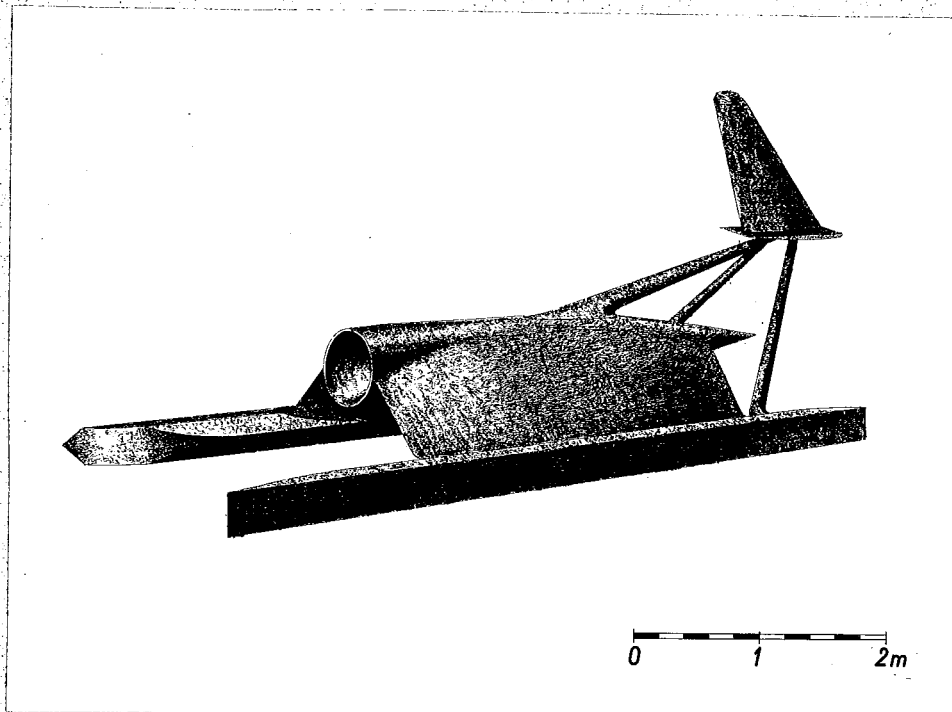
Die Trassenbreite ist  $B_T = 30 \text{ m}$

### III. Das Meßfahrzeug.

#### a) Uebersicht.

Bild 7 und 9 zeigen perspektivisch den Entwurf eines Meßfahrzeuges. An diesem kann man unterscheiden:

Triebwerk



Modell

Meßaufbau

Träger

Führungskufe

Bild 7. Meßfahrzeug mit senkrecht stehendem Modell.

die Führungskufen mit der Schwebemagneteinrichtung,  
das Triebwerk,  
die Träger und  
den Meßaufbau mit Modell.

#### b) Das Schwebemagnetsystem.

In den Führungskufen sind die mit der Fahrschiene zusammenarbeitenden Schwebemagnete untergebracht. Der Einbau der Magnete paßt sich der Anordnung der Fahrschiene innerhalb der Führungen an.

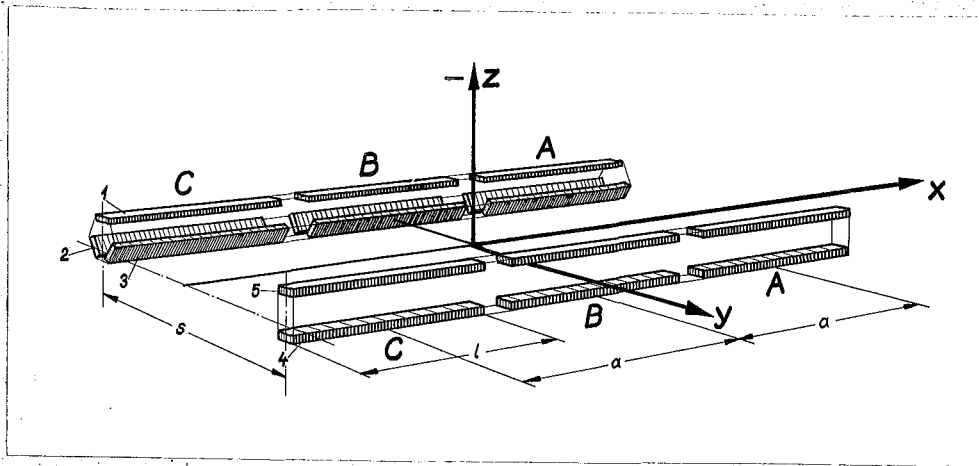


Bild 8. Das Magnetsystem.

Den Aufbau des Schwebemagnetsystems für ein Meßfahrzeug zeigt Bild 8 in perspektivischer Darstellung. In diesem Bild gibt die X-Richtung die Fahr- richtung an. Die schraffierten Teile zeigen die Lage der einzelnen Magnete. Hiernach liegen in der Längsrichtung der Kufen mehrere - im vorliegenden Falle drei - mit einer Fahrschiene zusammenarbei- tende Magnete hintereinander. Dadurch ergibt sich eine zeilen- und gruppenweise Anordnung der Magnete auf dem Fahrzeug. In Uebereinstimmung mit den Be- zeichnungen der Fahrschienen nach Bild 4 tragen die Zeilen zur Kennzeichnung die Ziffern 1, 2, 3, 4 und 5, die Gruppen die Buchstaben A, B, und C. Die Länge der einzelnen Magnete ist  $l$ . Ihr Mittel- abstand von einander ist  $a$ .

Einander gegenüberliegende Magnete der gleichen Gruppe werden so gesteuert, daß sie nicht gegenein- ander arbeiten. Im Lastfalle wird daher immer nur ein Magnet ansprechen.

Mit einer derartigen Magnetanordnung wird erreicht:

1. Das Fahrzeug kann neben Kräften in der Y Z - Richtung auch noch Momente um die X Y Z - Achsen aufnehmen.
2. Beim Ausfall irgend eines Magneten ist hinreichend Sicherheit gegen das Ablösen des Fahrzeuges von der Schiene vorhanden.

Für ein Fahrzeug von den geplanten Abmessungen sind daher 15 Einzelmagnete notwendig. Zu jedem von ihnen gehören entsprechende Steuereinrichtungen, welche in den Trägern Platz finden können.

In den Kufenenden sind Gleitschuhe eingebaut, auf welche sich das Meßfahrzeug beim Versagen der Schwebereinrichtung auf die Fahrschienen absetzen kann.

c) Daten zum Magnetsystem.

Der Konstruktion eines Meßfahrzeuges, das zunächst eine Höchstgeschwindigkeit  $v_{\max} = 350$  m/sec erreichen soll, sind folgende Abmessungen und Werte zu Grunde gelegt:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| Eine Magnetbreite (wie in Ic) von  | $B = 14$ cm                  |
| Eine aktive Eisenbreite von  | $2b = 8,8$ cm                |
| Eine aktive Magnetlänge von  | $l = 133$ cm                 |
| Daraus ergibt sich die Polfläche eines Magneten zu   | $F = 1\,170$ cm <sup>2</sup> |
| Mit dem bei Ic) angegebenen Tragfähigkeitswert ist die größte Tragfähigkeit eines solchen Magneten                                 | $P_M = 6,0$ t                |
| Die Gesamtlänge der Magnetanordnung des Fahrzeuges wird für 3 Magnete unter Beachtung des Wickelzwischenraumes zwischen 2 Magneten | $l_M = 5,0$ m                |
| In der Senkrechten tragen die 6 Magnete des Fahrzeuges 2 Min. lang eine Höchstlast von   | $P_{z\max} = 36,0$ t         |
| In der Waagerechten übernehmen 3 Magnete mit ihrer sin-Komponente 2 Min. lang eine Höchstlast von                                  | $P_{y\max} = 15,5$ t         |

Das Gesamtgewicht des betriebsklaren Magnetsystems je Fahrzeug ist

$$G_M = 2,4 \text{ t}$$

Mit den Werten von  $I_0$ ) wird die zum Führen des Fahrzeuges aufzubringende elektrische Wirkleistung etwa

$$N_e = 350+400 \text{ kW}$$

Die Blindleistung wird entsprechend etwa

$$N_B = 2 \text{ 500 kVA}$$

Als Betriebsspannung ist vorgesehen

$$U = 5 \text{ 000 V}$$

d) Das Triebwerk.

Das Triebwerk soll zusammen mit der Startanlage das Meßfahrzeug auf die Meßgeschwindigkeit beschleunigen und diese während der Meßzeit aufrecht erhalten. Bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten kann nur ein Rückstoßtriebwerk verwendet werden. Am besten eignet sich hierfür ein Flüssigkeits-Rückstoßtriebwerk. Diese Triebwerke sind seitens der Industrie so weit entwickelt, daß die erforderlichen Schübe während der geforderten Betriebszeiten erreicht werden.

Das Triebwerk ist an den beiden Trägern den Führungskufen gegenüber erhöht befestigt, um die Triebkräfte möglichst in den Luftkraft- und Massenschwerpunkt zu bringen. Seine Verkleidung bietet genügend Raum zur Unterbringung von Meß- und Hilfsapparaturen.

e) Daten zum Triebwerk.

Nach Angaben des Triebwerkherstellers ist:

Treibstoffverbrauch je Tonne Schub und Sekunde Betriebszeit

$$G_o = 5,5 \text{ kg/t.sec}$$

Eigengewicht des ungefüllten Triebwerkes (Behälter) bezogen je Tonne, Schub und Sekunde etwa

$$G_B = 3,8+5,5 \text{ kg/t.sec}$$

Das Verhältnis Behälter zu Treibstoffgewicht ist demnach

$$\frac{G_B}{G_o} = K = 0,7+1$$

f) Der Meßaufbau.

Der Meßaufbau sieht die Anbringung des Modells

auf grundsätzlich zwei Arten vor:

Entsprechend Bild 7 wird es senkrecht aufgestellt und nach unten durch eine Endscheibe begrenzt.

Diese Art der Aufhängung liefert bei allen Geschwindigkeiten nahezu störungsfreie Meßergebnisse, da Störeinflüsse von Fahrzeug und Boden her auf das Modell weitgehend durch die Endscheibe abgeschirmt werden. Sie eignet sich im wesentlichen für

1. die Untersuchung von Tragflügelprofilen,
2. die Untersuchung symmetrischer Modelle, von denen nur eine Hälfte vermessen zu werden braucht,
3. saubere Rudermomentenmessungen,
4. dynamische Untersuchungen.

Für Schlierenbeobachtungen eignet sie sich, wie unten näher gezeigt wird, nicht.

Bild 9 zeigt die zweite Art der Aufhängung. Hier nach wird das Modell in Normalfluglage geschleppt.

Triebwerk

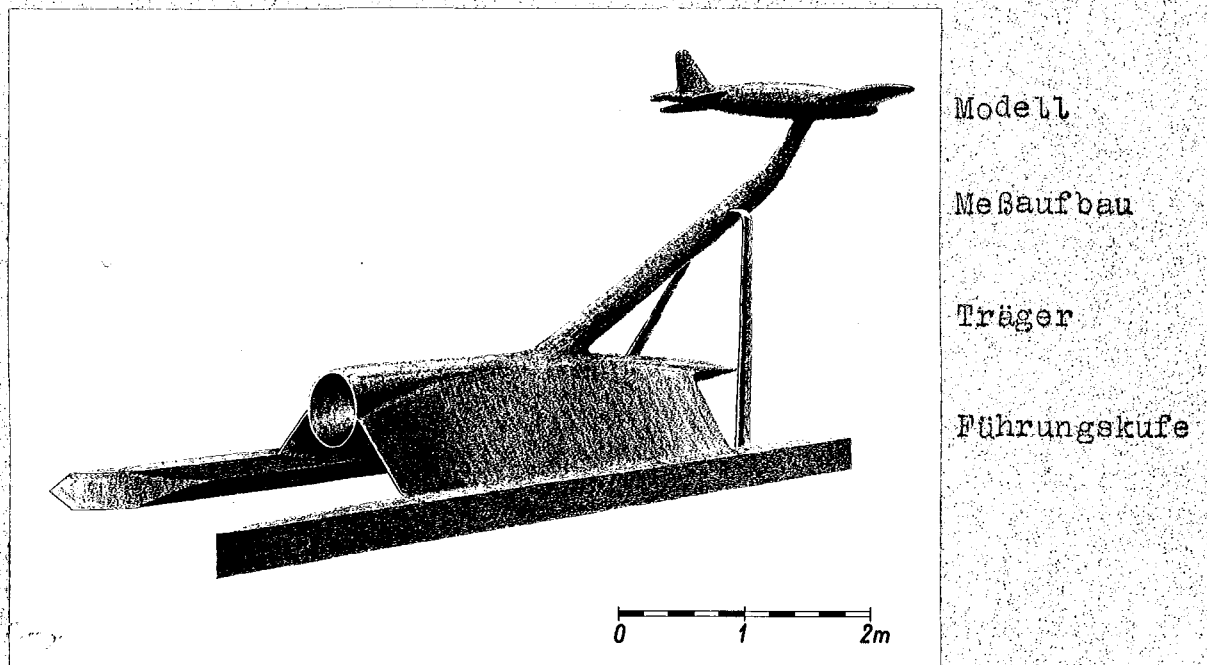


Bild 9. Meßfahrzeug mit Modell in Normalfluglage.

Um den Einfluß der Bodennähe klein zu halten und um Störungen bei Schallgeschwindigkeit und darüber nicht an das Modell gelangen zu lassen, muß dieses in genügender Höhe über und vor dem Meßfahrzeug geschleppt werden. Bei größeren Modellen werden zu beachtende Fehler auftreten, welche durch Messen in Normal- und Rückenlage oder rechnermäßig ausgeglichen werden können.

Bei dieser Art von Modellaufhängung können Schlieraufnahmen grundsätzlich vorgenommen werden und zwar nach der Methode der Cranz'schen Geschossphtographie. In diesem Falle wären beiderseits der Meßstrecke genügend große Spiegel mit der zugehörigen Funkenstrecke und Aufnahmegerätschaft aufzubauen. Wegen der notwendigen großen Spiegelentfernungen kann eine solche Anlage nur für waagerechten Strahlengang aufgestellt werden. Sie könnte also nur bei Modellaufhängungen nach der zweiten Art benutzt werden.

g) Modellgrößen.

Für Messungen nach der ersten Art sind Profils-  
spannweiten von

$$b/2 = 2,0 \text{ bis } 2,5 \text{ m,}$$

nach der zweiten Art Profils-  
spannweiten von

$$b = 3,0 \text{ m}$$

vorgesehen. Die Vermessung größerer Modelle ist grundsätzlich möglich und lediglich eine Frage des Fahrzeugantriebes.

Das Meßfahrzeug soll zur Kleinhaltung des Fahrwiderstandes möglichst geringe Stirnfläche bei geringster Oberfläche haben. Wegen der Beschleunigungs- und Bremskräfte ist geringstes Baugewicht anzustreben. Das Meßfahrzeug ist daher nach den Grundsätzen des Flugzeugbaues zu entwerfen.

#### IV. Die Meßfahrt.

##### a) Meßfahrt.

Bei der Meßfahrt hat das Rückstoßtriebwerk nur den Luftwiderstand und den an sich betragsmäßig geringen, vernachlässigbaren Fahrwiderstand der Schwebemagnete zu überwinden.

(Der Fahrwiderstand, herkommend von Wirbelstrom- und Hystereseverlusten beim Magnetisieren der Fahrschiene, erreicht bei den höchsten anzunehmenden Belastungen und Fahrgeschwindigkeiten von 500 m/sec höchstens Werte von etwa 12 + 15 kg).

Der Luftwiderstand ist

$$W = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot c_w \cdot F$$

Der Widerstandsbeiwert steigt bekanntlich in der Nähe der Schallgeschwindigkeit stark an.

Der Verlauf des Widerstandsbeiwertes in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, beziehungsweise der Mach'schen Zahl  $M$ , der auf die Stirnfläche des Fahrzeuges bezogen und in Bild 10 gezeigt ist, wurde unter Beachtung einer Reihe von Meßergebnissen an den verschiedenartigsten Körpern angenommen.

Der Widerstand bezogen auf die Einheitsstirnfläche wird in Bild 10 ebenfalls gezeigt.

$$W' = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot c_w$$

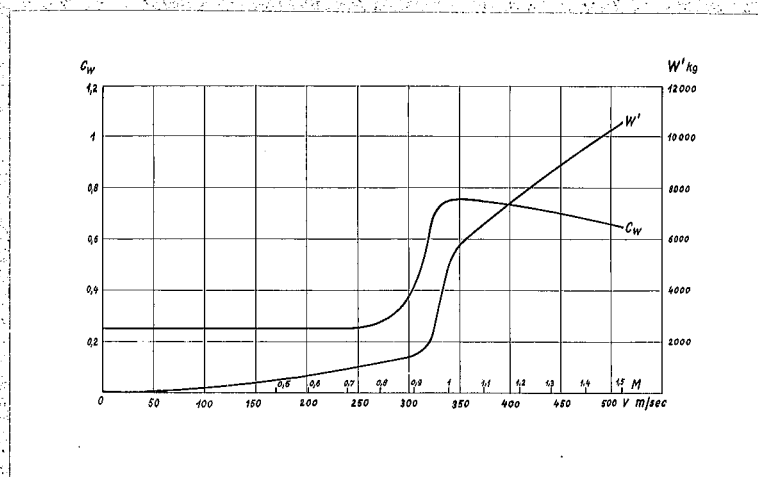


Bild 10. Widerstandsbeiwert  $c_w$  und Stirnwiderstand  $W'$ .

b) Treibstoffverbrauch einer Meßfahrt.

Die für eine Meßfahrt benötigten Treibstoffmengen werden dann

$$G_m = g_0 \cdot W \cdot t$$

Das Gesamtgewicht des Triebwerkes wird

$$G_M = (1 + k) \cdot g_0 \cdot W \cdot t$$

Für eine Meßfahrt eines Meßfahrzeuges der geplanten Größe, welches eine Stirnfläche von  $1,2 \text{ m}^2$  haben soll, sind zur Durchführung einer Messung von 15 sec Dauer bei den verschiedenen Geschwindigkeiten  $v$ , die in Bild 11 in Kurve  $G_m$  gezeichneten Treibstoffmengen notwendig.

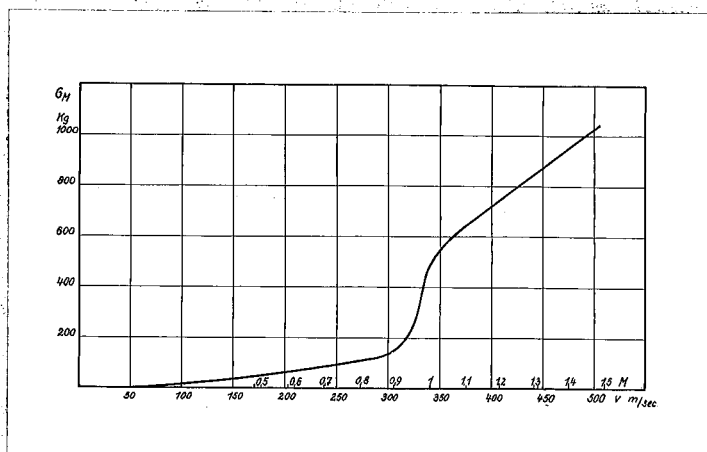


Bild 11. Treibstoffbedarf je Meßfahrt.

c) Start und Startanlage.

Das für den Start vorgesehene Katapult ist eine vergrößerte Ausführung der üblichen Flugzeugschleudern, wie sie von der Firma Ernst Heinkel Rostock in größerer Anzahl gebaut worden sind.

Bild 12. Kopf der Meßbahn.

Die Meßbahnschleuder ist für ein zu beschleunigendes Fahrzeuggewicht von 10 t und eine Höchstgeschwindigkeit von 100 m/sec ausgelegt. Die höchste Beschleunigung ist mit 14 g angenommen. Die Schleuder befindet sich am Kopf der Meßbahn zwischen den beiden Gleisführungen (siehe Bild 12). Ihre Gesamtlänge beträgt 70 m, davon sind 45 m Beschleunigungsweg.

Der Leistungsbedarf ist nach Angaben des Herstellers je Abschub 1 200 m<sup>3</sup> angesaugte Luft t bei einem Speicherdruck von 195 at. Das entspricht einer Kompressorarbeit von 600 KWh.

Der Schleudernanlage ist ein kurzes Meßgleisstück als Einfahrt mit Regelspurgleisanschluß (Rückholgleis) vorgeschaltet.

Die weitere Beschleunigung des Meßfahrzeuges erfolgt nach dem Lösen von der Schleuder durch das Rückstoßtriebwerk.

d) Treibstoffverbrauch beim Hochfahren auf die Meßgeschwindigkeit.

Das zum Hochfahren des Meßfahrzeuges auf die Meßgeschwindigkeit  $v$  notwendige Treibstoffgewicht

$$G_b = m_b \cdot g$$

läßt sich angenähert folgendermaßen finden:

Nach dem Satz vom Antrieb ist bei Vernachlässigung des während des Anfahrens wirkenden Luftwiderstandes

$$\frac{m_0}{m_1} = e^{\Delta v \cdot G_0 / g}$$

wenn  $m_0$  die Startmasse,  $m_1$  diejenige am Ende der Beschleunigung und  $\Delta v$  die Geschwindigkeitszunahme während des Starts ist.

Da andererseits die zur Beschleunigung notwendige Treibstoffmasse

$$m_b' = m_0 - m_1$$

ist, findet man

$$m_b' = m_1 (e^{\Delta v \cdot G_0 / g} - 1)$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß man die zur Unterbringung des Anfahrtriebstoffes notwendige Behältermasse  $m_B$  kennt. Ist dieses nicht der Fall, dann wird mit

$$m_B = k \cdot m_b'$$

$$m_b' = (m_K + m_M) \cdot \frac{e^{\Delta v \cdot G_0 / g} - 1}{1 - k (e^{\Delta v \cdot G_0 / g} - 1)}$$

Hierin ist  $m_K$  die Masse des Fahrzeuges ohne Triebwerk und  $m_M$  der Massenanteil am Triebwerk, der zur Durchführung der Meßfahrt notwendig ist. (vergl. IVb)

Der Einfluß des Luftwiderstandes kann näherungsweise dadurch berücksichtigt werden, daß man das Zeitintegral des Luftwiderstandes während der Anfahrt

$$J = \int_{t_0}^t W \cdot dt$$

bildet und die zur Ueberwindung dieses Impulses notwendige Treibstoffmenge  $m_w$  zur Beschleunigungstreibstoffmasse  $m_b'$  zuschlägt. Die gesamte Anfahrtsstoffmasse ist dann

$$m_b = m_b' + m_w$$

Um einen Ueberblick über den benötigten Gesamt-treibstoffverbrauch und seine Anteile für Meßfahrt und Beschleunigung zu bekommen, sind in Bild 13 der Gesamttreibstoffverbrauch  $G_{Tr}$  und der Treibstoffverbrauch für die reine Meßfahrt von 15 sec Dauer  $G_m$  für ein Fahrzeug von 1,2 m Stirnfläche und 4 500 kg Konstruktionsgewicht als Funktion der Meßgeschwindigkeit  $v$  aufgetragen. Im gleichen Kurvenblatt ist mit  $G_F$  das nach Beendigung der Meßfahrt noch verbleibende Leergewicht des Fahrzeuges gezeigt.

(Die Kurven gelten nur für Fahrzeuge, deren Triebwerk für die angegebenen Meßgeschwindigkeiten ausgelegt ist. Sie gelten also nicht für triebwerkseitig nicht ausgefahrene Fahrzeuge.)

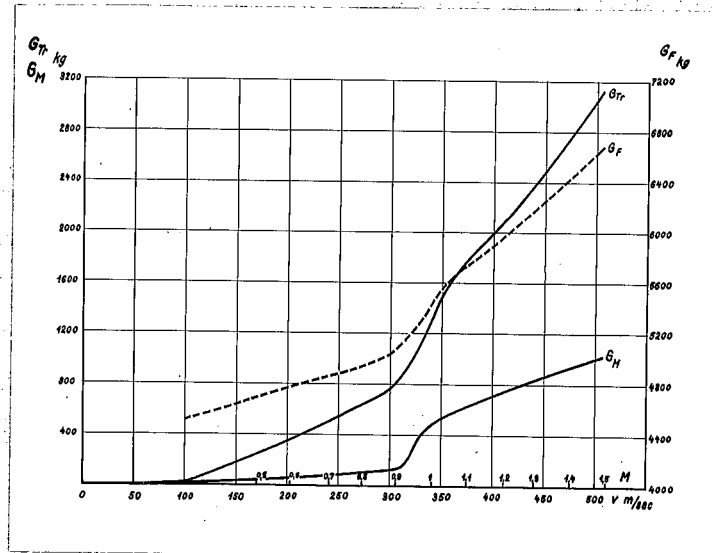


Bild 13. Gesamttreibstoffverbrauch  $G_{Tr}$  je Meßfahrt, Treibstoffverbrauch für die reine Meßfahrt von 15 sec Dauer und Leergewicht des Fahrzeuges  $G_F$ .

e) Anfahrzeit.

Die Anfahrzeit  $t$ , die zum Hochfahren des Fahrzeuges auf die Meßgeschwindigkeit notwendig ist, ergibt sich daraus, daß in der gleichen Zeit die Antriebsmasse  $m_b$  aus dem Triebwerk ausgestoßen wird. Bei dem gleichbleibenden Schub  $P$  wird

$$P \cdot t \cdot G_0 / g = m_b$$

oder die Zeit

$$t = \frac{m_b}{P} \cdot g / G_0$$

f) Anfahrweg.

Den Anfahrweg  $s$  erhält man bei ebenfalls gleichbleibendem Schub  $P$  aus

$$P \cdot s = \frac{m_1 v^2}{2} - \frac{m_0 v_0^2}{2}$$

wenn  $v_0$  die Abgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges von der Schleuder ist.

Dann ist

$$s = \frac{1}{2P} [m_1 v^2 - m_0 v_0^2].$$

g) Bremsen und Bremseinrichtungen.

Das Abbremsen des Fahrzeuges geschieht über den größten Teil des Geschwindigkeitsbereiches mit Luftbremsen. Erst nach Erreichen einer Fahrgeschwindigkeit von  $\sim 100$  m/sec sollen Reibungsbremsen in Tätigkeit treten.

Bei höheren Geschwindigkeiten, herunter bis etwa 250 m/sec, werden Bremsklappen verwandt. Von da ab treten zusätzlich Bremsfallschirme in Tätigkeit.

Da die vollausgefahrenen Bremsklappen bei hohen, insbesondere bei Uberschallgeschwindigkeiten außerordentlich große Bremskräfte ergeben, die unter Umständen von den Konstruktionsteilen des Fahrzeuges nicht bewältigt werden können, werden die Klappen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit gesteuert so ausgefahren, daß die Bremskräfte einen vorgeschriebenen Sollbetrag nicht überschreiten.

Genau zahlenmäßige Angaben über die Bremskräfte und die sich damit ergebenden Bremswege lassen sich zur Zeit noch nicht machen, da über Bremsklappen und Fallschirme am Fahrzeug noch keine Messungen vorliegen. Nachrechnungen mit angenommenen Werten, die sich auf Messungen an andersartigen, jedoch ähnlichen Körpern stützen, lassen erkennen, daß ein Abbremsen des Fahrzeuges von der höchsten Fahrgeschwindigkeit  $v = 500$  m/sec mit einem Bremsweg von etwa  $6 \div 7$  000 m möglich ist.

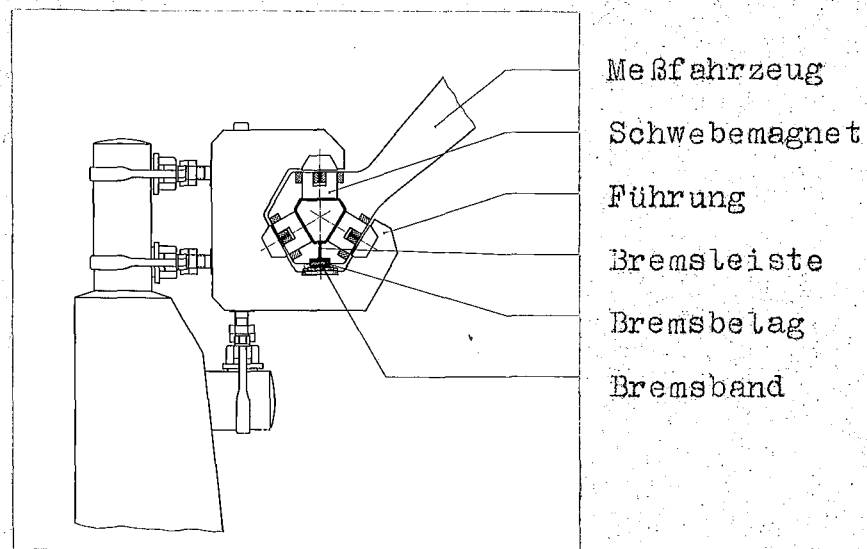


Bild 14. Die mechanische Reibungsbremse.

Die mechanische Reibungsbremse, welche in Bild 14 skizziert ist, besteht aus Bremsleisten, welche an den beiden Kufen des Meßfahrzeuges angebracht und mit einem Bremsbelag versehen sind. Diese Bremsleisten gleiten beim Bremsen auf Bremsbändern, die in den Gleisführungen verlegt sind. Die Bremsbänder werden so gehalten, daß das Meßgleis von den Bremslängskräften frei bleibt. Das Meßfahrzeug setzt sich beim Bremsen durch sein Eigengewicht mit den Bremsleisten auf die Bremsbänder ab. Zur Erhöhung des Anpreßdruckes werden die Magnetkräfte der Zeilen 2,3 und 4 herangezogen.

Zur Betätigung der Bremsen und der zwangsläufig vorausgehenden Stillsetzung des Triebwerkes ist auf dem Meßfahrzeug eine Druckluftanlage eingebaut.

Durch Abschlagen eines die Teilkammer der Druckluftanlage abschließenden Stopfens, wird beim Ueberfahren einer entsprechenden Schwelle dem Fahrzeug der Bremsbefehl gegeben und die durch die Teilkammerentleerung hervorgerufene Druckveränderung zur Betätigung der Bremsorgane benutzt.