

Verfahren zur Sichtbarmachung des
Umschlagpunktes der Grenzschicht.

Übersicht: An Körpern, die von Luft umströmt werden, zeigt sich unter bestimmten Voraussetzungen auf demjenigen Teil der Körperoberfläche, der von einer turbulenten Grenzschicht überdeckt ist, ein Staubniederschlag. Es wird über Versuche berichtet, die die Entstehung dieses Staubniederschlages aufklären und die Eignung der Niederschlagsgrenze als Anzeigemittel für den Übergang der Grenzschicht vom laminaren in den turbulenten Zustand prüfen sollen.

Gliederung: I. Einleitung
 II. Der Vorgang der Staubablagerung
 III. Anwendungsbeispiele
 IV. Zusammenfassung
 V. Schrifttum

Der Bericht umfaßt:
7 Blatt Text mit
3 Abbildungen

AERODYNAMISCHE VERSUCHSANSTALT E.V.,
Institut Windkanäle

Der Institutsleiter

R. Seiferth
(R. Seiferth)

Der Bearbeiter

G. Brennecke
Brennecke

gesehen

Alb. Betz
(Alb. Betz)

Göttingen, den 23.2.1943

Bericht 43/W/6

I. Einleitung.

Die bisher gebräuchlichen Verfahren zur Ermittlung der Lage des Umschlagpunktes (Umschlaglinie) einer Grenzschicht benutzen eine Sonde (Hitzdrahtsonde; Gesamtdrucksonde) als Hilfsmittel. [1 ; 2]

Ein Verfahren, das die große Verschiedenheit der Diffusionsgeschwindigkeiten in laminarer Grenzschichtströmung einerseits und in turbulenter Grenzschichtströmung andererseits als Unterscheidungsmerkmal für die beiden Grenzschichtzustände heranzieht, ist für Luftströmungen bisher nicht bekannt geworden. Das Verfahren von Fuchs [3], bei dem die zu untersuchende Oberfläche mit Lycopodium bestreut wird, hat sich wegen seiner Unvollkommenheit nicht durchsetzen können.

In dem vorliegenden Bericht wird für Luftströmungen ein Verfahren vorgeschlagen, dem die erwähnte Verschiedenheit der Diffusion in laminarer und turbulenter Grenzschicht mit als Grundlage dient. Das Verfahren beruht auf der Tatsache, daß elektrisch geladene Staubteilchen sich auf der umströmten Oberfläche absetzen und zwar in der turbulenten Zone sehr deutlich, in der laminaren Zone dagegen fast unmerklich. Das mehrfach beobachtete, rein zufällige Auftreten einer solchen Staubablagerung auf Modellen im Windkanal bot die Anregung, diese Erscheinung als Meßgrundlage heranzuziehen und auszugestalten. Einige Versuche gaben zunächst darüber Auskunft, welche Ursachen hierbei als wesentlich anzusehen sind und in welcher Weise der Vorgang physikalisch zu erklären ist, wobei jedoch nur eine grob qualitative Erklärung erstrebt wurde. Weiterhin werden im Bericht noch einige Anwendungsbeispiele gezeigt.

II. Der Vorgang der Staubablagerung.

Der gewünschte Staubniederschlag tritt auf, wenn mehrere Vorbedingungen erfüllt sind. Das Wesen dieser Vorbedingungen zeigt der nachstehend beschriebene Versuch, der im Freistrahle eines Gebläses durchgeführt wurde. (Bild 1)

Vor Beginn des Versuches wurde in den Lamellen des Gleichrichters sehr feiner Staub zum Absetzen gebracht. Sowohl Schwefel in Form von Schwefelblüte als auch Schwerspat in Pulverform waren ein hierfür geeignetes Staubmaterial.

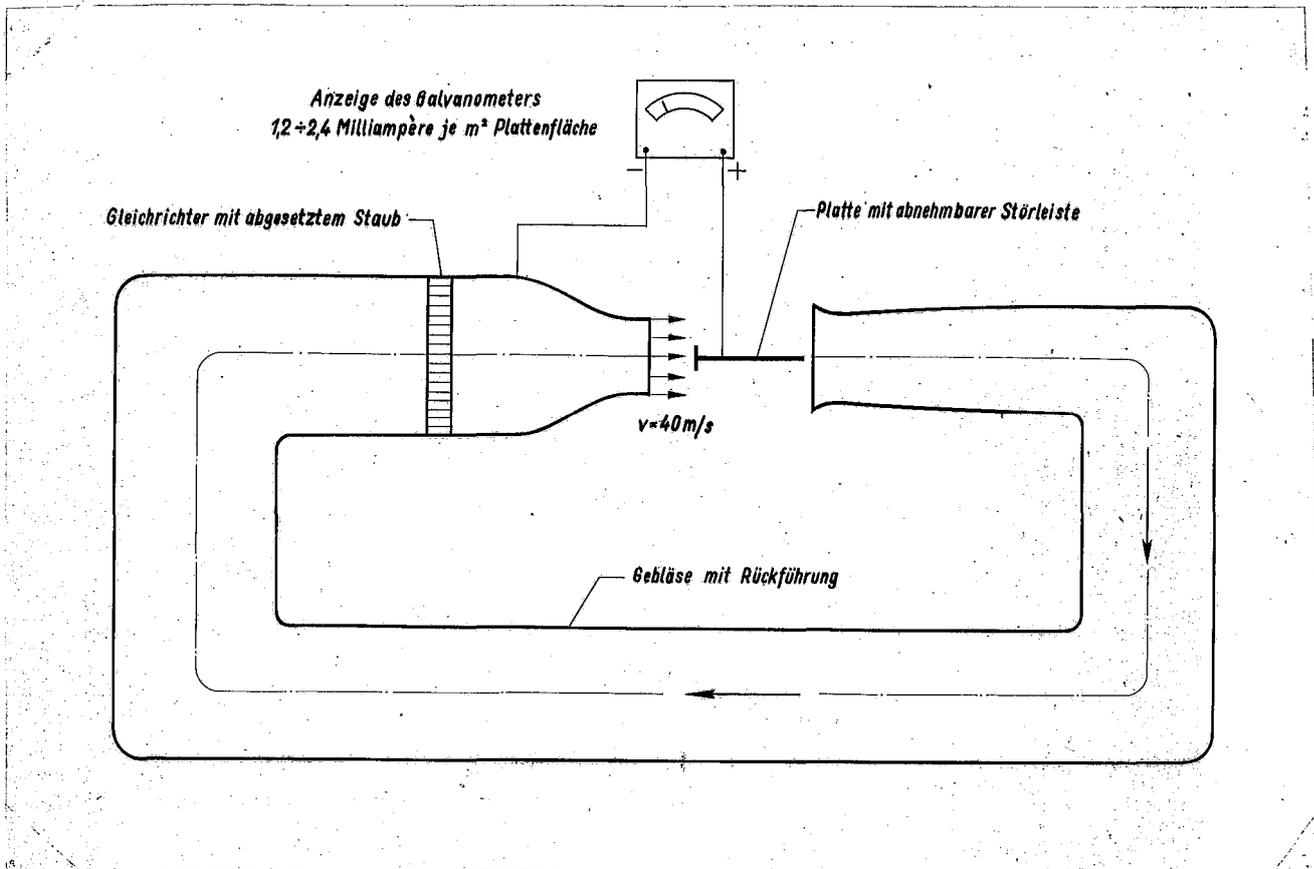


Bild 1. Versuchsanordnung beim experimentellen Nachweis der Staubniederschlagserscheinungen an umströmten Körpern.

Im Freistrahlfeld befand sich eine glatte, dünne Blechplatte, die gegenüber ihrer Befestigung elektrisch isoliert und durch eine Leitung über ein empfindliches Spiegelgalvanometer mit dem Gehäuse des Gebläses verbunden war. Bei laufendem Gebläse zeigte sich zunächst nur ein geringfügiger Staubniederschlag. Brachte man jedoch vor der Vorderkante der Blechplatte eine Störleiste an, so zeigte das Galvanometer sofort einen deutlichen Ausschlag und gleichzeitig verstärkte sich der Staubniederschlag in hohem Maße.

Aus den beobachteten Tatsachen kann folgende Erklärung des Vorganges abgeleitet werden. Dabei ist zu erwähnen, daß außerdem noch einige andersartige Versuche mit negativem Ergebnis gemacht wurden, wodurch andere Erklärungsmöglichkeiten unwahrscheinlich wurden.

Der Staub besitzt eine elektrische Aufladung, sobald er von seiner Unterlage in den Gleichrichterlamellen losgerissen wird. Der Staubtransport durch den Luftstrom bedingt daher auch einen Elektrizitätstransport, der unter dem Begriff „Unselbstständige Leitung“ bekannt ist [4]. Beim Absetzen gibt der Staub

seine Ladung ab und bildet eine Art „galvanischen“ Überzug. Absetzen kann sich jedoch nur der Staub, der in die unmittelbare Nähe der Platte gelangt ist. Diese Schicht verliert daher sehr schnell ihren Bestand an Staubteilchen und ist dann nur auf die Nachlieferung durch Diffusion angewiesen. Die Diffusion übt somit einen ausschlaggebenden Einfluß auf die Anzahl der sich absetzenden Teilchen aus. Die Diffusion ist bekanntlich bei Turbulenz sehr viel größer als bei Laminarströmung. Die Versuche zeigten, daß auch verschiedene Beschaffenheit der Turbulenz, hervorgerufen durch verschieden hohe Störkanten, die Dichte der Staubablagerung beeinflusste. Der oben beschriebene Versuch mit und ohne Störkante kann als experimenteller Beweis dafür angesehen werden, daß die Niederschlagsgrenze, die sich im Windkanal auf der Oberfläche des umströmten Körpers bildet, auch tatsächlich mit der Umschlagslinie zwischen den beiden Grenzschichtformen in unmittelbarem Zusammenhang steht. Ob allerdings sich diese beiden Grenzlinien zeitlich und örtlich genau decken oder ob sich zwischen beide ein geringer Verzögerungsabstand schiebt, bleibt eine offene Frage.

Der Vorgang der elektrischen Aufladung des Staubes durch Losreißen von seiner Unterlage ist auch sonst durch viele Beispiele belegt (von Volta entdeckt). Die Aufklärung des Vorgangs erfolgte durch L e n a r d am Beispiel der Wasserfallelektrizität [5]. Der Zusammenhang ist verwickelter Natur; es muß daher hier auf die betreffende Literatur verwiesen werden. Für die Benutzung dieses Verfahrens der Staubaufladung ist wesentlich, daß der Staub aus der umgebenden Schicht herausgerissen werden muß, daß es sich also nicht um die sogenannte Berührungselektrizität handelt.

Das Absetzen des fein verteilten Staubes in den Gleichrichterblechen vor Beginn eines jeden Versuches erwies sich auch bei den anschließenden Versuchen im Windkanal als ein einfaches und sehr zuverlässiges Verfahren, um den Staub mit hoher Aufladung in den Windstrom einzuführen. Auch bei kleinen Windgeschwindigkeiten wurden noch genügend Teilchen losgerissen.

Ein anderes Verfahren zur Staubaufladung, mit dem ebenfalls im Windkanal Versuche gemacht wurden, erscheint entwicklungsfähiger und hat den Vorteil, daß nur geringe Staubmengen in den Kanal einzuführen sind. Ein Kapselradgebläse treibt einen Luftstrom (etwa $0,0005 + 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$) durch einen Topf, in dem

Staub aufgewirbelt und zugleich geschleudert (zentrifugiert) wird (Bild 2). Die aus dem Topf auftretende, feinsten Staub enthaltende Luft wird durch ein möglichst langes Glasrohr hindurch in die Vorkammer des Windkanales eingeführt. Nach den vorausgegangenen Erklärungen werden diejenigen Staubteilchen wirksam sein, die sich vorübergehend an der Rohrwandung festgesetzt hatten. Diesem Sachverhalt entspricht auch die Tatsache, daß mit wachsender Länge des Glasrohres die Wirkung gesteigert werden konnte. Wahrscheinlich ist eine noch bessere Wirkung zu erzielen, wenn man abwechselnd einen langsamen Strom staubhaltiger Luft und einen schnellen Strom staubfreier Luft durch das Glasrohr schicken würde.

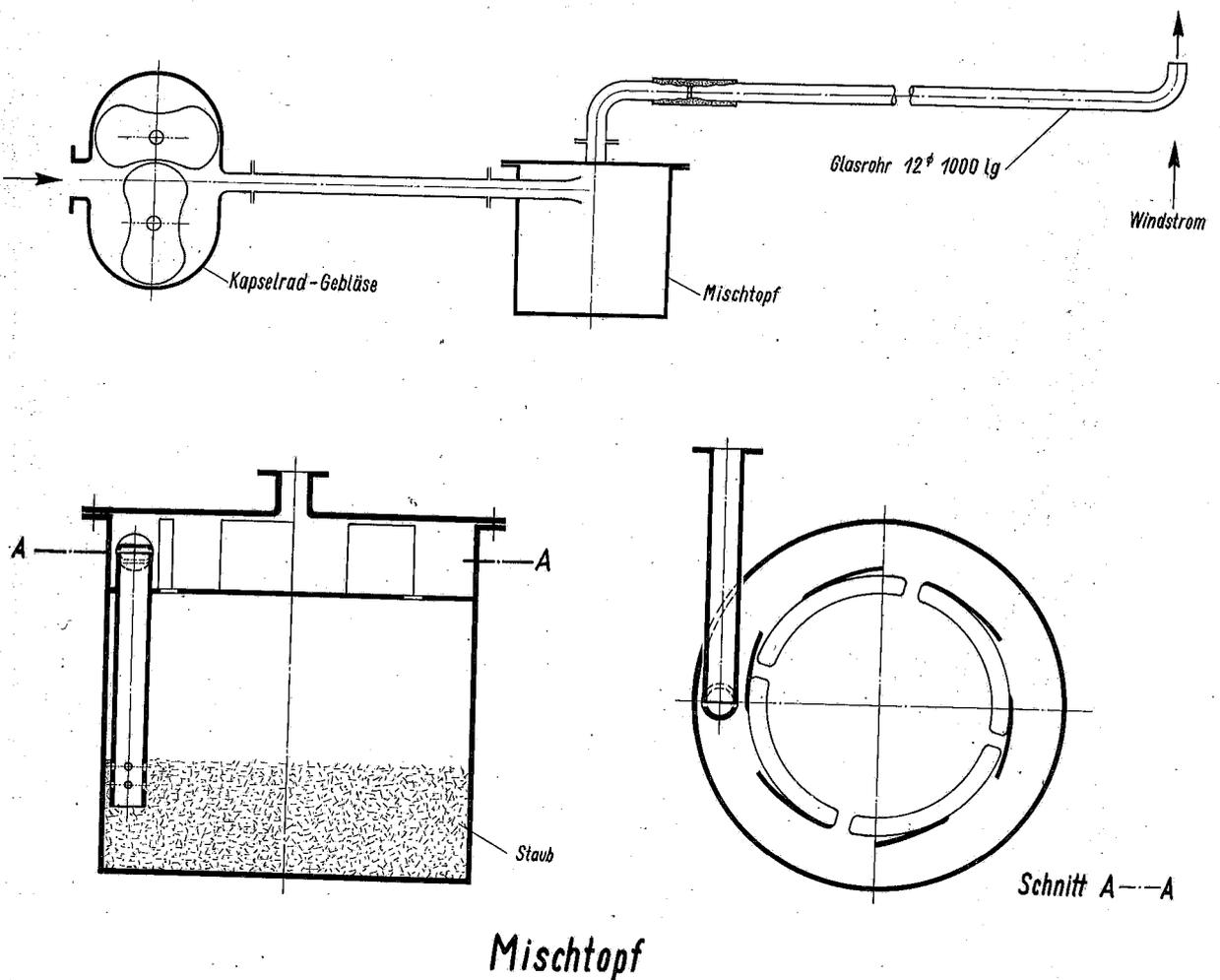


Bild 2. Verfahren zur elektrischen Aufladung des Staubes.

III. Anwendungsbeispiele.

Das geschilderte Verfahren zur Sichtbarmachung der Umschlagsgrenze wurde an zwei verschiedenen Flügeln von rechteckiger Grendrißform im Freistrahwindkanal (2,2 m Durchmesser) erprobt. Das Ergebnis zeigt Bild 3. Flügel I hatte ein unsymmetrisches Profil mit dem Dickenverhältnis $\frac{d}{l} = 0,12$ und eine Tiefe von $l = 300$ mm, Flügel II besaß ein symmetrisches Profil mit weit zurückliegender größter Dicke (sog. Laminarprofil), $\frac{d}{l} = 0,1$; $l = 250$ mm.

Die Grenze trat nach etwa 4 + 5 Minuten Versuchsdauer soweit hervor, daß sie fotografierfähig war. Mit dem Auge ist die Grenze besonders bei tangentialer Blickrichtung bereits nach 1 + 2 Minuten gut erkennbar. Die Flügel hatten die übliche, gut polierte, schwarze Gipsoberfläche, die bei den Aufnahmen streifend beleuchtet wurde.

Von den in Bild 3 zusammengestellten Aufnahmen zeigen die ersten drei die Saugseite des Flügels I bei drei verschiedenen Anblasengeschwindigkeiten. Eine geringe Verlagerung der Umschlaglinie nach vorn mit zunehmender Re-Zahl ist erkennbar. Die folgenden drei Bilder zeigen wiederum die Saugseite des Flügels I bei verschiedenen Anstellwinkeln. Hier ergab sich ein außerordentlich empfindliches Verhalten der Grenzlinie. Von einem gewissen Anstellwinkel ab wurde durch Steigerung des Anstellwinkels um nur wenige zehntel Grad die Niederschlagsgrenze weit nach vorn fast bis zur Flügelnase verschoben. Die weiteren Bilder zeigen Flügel II. Die Niederschlagsgrenze liegt auffallend weit zurück in verhältnismäßig geringer Entfernung von der Flügelhinterkante. Dies mußte infolge der besonderen Profilform des Flügels II mit weit zurückliegender größter Dicke erwartet werden. Eine Wanderung der Grenze bei Anstellwinkel 0° ist innerhalb des untersuchten Re-Zahlbereiches kaum erkennbar. Die weiteren Bilder zeigen die Druckseite des Flügels II, wobei sich mit zunehmendem Anstellwinkel die Grenzlinie zur Flügelhinterkante hin verlagert.

Die Aufnahmen zeigen noch eine auffällige Erscheinung. Die Störung der Strömung, die durch die Aufhängeösen bedingt ist, zeichnet sich besonders deutlich ab, jedoch so, daß auch im Staugebiet vor der Störung eine gewisse Staubablagerung stattfindet. Eine andere Aufnahme (Bild 3 unten) zeigt dieses deutlich. Bei dieser Aufnahme wurde ein Blechstreifen, mit seiner Schmalseite

senkrecht auf eine Platte stoßend, in den Windstrom gehalten. Auf der Plattenoberfläche zeichnet sich wiederum die turbulente Nachlaufzone sehr deutlich ab. Die vor dem Hindernis befindlichen Staubablagerungen deuten darauf hin, daß hier infolge des Druckanstieges ebenfalls ein Umschlag der laminaren Grenzschicht zur Turbulenz erfolgt.

IV. Zusammenfassung.

Um den Umschlagpunkt in der Grenzschicht einer Luftströmung sichtbar zu machen, wurde ein neuartiges Verfahren erprobt. Die dem Verfahren zu Grunde liegenden physikalischen Erscheinungen des in turbulenter und laminarer Grenzschicht verschiedenen starken Staubniederschlages wurden experimentell beobachtet und auf den Beobachtungen eine Erklärung des Vorganges aufgebaut, die allerdings nur die Hauptwesensmerkmale des Verfahrens erfaßt. Das Verfahren ergab, im Windkanal bei zwei Tragflügelmodellen angewendet, brauchbare Ergebnisse.

V. Schrifttum.

- | | | |
|-----|----------------------|---|
| [1] | Dryden; Kuethe: | NACA Rep. Nr. 320 |
| [2] | Silverstein; Becker: | NACA Rep. Nr. 637 |
| [3] | Vortrag Fuchs: | V. intern. Congress for Applied Mechanics in Cambridge U.S.A. |
| [4] | R.W.Pohl: | „Elektrizitätslehre“ 7. Auflage S. 148 |
| [5] | Geiger; Scheel: | Handbuch der Physik. Bd. 13. Kap. 10. |

Flügel I

Bild 3

Saugseite

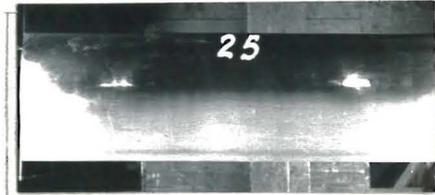
$\alpha = 0^\circ; V = 35 \text{ m/s}$



$\alpha = 0^\circ; V = 40 \text{ m/s}$



$\alpha = 0^\circ; V = 50 \text{ m/s}$



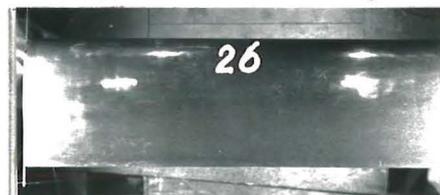
$\alpha = 0^\circ; V = 30 \text{ m/s}$



$\alpha = 1,35^\circ; V = 30 \text{ m/s}$ (Umschlagpunkt weit nach vorn gerückt)



$\alpha = 1,5^\circ; V = 30 \text{ m/s}$



Flügel II (symmetrisches Profil)

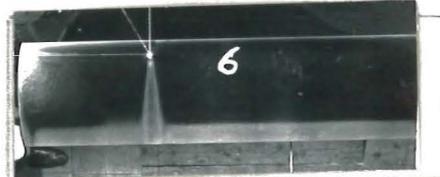
$\alpha = 0^\circ; V = 30 \text{ m/s}$



$\alpha = 0^\circ; V = 45 \text{ m/s}$



$\alpha = 0^\circ; V = 50 \text{ m/s}$



$\alpha = 2,5^\circ; V = 30 \text{ m/s}; \text{ Dr. S.}$



$\alpha = 5^\circ; V = 30 \text{ m/s}; \text{ Dr. S.}$



$\alpha = 7,5^\circ; V = 30 \text{ m/s}; \text{ Dr. S.}$



*Turbulenz
der Grenzschicht im
Staugebiet vor
einem Hindernis.
(30mm breiter Blech-
streifen senkrecht
auf einer parallel
angeströmten
Platte stehend).*

