

Über eine Möglichkeit zur Vermeidung der Insektenrauhigkeit

von F. X. WORTMANN*)

Vortrag am 9. OSTIV-Kongreß, Februar 1963, Junin (Argentinien)

1. Übersicht

Beim Auftreffen von Insekten auf Rumpf- und Flügelnasen entsteht eine Rauigkeit, die normalerweise groß genug ist, um unmittelbar Turbulenz zu erzeugen. Durch Insektenrauhigkeit wird deshalb die aerodynamische Leistung eines Flugzeuges beträchtlich verschlechtert. Ein verfrühter Turbulenzeintritt ist vor allem in solchen Fällen unerwünscht, in denen man bei aerodynamisch glatter Oberfläche eine wesentliche Widerstandsverminderung durch Laminarhaltung der Grenzschicht erreichen könnte. Erst recht muß man eine Lösung des Insektenproblems finden, wenn man beabsichtigt, die Grenzschicht durch Absaugung vollständig laminar zu halten. Die Methoden, die man bislang für eine Beseitigung der Insektenrauhigkeit vorschlägt, sind jedoch relativ aufwendig. Sie laufen alle mehr oder weniger darauf hinaus, die Flügelnasen vor dem Start mit Schutzüberzügen zu versehen, die in größerer Höhe, d.h. über der Insektenzone, abgestoßen oder abgewaschen werden. In [1] ist kürzlich über solche Methoden und damit zusammenhängende Fragen ausführlich berichtet worden.

Es ist einleuchtend, daß man umständliche Startvorbereitungen allenfalls bei Langstreckenflugzeugen mit Absaugung in Kauf nehmen kann. Für Kurzstreckenflugzeuge, welche die Insektenzone gar nicht verlassen, oder für Flugzeuge, die nur eine teilweise Laminarhaltung z. B. durch Laminarprofile anstreben, sollte man auf einfachere Methoden zur Lösung des Insektenproblems zurückgreifen können. Nach Ansicht des Verfassers bieten elastische Oberflächen eine solche Mög-

lichkeit, da sie eine Insektenrauhigkeit gar nicht erst entstehen lassen.

2. Wirkungsweise elastischer Oberflächen

Bei hohen Auftreffgeschwindigkeiten besitzen auch kleine Insekten eine beträchtliche kinetische Energie, die beim Auftreffen auf feste Oberflächen zum Zerschellen der Insekten- schale und zur Verteilung der zähen Körperflüssigkeit führt¹. Kann man den zweiten Vorgang verhindern, so ist der erste als unwesentlich anzusehen. Im folgenden soll deshalb das Insekt einfach als zäher Flüssigkeitstropfen angesehen werden. Es liegt nun nahe, die Auftreffenergie kurzzeitig in einer elastischen «Feder» zu speichern und zum Abschleudern des Flüssigkeitstropfens zu benutzen. Ob dies gelingt, wird, wie man leicht einsieht, im wesentlichen von folgenden Parametern abhängen:

¹ Hält man eine Hand in einen etwa 150 km/h schnellen Luftstrom, der mit Fruchtfliegen durchsetzt ist, so spürt man jedes Auftreffen als kleinen Schmerz

* Institut für Aerodynamik der T. H. Stuttgart (mit sachlicher Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft)

Abb.1 Auftreffen eines Wassertropfens auf eine Schaumgummifläche in der rechten Bildhälfte. Links ein gleicher Tropfen nach beendetem Auftreffvorgang. Auftreffgeschwindigkeit etwa 5 m/s. Bildfolge: 6000 pro Sekunde. Die Ziffern geben die Bildnummern des Filmes an

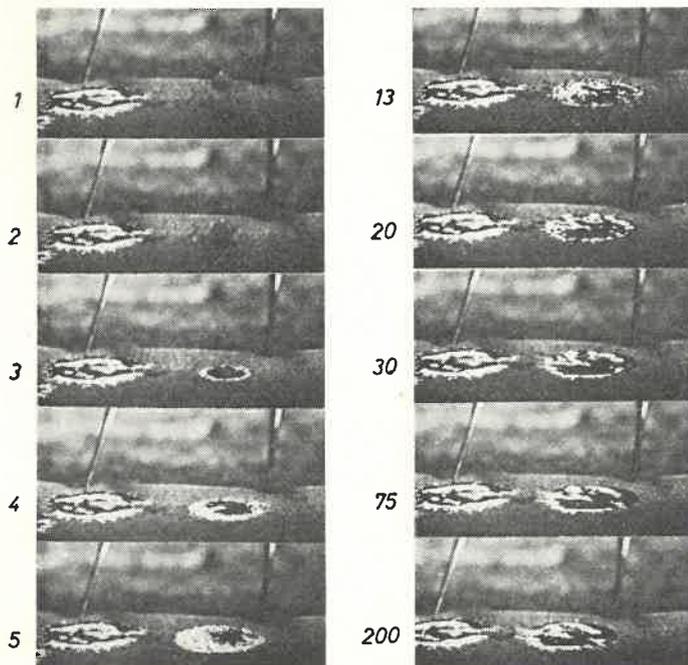
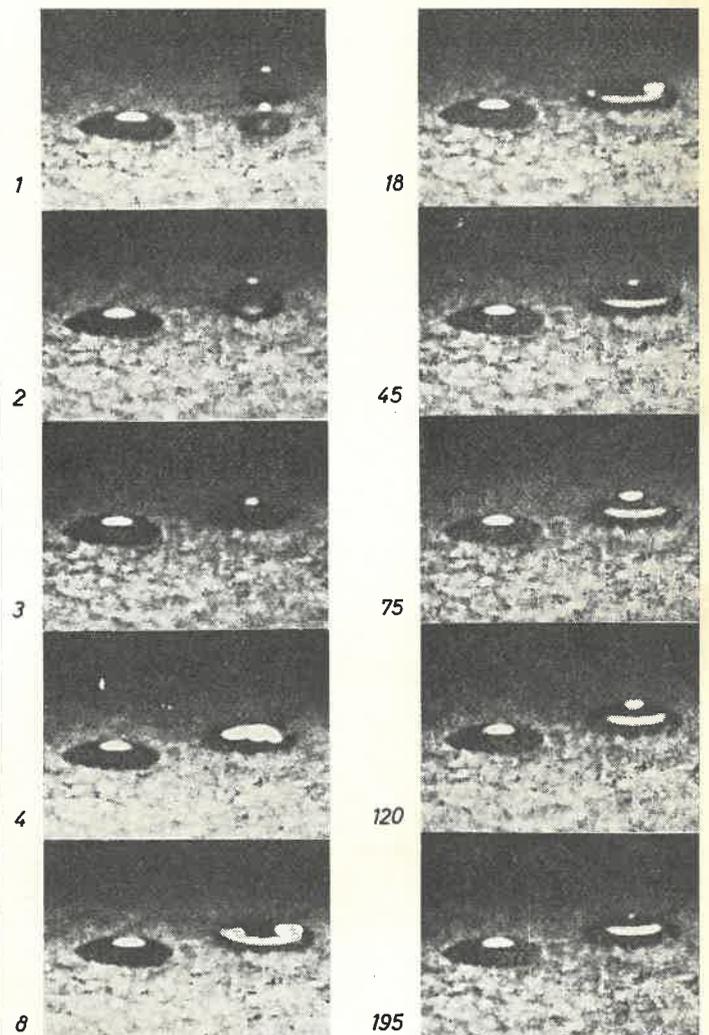


Abb.2 Auftreffen eines Öltropfens auf eine Schaumgummifläche. Links ein Tropfen nach beendetem Auftreffvorgang. Auftreffgeschwindigkeit etwa 7 m/s. Bildzahl: 6000 pro Sekunde



1. Die Federmasse muß genügend klein sein, sonst wird die Feder nicht gespannt.
2. Die Schwingungszeit des Systems muß so klein sein, daß der zähe Tropfen in dieser Zeit nicht allzusehr verformt wird.
3. Die Federdämpfung sollte auch bei hohen Frequenzen ausreichend klein bleiben, damit genügend Energie für die Abtrennung des Tropfens von der benetzten Oberfläche zur Verfügung steht.

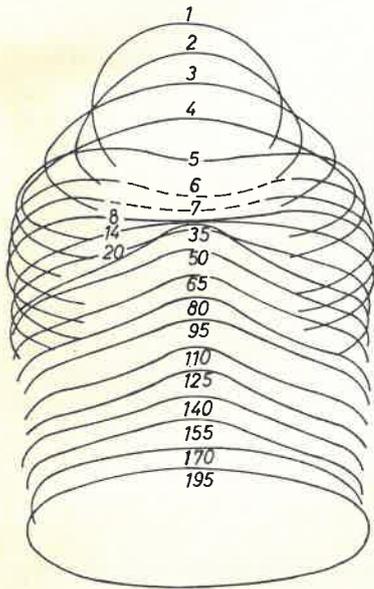


Abb.3 Kontur des Öltropfens beim Auftreffen auf eine Schaumgummifläche. Die Ziffern geben die Bildnummer des Films an. Bildfolge 6000 pro Sekunde

4. Der Trennvorgang sollte durch schlecht netzende Oberflächen erleichtert werden.

Einige kinematographische Aufnahmen über das Auftreffen von Flüssigkeitstropfen mögen diese Überlegungen illustrieren.

Abb.1 zeigt das Auftreffen eines Wassertropfens bei kleiner Geschwindigkeit. Der Tropfen ist so dünnflüssig, daß er auseinanderläuft, bevor es zu einer Reflexion kommt.

Abb.4 Reflexion eines Wassertropfens beim Auftreffen auf eine Silikonvollgummischicht. Auftreffgeschwindigkeit etwa 150 m/s. Bildfolge 85 000 pro Sekunde. Die Ziffern bezeichnen die Bildnummer des Filmes

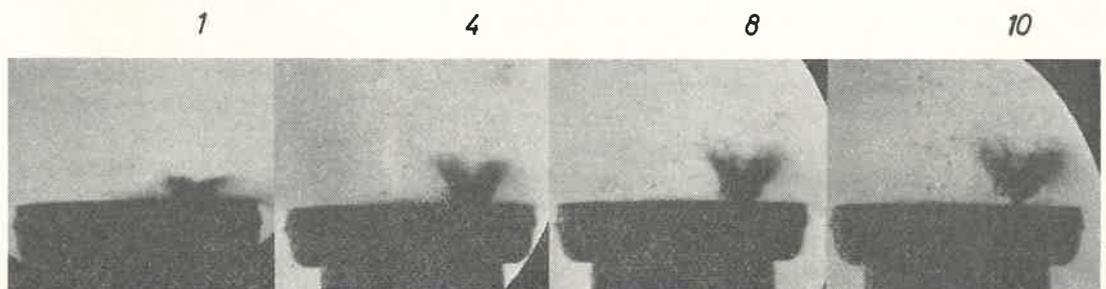


Abb.5 Fruchtfliegen beim senkrechten Auftreffen auf eine 3 mm starke Silikonvollgummipolplatte. Auftreffgeschwindigkeit etwa 50 m/s. Die dunklen Flecken auf dem Gummi sind Auftreffstellen. Die weißen Klebestreifen dienen zum Befestigen des Gummis

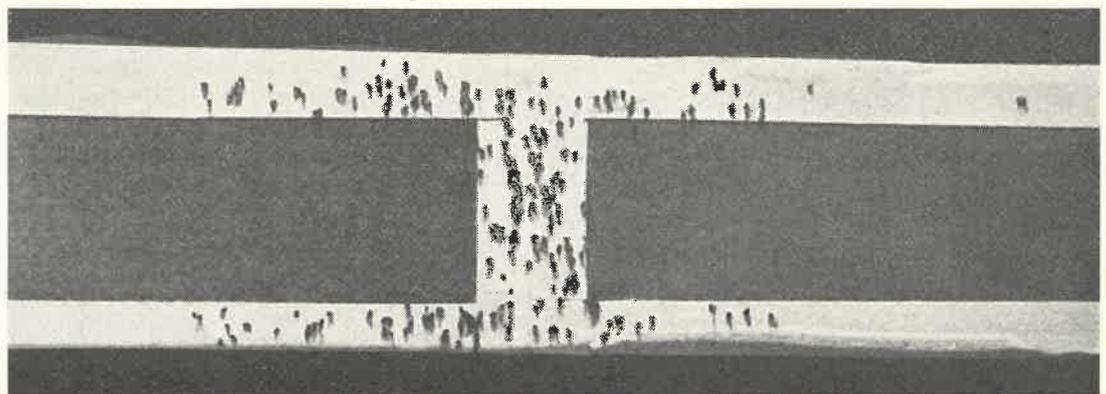


Abb.2 zeigt den gleichen Vorgang mit einem Öltropfen. Jetzt erkennt man deutlich die Schwingungsform des Tropfens, die in Abb.3 vergrößert herausgezeichnet ist. Die Auftreffenergie reicht allerdings noch nicht aus zur Trennung des Tropfens von der Oberfläche.

Abb.4 zeigt einige Aufnahmen von einem Wassertropfen, der mit einer Geschwindigkeit von 150 m/s auf eine Silikonvollgummifläche trifft². Jetzt erkennt man deutlich die Reflexion und die Trennung des Tropfens von der elastischen Fläche. Ein kleiner Teil des Tropfens bleibt offensichtlich an der Oberfläche haften.

3. Versuche mit Insekten

Natürlich kann man mit diesen wenigen Versuchen, bei denen die Insekten durch einen Flüssigkeitstropfen simuliert werden und auch nur das senkrechte Auftreffen betrachtet wird, lediglich einige Grundzüge der Wirksamkeit elastischer Oberflächen feststellen. Weitere Versuche mit wirklichen Insekten unter möglichst verschiedenartigen Bedingungen wurden deshalb im Sommer 1961 und 1962 mit verschiedenen elastischen Oberflächen unternommen.

Die Versuche konzentrierten sich bald auf Voll- und Schaumgummiflächen von 1–3 mm Stärke mit Shore-Härten von 10–35. Abb.5 zeigt ein typisches Ergebnis eines Windkanalversuches bei senkrechtem Auftreffen von Fruchtfliegen auf eine 3 mm Vollgummifläche³. Abb.6 zeigt das Ergebnis eines anderen Windkanalversuches mit verschiedenen Gummiprüfen und variablen Auftreffwinkeln.

Neben diesen Windkanalversuchen, die sich praktisch auf eine Fliegenart, die Fruchtfliegen, beschränkten, wurden derartige Gummiprüfen auch an Kraftfahrzeugen und Schulflugzeugen befestigt und bei geeigneter Wetterlage tageweise beobachtet. Bei allen diesen Versuchen konnte auf einigen Gummiflächen praktisch keine Insektenrauhigkeit festgestellt werden⁴. Es bleiben jedoch winzige Flüssigkeitsspuren zu-

² Diese Aufnahmen verdanke ich Herrn Dipl.-Phys. E. Wieland, Firma Dornier-System, der sie mit einer von G. Hahn [2] entwickelten Hochfrequenzkamera gewonnen hat

³ Herrn Hamma möchte ich für seine unermüdete Hilfe bei diesen Versuchen besonders danken

⁴ Bei Flugzeugen mit einer pneumatischen Enteisungsanlage aus Gummi ist dieser Effekt praktisch nicht beobachtbar, weil der Gummi kaum elastisch ist

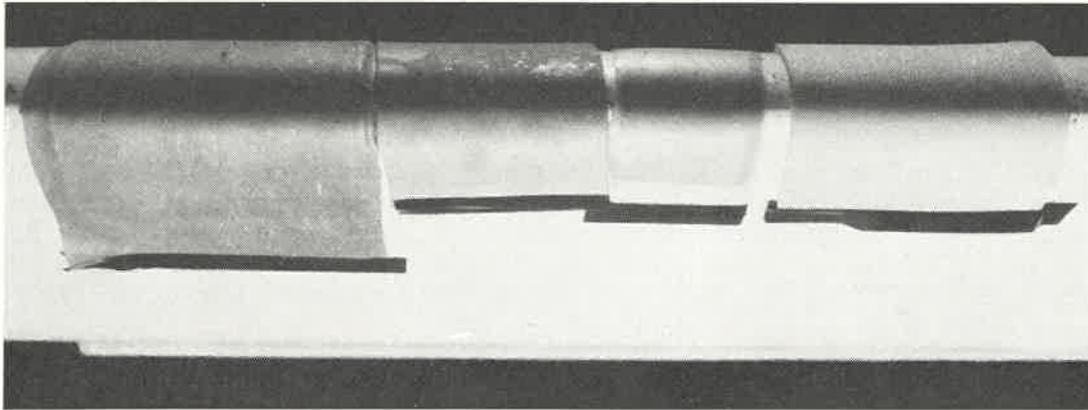


Abb. 6a Erprobung verschiedener Gummiprüfungen mit Fruchtfliegen. Auftreffgeschwindigkeit etwa 50 m/s. Rechts ein 3 mm starker Silikonschaumgummi

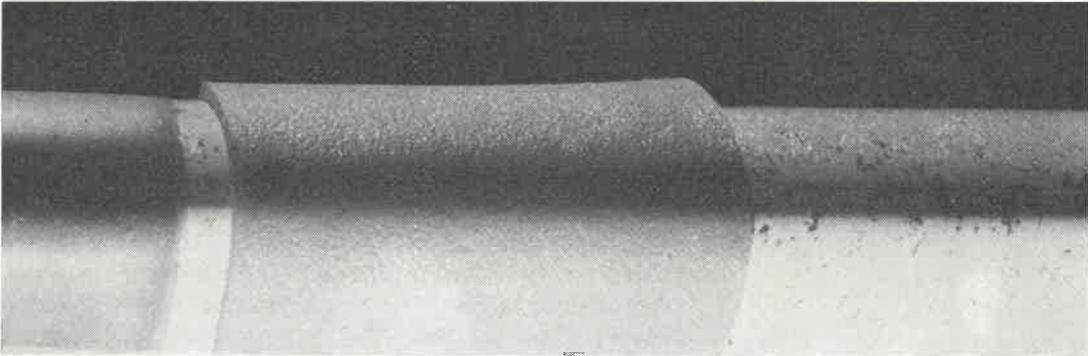


Abb. 6b Ausschnittvergrößerung von Abb. 6a. Der 3 mm starke Silikonschaumgummi läßt keine Insektenrauhigkeit entstehen. Der gleiche Gummi kann auch mit glatter Oberfläche hergestellt werden

rück, welche die Oberfläche optisch etwas verändern, so daß man sehr wohl erkennen kann, ob überhaupt Insekten aufgetroffen sind. Dünne Gummimembranen von etwa 1 mm Stärke sind oberhalb einer Geschwindigkeit von etwa 100 km/h nicht mehr voll wirksam. Die 3 mm starken Gummiprüfungen befriedigten im gesamten untersuchten Geschwindigkeitsbereich, d. h. von 40 km/h bis etwa 200 km/h, jedoch zeigten die Gummiprüfungen hinsichtlich der Flüssigkeitsreste einige Unterschiede, wie man auch aus Abb. 4 erkennen kann. Bei einigen Gummiprüfungen bleiben größere Flüssigkeitsreste und manchmal auch Fliegenreste zurück⁵, bei anderen Prüflingen, besonders bei Silikonprüflingen oder bei gepuderten Prüflingen, sind nur winzige Spuren erkennbar. Besonders günstig verhielt sich ein Silikonschaumgummi mit einem hohen Luftanteil und einem spezifischen Gewicht von etwa 0,6⁶.

Bei einer technischen Anwendung hochelastischer Gummiprüfungen zur Realisierung aerodynamisch glatter Oberflächen muß man allerdings noch auf andere Anforderungen achten. So dürfte z. B. die elastische Oberfläche nicht gleichzeitig gegen Vereisung schützen, weil die Masse der unterkühlten Tröpfchen wenigstens zum Teil zu klein sein wird, um die Gummi-«Feder» zu spannen. Es ist aber denkbar, daß man die Gummiprüfung wie bei pneumatischen Enteisungsanlagen benützt, ohne ihre Schutzwirkung gegen Insekten zu verlieren.

Für stark gepfeilte Flügel dürften elastische Oberflächen auch ausscheiden, weil dort eine Laminarhaltung nur durch eine bereits an der Flügelnahe beginnende Absaugung gelingt.

Weiterhin besitzt eine Gummischicht je nach ihrer Dichte eine obere Geschwindigkeitsgrenze, bei der Regen-Erosion einsetzt. Bei dem hier verwendeten leichten Silikonschaumgummi ist diese Grenze bereits bei einer Machzahl $M = 0,35$ erreicht; beim Silikonvollgummi liegt sie etwa bei $M = 0,67$. Eine Verformung durch den maximalen Flugstaudruck ist bei

Unterschallgeschwindigkeit nicht zu befürchten. Da derartige Gummiflächen wetterfest sind, sich gut verkleben lassen, und auch der bündige Übergang von der Gummifläche zur normalen Oberfläche sich verhältnismäßig leicht erreichen läßt, dürfte sich daraus eine einfache Lösung für das Insektenproblem entwickeln lassen. Sie wird vor allem für solche Flugzeuge interessant sein, die hauptsächlich in niedrigeren und mittleren Flughöhen operieren und bei aerodynamisch glatter Oberfläche eine teilweise oder vollständig laminare Reibungsschicht besitzen.

Zusammenfassung

Es wird vorgeschlagen, dem Problem der Insektenrauhigkeit durch hochelastische Gummiflächen zu begegnen, die auf Flügel und Leitwerkflächen aufgeklebt werden. Derartige elastische Oberflächen sind, wie durch Filmaufnahmen gezeigt wird, geeignet, auftreffende Insekten oder zähe Flüssigkeitstropfen elastisch zu reflektieren. Dadurch wird bereits das Entstehen einer Insektenrauhigkeit vermieden, und die gefährdeten Rumpf- und Flügelflächen bleiben aerodynamisch glatt. Vielleicht trägt die Einfachheit der vorgeschlagenen Methode dazu bei, daß man den Möglichkeiten der Widerstandsverminderung durch Laminarhaltung der Grenzschicht ein neues Interesse entgegenbringt.

⁵ Dies wurde allerdings nur bei Windkanalversuchen mit hoher Insektenkonzentration beobachtet, vermutlich durch gegenseitige Interferenz beim Auftreffvorgang

⁶ Wir haben diesen Silikonschaumgummi von der Firma Rehau-Plastics, Rehau, Bayern, bezogen

⁷ Nach Beobachtungen der Firma Dornier-System

[1] W.S. Coleman: «Roughness due to insects», Lachmann, «Boundary Layer and Flow Control», Pergamon, London 1961.

[2] G. Hahn: «Eine einfache hochfrequenzkinematographische Einrichtung bis 3,3.10⁶ Bilder/s für interferometrische Aufnahmen instationärer Strömungen.» Kurzzeitphotographie S.257-266, Hellwig, Darmstadt 1960.