

Die Flächenregel als grundlegende neue Entwurfsmethode

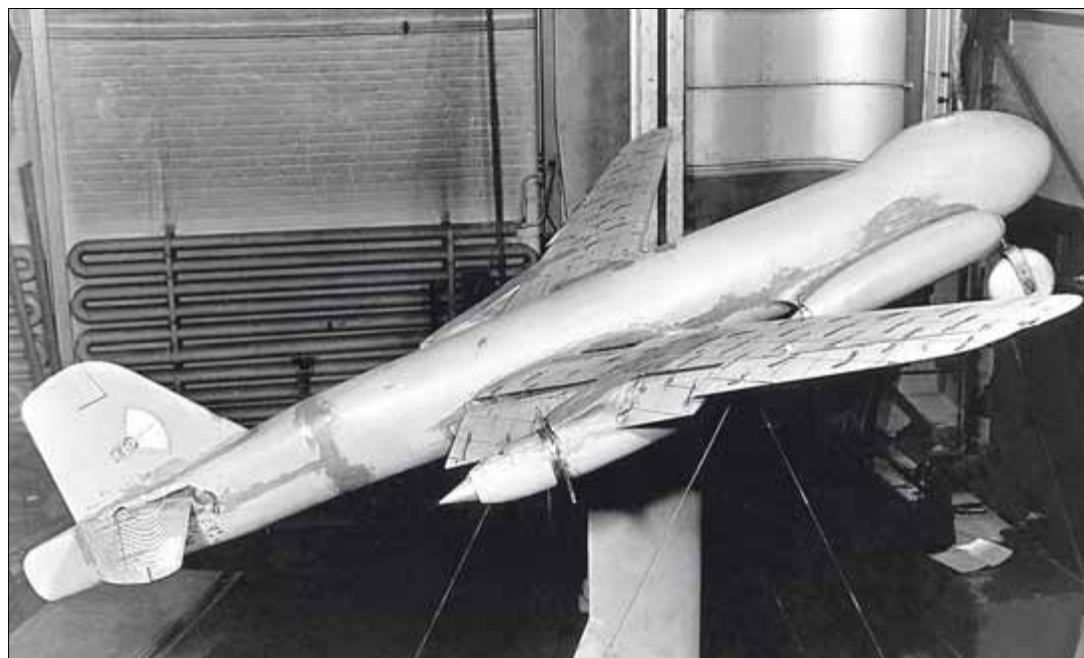
Neben solchen Entwurfskriterien wie Flächenbelastung, Lastvielfaches, zulässiger Staudruck und Leistungsbelastung kommt mit den wachsenden Geschwindigkeiten plötzlich eine völlig neue Entwurfsmethode hinzu – nämlich die Flächenregel. Entdeckt wurde sie 1943 bei Junkers im Dessauer Hochgeschwindigkeits-Windkanal

HK 900 bei Experimenten zum Pfeilflügelbomber Ju 287 bzw. dessen Vorläufern Ju/EF-116 bis 122. Das erteilte Reichspatent kam aus Geheimhaltungsgründen oder wegen der Kriegsergebnisse nicht an die Öffentlichkeit. In den USA wurde die Flächenregel wiederentdeckt und 1952 als „area rule“ zum Patent angemeldet.

Komprimierte Luft hat eine Eigenart, die sie unberechenbar macht. Sie kann zwar allmählich zusammengedrückt werden, entspannen tut sie sich aber ab einem gewissen Kompressionsgrad nur noch plötzlich, unmittelbar, stoßartig, und das dann mit Überschallgeschwindigkeit.

Beim Fliegen nahe der Schallgrenze entstehen an stark gekrümmten Oberflächen des Flugzeuges wie Flügeloberseite oder Rumpfspitze lange vor der Schallgrenze örtliche Übergeschwindigkeiten, die entgegen der Bernoullischen Gleichung keine Druckverminderung, sondern eine Druckerhöhung bewirken. Die zusammengedrückten Gasmoleküle erreichen einen neuen physikalischen Zustand, der dem Gas nur noch eine explosionsartige Entspannung erlaubt. Es kommt zu einem Verdichtungsstoß. Um das Entstehen von Verdichtungsstößen zu verhindern oder hinauszuschieben, sind Kontursprünge am Flugzeug zu vermeiden.

Jedes Flugzeug hat eine kritische Geschwindigkeit, bei der erstmals kleine Verdichtungsstöße auftreten. Diese Geschwindigkeit wird kritische Machzahl

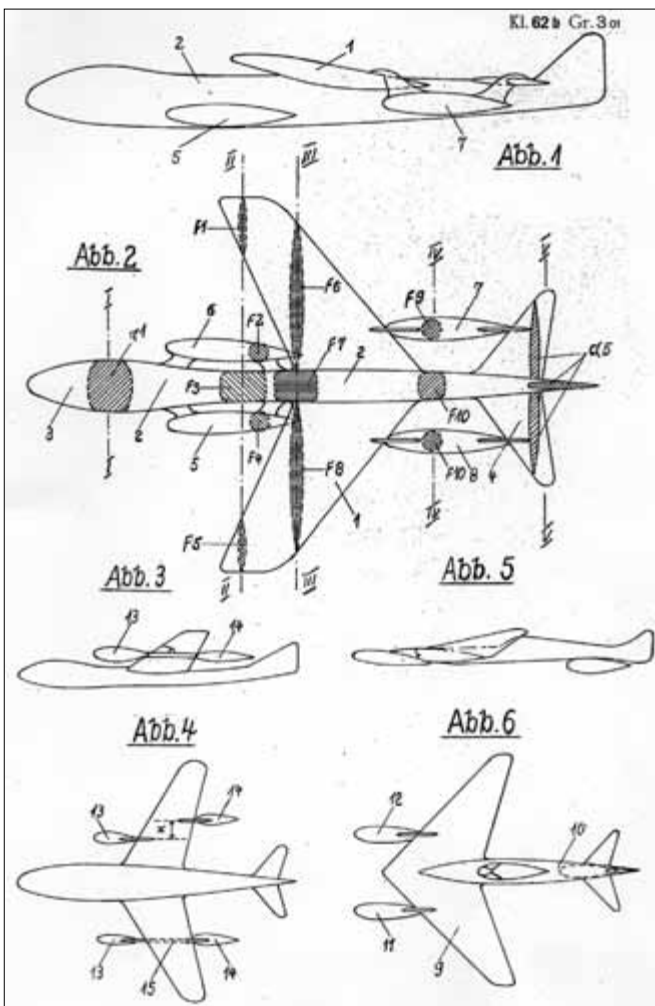


Junkers-Entwicklungsflugzeug EF-122 im großen Dessauer Windkanal 1944. An Varianten zur Ju 287 konnte bereits 1943 die Flächenregel entdeckt werden.

genannt. Spätestens wenn ein Flugzeug bis zu dieser Geschwindigkeit vorstößt, beginnt die Flächenregel zu wirken.

Um ein gleichmäßig sehr schnell fliegendes Flugzeug baut sich eine Strömung ähnlich wie in einer Röhre auf, in

der sich ein statischer Gesamtdruck, eine ebensolche Temperatur, Dichte und Geschwindigkeit im Gleichgewicht befinden. Je kleiner dabei der Röhrenquerschnitt, desto kleiner der Gesamt-widerstand des Flugzeuges. Ähnlich ist



das bei einem Überschallflugzeug, das einen sogenannten Machkegel hinter sich herschleppt. Wird der kleiner, wird auch der Gesamtwiderstand kleiner.

Entstehen in der das Flugzeug umgebenden Strömungsröhre Verdichtungsstöße, wird das innere Gleichgewicht von Druck, Temperatur, Dichte und Geschwindigkeit durcheinander gebracht, was mit energetischen Verlusten verbunden ist und durch größeren Schub ausgeglichen werden muß.

sehr frühen Entwicklungsstadium nicht nur schnell verschiedene Entwürfe auf ihre Effizienz durchrechnen, ohne Windkanal-Modelle anfertigen und vermessen zu lassen, er kann darüberhinaus mit ihrer Hilfe der späteren Konstruktion die Arbeit erleichtern, indem er die Baugruppen so anordnet, daß eine geringe Belastung der Teile auf Biegung, Druck und Torsion entsteht bei gleichzeitiger Optimierung des Gesamtwiderstandes. Die Flächenregel läßt sich au-

Werte nach senkrechtem Verdichtungsstoß				
Machzahl vor Verd.stoß	Machzahl nach Verd.stoß	Druckverhältnis p_1/p_2	Dichteverhältnis ρ_1/ρ_2	Temperaturverhältnis T_1/T_2
1,5	0,70	2,46	1,86	1,32
2,0	0,58	4,50	2,66	1,69
2,5	0,51	7,13	3,33	2,14
3,0	0,48	10,33	3,86	2,68
4,0	0,44	18,50	4,57	4,05
5,0	0,42	29,00	5,00	5,80

Der schlimmste aller Verdichtungsstöße ist der senkrechte (es gibt noch den gewölbten und den schrägen Verdichtungsstoß). Die Tabelle zeigt die verheerenden Änderungen nach einem Verdichtungsstoß, die oft das Mehrfache des Ursprünglichen betragen.

Um diese Verluste zu minimieren, ist es von Vorteil, erstens den Gesamtquerschnitt möglichst klein zu halten (gilt auch schon bei langsamen Flugzeugen), und zweitens, die einzelnen Bauelemente des Flugzeuges zueinander so anzuordnen, daß die addierten Querschnitte über der Längsachse möglichst ohne Sprünge gleichmäßig bis zu einem Maximum ansteigen und danach ebenso gleichmäßig auf Null abfallen.

Das ist es, was die Flächenregel besagt. Sie ist somit eine auf die Querfläche eines Flugzeuges bezogene Erweiterung der Forderung nach Vermeidung von Kontursprüngen an der Außenhüllennlinie schallnaher Flugzeuge.

Für den Entwurfsingenieur ist die Flächenregel von herausragender Bedeutung. Kann er doch mit ihr in einem

berdem dazu heranziehen, die Stabilitätsreserve, also den Abstand zwischen Schwerpunkt und Druckpunkt, positiv zu beeinflussen.

Erstaunlich ist bei der Flächenregel, daß sie über weite Entfernungen wirkt. Sie wirkt sich sogar auf zwei oder mehr nebeneinander fliegende Flugzeuge aus. Nun soll an dieser Stelle nicht noch die Wellentheorie bemüht werden, Fakt ist aber, daß es der Gesamtströmung, ob nun um ein Flugzeug oder um eine ganze Formation von Flugzeugen, egal ist, wie weit die einzelnen Bauelemente eines Flugzeuges auseinander liegen, es ergibt sich immer eine Gesamtstörung, die so klein wie möglich gehalten werden muß.

Immer noch weitgehend unerforscht sind die Vorgänge auf molekularer Ebene. Diese Schwierigkeiten hat man in den 1950er Jahre umgangen, indem man in die Thermodynamik die Statistische Methode eingeführt hat, wo dem Gasvolumen innen ein undefinierter Mikrozustand und außen ein definierter Makrozustand zugewiesen wurde.

Deckblatt und Prinzipskizze zum Junkers-Patent über die Flächenregel vom 21. März 1944, eingereicht vom Chef des Junkers-Experimentierkanals Otto Frenzel und dessen Versuchsleiter Werner Hempel. Außerdem unterzeichnete Prof. Heinrich Hertel als Junkers-Entwicklungschef.