FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

HAW HAMBURG

Einfacher Flügelentwurf optimiert hinsichtlich Masse und Widerstand

EXCEL-TABELLE „WING-MDO“ ZUR EINFACHEN OPTIMIERUNG DER FLÜGEL VON PASSAGIERFLUGZEUGEN

Große Spannweiten reduzieren den induzierten Widerstand (bei gleicher Masse und somit Auftrieb), erhöhen jedoch die Flügelmasse. Ein zusätzliches Kilogramm Flügelmasse führt am Ende des Flugzeugentwurfs zu etwa 4 Kilogramm mehr Abflugmasse. Daher ist es nicht sofort ersichtlich, ob der Widerstand tatsächlich abnimmt. Wenn der Widerstand sinkt, verringert sich auch die benötigte Kraftstoffmasse und somit die Abflugmasse. Dies ermöglicht es, die Flügel kleiner zu gestalten und trotzdem eine höhere Flügelstreckung bei gegebener maximaler Spannweite zu erreichen, was wiederum den induzierten Widerstand reduziert. Für die Lösung dieses Problems benötigen wir einen Optimierer!

ZWECK

Optimierung der Parameter des Flügels eines Strahlverkehrsflugzeuges mit Gleichungen aus dem Flugzeugentwurf zur Flügelmasse und zum Luftwiderstand in einer Tabellenkalkulation (Excel) und mit deren Optimierer (Solver).

METHODIK

Die Flügelmasse wird mit der Gleichung von Torenbeek (mit und ohne Flügelstrebe) und alternativ mit einer Gleichung aus dem Luftfahrttechnischen Handbuch (LTH) berechnet. Der Luftwiderstand wird aufgeteilt in Nullwiderstand, Induzierten Widerstand und Wellenwiderstand. Die jeweiligen Methoden zur Berechnung dieser Einzelwiderstände werden den Vorlesungen von Scholz entnommen. Der Flugzeugentwurf wird vereinfacht ohne die vielen hierarchisch gegliederten Iterationen abgebildet. Stattdessen wird für diesen einfachen Flügelentwurf nur eine Iteration genutzt. Es werden Vorgehensweisen mit Schneeballfaktor (Mass Growth Factor), mit den 1. Hauptsatz des Flugzeugentwurfs und mit beiden Vorgehensweisen kombiniert untersucht. Minimiert wird einerseits der Widerstand (Kraftstoffverbrauch) und andererseits die Abflugmasse, die als Proxy der Direct Operating Costs (DOC) angesehen werden kann.

ERGEBNISSE

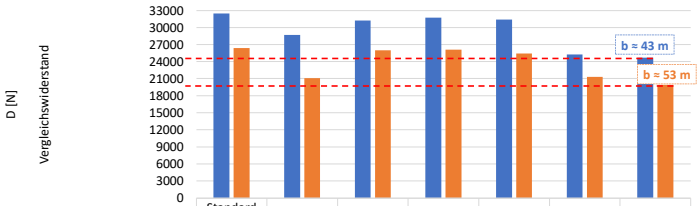
Der einfache Ansatz zum Multidisciplinary Design Optimization (MDO) wird als Tabellenkalkulation „Wing-MDO“ zur Verfügung gestellt. Im Vergleich mit dem vollständigen Flugzeugentwurfs- und -optimierungsprogramm „Optimization in Preliminary Aircraft Design“ (OPerA) konnten die Ergebnisse aus dem einfacheren „Wing-MDO“ bestätigt oder darauf geeicht werden. Ein weiterer Vergleich ergab sich aus der Literaturrecherche. Für ein Flugzeug mit Parametern ähnlich dem Airbus A320 ergibt sich eine optimale Spannweite bei Minimierung des Widerstands von 42,52 m (-23,94 %) ohne Flügelstrebe und von 53,09 m (-24,50 %) mit Verwendung einer Flügelstrebe (siehe Bild 1) und bei Minimierung der Abflugmasse eine optimale Spannweite von 36,65 m (-8,76 %) bzw. von 44,20 m (-13,31 %). Die sich ergebenden Änderungen vom Widerstand bzw. von der Abflugmasse sind in Klammern angegeben.

BEDEUTUNG FÜR DIE PRAXIS

Mit „Wing-MDO“ steht ein einfaches und benutzerfreundliches Werkzeug in Excel zur Optimierung von grundlegenden Flügelparametern zur Verfügung. (siehe Bild 2)

SOZIALE BEDEUTUNG

Die Optimierung eines Flugzeugs beginnt klassischerweise am Flügel. Dies ist aktuell auch beim neuen Projekt Boeing X-66A zu sehen (siehe Bild 3). Die vorliegende Arbeit dient zur Einordnung derartiger Vorschläge und zeigt, dass Flügel hoher Spannweite (und Streckung) den Kraftstoffverbrauch und damit die CO2-Emissionen und die Umweltwirkung deutlich senken können. Einfache Berechnungen dazu ermöglichen den öffentlichen Diskurs.



	Standard konfiguration der A320-200	f(b)	f(t/c)	f(φ25)	f(M)	f(H)	f(b, t/c, φ25, H)
Freitragender Flügelwiderstand	32446	28702	31236	31731	31392	25224	24677
Abgestützter Flügelwiderstand	26347	21067	25996	26079	25410	21305	19890

Bild 1: Widerstandswerte: Optimierung vs. Standard A320-200 für freitragende und abgestützte Flügel

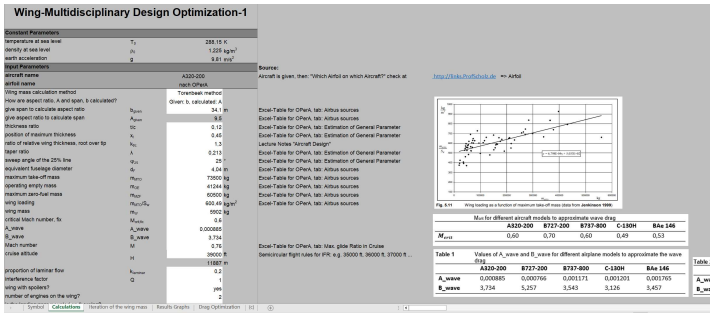


Bild 2: Wing-MDO-1 Layout (Screenshot)

Bild 3: Boeing X-66A

ORIGINALITÄT

Fachdisziplinen haben die Auswirkung ihrer Untersuchungen auf Flugzeugebene dargestellt, ohne dabei die Iterationen (Schneeballeffekte) des Flugzeugentwurfs zu berücksichtigen. Es konnte am Beispiel des Flügels aufgezeigt werden, wie Einzeleffekte zu Masse und Widerstand einfach aber korrekt auf die Flugzeugebene übertragen werden können.

Masterarbeit (Mahfouz 2023) mit allen Details:
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2023-10-16.018

Houssein Mahfouz

Prof. Dr. Dieter Scholz, MSME

DLRK 2024
DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS
SEPTEMBER 2024 I HAMBURG
DGLR

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG
Hamburg University of Applied Sciences