



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Projekt

Studiendepartment Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Erweiterung des „Aircraft Preliminary Sizing Tools“ PreSTo

Verfasser: Sebastian Wolf

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME
Tutor: Dipl.-Ing. Kolja Seeckt

Abgabedatum: 28. Mai 2009

Kurzreferat

Dieses Projekt wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüner Frachter“ ausgeschrieben und beinhaltet die Erweiterung des Flugzeugdimensionierungsprogrammes „PreSTo“ (Preliminary Sizing Tool), welches im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg erstellt wurde. Das Tool basiert auf der Vorlesung Flugzeugentwurf von Prof. Dr. Scholz und ist eine in Microsoft Excel erstellte Tabellenkalkulation.

Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie das PreSTo Werkzeug erweitert wird, damit eine Flugzeugentwurfsbewertung anhand der direkten Betriebskosten möglich ist und welche Aktionen nötig sind, um es den Bedürfnissen von Propellerflugzeugen anzupassen. Weiterhin wird in dieser Projektarbeit erklärt, wie Layoutänderungen in die überarbeitete Version des Programmes eingearbeitet werden, um die Benutzerfreundlichkeit zu steigern. Außerdem wird gezeigt, wie die enthaltene Datensammlung zu realen Flugzeugen um Daten von Propellerflugzeugen ergänzt wird. Dafür werden bereits von früheren Studenten getätigte Vorarbeiten auf ihre Integrationsmöglichkeit in PreSTo hin untersucht, und falls möglich in das Programm eingebaut.



DEPARTMENT FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU

Erweiterung des „Aircraft Preliminary Sizing Tools“ PreSTo

Aufgabenstellung zum *Projekt 2* gemäß Prüfungsordnung

Hintergrund

PreSTo (Preliminray Sizing Tool) Tool ist eine in Microsoft Excel erstellte Tabellenkalkulation. Das Tool führt den Benutzer durch den Flugzeugvorentwurf indem es schrittweise die gestellten Anforderungen an das Flugzeug abfragt und bearbeitet. Zurzeit ist es nur möglich, Strahlverkehrsflugzeuge zu betrachten. Weiterhin ist es derzeit nicht möglich, eine Entwurfsbewertung auf Basis der direkten Betriebskosten des Flugzeugs (Direct Operating Costs, DOC) durchzuführen. Dieses Projekt wird ausgeschrieben im Rahmen des Forschungsprojekts Grüner Frachter (siehe <http://www.gf.profscholz.de>).

Aufgabe

PreSTo soll dahingehend erweitert werden, dass eine Flugzeugentwurfsbewertung anhand der direkten Betriebskosten sowie die Untersuchung von Propellerflugzeugen innerhalb des Programms erfolgen können.

Dabei soll/sollen:

- bereits von früheren Studenten getätigte Vorarbeiten auf ihre Integrationsmöglichkeiten in PreSTo hin untersucht und an PreSTo angegliedert werden,
- bestehende DOC-Methoden in PreSTo integriert werden und
- die in PreSTo enthaltene Datensammlung zu realen Flugzeugen um Daten von Propellerflugzeugen ergänzt werden.

Die Ergebnisse sollen in einem Bericht dokumentiert werden. Bei der Erstellung des Berichtes sind die entsprechenden DIN-Normen zu beachten.

Inhalt

| | Seite |
|---|-----------|
| Verzeichnis der Bilder..... | 6 |
| Verzeichnis der Tabellen..... | 7 |
| Liste der Symbole..... | 8 |
| Liste der Abkürzungen..... | 10 |
| Verzeichnis der Begriffe und Definitionen..... | 11 |
| 1 Einleitung | 13 |
| 1.1 Motivation..... | 13 |
| 1.2 Ziel der Arbeit..... | 13 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit..... | 14 |
| 2 Erstellung der Datensammlung | 15 |
| 2.1 Festlegung der Flugzeuge und der Parameter..... | 16 |
| 2.2 Literaturrecherche und Zusammentragen der technischen Daten..... | 18 |
| 2.3 Erarbeitung der statistischen Datenbank..... | 19 |
| 3 Ermittlung der Propellerwirkungsgrad-Funktion | 20 |
| 3.1 Analyse des vorgegebenen Diagramms..... | 20 |
| 3.2 Extrahieren der Daten..... | 21 |
| 3.3 Ermittlung der Grundform für die Ausgangsgleichung..... | 23 |
| 3.3.1 Polynomzug..... | 23 |
| 3.3.2 Power-Regression..... | 24 |
| 3.3.3 Beschränktes Wachstum..... | 25 |
| 3.4 Anpassung der Ausgangsgleichung..... | 26 |
| 3.5 Weitere Verbesserung der Propellerwirkungsgrad-Funktion..... | 29 |
| 4 Umgestaltung und Erweiterung von PreSTo | 34 |
| 4.1 Einarbeitung der Turboprop-Berechnungsmethode..... | 34 |
| 4.2 Anpassung des Layouts..... | 36 |
| 4.2.1 Überschriften, Abschnittsüberschriften und Berechnungsabschnitte..... | 38 |
| 4.2.2 Aufbau der Berechnungsabschnitte..... | 39 |
| 4.2.3 Inhalt der Berechnungsabschnitte..... | 40 |
| 4.2.4 Gruppierung der Berechnungsabschnitte..... | 41 |
| 4.2.5 Steuerelemente..... | 42 |
| 4.3 Integration der Datensammlung..... | 44 |
| 4.4 Erweiterung der Kommentaranzeige..... | 46 |
| 4.5 Erweiterung um DOC-Berechnungsmethoden..... | 48 |
| 5 Zusammenfassung | 51 |

| | |
|--|----|
| Literaturverzeichnis | 52 |
| Anhang A Datensammlung | 54 |
| A.1 Datensammlung ziviler Turboprop-Flugzeuge | 54 |
| A.2 Datensammlung militärischer Turboprop-Flugzeuge | 55 |
| Anhang B Quelltexte der VBA Makros | 56 |
| B.1 Anweisung zum Aufrufen eines statistischen Wertes | 56 |
| B.2 Funktion zum Ausblenden eines statistischen Wertes | 56 |
| B.3 Inhalt des „publicsub“ Moduls | 57 |
| B.4 Quelltexte der „FoalKo“-Module | 58 |
| Anhang C CD-Rom | 62 |

Verzeichnis der Bilder

| | | |
|------------------|---|----|
| Bild 2.1 | Datensammlung strahlgetriebener Flugzeuge | 15 |
| Bild 3.1 | Ausgangsdiagramm des Propellerwirkungsgrades..... | 20 |
| Bild 3.2 | Kontrolldiagramm der gemessenen Wertepaare | 23 |
| Bild 3.3 | Schwingen der Polynomkurve um die originalen Kurvenpunkte für $L = 20$ | 24 |
| Bild 3.4 | Vergleich der Power-Regression mit der gegebenen Kurve für $L = 20$ | 25 |
| Bild 3.5 | Kurve errechneter k -Werte über L mit Trendlinie und Funktion..... | 28 |
| Bild 3.6 | Vergleichsdiagramm gemessener zu errechneter Propellerwirkungsgrade | 29 |
| Bild 3.7 | Kurve gemessener Sättigungswerte S über L mit Trendlinie und Funktion | 31 |
| Bild 3.8 | Kurve neu errechneter k -Werte über L mit Trendlinie und Funktion | 32 |
| Bild 3.9 | Neues Vergleichsdiagramm gemessener zu errechneter Propellerwirkungsgrade | 33 |
| Bild 4.1 | optimales Entwurfsdiagramm aus PreSTo | 36 |
| Bild 4.2 | Layoutvorgabe..... | 37 |
| Bild 4.3 | Übersicht des neuen PreSTo Layouts..... | 37 |
| Bild 4.4 | Grundlayout bestehend aus Grundelementen..... | 38 |
| Bild 4.5 | Aufbau eines Berechnungsabschnittes | 39 |
| Bild 4.6 | Gruppierung der Berechnungsabschnitte in PreSTo | 41 |
| Bild 4.7 | Erstellung einer Gruppierung in Microsoft Excel | 42 |
| Bild 4.8 | Einstellfenster für Detailbereiche..... | 42 |
| Bild 4.9 | Objektpositionierung von Steuerelementen | 43 |
| Bild 4.10 | Layout des Datensammlung-Moduls..... | 44 |
| Bild 4.11 | Formelobjekt als Kommentar | 47 |
| Bild 4.12 | Übersicht des neu erstellten DOC-Moduls..... | 49 |

Verzeichnis der Tabellen

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabelle 3.1 | Wertepaare der gegebenen Propellerwirkungsgrad-Kurven..... | 22 |
| Tabelle 3.2 | Ergebnisse der Power-Regression | 25 |
| Tabelle 3.3 | Für die Berechnung verwendete Wertepaare..... | 27 |
| Tabelle 3.4 | Berechnete Wachstumsfaktoren k..... | 28 |
| Tabelle 3.5 | Wertetabelle der Parameter L und S | 30 |
| Tabelle 3.6 | Neu berechnete Wachstumsfaktoren k..... | 31 |
| Tabelle 4.1 | Formatierung der Grundelemente | 39 |
| Tabelle 4.2 | Formatierung der Berechnungsabschnitt-Elemente..... | 40 |

Liste der Symbole

| | |
|------|---|
| D | Referenzfläche eines Propellers |
| h | Höhe |
| K | Kosten (costs) |
| k | Wachstumsfaktor |
| L | Parameter zum Bestimmen des Propellerwirkungsgrades |
| m | Masse |
| N | Nummer (number) |
| n | Anzahl |
| P | Leistung |
| R | Reichweite |
| S | Sättigungswert |
| TA | Transportarbeit (Transport work) |
| s | Strecke |
| v | Geschwindigkeit |

Griechische Symbole

| | |
|--------|--------------|
| η | Wirkungsgrad |
| ρ | Dichte |

Indizes

| | |
|-----|-----------------------------|
| APP | Approach |
| BES | Besatzung (crew) |
| C | Cruise |
| E | Engine |
| F | Fuel, Flights |
| FLZ | Flugzeug |
| GEB | Gebühren (fees and charges) |
| KR | Kraftstoff (fuel) |
| L | Landing |
| MLW | Maximum Landing Weight |
| MPL | Maximum Payload |
| MTO | Maximum Take Off |
| OWE | Operating Weight Empty |
| S | Stall |

| | |
|------|-----------------------|
| TO | Take Off |
| WART | Wartung (maintenance) |

Liste der Abkürzungen

| | |
|--------|-------------------------------|
| DOC | Direct Operating Costs |
| FoalKo | Formel als Kommentar |
| HGW | High Gross Weight |
| MS | Microsoft |
| PreSTo | Preliminary Sizing Tool |
| px | Pixel |
| VBA | Visual Basic for Applications |

Verzeichnis der Begriffe und Definitionen

Jane's All The World's Aircraft

„*Jane's All the World's Aircraft* sets the standard in aviation reference, providing exhaustive technical detail on over 950 civil and military aircraft currently being produced or under development by more than 550 companies. Complete with photographs and line drawings to aid recognition and comparison, this authoritative resource provides you with the ability to evaluate competitors, identify potential buyers, and business partners, and examine aircraft equipment.

Each entry enables you to check key specifications for any aircraft including dimensions, performance, structure, landing gear, power plants, and armaments. Plus, with details of the world's aircraft manufacturers and their programmes, you can identify key contracts and customers.” (Jane's 2009)

Java-Applet

„An applet is a special kind of Java program that a browser enabled with Java technology can download from the internet and run. An applet is typically embedded inside a web-page and runs in the context of the browser.” (Java 2009)

Look and Feel

„Der Begriff Look and Feel (LAF; dt. Aussehen und Handhabung, „Anfühlen“, Anmutung) bezeichnet meist durch Hersteller oder Konsortien standardisierte Design-Aspekte einer Software, wie zum Beispiel Farben, Layout, Fontgröße, die Benutzung von grafischen Elementen [...], Bedienung über die Tastatur usw., in Software mit grafischer Benutzer-Oberfläche oder Webseiten. [...] Je komplexer eine Software ist, desto wichtiger ist die intuitive Bedienbarkeit. Wenn das Look and Feel gut durchdacht ist, finden sich die Anwender besser zurecht, und können das Programm effizient nutzen, ohne zuvor alle Funktionen einzeln lernen zu müssen, sie fühlen sich mit dem Programm wohl.“ (Wikipedia 2009a)

Makro

„Unter einem Makro versteht man ein Programm, das eine fest vorgegebene Folge von Befehlen, Aktionen oder Tastaturcodes enthält. Alle Anweisungen des Makros werden automatisch ausgeführt, wenn das Makro entweder mit Hilfe eines Tastenschlüssels oder mit Hilfe eines Menünamens aufgerufen wird. Makros werden z. B. in der Tabellenkalkulation, in der Textverarbeitung und in Datenbanken eingesetzt. [...] Üblicherweise werden Programme in einer der Programmiersprachen (z. B. BASIC, Pascal) kodiert. Es ist auch möglich, innerhalb einer Standardsoftware (z. B. MS Office) eine eigene Programmiersprache zu benutzen. Dabei kann die Programmiersprache softwarebezogen (z. B. Programmierungen in Microsoft Excel mit VBA) oder zur Programmierung ganz allgemein angewandt werden (z. B. Lösungen eines mathematischen Problems).“ (Wikipedia 2009b)

Visual Basic for Applications

“Visual Basic for Applications (VBA) ist eine zu den Microsoft-Office-Programmen gehörende Skriptsprache. Sie wurde aus dem von Microsoft entwickelten BASIC-Dialekt Visual Basic (VB) abgeleitet und wurde zur Steuerung von Abläufen innerhalb der Microsoft-Office-Programme entwickelt. VBA ist seit Mitte der 1990er Jahre der Nachfolger der bis zu diesem Zeitpunkt in den Microsoft-Office-Anwendungen enthaltenen verschiedenen Makrosprachen.“ (Wikipedia 2009c)

1 Einleitung

1.1 Motivation

Dieses Projekt ist Teil des Forschungsprojektes „Grüner Frachter“, welches derzeit an der HAW Hamburg federführend durchgeführt wird. Weitere Partner in diesem Projekt sind das Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (IFL) der Technischen Universität Braunschweig, die AIRBUS Deutschland GmbH und die Firma Bishop GmbH.

Ziel des Projektes ist es, bestimmte Frachtflugzeugkonfigurationen zu erforschen und Entwurfsuntersuchungen an diesen durchzuführen. Diese Konfigurationen können dabei sowohl konventioneller als auch unkonventioneller Art sein. Im Vordergrund stehen dabei umweltfreundliche Flugzeuge mit ökonomischem Flugbetrieb, welcher mit Hilfe verschiedener technischer Ansätze realisiert werden soll. Solche Aspekte sind unter anderem geringer Kraftstoffverbrauch, zukünftige Kraftstoffarten, geringer Fluglärm, geringe Emissionen und geringe Betriebskosten, auch durch reduzierte Besatzung. Die Methoden und Werkzeuge, die dabei zum Einsatz kommen, sind vielfältig. So wird beispielsweise der Prozess „Aircraft preliminary sizing“ mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms durchgeführt, was den Namen PreSTo trägt.

Im Rahmen der Projektarbeit soll dieses Werkzeug an die Bedürfnisse von Propellerflugzeugen angepasst werden. Außerdem soll eine Entwurfsbetrachtung auf Basis der direkten Betriebskosten möglich sein.

1.2 Ziel der Arbeit

Das in diesem Projekt behandelte Tool PreSTo ist eine in Microsoft Excel erstellte Tabellenkalkulation, die den Benutzer schrittweise durch den Flugzeugvorentwurf führt. Dabei werden die an das Flugzeug gestellten Anforderungen abgefragt und bearbeitet. Dieses Werkzeug, mit welchem man nur Strahlflugzeuge berechnen kann, soll im Rahmen dieser Projektarbeit so erweitert werden, dass auch ein Flugzeugvorentwurf für Propellerflugzeuge innerhalb des Programms möglich ist. Weiterhin soll es möglich sein, einen Entwurf auf Basis der direkten Betriebskosten des Flugzeugs durchzuführen.

Dafür werden im Rahmen dieser Projektarbeit von Studenten bereits getätigte Arbeiten auf ihre Integrationsmöglichkeit hin untersucht und falls möglich in PreSTo eingearbeitet. Außerdem wird eine Funktion zum automatischen Auswerten des Propellerwirkungsgrads aus einem vorgegebenen Diagramm erstellt und eingefügt. Des Weiteren wird die in PreSTo enthaltene Datensammlung zu realen Flugzeugen um Daten von Propellerflugzeugen ergänzt. Ab-

schließlich werden bereits bestehenden DOC-Methoden analysiert und in das Vorentwurfswerkzeug integriert.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Hauptteil dieser Schrift setzt sich aus folgenden Ausführungen zusammen, auf die an dieser Stelle kurz eingegangen werden soll:

Abschnitt 1 beinhaltet die Einleitung der vorliegenden Projektarbeit.

Abschnitt 2 befasst sich mit der Auswahl der Flugzeuge und der Parameter, mit der Recherche und schließlich mit der Zusammenstellung der Datensammlung.

Abschnitt 3 widmet sich der Analyse des vorgegebenen Propellerwirkungsgrad-Diagramms und erläutert anschließend die Entstehung der Propellerwirkungsgrad-Funktion aus der Ausgangsgleichung zur Zielfunktion.

Abschnitt 4 setzt sich mit der Umgestaltung und der Erweiterung von PreSTo auseinander, indem die Layoutanpassungen erläutert und die verschiedenen Erweiterungen aufgezeigt werden.

Anhang A enthält die Ausarbeitungen zur statistischen Datenbank.

Anhang B beinhaltet die VBA Makro Quelltexte.

Anhang C umfasst eine CD-ROM mit sämtlichen in dieser Projektarbeit erstellten Dateien.

2 Erstellung der Datensammlung

Um ein Flugzeug dimensionieren zu können, sind eine große Anzahl an eingehenden Parametern notwendig. Diese Parameter gehen in erster Linie aus den Anforderungen des zu entwerfenden Flugzeuges hervor. Da es aber vorkommen kann, dass wichtige Eingangsparameter nicht bekannt und auch nicht aus den Anforderungen ableitbar sind, kann es in diesem Fall hilfreich sein, die benötigten Parameter von bereits vorhandenen Flugzeugen mit ähnlichen Anforderungen zu übernehmen.

Dazu hat der PreSto-Anwender die Möglichkeit, während der Eingabe der vom Programm benötigten Daten zur Berechnung des Vorentwurfs, sich technische Daten von anderen Flugzeugen anzeigen zu lassen. Dies hat den Nutzen, dass der Benutzer ein Werkzeug an die Hand bekommt mit dem er in der Lage ist, sein entworfenes Flugzeug mit anderen, bereits existierenden Flugzeugen zu vergleichen. Leider war die Vergleichbarkeit der Flugzeuge bis jetzt auf strahlgetriebene Flugzeuge beschränkt, da mit dem Entwurfsprogramm auch lediglich nur dieser Typ von Flugzeugen vorausgelegt wurde. Diese Vorauslegung wurde aber im Verlauf dieser Projektarbeit um propellergetriebene Flugzeuge erweitert, so dass es auch nötig wurde, die Datensammlung auf Propellerflugzeuge zu erweitern. Das Bild 2.1 zeigt die alte Version von PreSto mit ausschließlich strahlgetriebenen Flugzeugen.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - Luthra Diplom PreSto.xls'. The spreadsheet contains a table with the following columns and data:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------------|--------|-----------|-----------|------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|----------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-----------------|
| Type | R [NM] | S_LFL [m] | S_LFL [m] | 0,5] | CL_Max,L | m_MLm_MTO | Vapp [kt] | Delta T [K] | S_TOF [m] | K_TO [m^2] | CL_Max,T | Delta T_TCA | CD,0 (2_Seg CD, | Slats (2_Se_ | landing n_E | Engines CD,0 (r |
| CRJ-900 | 1250 | 1596 | 179 | 2,95 | 0,932 | 139,03 | 0 | 1779 | 2,13 | 1,9 | 0 | 9 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| KSRA | 1600 | 1327 | 184 | 2,6 | 0,944 | 130,4 | 0 | 1400 | 2,07 | 1,9 | 0 | 9,29 | 0,019 | 0,005 | 0,7 | 2 |
| DOT28-10i | 1630 | 1465 | 177 | 2,95 | 0,921 | 131,67 | 0 | 1420 | 2,01 | 1,9 | 0 | 9,81 | 0,015 | 0 | 0,7 | 2 |
| CRJ-705 | 1800 | 1596 | 177 | 2,95 | 0,913 | 137,62 | 0 | 1779 | 2,13 | 1,9 | 0 | 9 | 0,018 | 0 | 0,7 | 2 |
| ERJ-170LF | 2250 | 1273 | 194 | 2,95 | 0,982 | 134,52 | 0 | 1930 | 2,05 | 1,9 | 0 | 9,3 | 0,019 | 0 | 0,7 | 2 |
| SR(1) | 2650 | 1490 | 194 | 2,95 | 0,978 | 145,42 | 0 | 1960 | 2,02 | 1,95 | 15 | 9,5 | 0,018 | 0,005 | 0,75 | 2 |
| B737-400 | 2800 | 1540 | 1844 | 2,76 | 0,927 | 140,7 | 0 | 2540 | 2,49 | 2,02 | 0 | 9,16 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| B737-800 | 3060 | 1652 | 18175 | 2,76 | 0,84 | 143,6 | 15 | 2231 | 2,13 | 2,02 | 15 | 9,45 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| A310-200 | 3650 | 1469 | 1951 | 2,7 | 0,966 | 145,8 | 0 | 1960 | 1,92 | 1,95 | 15 | 8,8 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| A300-600 | 3700 | 1536 | 1836 | 2,6 | 0,936 | 144,5 | 0 | 2378 | 2,25 | 1,95 | 15 | 7,7 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| B757-200 | 3800 | 1560 | 1862 | 2,6 | 0,924 | 143 | 0 | 2368 | 2,28 | 1,95 | 15 | 7,9 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |
| KMRA | 3940 | 1349 | 187 | 2,6 | 0,856 | 133,5 | 0 | 2030 | 2,19 | 1,95 | 15 | 9 | 0,0176 | 0,005 | 0,7 | 2 |
| LR(1) | 7100 | 1952 | 169 | 2,95 | 0,701 | 145,2 | 0 | 3125 | 1,76 | 1,95 | 15 | 9,3 | 0,0165 | 0,005 | 0,75 | 4 |
| LR(2) | 7500 | 2104 | 173 | 2,95 | 0,704 | 154,1 | 0 | 3140 | 1,91 | 1,95 | 15 | 8,566 | 0,017 | 0,005 | 0,75 | 4 |
| KLRA | 7500 | 2036 | 173 | 2,95 | 0,748 | 151,7 | 0 | 1910 | 1,91 | 2,4 | 15 | 9 | 0,0191 | 0,005 | 0,75 | 4 |
| LR(3) | 7600 | 1753 | 176 | 2,95 | 0,804 | 143,2 | 0 | 2515 | 2,05 | 1,95 | 15 | 9,26 | 0,0165 | 0,005 | 0,75 | 2 |
| B777-200LF | 7500 | 1676 | 1758 | 2,6 | 0,823226 | 140 | 0 | 3350 | 2,34 | 1,88 | 15 | 9,34 | 0,02 | 0 | 0,7 | 2 |

Bild 2.1 Datensammlung strahlgetriebener Flugzeuge

2.1 Festlegung der Flugzeuge und der Parameter

Bei der Erweiterung der statistischen Flugzeugdatensammlung in PreSTo wurde vor allem darauf geachtet, dass ein möglichst großes Spektrum mit den neuen Referenzflugzeugen abgedeckt wird. Weiterhin sollten nur Flugzeuge mit Propellerantrieb ergänzt werden, da diese bis zum jetzigen Zeitpunkt überhaupt noch nicht in der Datensammlung vertreten waren. Außerdem wurde es als sinnvoll angesehen, möglichst bekannte Kurz- und Mittelstrecken Flugzeuge auszuwählen. Die Beschränkung auf diese Flugzeuge kommt daher, dass die Art der Motoren nur dieses Reichweitenpektrum zulässt. Ein weiterer wichtiger Aspekt war außerdem noch, dass versucht werden sollte, möglichst Flugzeugfamilien zusammenzustellen und in die Datensammlung einfließen zu lassen.

Es wurde damit begonnen, eine ungeordnete Liste mit bekannten Turbopropflugzeugen zu erstellen, wobei alles zusammengetragen wurde, was primär den Anforderungen entsprach. Eine darauffolgende Internetrecherche brachte weitere Flugzeugmuster zu Tage, welche ebenfalls der Liste hinzugefügt wurden. Parallel wurden damit begonnen, erste Parameter auszuwählen, die ebenfalls in die PreSTo Anwendung integriert werden sollten. Die ungeordnete Liste mit den ersten Propellerflugzeugen und zugehörigen technischen Parametern wurde daraufhin dem Projektbetreuer zur Vervollständigung vorgelegt. Es wurden in einer kleinen Diskussionsrunde Flugzeuge von der Liste entfernt, neue noch nicht beachtete Flugzeuge hinzugefügt und über die benötigten Parameter debattiert.

Es wurden letztendlich folgende zivile Turbopropflugzeuge ausgewählt:

- Dash-8Q-100 (HGW)
- Dash-8Q-200
- Dash-8Q-300 (HGW)
- Dash-8Q-400 (HGW)
- Dornier 228
- Dornier 328
- Saab 340
- Saab 2000
- Fokker 50-400
- ATR 42-300
- ATR 42-320
- ATR 42-400
- ATR 42-500
- ATR 72-200
- ATR 72-210
- ATR 72-500
- ATR 72-600
- Antonow An 140

- Embraer EMB 120
- XAC MA60

Weiterhin wurden noch folgende militärische Turbopropmaschinen zusammengestellt:

- Tupolew TU 95
- Transall C-160
- C-130 Hercules
- Antonow An 22
- Antonow An 70
- A400M
- CASA C-212

Als unverzichtbare und auf jeden Fall in die Datensammlung zu integrierende Parameter wurden folgende technische Daten der Flugzeuge bestimmt:

- Passagieranzahl $max\ PAX$
- Startstrecke s_{TO}
- Landestrecke s_L
- Reichweite R
- Maximum Take Off Weight m_{MTO}
- Maximum Landing Weight m_{MLW}
- Maximum Payload m_{MPL}
- Operating Weight Empty m_{OWE}
- Anzahl der Motoren n_E
- Leistung pro Motor P_E
- Gesamtleistung der Motoren P_{ges}
- Reisefluggeschwindigkeit v_C
- max Reiseflughöhe h_{max}
- Stallgeschwindigkeit v_S
- Anfluggeschwindigkeit v_{APP}
- Art des Hochauftriebssystems
- Art der Landeklappenführung
- Direct Operating Costs des Flugzeuges DOC

2.2 Literaturrecherche und Zusammentragen der technischen Daten

Sämtliche Daten der statistischen Datensammlung wurden in einer Literaturrecherche ermittelt. Dabei wurde auf die jährlich erscheinende Buchreihe „Jane’s All The World’s Aircraft“ zurückgegriffen.

Zu Beginn galt es zu klären, in welcher Jane’s Ausgabe die betroffenen Flugzeuge Erwähnung finden. Dazu befindet sich in jedem Exemplar dieses Buches ein Index, mit dessen Hilfe man anhand des Flugzeugnamens eine passende Ausgabe identifizieren kann. So kann es beispielsweise vorkommen, dass gerade ältere Flugzeugmuster nicht mehr in den aktuellen Jane’s Ausgaben vertreten sind. Ist dies der Fall, so bekommt man über den Index den entsprechenden Jahrgang, in dem das gesuchte Flugzeug vorhanden ist. Ist das Flugzeug einmal in einem Jane’s gefunden, so können sämtliche Informationen über das entsprechende Muster zusammengetragen werden. Dabei ist aber zu erwähnen, dass in den Jane’s Büchern nicht alle technischen Daten der Flugzeuge publiziert sind. Vielmehr handelt es sich um einen groben Überblick mit Fotos, Abmessungen und allgemeinen Informationen.

Es wurde also damit begonnen, eine Tabelle anzulegen, die sämtliche Informationen in sich vereint. Wurde ein Flugzeugmuster in einem Jane’s Buch gefunden, so wurden alle benötigten Daten in die Tabelle übernommen. Falls zu einem Merkmal eines Flugzeuges, wie zum Beispiel das maximale Startgewicht MTOW, mehrere verschiedene Werte vorhanden waren, so wurde immer der größte Wert bzw. der beste Wert gewählt. Unter dem besten Wert ist zu verstehen, dass es in einigen Situationen vorkommen kann, dass nicht der größte Wert vorteilhaft für ein Flugzeug ist, sondern der kleinste. Dies ist zum Beispiel bei den Direct Operating Costs *DOC* der Fall. Konnten zu einem technischen Detail eines Flugzeuges keine Informationen aus einem Jane’s All The World’s Aircraft Buch gewonnen werden, so wurden die entsprechenden Zellen in der Tabelle frei gelassen.

Am Ende der Literaturrecherche wurde versucht, die restlichen noch offenen Stellen in der Tabelle mit Werten zu füllen. Dazu wurde das Internet zu Hilfe gezogen. Als ein Anlaufpunkt für weitere Informationen zu einem bestimmten Flugzeug galt als erstes die Internetseite des Herstellers. Da aber nicht alle Hersteller technische Daten auf ihren Internetseiten veröffentlichen, galt es weitere Quellen ausfindig zu machen.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass alle Daten, welche aus dem Buch Jane’s All The World’s Aircraft in der Tabelle schwarz gekennzeichnet sind. Stammen Daten aus anderen Quellen, so wurden die entsprechenden Werte blau eingefärbt, was in den Tabellen im Anhang A zu erkennen ist.

2.3 Erarbeitung der statistischen Datenbank

Die aus der Literaturrecherche entstandene Tabelle wurde auf Grund ihrer Größe in 2 Tabellen geteilt. Dabei wurde eine Tabelle für zivile Turboprop-Flugzeuge und eine Tabelle für militärische Turboprop-Flugzeuge erstellt. Diese beiden Tabellen gelten als Grundlage für die in PreSTo zu integrierende Datensammlung und sind im Anhang A dargestellt.

3 Ermittlung der Propellerwirkungsgrad-Funktion

In PreSTo ist es für den richtigen Ablauf der Rechnung des Vorentwurfs unter anderem von Nöten, dass der korrekte Propellerwirkungsgrad in die Berechnung mit einfließt. Da das manuelle Ablesen aus dem Diagramm aber viel zu umständlich und außerdem auch ziemlich ungenau ist, sollte eine Funktion in PreSTo integriert werden, die diese Aufgabe bestmöglich erfüllt.

3.1 Analyse des vorgegebenen Diagramms

Das zu analysierende Diagramm wurde in der Datei „A-C_Preliminary_Sizing_Prop.xls“ vorgegeben, welche man sich von Prof. Dr.-Ing. Scholz Internetseite (<http://www.profscholz.de>) herunterladen kann. In dieser Excel-Datei befindet sich in dem Worksheet „7.) Propeller Efficiency“ das zu bearbeitende Diagramm, welches auch noch mal in Bild 3.1 dargestellt ist.

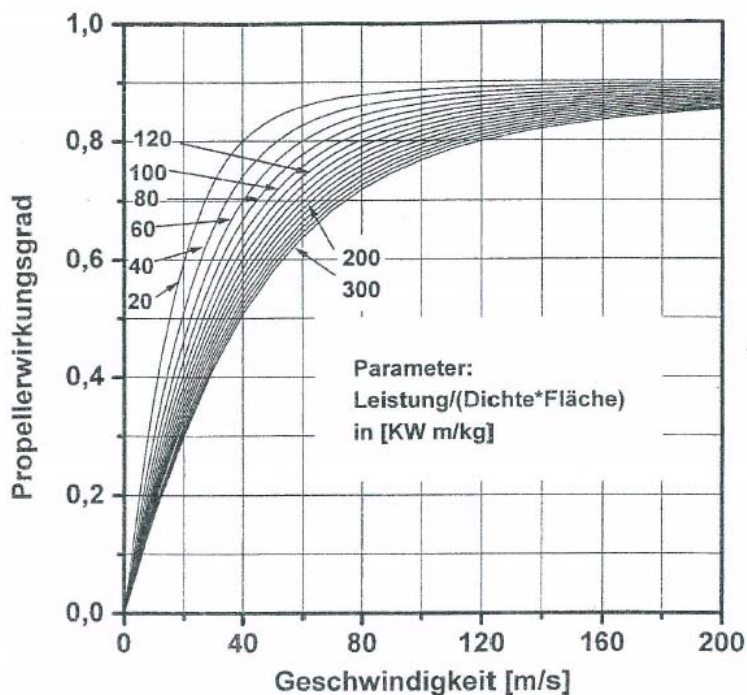


Bild 3.1 Ausgangsdiagramm des Propellerwirkungsgrades

Der Propellerwirkungsgrad eines Propellers beschreibt das Verhältnis von abgegebener Leistung zu zugeführter Leistung. Dabei ist der Propellerwirkungsgrad von der Fluggeschwindigkeit v und einem Parameter L abhängig. Der Parameter L setzt sich wiederum aus der Wellenleistung P , der Dichte ρ und der Referenzfläche D zusammen.

$$L = \frac{P}{\rho \cdot D} \quad (3.1)$$

Es wurde damit begonnen, dass das vorgegebene Diagramm erst einmal grob analysiert wurde. Dabei wurde festgestellt, dass auf der Abszissenachse, oder auch x -Achse, die Flugeschwindigkeit v aufgetragen wurde. Rechtwinkelig dazu, auf der Ordinatenachse (y -Achse) wurde der Wirkungsgrad η aufgetragen. Der abgebildete Bereich des Wirkungsgrades erstreckt sich dabei von 0 bis 1,0 und die Geschwindigkeit reicht in dem Diagramm von 0 bis 200. Als nächstes erfolgte die Untersuchung der im Diagramm enthaltenen Kurven. Dabei wurde schnell klar, dass sich die Graphen im Grunde sehr ähnlich sind. Alle Kurven fangen in dem Koordinatenursprung an, welcher durch den Punkt $(0,0)$ repräsentiert wird und enden bei dieser Ausführung des Diagramms bei dem Punkt $x = 200$. Der y -Wert der auslaufenden Kurven bewegt sich in einem Bereich von $y = 0,85$ bis $y = 0,9$. Weiterhin verlaufen alle Graphen am Anfang sehr steil. Dies ändert sich im Verlauf der einzelnen Kurven, und der Anstieg wird zum Ende hin flacher. Der einzig nennenswerte Unterschied der Kurven untereinander besteht in dem Parameter L . Die Graphen mit kleinerem Parameter L , wie zum Beispiel $L = 20$, scheinen dabei bauchiger und runder zu verlaufen als die Graphen größeren Parameters L ($L = 300$), welche eher schlanker Form sind. Außerdem wurde noch klar, dass der Parameter L nur einen begrenzten Bereich abdeckt. Dieser Bereich reicht von $L = 20$ bis $L = 300$, wobei ab $L = 300$ keine weiteren Kurven mehr in dem Diagramm sind. Dies könnte eventuell den Grund haben, dass in diesen Größenregionen von L die Unterschiede von Kurve zu Kurve zu klein sind und dass die Abstände so gering werden, dass die Graphen nicht mehr zu unterscheiden sind. Ein weiteres interessantes Merkmal des Diagramms ist der Abstand bzw. die Differenz der Parameter L von Kurve zu Kurve. Dieser ist immer konstant gleich 20 groß. Somit ergeben sich insgesamt 15 Kurven in dem vorgegebenen Diagramm.

3.2 Extrahieren der Daten

Nach der Analyse des Diagramms ging es daran, die Daten aus dem gegebenen Bild heraus zu extrahieren. Dazu wurde das Bild aus der Excel-Datei heraus kopiert und mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogrammes auf die Größe einer A4 Seite vergrößert und auf solch einer ausgedruckt. Um mit dem Erstellen der gesuchten Funktion beginnen zu können, war es notwendig, Wertepaare von den jeweiligen Kurven zu bekommen. Dazu wurde das ausgedruckte Diagramm mit Hilfe eines Lineals vermessen und die gemessenen Werte in einer Tabelle notiert. Unter zu Hilfenahme eines geeigneten Maßstabes wurden aus den gemessenen Größen Wertepaare errechnet, welche jede einzelne Kurve für sich beschreiben. Das Ergebnis ist in Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Tabelle 3.1 Wertepaare der gegebenen Propellerwirkungsgrad-Kurven

| L [-] | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x [m/s] | y [-] | y [-] | y [-] | y [-] | y [-] | y [-] | y [-] |
| 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 10 | 0,3600 | 0,3000 | 0,2600 | 0,2400 | 0,2300 | 0,2118 | 0,1647 |
| 20 | 0,6000 | 0,5100 | 0,4600 | 0,4400 | 0,4200 | 0,3880 | 0,3000 |
| 30 | 0,7200 | 0,6500 | 0,6100 | 0,5700 | 0,5400 | 0,5210 | 0,4176 |
| 40 | 0,8000 | 0,7400 | 0,7000 | 0,6700 | 0,6400 | 0,6180 | 0,5118 |
| 50 | 0,8400 | 0,7900 | 0,7600 | 0,7400 | 0,7100 | 0,6880 | 0,5765 |
| 60 | 0,8600 | 0,8300 | 0,8000 | 0,7800 | 0,7600 | 0,7353 | 0,6353 |
| 70 | 0,8700 | 0,8500 | 0,8300 | 0,8100 | 0,7900 | 0,7735 | 0,6765 |
| 80 | 0,8775 | 0,8625 | 0,8500 | 0,8300 | 0,8125 | 0,8000 | 0,7147 |
| 90 | 0,8825 | 0,8700 | 0,8600 | 0,8450 | 0,8300 | 0,8176 | 0,7412 |
| 100 | 0,8850 | 0,8750 | 0,8650 | 0,8525 | 0,8425 | 0,8324 | 0,7647 |
| 110 | 0,8875 | 0,8800 | 0,8700 | 0,8600 | 0,8525 | 0,8441 | 0,7824 |
| 120 | 0,8900 | 0,8825 | 0,8750 | 0,8650 | 0,8600 | 0,8500 | 0,8000 |
| 130 | 0,8900 | 0,8850 | 0,8775 | 0,8700 | 0,8650 | 0,8560 | 0,8088 |
| 140 | 0,8925 | 0,8875 | 0,8800 | 0,8740 | 0,8700 | 0,8618 | 0,8176 |
| 150 | 0,8950 | 0,8900 | 0,8825 | 0,8775 | 0,8725 | 0,8676 | 0,8265 |
| 160 | 0,8975 | 0,8925 | 0,8850 | 0,8800 | 0,8750 | 0,8706 | 0,8324 |
| 170 | 0,9000 | 0,8950 | 0,8875 | 0,8825 | 0,8775 | 0,8730 | 0,8382 |
| 180 | 0,9000 | 0,8950 | 0,8900 | 0,8850 | 0,8800 | 0,8750 | 0,8441 |
| 190 | 0,9000 | 0,8950 | 0,8900 | 0,8850 | 0,8800 | 0,8750 | 0,8500 |
| 200 | 0,9000 | 0,8950 | 0,8900 | 0,8850 | 0,8800 | 0,8750 | 0,8500 |

Zu Tabelle 3.1 ist noch anzumerken, dass auf Grund der doch recht großen Anzahl an Kurven nicht alle davon vermessen wurden. Vielmehr wurden nur die ersten 6 Kurven, bei denen der Parameter L von 20 bis 120 reicht, und die letzte Kurve mit $L = 300$ beachtet.

Aus den Wertepaaren wurde dann im Anschluss noch ein Kontrolldiagramm erstellt, welches in Bild 3.2 zu sehen ist. Vergleicht man dieses Diagramm mit dem Ausgangsdiagramm (Bild 3.1) so kann man erkennen, dass das Extrahieren der Daten gut funktioniert hat, da beide Diagramme recht gut überein stimmen.

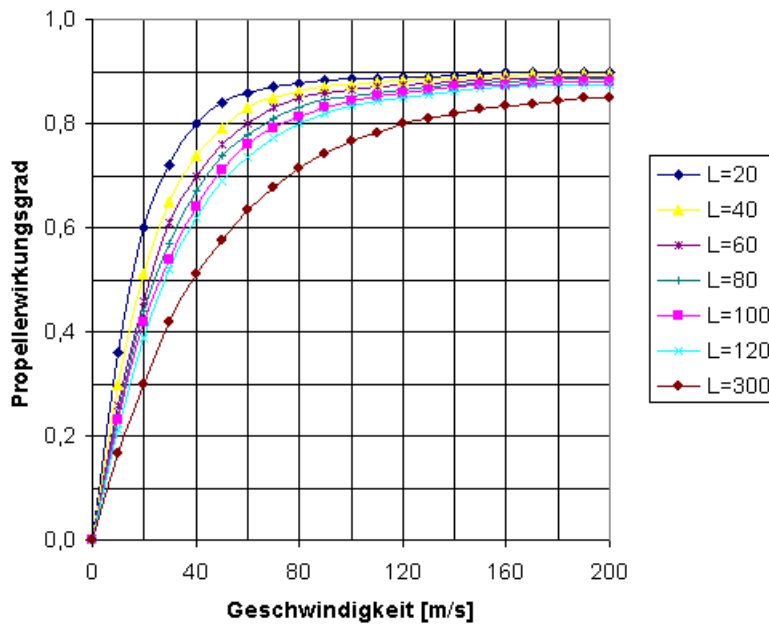


Bild 3.2 Kontrolldiagramm der gemessenen Wertepaare

3.3 Ermittlung der Grundform für die Ausgangsgleichung

Nachdem die Wertepaare in der Tabelle vorhanden waren, galt es eine passende Grundform für die Ausgangsgleichung zu finden. Dabei war es äußerst wichtig, dass die Grundform schon annähernd der vorgegebenen Kurvenform ähnelt, damit die spätere Anpassung der Grundform zur endgültigen Funktion gelingt und nicht all zu kompliziert wird.

3.3.1 Polynomzug

Als erster Versuch wurde ein Polynomzug 6. Grades mit Hilfe der in Microsoft Excel integrierten Funktion „Trendlinie hinzufügen“ an die Kurve $L = 20$ gelegt. Dieser Polynomzug, welcher die Form

$$f(x) = y = a_6x^6 + a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (3.2)$$

hat, folgte dem Graphen auf den ersten Blick schon ganz gut. Bei genauerem Hinsehen erwies sich der Polynomzug aber leider als nicht sehr praktikabel, da dieser allein schon wegen seiner mathematischen Definition Sattelpunkte oder Wendepunkte in den Kurvenzug einbringt. Im Grunde heißt das nichts anderes, als dass die Polynomkurve um die originalen Kurvenpunkte schwingt. Dies ist gut im Bild 3.3 zu erkennen. Aufgrund dieser Tatsache musste nach einer anderen Grundform für die Ausgangsgleichung gesucht werden.

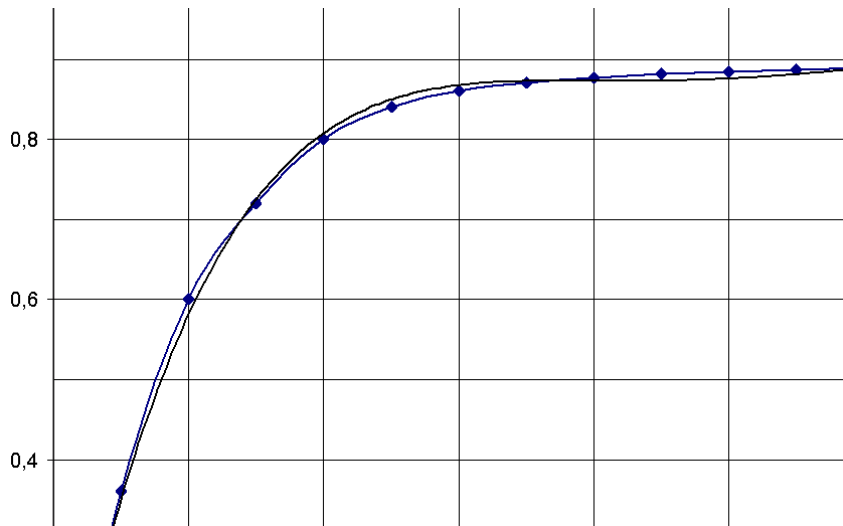


Bild 3.3 Schwingen der Polynomkurve um die originalen Kurvenpunkte für $L = 20$

3.3.2 Power-Regression

Im zweiten Schritt wurde versucht, die vorgegebenen Kurven jeweils durch einen mit Power-Regression ermittelten Kurvenzug abzubilden, welcher der Form

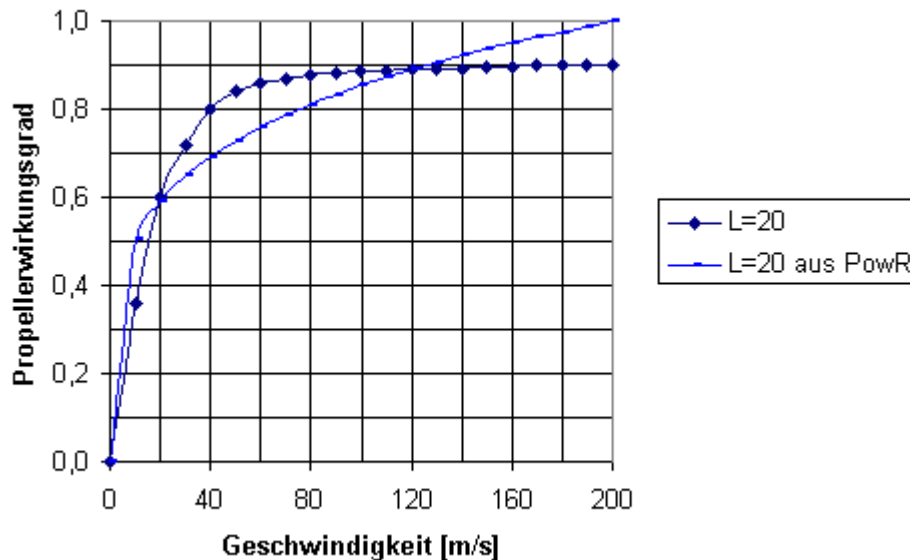
$$f(x) = y = ax^b \quad (3.3)$$

entspricht. Dazu wurde das Java-Applet „Online Power Regression“ von Jon Zurutuza’s Internetseite (<http://www.xuru.org/rt/PowR.asp>) verwendet. Alles was getan werden musste, um eine Regression mit diesem Tool durchführen zu können war, die Wertepaare in das Applet einzutragen und den Button „Calculate“ zu drücken. Daraufhin errechnete das Tool automatisch den Koeffizienten a und den Exponenten b . Es ist bei der Benutzung des Applets aber noch darauf hinzuweisen, dass das Wertepaar $(0,0)$ nicht mit eingegeben werden darf, da es sonst zu einem Fehler bei der Berechnung kommt. Dieser Ablauf wurde für alle vorhandenen Kurven wiederholt und die Ergebnisse in Tabelle 3.2 und Bild 3.4 zusammengefasst.

Um beurteilen zu können, ob das Verfahren der Power-Regression der richtige Weg zum Ermitteln der Grundfunktion ist, wurde aus den in Tabelle 3.2 ermittelten Daten für die Kurve mit $L = 20$, stellvertretend für alle Graphen, ein Vergleich zu den gegebenen Kurven ange stellt, was in Bild 3.4 zu sehen ist.

Tabelle 3.2 Ergebnisse der Power-Regression

| L | a | b |
|-----|--------|--------|
| 20 | 0,2986 | 0,2278 |
| 40 | 0,2180 | 0,2905 |
| 60 | 0,1749 | 0,3338 |
| 80 | 0,1531 | 0,3590 |
| 100 | 0,1379 | 0,3782 |
| 120 | 0,1199 | 0,4050 |
| 300 | 0,0721 | 0,4959 |

**Bild 3.4** Vergleich der Power-Regression mit der gegebenen Kurve für L = 20

Wie man in der Abbildung 3.4 erkennen kann, handelt es sich bei dem Verfahren der Power-Regression zum Ermitteln der Grundform für die Ausgangsgleichung ebenfalls nicht um den richtigen Lösungsansatz. Dies ist unter anderem daran zu erkennen, dass die ermittelte Funktion und die gegebene Kurve in wenigen Punkten übereinstimmen.

3.3.3 Beschränktes Wachstum

Da beide vorangegangenen Lösungsansätze nicht den gewünschten Erfolg brachten und damit keine Grundform für die Ausgangsgleichung gefunden werden konnte, musste sich der Problematik auf andere Weise genähert werden. Eine weitere Internetrecherche brachte das Thema „beschränktes Wachstum“ hervor. Diese Art der Kurven passt gut mit den gegebenen Kurven in Form und Verlauf zusammen.

Unter Wachstum versteht man im Allgemeinen den zeitlichen Anstieg einer Messgröße und deshalb kann man Wachstum auch als eine mathematische Ableitung einer Funktion auffassen, die zu jedem Zeitpunkt der Messgröße einen bestimmten Wert zuordnet. Ein Wachstum gilt als beschränktes Wachstum, wenn die momentane Zuwachsrate nicht konstant, sondern

proportional zum Sättigungsmanko ist. Dies kann man mit der Differenzialgleichung 3.4 und der Gleichung 3.5 ausdrücken.

$$f'(x) = k \cdot (S - f(x)) \quad (3.4)$$

$$f(0) = a \quad (3.5)$$

Zur Gleichung 3.4 ist noch zu erläutern, dass das Sättigungsmanko durch $(S - f(x))$ dargestellt wird. Weiterhin wird die Zuwachsrate durch $k \cdot (S - f(x))$ ausgedrückt, S bezeichnet den Sättigungswert und k den Wachstumsfaktor. Die Gleichung 3.5 besagt, dass zu einem bestimmten Startzeitpunkt das Wachstum die Größe a hat.

Wird die Differenzialgleichung 3.4 nun unter Berücksichtigung der Gleichung 3.5 gelöst, so erhält man nach **Zum 2009** die Gleichung 3.6, welche das beschränkte Wachstum beschreibt.

$$f(x) = S - (S - a) \cdot e^{-k \cdot x} \quad (3.6)$$

Angewandt auf das oben genannte Problem kann man die Gleichung 3.6 noch etwas verändern und umstellen. Da die gegebenen Kurven im Koordinatensprung beginnen, kann man sagen, dass die Variable a in diesem Fall immer den Wert 0 hat. Unter Berücksichtigung dieser Aussage ergibt sich durch Umstellen die Gleichung 3.7.

$$f(x) = S(1 - e^{-k \cdot x}) \quad (3.7)$$

Wie in Kapitel 3.1 bereits erwähnt, laufen alle im Ausgangsdiagramm vorgegebenen Kurven ungefähr bei einem y -Wert von 0,9 aus. Setzt man diesen Wert nun in die Gleichung 3.6 für den Sättigungswert S ein, so erhält man die finale Grundform für die gesuchte Ausgangsgleichung, welche die gegebenen Kurvenzüge aus Kapitel 3.2 schon recht gut abbilden kann.

3.4 Anpassung der Ausgangsgleichung

Wenn man sich in dem nächsten Schritt die Gleichung 3.6 noch einmal genau anschaut, stellt man schnell fest, dass die einzige unbekannte Größe in der Gleichung der Parameter k ist. Sämtliche anderen Größen sind bekannt. Um die gegebenen Kurven nun mit Hilfe der im vorangegangenen Kapitel ermittelten Grundform darstellen zu können ist es notwendig, den Wachstumsfaktor k für sämtliche Kurvenzüge zu bestimmen. Dafür muss die Gleichung 3.7 nun nach k umgestellt werden.

$$k = -\frac{\ln\left(-\frac{y}{S} + 1\right)}{x} \quad (3.8)$$

Weiterhin braucht man für den Rechenverlauf ein paar signifikante Punkte. Die Tabelle 3.3 zeigt die verwendeten Punkte.

Tabelle 3.3 Für die Berechnung verwendete Wertepaare

| L | x | y |
|-----|-----|-----|
| 20 | 40 | 0,8 |
| 60 | 60 | 0,8 |
| 120 | 80 | 0,8 |
| 200 | 100 | 0,8 |
| 300 | 120 | 0,8 |

Mit Hilfe der Tabelle 3.3 und der Formel 3.8 kann nun der Rechenablauf durchgeführt werden, der an dieser Stelle nur exemplarisch für die Kurve L = 20 durchgeführt wurde.

$$S = 0,9 \quad x = 40 \quad y = 0,8$$

$$k = -\frac{\ln\left(-\frac{0,8}{0,9} + 1\right)}{40}$$

$$k = -\frac{\ln\left(\frac{1}{9}\right)}{40} \quad (3.9)$$

$$k = \frac{\ln(9)}{40}$$

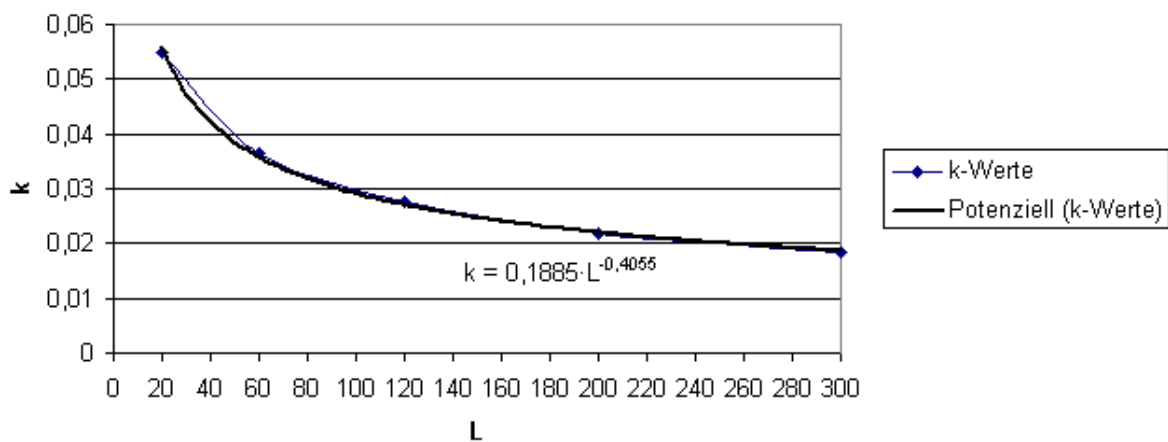
$$k = \frac{\ln(3)}{20}$$

Die Berechnung wurde anschließend noch für alle anderen ausstehenden Kurven gemacht. Diese Ergebnisse finden sich in Tabelle 3.4 wieder.

Da für jede der vorgegebenen Kurven ein anderer Wachstumsfaktor k entsteht, es aber am Ende nur eine gemeinsame Funktion geben soll, mit der das am Anfang gegebene Diagramm bestmöglich abgebildet werden kann, muss eine weitere Funktion gefunden werden, die den Parameter k in Abhängigkeit von L darstellt. Dafür wurden die errechneten k -Werte aus Tabelle 3.4 in einem Diagramm aufgetragen, was man Bild 3.5 entnehmen kann. Aus dieser entstandenen Kurve wurde dann mit Hilfe der Trendlinien-Funktion in Microsoft Excel eine Funktion gefunden, die den Parameter k in Abhängigkeit von dem Parameter L beschreibt. (siehe Bild 3.5) Da eine lineare Trendlinie den Verlauf des entstandenen Graphen nicht ausreichend genau beschreibt, wurde die Trendlinie vom Trend- bzw. Regressionstyp „Potenziell“ gewählt. Diese beschreibt die Kurve sehr gut. Weiterhin wurde ausgewählt, dass die Trendlinie mit Gleichung im Diagramm abgebildet werden soll.

Tabelle 3.4 Berechnete Wachstumsfaktoren k

| L | x | y | k | k |
|-----|-----|-----|---------------------|---------|
| 20 | 40 | 0,8 | $\frac{\ln(3)}{20}$ | 0,05493 |
| 60 | 60 | 0,8 | $\frac{\ln(3)}{30}$ | 0,03662 |
| 120 | 80 | 0,8 | $\frac{\ln(3)}{40}$ | 0,02747 |
| 200 | 100 | 0,8 | $\frac{\ln(3)}{50}$ | 0,02197 |
| 300 | 120 | 0,8 | $\frac{\ln(3)}{60}$ | 0,01831 |

**Bild 3.5** Kurve errechneter k-Werte über L mit Trendlinie und Funktion

Wie man im Bild 3.5 gut erkennen kann, wird der Wachstumsfaktor k in Abhängigkeit von dem Parameter L am besten durch die Gleichung 3.10 ausgedrückt.

$$k = 0,1885 \cdot L^{-0,4055} \quad (3.10)$$

Setzt man abschließend die Funktion 3.10 nun noch in die Gleichung 3.7 ein, so erhält man die finale Gleichung,

$$y = f(x) = 0,9 \cdot (1 - e^{-(0,1885 \cdot L^{-0,4055}) \cdot x}) \quad (3.11)$$

um sämtliche Kurven aus der anfangs gegebenen Funktionsschar aus dem Diagramm darstellen zu können.

Um die entstandene Funktion auf ihre Richtigkeit prüfen zu können, wurde daraufhin ein Diagramm erstellt, welches die anfangs gemessenen Kurven und die aus der Gleichung 3.11 gewonnenen Kurven vergleicht. Dies kann man in Bild 3.6 sehen. Dabei ist noch anzumerken,

dass die Kurven, welche aus der Formel zu beschränktem Wachstum entstanden sind, durch das Kürzel „bw“ am Ende gekennzeichnet sind.

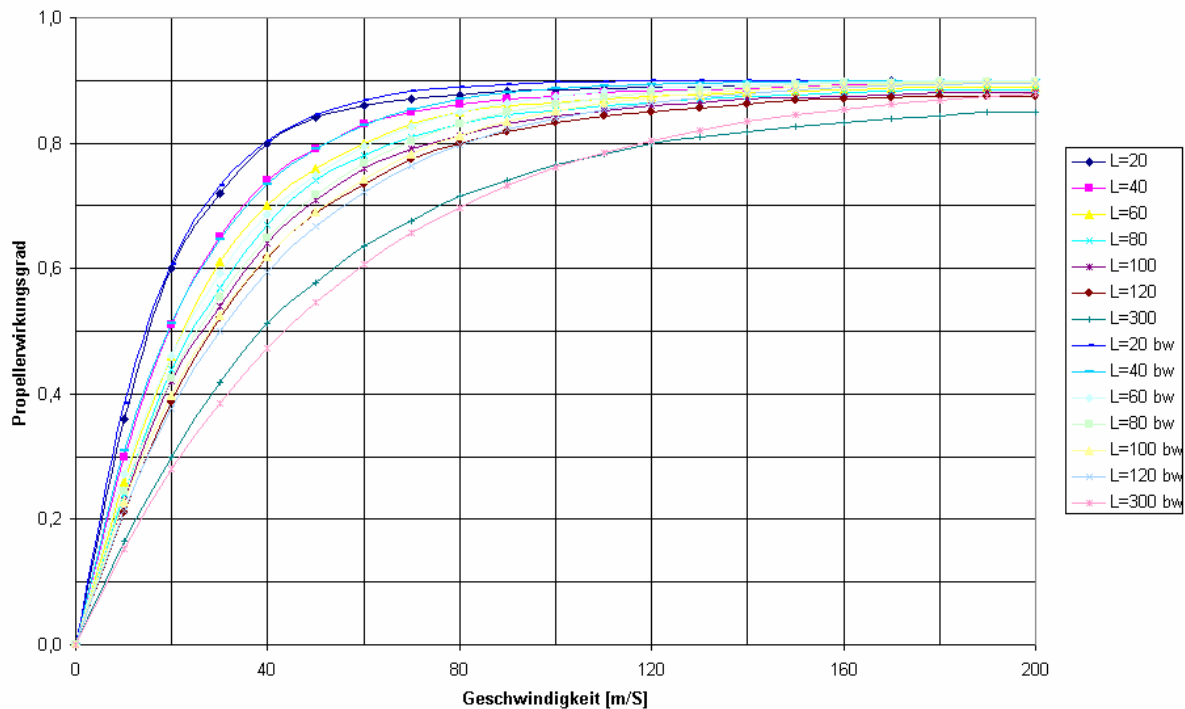


Bild 3.6 Vergleichsdiagramm gemessener zu errechneter Propellerwirkungsgrade

Vergleicht man die beiden Kurven in diesem Diagramm, so kann man feststellen, dass die berechnete Kurve recht gut die gemessene Kurve widerspiegelt. Dies trifft für Kurven kleineren Parameters L zu, zum Beispiel $L = 20$. Für die Kurven größeren Parameters L , beispielsweise $L = 300$, entstehen zwischen der berechneten Kurve und der gemessenen Kurve kleinere Differenzen. Am Anfang sind die berechneten Propellerwirkungsgrade kleiner als die gemessenen. Für den Bereich größerer Geschwindigkeiten ist das genau umgedreht, wobei die berechneten Werte größer als die gemessenen Wirkungsgrade sind. Aufgrund dieser Abweichung kann man sagen, dass sich die Gleichung 3.11 wohl doch nicht so gut zum Auswerten des Propellerwirkungsgrades eignet. Sie bildet aber eine gute Grundlage dafür.

3.5 Weitere Verbesserung der Propellerwirkungsgrad-Funktion

Im weiteren Verlauf dieses Projektes wurde noch einmal versucht, die Propellerwirkungsgrad-Funktion weiter den gegebenen Kurven vom Anfang anzupassen. Wie im vorangegangenen Kapitel bereits beschrieben wurde, sind für kleine Geschwindigkeiten die berechneten Wirkungsgrade kleiner als die gemessenen Wirkungsgrade. Dies ändert sich für größere Geschwindigkeiten, wobei dann die gemessenen Wirkungsgrade kleiner sind als die berechneten Wirkungsgrade. Es scheint fast so, als ob die berechneten Kurven gegenüber den ver-

messenen Kurven um einige Grad verdreht sind. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass der Sättigungswert S im vorhergehenden Kapitel über alle Kurven als konstant angenommen wurde. Der Sättigungswert S beschreibt bei einem Graphen den Bereich, dem sich die Kurve zum Ende hin annähert. Es ist also als eine Art Grenzwert zu verstehen. Schaut man sich nun das Ausgangsdiagramm Bild 3.1 noch einmal genau an, so kann man feststellen, dass der Sättigungswert S für die Kurve $L = 20$ wirklich ungefähr 0,9 beträgt. Beim Betrachten des Graphen $L = 300$ muss man nun aber leider feststellen, dass der Sättigungswert auf den Wert 0,85 gefallen ist. Dies könnte der Grund dafür sein, dass die berechneten Kurven für größere Parameter L verdreht erscheinen, da diese alle mit einem Sättigungswert von 0,9 berechnet worden sind.

Deshalb wurde in einem darauffolgenden Schritt versucht, eine Funktion für den Sättigungswert S in Abhängigkeit von dem Parameter L zu finden. Dazu war eine Wertetabelle nötig, welche die Parameter L und die gemessenen Sättigungswerte S beinhaltet, was in Tabelle 3.5 zu erkennen ist.

Tabelle 3.5 Wertetabelle der Parameter L und S

| L | S |
|----------|----------|
| 20 | 0,8999 |
| 40 | 0,8950 |
| 60 | 0,8900 |
| 80 | 0,8850 |
| 100 | 0,8800 |
| 120 | 0,8750 |
| 300 | 0,8500 |

Aus dieser Wertetabelle wurde dann im Anschluss ein Diagramm erstellt. Diese graphische Darstellung galt als Grundlage, um eine Trendlinie an den vorher entstandenen Graphen anzulegen. Die Ausgleichsgerade wurde vom Typ Linear gewählt und außerdem so eingestellt, dass die Gleichung der Trendlinie im Diagramm mit angezeigt wird. Das Ergebnis ist im Bild 3.7 zu sehen. Die ermittelte Funktion der Ausgleichsgeraden lautet

$$S = -0,0002 \cdot L + 0,9001 \quad (3.12)$$

und beschreibt direkt den Zusammenhang zwischen dem Sättigungswert S und dem Parameter L .

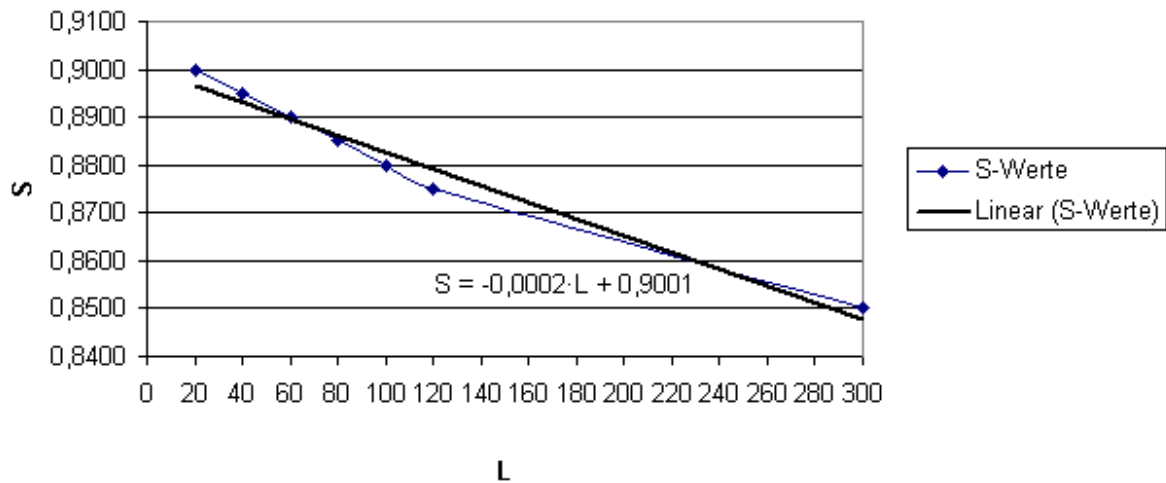


Bild 3.7 Kurve gemessener Sättigungswerte S über L mit Trendlinie und Funktion

Als eine nächste Maßnahme wurde diese Funktion in die Gleichung des beschränkten Wachstums (Gleichung 3.7) integriert. Da sich nun aber der Sättigungswert S mit jeder Kurve ändert, ändern sich auch die im Kapitel 3.4 berechneten Wachstumsfaktoren k (vergl. Tabelle 3.4) jeder Kurve. Deshalb müssen diese erneut bestimmt werden. Dabei wird, wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben, die Gleichung 3.9 herangezogen. Die Tabelle 3.6 zeigt die Ergebnisse der Berechnung.

Tabelle 3.6 Neu berechnete Wachstumsfaktoren k

| L | S | x | y | k |
|-----|--------|-----|-----|---------|
| 20 | 0,8961 | 40 | 0,8 | 0,05582 |
| 60 | 0,8881 | 60 | 0,8 | 0,03851 |
| 120 | 0,8761 | 80 | 0,8 | 0,03054 |
| 200 | 0,8601 | 100 | 0,8 | 0,02661 |
| 300 | 0,8401 | 120 | 0,8 | 0,02535 |

Sind die neu berechneten Wachstumsfaktoren k bekannt, so können diese und die Parameter L in ein gemeinsames Diagramm aufgetragen werden, aus welchem wieder eine Trendfunktion bestimmt werden kann. Das Bild 3.8 zeigt die Ergebnisse und die Funktion der Ausgleichgeraden, welche auch durch Gleichung 3.13 beschrieben wird.

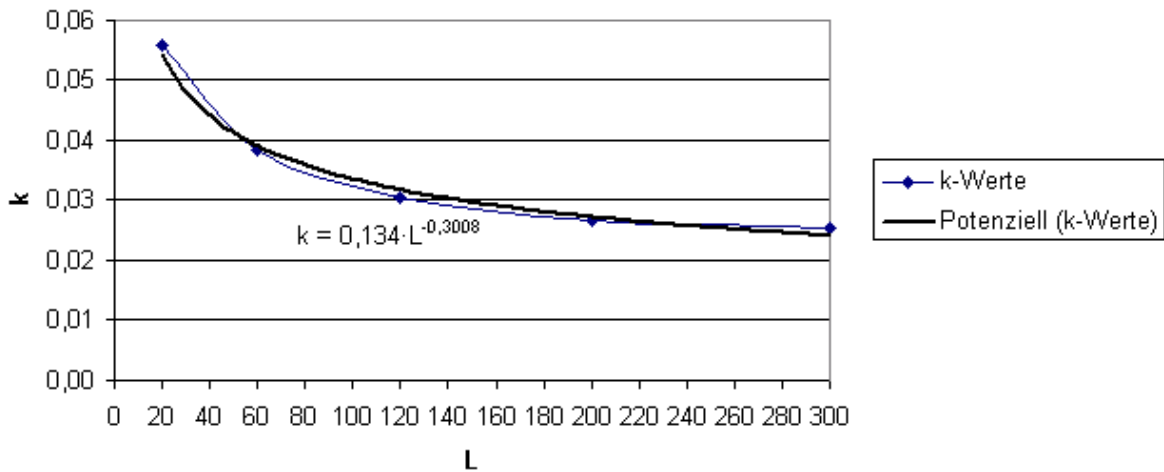


Bild 3.8 Kurve neu errechneter k-Werte über L mit Trendlinie und Funktion

$$k = 0,134 \cdot L^{-0,3008} \quad (3.13)$$

Wird diese Gleichung und die Gleichung 3.12 nun in die Funktion eingebaut, die das beschränkte Wachstum beschreibt, so erhält man Gleichung 3.14.

$$y = f(x) = (-0,0002 \cdot L + 0,9001) \cdot (1 - e^{-(0,134 \cdot L^{-0,3008}) \cdot x}) \quad (3.14)$$

Um die Richtigkeit der gewonnenen Funktion überprüfen zu können, wurden die gemessenen Kurven und die aus Gleichung 3.14 berechneten Kurven abschließend noch einmal in einer grafischen Darstellung zusammengefasst, was man in Bild 3.9 erkennen kann.

Bei diesem Diagramm ist klar zu erkennen, dass die Kurvenscharen noch besser zusammenpassen. Die Graphen kleineren Parameters L passten schon bei der ersten Berechnung nach Gleichung 3.11 gut zusammen. Doch bei den Kurven größeren Parameters L wurde eine eindeutige Verbesserung der Genauigkeit erzielt. Diese Graphen passen jetzt auch gut übereinander. Kleinere Abweichungen liegen nun im Bereich der Messungenauigkeit des Anfangs, als die Kurven von Hand vermessen wurden. Insgesamt ist die Berechnung der Graphen nach Gleichung 3.14 genauer als die Berechnung nach Gleichung 3.11. Deshalb wurde diese Funktion auch in die PreSTo Anwendung eingepflegt und findet darin ab sofort Verwendung.

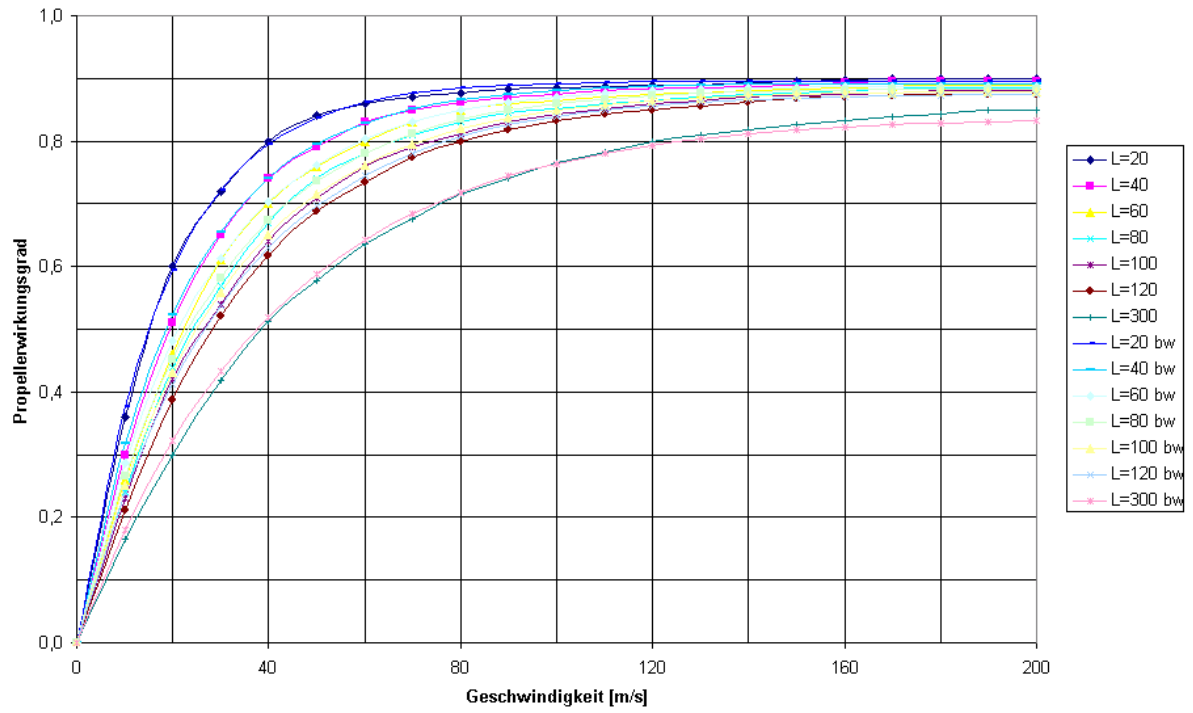


Bild 3.9 Neues Vergleichsdiagramm gemessener zu errechneter Propellerwirkungsgrade

4 Umgestaltung und Erweiterung von PreSTo

Der dritte Teil des Projektes beschäftigt sich mit der Umgestaltung und der Erweiterung des PreSTo Tools. Wie in den vorhergehenden Kapiteln bereits beschrieben wurde, war die Anwendung nur für die Vorentwurfsauslegung von strahlgetriebenen Flugzeugen gedacht. Das sollte aber im Rahmen dieser Projektarbeit geändert werden, da es für den effizienten Entwurf eines neuen Flugzeugmusters elementar ist, auch die Gruppe der Turboprop Flugzeuge zu betrachten. Weiterhin sollte die Anwendung um eine DOC Berechnungsmethode erweitert werden. Ein Flugzeugentwurf, unter Berücksichtigung der direkten Betriebskosten, ist gerade in der heutigen Zeit von enormer Bedeutung, da die Wirtschaftlichkeit eines Flugzeuges das Hauptkriterium für eine Fluggesellschaft ist. Als einen weiteren Punkt galt es, das „Look and Feel“ des Programms zu verändern, da es dem Benutzer bei der Anwendung des Tools so leicht wie möglich gemacht werden soll.

Als Arbeitsgrundlage dienten bereits von früheren Studenten getätigte Ausarbeitungen. Diese Vorarbeiten wurden auf ihre Integrationsmöglichkeiten hin untersucht und falls möglich in PreSTo integriert.

4.1 Einarbeitung der Turboprop-Berechnungsmethode

Als Grundlage für die Einarbeitung der Berechnungsmethode für Turboprop-Flugzeuge gilt die Arbeit mit dem Titel „Aircraft Design Studies Based on the ATR 72“ von Mihaela Niță. Diese Arbeit ist frei zugänglich und über Prof. Dr.-Ing. Scholz Internetseite (<http://www.profscholz.de>) einsehbar. Aus dieser Arbeit entstand, unter Vorlage der von Prof. Dr.-Ing. Scholz erstellten Datei „A-C_Preliminary_Sizing.xls“, eine neue Excel-Datei namens „A-C_Preliminary_Sizing_Prop.xls“, mit welcher man schon Propellerflugzeuge vorauslegen könnte. Diese Datei ist auch unter der oben genannten Internetseite abrufbar. Da beide Dateien aufeinander aufbauen, sind sie im Aussehen und in ihrer Bedienbarkeit sehr ähnlich. Bei der Propeller-Version wurden nur einige neue propellerspezifische Arbeitsblätter hinzugefügt. Diese beiden Dateien bilden den fachlichen und mathematischen Hintergrund der neuen PreSTo Tool Anwendung.

Im Zuge dieses Projektes wurde das Programm PreSTo völlig neu erstellt. Am Anfang stand nur eine neue, leere Excel-Arbeitsmappe. Diese Datei wurde nach und nach unter Zuhilfenahme der Dateien „A-C_Preliminary_Sizing.xls“ und „A-C_Preliminary_Sizing_Prop.xls“ neu aufgebaut, wobei die Berechnungsabläufe und –verfahren einfach übernommen wurden. Ebenfalls übernommen wurden die einzelnen Rechenabschnitte, wobei auch neue Bereiche hinzugefügt wurden. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

1. General preliminary sizing data

2. Approach
3. Landing
4. Take-off
5. 2nd Segment
6. Missed approach
7. Max. glide ratio in cruise
8. Parameter
9. Cruise speed iteration
10. Preliminary sizing
11. DOC – Direct Operating Costs

Im ersten Abschnitt werden zu Beginn der Vorentwurfsberechnung generelle Parameter vom Benutzer abgefragt. Dies soll als eine Art Einleitung in den Prozess „Flugzeugentwurf“ gelten. Dabei erschien es als bedeutend, alle wichtigen Daten gleich zu Beginn abzufragen und nicht wie früher erst im Laufe der Berechnung. Aufgrund dieser Tatsache kann davon ausgegangen werden, dass die Aufmerksamkeit des Anwenders voll und ganz auf den Schlüsselparametern des Flugzeugvorentwurfs liegt. Im zweiten Abschnitt geht es ausschließlich um das Thema „Approach“. Hier hat der Anwender die Möglichkeit, seine Berechnungen entweder auf Basis einer gegebenen Landestrecke oder auf einer gegebenen Anfluggeschwindigkeit zu erstellen. Der dritte Bereich im PreSTo Tool beschäftigt sich mit „Landing“ und der vierte Teil beinhaltet alles zur Thematik „Take-off“. Die Flugphase „2nd Segment“ wird im fünften Teil der Anwendung abgearbeitet. Als Ergebnis dieses Abschnittes und des vorhergehenden Teils bekommt der User jeweils ein „Power-to-weight ratio“. Ein weiteres „Power-to-weight ratio“ ist das Ergebnis des sechsten Bereiches „Missed approach“. Der siebte Part handelt von dem „Max. glide ratio“ bei Reisegeschwindigkeit, wobei als Ergebnis eine Gleitzahl steht. Die achte Ebene „Parameter“ und die neunte Ebene „Cruise speed iteration“ sammeln die letzten benötigten Werte für den abschließenden „Preliminary sizing“ Abschnitt. Dieser berechnet und bewertet den kompletten Flugzeugentwurf unter Berücksichtigung aller vorangegangenen Abschnitte. Ein vollkommen neuer Teil in PreSTo ist im Abschnitt elf „DOC – Direct Operating Costs“ zu finden. Hierbei geht es darum, eine Entwurfsstudie auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu untersuchen. Abschließend ist in dem Arbeitsblatt „preliminary sizing“ der Punkt „Check of assumptions“ aufgeführt, mit dessen Hilfe man sehen kann, ob der berechnete Flugzeugentwurf funktioniert oder nicht.

Weitere Arbeitsblätter in der PreSTo Anwendung sind neben dem eben beschriebenen Blatt „preliminary sizing“ die Blätter „matching chart“, „statistics“, „constants“ und „calculation“. Die Ergebnisse vom ersten Worksheet werden in dem Entwurfsdiagramm namens „matching chart“ grafisch dargestellt. Dabei „wird ein zweidimensionales (also "ebenes") Optimierungsproblem grafisch gelöst.“ (Scholz 1999) Ein Entwurf ist als optimal anzusehen, wenn ein möglichst geringes Schub-Gewichtsverhältnis und eine möglichst hohe Flächenbelastung erreicht wird. Im Grunde heißt das nichts anderes, als dass sich der Entwurfspunkt in dem Entwurfsdiagramm möglichst weit „unten“ und möglichst weit „rechts“ zwischen den Kurven befinden soll. Das Bild 4.1 zeigt ein aus PreSTo entnommenes Entwurfsdiagramm in dem auch

der optimale Entwurfspunkt gut zu erkennen ist. Dieser liegt in dem Bild zwischen der gelben „Take-off“-Kurve, der hellblauen „Landing“-Kurve und der magentafarbenen „Cruise“-Kurve.

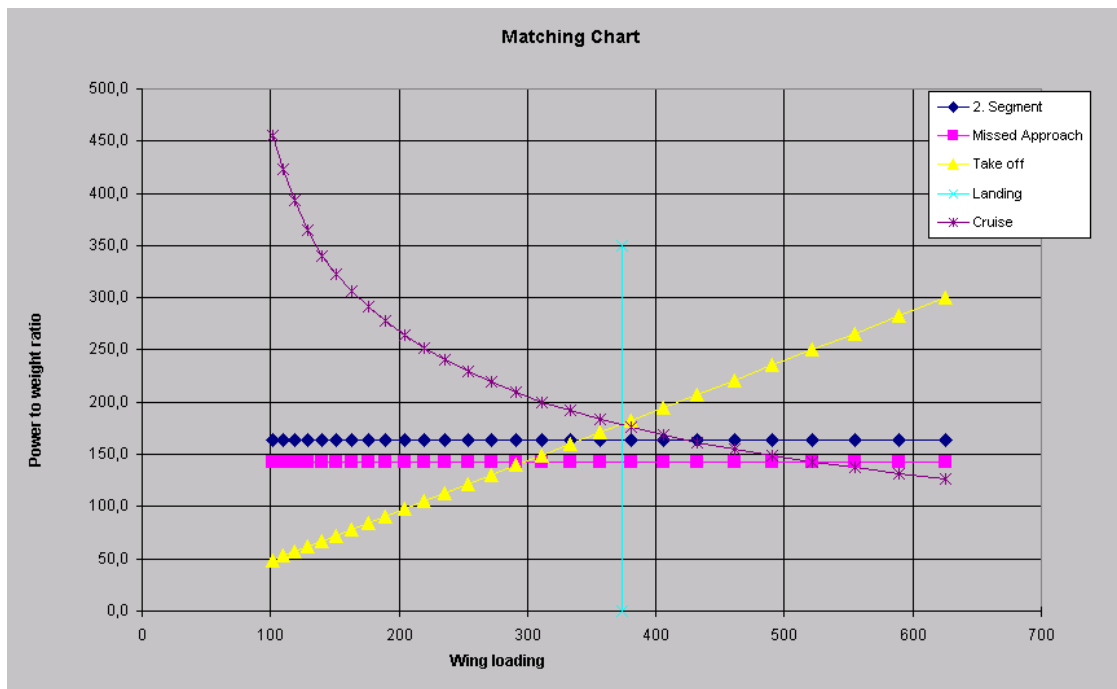


Bild 4.1 optimales Entwurfsdiagramm aus PreSTo

Des Weiteren wurde in PreSTo ein „constants“-Arbeitsblatt eingefügt. Dieses beinhaltet alle für die Berechnung benötigten Konstanten. Da diese unveränderlichen Werte nun nicht mehr im allgemeinen Berechnungsablauf auftauchen, erhöht sich die Übersichtlichkeit für den Benutzer weiter, was auch dem Look and Feel des Programmes zugutekommt. Als Empfehlung soll an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass jegliche Veränderungen an dem „constants“-Arbeitsblatt einen Einfluss auf den korrekten Rechenablauf des Tools hat. Wird hierbei etwas verändert, so kann ein richtiges Ergebnis des Flugzeugvorentwurfes nicht garantiert werden.

Weiterhin wurden sämtliche größere Berechnungen aus dem Berechnungsablauf entfernt, die einfach zu viel Platz in der alten PreSTo Version in Anspruch nahmen. Daraus entstand ein neues Arbeitsblatt namens „calculation“. Dieses Worksheet beinhaltet Berechnungen aus dem „preliminary sizing“-Blatt, welche zur grafischen Darstellung im Entwurfsdiagramm aufbereitet werden müssen. Diese Aufbereitung erfolgt genau in diesem Worksheet.

Auf das Tabellenblatt mit dem Namen „statistics“ wird im Kapitel 4.3 genauer eingegangen.

4.2 Anpassung des Layouts

Eine Vorgabe zu dem Layout wurde der Arbeit von Steven Coene mit dem Titel „Conceptual Design of Wings and Tailplanes – Methods, Statistics, Tool Setup“ entnommen. Diese Arbeit

beinhaltet unter anderem eine Excel-Datei zur Berechnung von Flügeln und Leitwerken mit dem Namen „wing - Empennage - Steven Coene.xls“. Das Layout dieser Datei wird in Bild 4.2 gezeigt und gilt als Grundlage für alle weiteren hier getätigten Arbeiten.

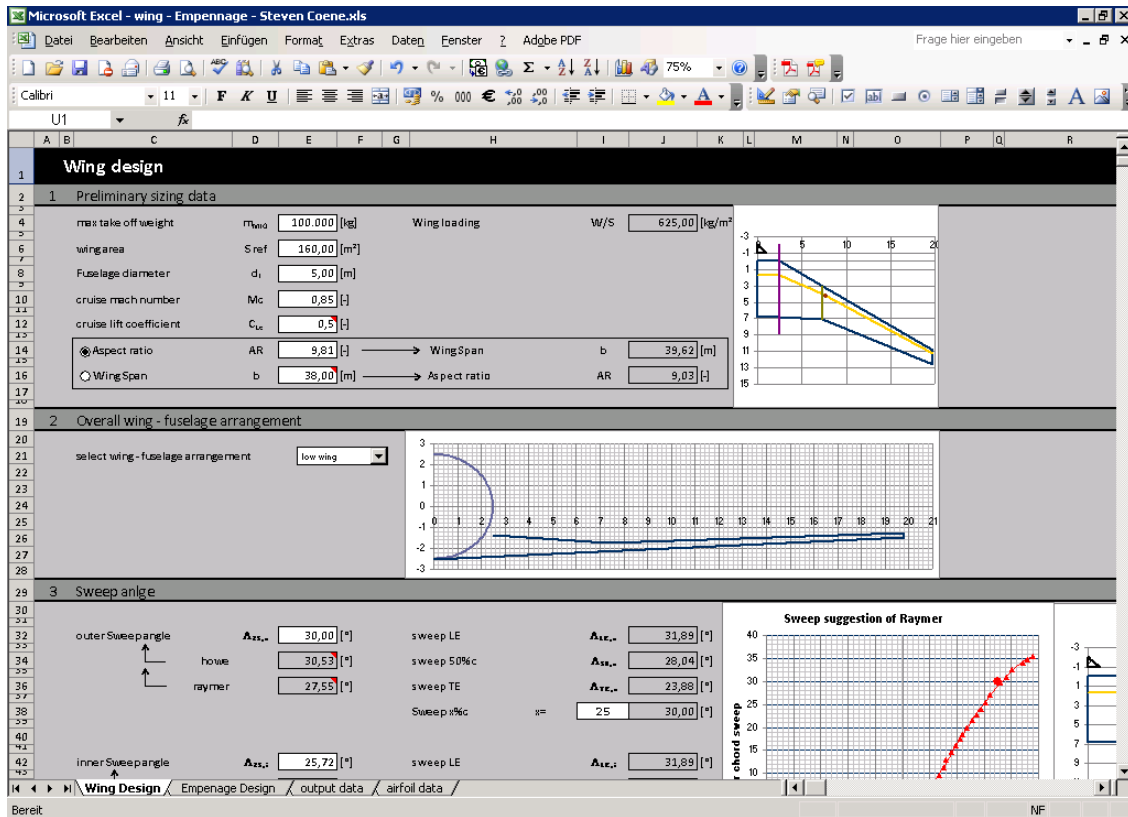


Bild 4.2 Layoutvorgabe

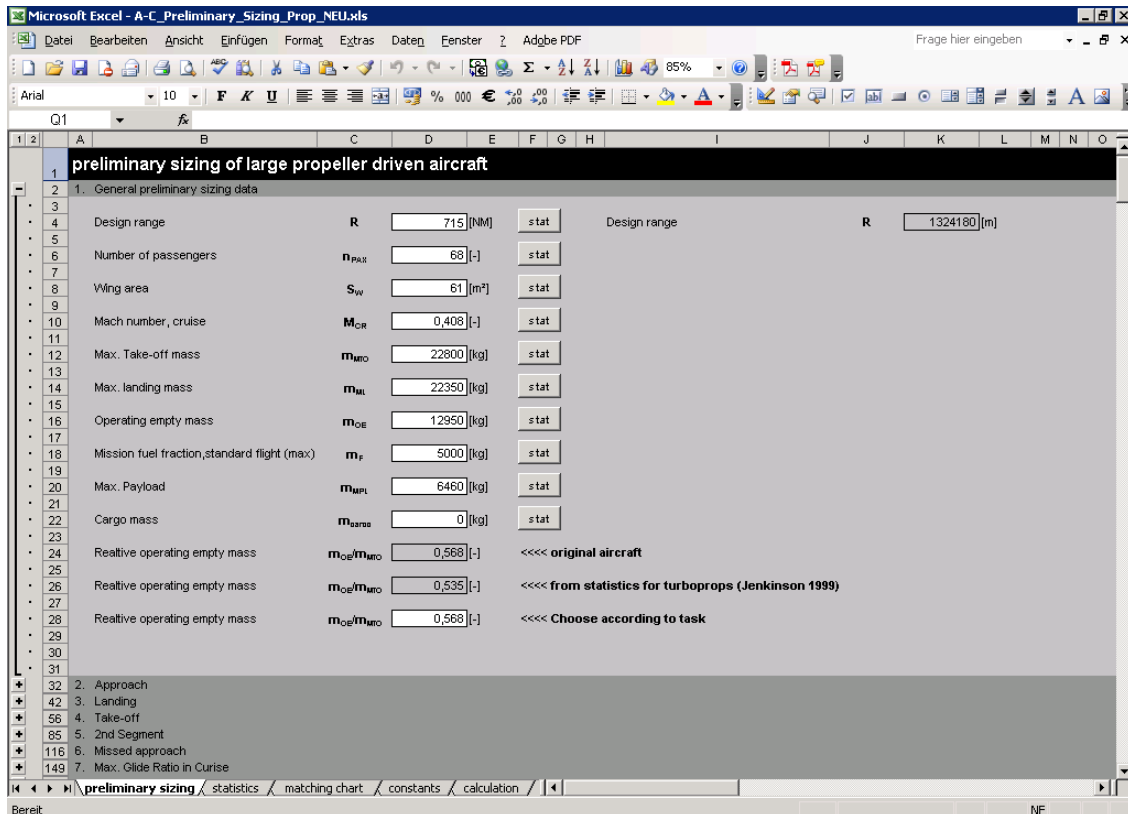


Bild 4.3 Übersicht des neuen PreSto Layouts

Das Bild 4.3 zeigt das neue PreSTo Tool Layout, welches das Ergebnis dieser Projektarbeit darstellt. Die Ähnlichkeit zwischen Bild 4.2 und Bild 4.3 ist klar zu erkennen und zeigt, dass das neue Layout auf dem von Steven Coene aufbaut.

4.2.1 Überschriften, Abschnittsüberschriften und Berechnungsabschnitte

Das PreSTo Layout besteht aus 3 verschiedenen Grundelementen:

- Hauptüberschrift
- Abschnittsüberschrift
- Berechnungsabschnitt

Diese Grundelemente können teilweise auch mehrfach innerhalb des Programmes Verwendung finden. Die Hauptüberschrift gilt als Einleitung in das PreSTo Tool und kommt nur einmal in der Tabelle vor. Die Formatierung dieser ersten Zeile kann der Tabelle 4.1 entnommen werden. Die Abschnittsüberschrift ist ein Element, das mehrfach vorhanden ist. Diese leitet in den Berechnungsabschnitt ein und fasst die folgende Problematik in einem Wort zusammen. So bekommt der Anwender ein Gefühl dafür, was ihn im kommenden Abschnitt erwartet. Die Formatierung ist ebenfalls wieder in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Der größte Teil der Anwendung ist in Berechnungsabschnitte eingeteilt. Diese Teile beinhalten sämtliche Parameterbezeichnungen, Formelzeichen, Berechnungsfelder, Einheiten, Steuerbuttons und vieles mehr und können mehrfach vorhanden sein. Dies ist auch noch einmal in Bild 4.4 übersichtlich dargestellt.

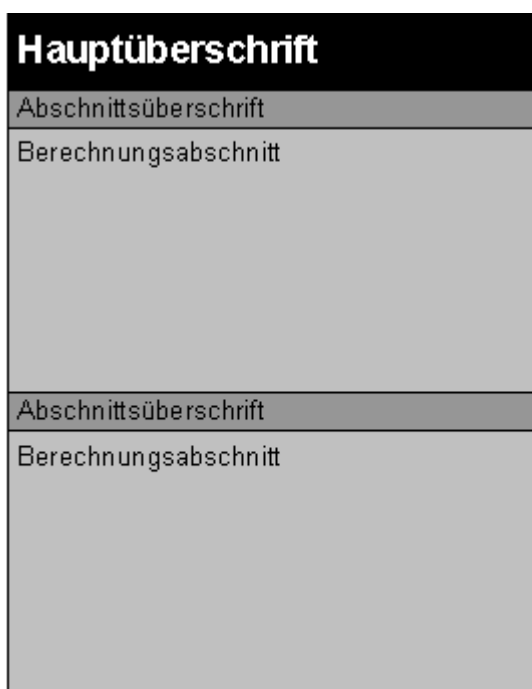


Bild 4.4 Grundlayout bestehend aus Grundelementen

Tabelle 4.1 Formatierung der Grundelemente

| Grundelement | Schriftart | Schriftgrad | Ausrichtung | Hervorhebungen | Schriftfarbe | Füllfarbe | Zeilenhöhe |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| Hauptüberschrift | Arial | 14 | linksbündig | fett | weiß | schwarz | 35 px |
| Abschnittsüberschrift | Arial | 10 | linksbündig | - | schwarz | grau 40% | 18 px |
| Berechnungsabschnitt | Arial | 10 | linksbündig | - | schwarz | grau 25% | 18 px |

4.2.2 Aufbau der Berechnungsabschnitte

Ein Abschnitt, in dem mehrere Berechnungen beispielsweise für eine Flugphase zusammengefasst sind, wird als Berechnungsabschnitt bezeichnet. Diese Segmente sind dabei in zwei Spalten aufgeteilt, was in Bild 4.5 gut zu sehen ist.

preliminary sizing of large propeller driven aircraft

1. General preliminary sizing data
2. Approach

Factor k_{APP} [m/s²]^{0.5}

Given: landing field length s_{LFL} [m] → Approach speed v_{APP} [kt]

Given: approach speed v_{APP} [kt] → Landing field length s_{LFL} [m]

3. Landing

Temperature above ISA (288,15K) ΔT_L [K] → Relative density σ [-]

Factor k_L [kg/m²]

Max. lift coefficient, landing $C_{L,max,L}$ [-]

Mass ratio, landing - take-off m_{ML} / m_{TO} [-] → Wing loading at max. landing mass m_{ML} / S_W [kg/m²]

Wing loading at max. take-off mass m_{MTO} / S_W [kg/m²]

4. Take-off
5. 2nd Segment
6. Missed approach

Bild 4.5 Aufbau eines Berechnungsabschnittes

Es wurde als Grundphilosophie versucht, in der linken Spalte alle Eingaben und festen Werte zu positionieren und in der rechten Spalte alle Berechnungen und Ergebnisse von Berechnungen anzuordnen. Dies soll die Übersichtlichkeit und den Anwendungskomfort für den Benutzer verbessern. Der Pfeil zwischen den beiden Spalten weist auf eine Berechnung hin. Er drückt aus, dass die Werte und Parameter aus der linken Spalte in ein Ergebnis auf der rechten Seite einfließen. Natürlich ist es für die komplette Anwendung nicht immer möglich gewesen diese Einteilung beizubehalten, da es manchmal aufgrund der Eingabereihenfolge notwendig war, den einen oder anderen Wert an eine andere Stelle zu platzieren.

4.2.3 Inhalt der Berechnungsabschnitte

Wie man in den Bildern 4.3 und 4.5 auch gut erkennen kann, sind die Spalten links und rechts gleich aufgebaut. Beide Spalten setzen sich aus 4 nebeneinander liegenden Zellen zusammen. Diese sind:

- Parameterbezeichnung
- Formelzeichen
- Ein- bzw. Ausgabefeld
- Einheit

Unter der Parameterbezeichnung versteht man einen kurzen, ausgeschriebenen Begriff zum Verständnis des darauffolgend einzugebenden Parameters. Das Formelzeichen hat die Aufgabe, diesen betroffenen Wert qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Um die Aufmerksamkeit des Benutzers auf sich zu ziehen, wurde das Formelzeichen fett formatiert. Das Eingabefeld dient dazu, den für die Berechnung benötigten Parameter aufzunehmen. Dem entgegen steht das Ausgabefeld. Dieser Platzhalter dient zur Ausgabe bzw. Anzeige errechneter oder fest vorgegebener Werte. Hervorgehoben werden diese beiden Arten von Feldern durch eine schwarze, einfache, 4-seitige Umrahmung. Dabei ist noch zu betonen, dass Eingabefelder generell einen weißen und Ausgabefelder einen schwarzen Zellenhintergrund haben. In der darauffolgenden Zelle befindet sich die Einheit des dazugehörigen Wertes in eckigen Klammern. Es kann vorkommen, dass im Anschluss daran noch Hinweise oder Eingabebuttens platziert sind. Hinweise werden durch vier Kleinerzeichen (<<<<) eingeleitet und geben Hilfestellungen bei diffizilen Punkten während der Berechnung. Die Formatierung aller dieser Elemente kann der Tabelle 4.2 entnommen werden.

Tabelle 4.2 Formatierung der Berechnungsabschnitt-Elemente

| Grundelement | Schriftart | Schriftgrad | Ausrichtung | Hervorhebungen | Schriftfarbe | Füllfarbe | Zeilenhöhe |
|----------------------|------------|-------------|--------------|---|--------------|-------------|------------|
| Parameterbezeichnung | Arial | 10 | linksbündig | - | schwarz | grau 25% | 18 px |
| Formelzeichen | Arial | 10 | zentriert | fett | schwarz | grau 25% | 18 px |
| Eingabefeld | Arial | 10 | rechtsbündig | Zelle 4-seitig einfach gerahmt schwarz | schwarz | weiß | 18 px |
| Ausgabefeld | Arial | 10 | rechtsbündig | Zelle 4-seitig einfach gerahmt schwarz | schwarz | grau 25% | 18 px |
| Einheit | Arial | 10 | linksbündig | in eckigen Klammern [] | schwarz | grau 25% | 18 px |
| Hinweis | Arial | 10 | linksbündig | fett mit <<<< eingeleitet | schwarz | grau 25% | 18 px |

4.2.4 Gruppierung der Berechnungsabschnitte

Um die Übersichtlichkeit in dem PreSTo Programm zu erhöhen, wurden die einzelnen Berechnungsabschnitte in Microsoft Excel gruppiert, was man in Bild 4.6 wiedererkennen kann. Der Vorteil dieser Gruppierung ist, dass man bei der Eingabe gerade nicht benötigte Abschnitte einfach ausblenden kann und somit nur das Wesentliche auf dem Bildschirm hat. Weiterhin verkleinert man mit dem Ausblenden der Details den Scroll-Bereich, was dann sinnvoll ist, wenn man beispielsweise ganz am Ende der Tabelle den Punkt „Check of assumptions“ einsehen möchte. Außerdem ist es ratsam Detailbereiche auszublenden, wenn man Beziehungen zwischen zwei verschiedenen Berechnungsabschnitten nachvollziehen will und diese sich nicht direkt nebeneinander befinden. In diesem speziellen Fall erspart man sich einen erheblichen Scroll-Aufwand.

| | A | B | C | D | E | F |
|-----|----|--|-------------------|------------------------------------|---------|---|
| 1 | | preliminary sizing of large propeller driven aircraft | | | | |
| 2 | 1. | General preliminary sizing data | | | | |
| 32 | 2. | Approach | | | | |
| 42 | 3. | Landing | | | | |
| 43 | | | | | | |
| 44 | | Temperature above ISA (288,15K) | ΔT_L | <input type="text" value="0"/> | [K] | |
| 45 | | | | | | |
| 46 | | Factor | k_L | <input type="text" value="0,137"/> | [kg/m³] | |
| 47 | | | | | | |
| 48 | | Max. lift coefficient, landing | $C_{L,max,L}$ | <input type="text" value="2,505"/> | [-] | s |
| 49 | | | | | | |
| 50 | | Mass ratio, landing - take-off | m_{ML} / m_{TO} | <input type="text" value="0,980"/> | [-] | |
| 51 | | | | | | |
| 52 | | | | | | |
| 53 | | | | | | |
| 54 | | | | | | |
| 55 | | | | | | |
| 56 | 4. | Take-off | | | | |
| 85 | 5. | 2nd Segment | | | | |
| 116 | 6. | Missed approach | | | | |
| 149 | 7. | Max. Glide Ratio in Cruise | | | | |

Bild 4.6 Gruppierung der Berechnungsabschnitte in PreSTo

Die Steuerbuttons zum Ein- und Ausblenden eines Berechnungsabschnittes befinden sich auf der linken Seite, wie im Bild 4.6 zu sehen ist. Eine Schaltfläche mit einem Plus (+) blendet einen Detailbereich ein, währenddessen ein Button mit einem Minus (-) einen Detailbereich ausblendet. Die Schaltflächen, welche sich am linken, oberen Rand befinden und mit Eins (1) und Zwei (2) beschriftet sind, haben die Funktion, alle Detailbereiche gleichzeitig entweder ein- oder auszublenden. Dabei blendet der Button mit der Nummer Eins (1) alles aus, während der andere Button (2) alles einblendet. Ein ausklappbarer Bereich ist dabei so aufgebaut, dass ganz oben die Abschnittsüberschrift auf Höhe der Plus-Minus-Steuerbuttons steht. Diese Zeile ist immer sichtbar, egal ob ein Berechnungsabschnitt ein- oder ausgeblendet ist. Auf der linken Seite neben solch einem Berechnungsabschnitt befindet sich ein schwarzer senkrechter Strich. Dieser zeigt an, wie weit sich der Detailbereich erstreckt, indem der Strich am Ende abgewinkelt ist.

Solch ein Detailbereich wird folgendermaßen in Microsoft Excel erstellt. Zuerst werden die zu gruppierenden Zeilen markiert, wobei die Zeile, die die Abschnittsüberschrift enthält, nicht mit markiert werden darf, da diese ja sichtbar bleiben soll. Als nächstes wird unter dem Me-

nüpunkt „Daten“ der Untermenüpunkt „Gruppierung und Gliederung“ aufgerufen, was auch in Bild 4.7 zu erkennen ist. In diesem klickt man nun auf den Menüeintrag „Gruppierung...“, woraufhin der markierte Bereich zusammengefasst wird. Um sicher zu gehen, dass der erstellte Detailbereich genau so aussieht wie in PreSto, muss dieser erst noch den Bedürfnissen angepasst werden. Dazu muss man unter dem Menüpunkt „Daten“ – „Gruppierung und Gliederung“ den Untermenüpunkt „Einstellungen“ anwählen, infolgedessen das Fenster mit den Einstellungen für Detailbereiche erscheint. Dazu siehe Bild 4.8. In diesem Einstellungsfenster ist darauf zu achten, dass der Punkt „Hauptzeilen unter Detaildaten“ nicht angehakt ist. Wird diese Einstellung so bestätigt, erscheint der Detailbereich ebenso wie in PreSto.

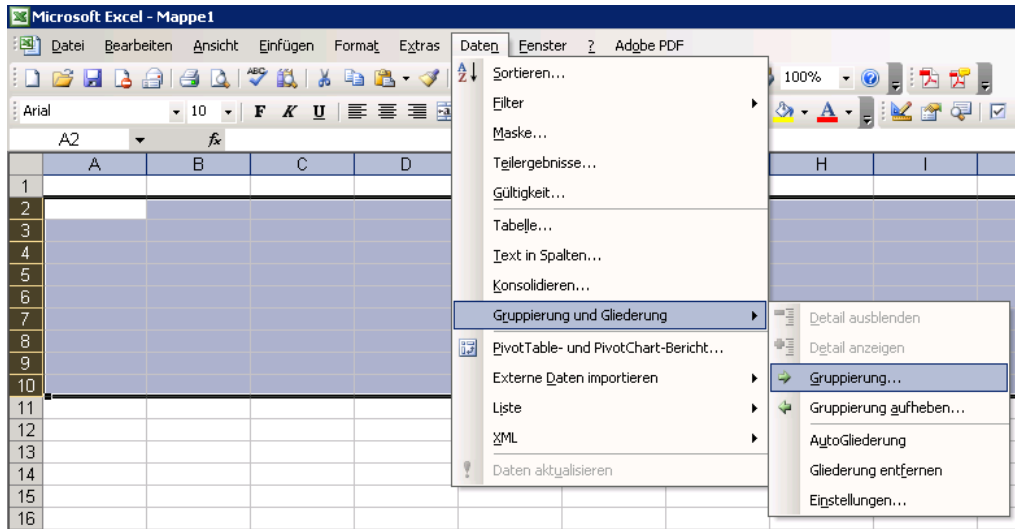


Bild 4.7 Erstellung einer Gruppierung in Microsoft Excel

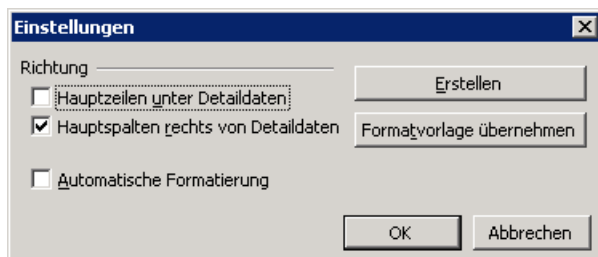


Bild 4.8 Einstellfenster für Detailbereiche

4.2.5 Steuerelemente

In dem PreSto Programm werden zur Steuerung des Berechnungsablaufes Microsoft Excel Steuerelemente verwendet. Diese dienen beispielsweise dazu, Aktionen zu bestätigen, Werte auszuwählen oder Parameter einzugeben. Hinzugefügt werden diese Komponenten über die in MS Excel integrierte „Steuerelement-Toolbox“. Diese erreicht man, indem man unter „Ansicht“ den Untermenüpunkt „Symbolleiste“ auswählt und dort dann die Werkzeugleiste anschaltet. Möchte man nun etwa bereits vorhandene Steuerelemente bearbeiten, so ist darauf zu achten, dass der „Entwurfsmodus“ aktiviert ist. Ist dies so, kann direkt mit der Modifikation

oder der Neuimplementierung von Steuerteilen begonnen werden. In PreSto kommen folgende Steuerelemente zum Einsatz:

- Textfelder
- Kombinationsfelder
- Optionsfelder
- Befehlsschaltflächen

Die Textfelder werden in dem Tool dazu benutzt, um Werte ein- oder auszugeben. Als Textfelder werden auch alle normalen Zellen in der Tabellenanwendung angesehen, welche einfach nur durch einen schlichten Rahmen so aussehen, als ob es richtige Textfelder seien. Weiterhin werden Kombinationsfelder für Auswahlen oder Mehrfachauswahlen benutzt. Beschränkt sich die Auswahl auf eine Entweder-Oder-Auswahl, so kommen meist Optionsfelder zum Einsatz. Bestätigt werden sämtliche Eingaben oder Befehle mit Hilfe der Befehlsschaltflächen. Diese werden umgangssprachlich auch oft als Buttons bezeichnet.

Als ein wichtiger Punkt soll an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass die Objektpositionierung sämtlicher Steuerelemente so einzustellen ist, dass diese immer von der Zellposition und Zellgröße abhängig sind. Dies ist notwendig, da sich im Fall des Ausblendens eines Detailbereiches sonst sämtliche in dem Bereich befindlichen Steuerelemente nicht mit ausblenden lassen würden. Vielmehr würden diese nur nach oben an die Abschnittsüberschrift verschoben und wären weiterhin sichtbar. Die Objektpositionierung eines Steuerelementes erreicht man am einfachsten, indem man mit der rechten Maustaste auf das entsprechende Steuerelement klickt und dann unter „Steuerelement formatieren...“ den Reiter „Eigenschaften“ auswählt. Das alles ist noch einmal in Bild 4.9 zu sehen.

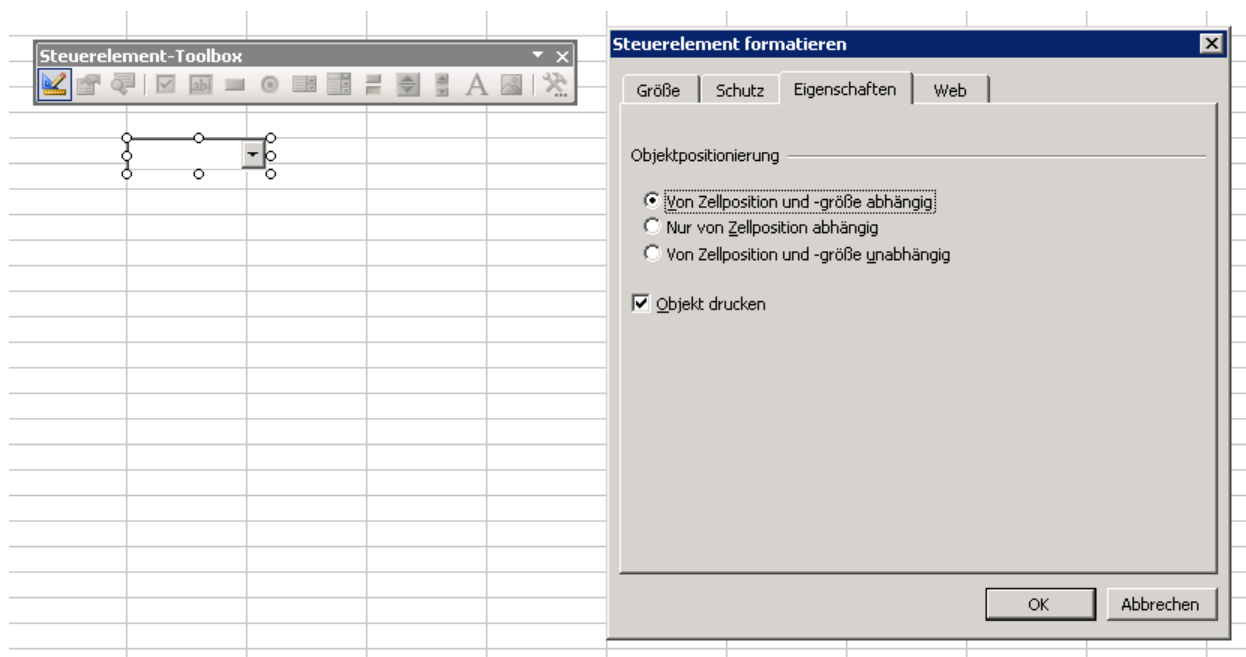


Bild 4.9 Objektpositionierung von Steuerelementen

Als eine Besonderheit der PreSTo Tabelle gilt die Spalte „AA“, welche als eine Art Button Control Spalte verwendet wird. Dabei ist diese Spalte für den normalen Benutzer nicht zu sehen, da sie sich einfach zu weit rechts befindet. Diese Spalte hat die Funktion, alle über die Steuerelemente getätigten Einstellungen zwischen zu speichern. Wählt man zum Beispiel in einem Kombinationsfeld einen bestimmten Wert aus, so muss diese Auswahl irgendwo gepuffert werden. Dies geschieht in eben genannter Spalte. Wird nun ein Wert aus einer Mehrfachauswahl selektiert, so muss dieser auch weiterverarbeitet werden. Dazu gibt es in PreSTo die Spalten „X“, „Y“ und „Z“, die als Arbeitsspalten bezeichnet werden. Diese Spalten sind ebenfalls für den Normalbenutzer nicht sichtbar. Sie beinhalten Standardwerte und Größen, welche beispielsweise den Werten aus der Mehrfachauswahl zugeordnet werden können. Bei der Selektion eines Wertes aus einem Kombinationsfeld ist PreSTo in der Lage, alle dazugehörigen Größen automatisch aus den Arbeitsspalten auszulesen.

4.3 Integration der Datensammlung

Die aus dem Kapitel 2.3 gewonnenen Tabellen wurden in einem nächsten Schritt in das PreSTo Tool integriert. Dazu wurde ein Tabellenblatt namens „statistics“ angelegt. Das Look and Feel sollte in diesem Teil von PreSTo genauso sein wie in den anderen Teilen auch. Deshalb wurde das Layout von dem Tabellenblatt „preliminary sizing“ übernommen. Das Bild 4.10 zeigt das Aussehen des Datensammlung-Moduls.

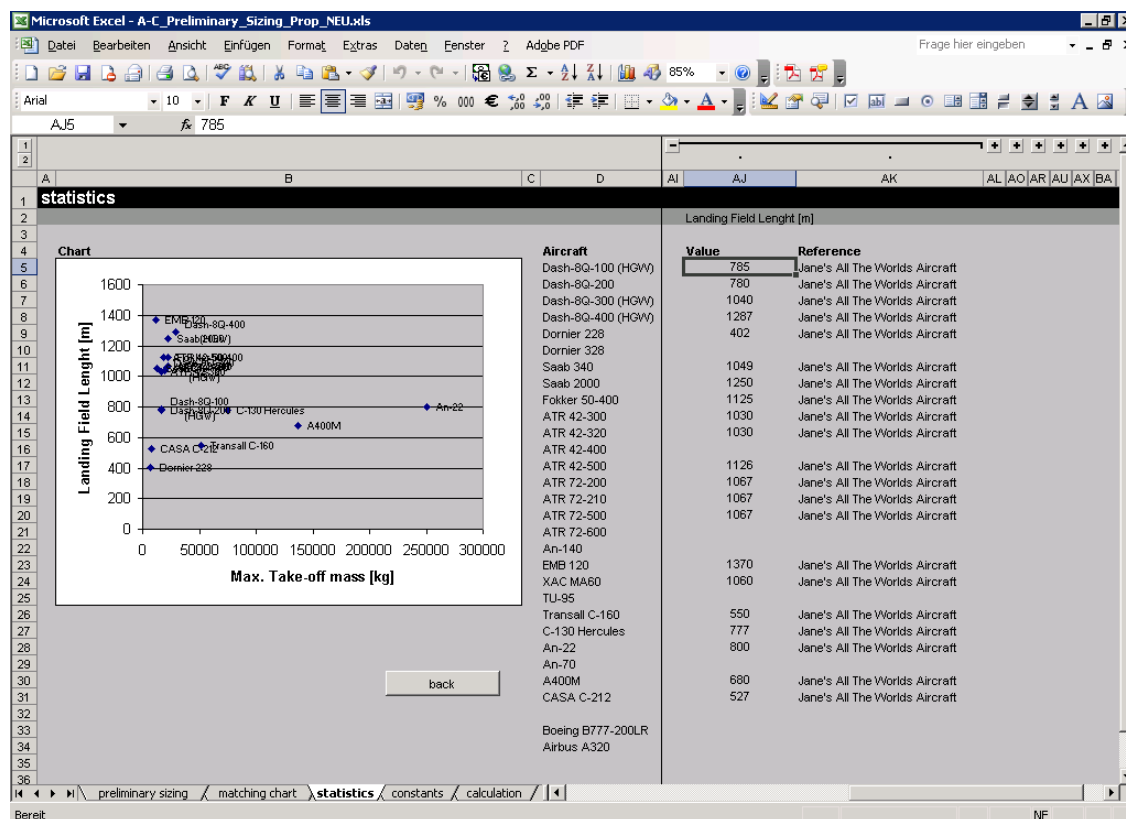


Bild 4.10 Layout des Datensammlung-Moduls

Wie man in Bild 4.10 gut erkennen kann, besteht die Datensammlung diesmal nicht aus vertikalen, sondern aus horizontalen Detailbereichen. Weiterhin befindet sich auf der linken Seite ein Diagrammfeld, in der Mitte des Tabellenblattes die Liste der Flugzeuge und rechts die eigentliche Datensammlung. Dabei wurde das Modul so programmiert, dass es Parameter dynamisch anzeigen kann. Die Grundüberlegung war, dass es für spätere Erweiterungen problemlos möglich sein sollte, neue Flugzeugtypen in das Datenbank-Modul einzupflegen. Aus diesem Grund war es nicht möglich, sämtliche Parameter wie „Design range“ oder „Number of passengers“ untereinander anzuordnen. Deshalb wurde der Weg gewählt, dass diese Parameter alle nebeneinander angeordnet wurden. Da die Fülle an Parametern aber so groß war und dem Benutzer horizontaler Scroll-Aufwand erspart werden sollte, sollten die Parameter dynamisch angezeigt werden. Das heißt im Klartext, dass der Benutzer während der Vorentwurfsphase benötigte Vergleichsparameter nur durch Klicken auf den entsprechenden „Stat“-Button angezeigt bekommt. Dies wird mit Hilfe eines Makros verwirklicht, welches auch garantiert nur den gewünschten Parameter in dem Datensammlung-Modul anzeigt und die anderen ausblendet. Der Quelltext dieses VBA-Makros ist im Anhang B.1 zu finden. Es funktioniert im Grunde so, dass beim Klicken eines bestimmten Buttons in dem „preliminary sizing“ Blatt die Routine „statchart“ in dem Modul „publicsub“ aufgerufen wird, wobei gleichzeitig bestimmte Steuerparameter mit übergeben werden. Die Steuerparameter sollen an folgendem Beispiel kurz erläutert werden:

```
statchart "", 0, "E", 5, "", "F"
```

Diese Codezeile stammt aus der Funktion „StatButton1_Click“, welche im Anhang B.1 zu finden ist. Über die Anweisung „statchart“ wird die gleichnamige Funktion aus dem „publicsub“ Modul gestartet. Die nachstehenden Parameter werden bei dem Aufruf mit übermittelt. An erster Stelle kann die Spalte angegeben werden, die geöffnet werden muss, um das Diagramm mit Werten zu befüllen. Diese wird aber später nicht mit angezeigt. Der zweite Parameter gibt den äquivalenten numerischen Wert der vorherigen Spalte an. Das heißt, wenn an erster Stelle die Spalte „A“ angegeben wurde, muss an zweiter Stelle eine Eins (1) stehen. Wurde der erste Parameter mit der Spalte „Z“ belegt, so ist der zweite Parameter folglich 26. An dritter Stelle muss die Spalte angegeben werden, die auch tatsächlich in dem Datensammlung-Modul später angezeigt werden soll. Dieser Wert ist also immer anzugeben und darf nicht weggelassen werden. Die vierte Stelle beherbergt wieder den äquivalenten numerischen Wert der vorherigen Spalte und ist auch immer anzugeben. Als eine Anmerkung soll an dieser Stelle noch gesagt werden, dass alle bis hierhin angegebenen Spalten eine Stelle vor den mit Werten gefüllten Spalten liegen. Dies muss so geschehen, da sich vor jeder mit Werten gefüllten Spalte wieder eine sogenannte Hauptspalte bzw. Abschnittsüberschrift befindet, die immer sichtbar sind und über der der Button zum Ein- und Ausklappen des Detailbereiches ist. Die fünfte und sechste Stelle gibt die Spalten an, in denen sich die für das Diagramm notwendigen Daten zum Befüllen befinden. Dabei sind diese Spalten nicht numerisch anzugeben, sondern alphabetisch. Der fünfte Parameter steht für die Spalte, die nicht angezeigt werden soll, während der sechste Parameter für die anzuzeigende Spalte steht.

Der Quelltext der zugehörigen Funktion „stachart“ kann dem Anhang B.3 entnommen werden. Dabei kann man zur Funktionsweise der Routine sagen, dass dieser beim Aufruf einige Parameter übermittelt werden müssen. Diese Steuerungswerte werden dazu benötigt, um das korrekte Anzeigen der auszugebenden Kenngrößen sicherzustellen. Falls jene Werte der Funktion nicht übergeben werden, führt das Ausführen der Funktion zu einem Absturz. Zu Beginn wird das Tabellenblatt „statistics“ aktiviert und angezeigt. Danach werden die übermittelten Spalten markiert und die jeweiligen Detailbereiche eingeblendet. Anschließend scrollt das Makro die Tabelle zum anzuzeigenden Abschnitt. Soll in einem nächsten Schritt nun noch das Diagrammfeld auf der linken Seite des Datensammlung-Arbeitsblattes mit Werten gefüllt werden, so geschieht das ebenfalls flexibel über die Funktion „stachart“. Da nicht zu jedem gespeicherten Parameter und daraus darstellbare Parameterkombinationen ein extra Diagramm angelegt werden sollte, wurde nur ein Chart in das Modul eingebaut, welches für jeden erdenklichen Zweck mittels VBA umgearbeitet werden kann. Dafür überprüft die Routine „stachart“ in einer nächsten Aktion, ob ein Wert für den fünften Parameter übergeben wurde. Ist dies der Fall, so wird das Diagramm-Objekt aktiviert und der Diagrammtyp wird auf „Punktendiagramm“ gestellt. Anschließend wird ein neuer Kurvenzug eingefügt, wobei die Wertepaare mit Hilfe der übergebenen Parameter zusammengetragen werden. Abschließend werden noch die Koordinatenachsen und die einzelnen Datenpunkte beschriftet und das Diagramm ist zu Anzeige fertig.

Um anschließend wieder zur Vorentwurfsberechnung zurück zu gelangen, wurde der „back“-Button in das Datensammlung-Modul implementiert. Diese Schaltfläche muss logischerweise auch wieder über ein Makro gesteuert werden. Der Quelltext dieses Makros befindet sich ebenfalls wieder im Anhang, siehe Kapitel B.2. Der Funktionsablauf des Makros lässt sich folgendermaßen erklären. Zuerst wird das Diagramm auf der linken Seite aktiviert und es wird gezählt, wie viele Kurven sich in dem Diagramm befinden. Befinden sich Graphen in dem Diagramm, so werden diese der Reihe nach gelöscht, damit das Diagramm leer ist. Danach scrollt das Makro die Datensammlung zurück zum Anfang, blendet alle Detailbereiche aus und wechselt abschließend zurück zum Tabellenblatt „preliminary sizing“, sobald auf die Schaltfläche „back“ geklickt wurde.

4.4 Erweiterung der Kommentaranzeige

Um dem Benutzer den Umgang mit PreSTo noch weiter zu erleichtern, sollte im Rahmen dieser Projektarbeit die Anzeige von Kommentaren im Programm verbessert werden. Dazu sollte eine Lösung gefunden werden, die es ermöglicht, Microsoft Excel Formel 3.0 Objekte in Kommentaren in der Tabellenanwendung anzuzeigen. Dies hat den Vorteil, dass dem Benutzer weiterhin eine Hilfestellung zur Verfügung gestellt werden kann, während die Übersichtlichkeit durch Weglassen der Formeln in der Anwendung verbessert wird. Diesen Sachverhalt kann man in Bild 4.11 noch einmal sehen.

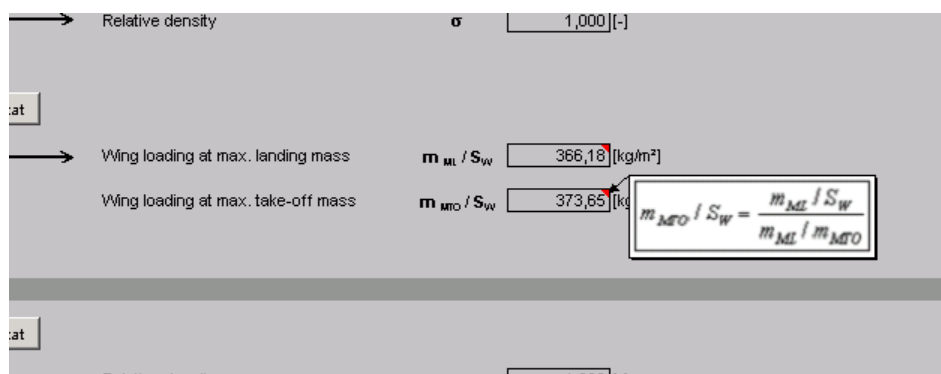


Bild 4.11 Formelobjekt als Kommentar

Zu erkennen sind die Formeln in den Kommentaren standardmäßig an den roten Dreiecken in der rechten oberen Ecke. Um einen Kommentar in Microsoft Excel anzuzeigen, muss man einfach nur den Mauszeiger auf einem entsprechenden Feld platzieren, einen kurzen Moment warten, und dann wird der Kommentar automatisch eingeblendet.

Um die Formel Objekte in die Kommentare zu integrieren, wurde im Zusammenhang mit dieser Projektarbeit ein VBA Makro programmiert. Dieses Makro besteht aus 2 verschiedenen Modulen, welche im Anhang B.4 zu finden sind. In Abhängigkeit ihrer Funktion wurden die Module folgendermaßen bezeichnet. Ein Modul hat den Namen „FoalKoeinzeln“ und sorgt dafür, dass ein einziges Formelobjekt in einen Kommentar umgewandelt wird, sobald die Funktion gestartet wird. Das andere Modul heißt „FoalKokomplett“. Diese Funktion arbeitet alle in einem Arbeitsblatt vorhandenen Formelobjekte der Reihe nach ab und wandelt diese in entsprechende Kommentare um. Die Entscheidung, beide Module zu entwickeln, fiel deshalb, da es bei einer späteren Verwendung möglich sein kann, dass sowohl nur eine Formel als Kommentar hinzugefügt werden soll oder dass mehrere Formeln integriert werden sollen.

Sollte es zu einem späteren Zeitpunkt wirklich notwendig sein, weitere Formeln in Kommentare umzuwandeln, so lassen sich beide Module über bestimmte Tastenkombinationen starten und anschließend ausführen. Möchte man beispielsweise nur eine Formel umwandeln, muss man folgendermaßen vorgehen, wobei das Modul „FoalKoeinzeln“ zum Einsatz kommt:

- entsprechendes Formelobjekt mit der Maus anklicken
- Tastenkombination „Strg + Umsch + E“ drücken
- Zelle anwählen, in die die Formel als Kommentar gespeichert werden soll
- mit „OK“ bestätigen

Sollte man aber mehrere Formeln mit einem Mal umwandeln müssen, so ist das Modul „FoalKokomplett“ zu benutzen und folgendermaßen vorzugehen:

- zum Starten des Moduls die Tastenkombination „Strg + Umsch + K“ drücken
- Zelle anwählen, in die die Formel als Kommentar gespeichert werden soll
- mit „OK“ bestätigen

- wenn weitere Formelobjekte vorhanden sind, weitere Zellen wählen und mit „OK“ bestätigen

Während der Arbeit mit diesen beiden Modulen kam es ab und an zu kleineren Fehlern während der Benutzung. Deshalb sind auch einige Zeilen in dem Quellcode durch ein Hochkomma (') ausgeblendet, was nichts anderes heißt, als dass diese Zeilen bei der Abarbeitung des Quelltextes nicht mit berücksichtigt werden. Falls es wieder zu Problemen bei der Benutzung der Module kommen sollte, hilft es, diese Zeilen durch Entfernen des Hochkommata zu aktivieren.

4.5 Erweiterung um DOC-Berechnungsmethoden

In einem letzten Schritt wurde das PreSTo Tool noch um ein DOC-Modul erweitert, welches in Bild 4.12 zu sehen ist. Dieser Baustein soll es dem Benutzer ermöglichen, eine Entwurfsbewertung anhand der direkten Betriebskosten vorzunehmen. Als Grundlage dieser Erweiterung gilt die Ausarbeitung mit dem Titel „Beschreibung der im Entwurfsprogramm PrADO verwendeten DOC-Berechnungsmethode als Diskussionsgrundlage für die Bewertung eines modularen Flugzeugkonzeptes“ von Dr.-Ing. W. Heinze vom Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (IFL) der Technischen Universität Braunschweig. Sämtliche Berechnungen und Zusammenhänge wurden dieser Arbeit entnommen und in das DOC-Modul integriert. Dabei wurde der eigentliche Ablauf der Berechnung nicht verändert und die Nomenklatur wurde auch beibehalten. Die Berechnung beginnt mit der Abfrage der durchzuführenden DOC-Berechnungsmethode, wobei der Benutzer an dieser Stelle die Auswahl zwischen verschiedenen DOC-Verfahren hat. Standardmäßig ist hier die Prozedur des ILF eingetragen. Die PreSTo Anwendung wurde dabei so gestaltet, dass es für spätere Zwecke problemlos möglich sein sollte, neue Methoden einzupflegen. In einem nächsten Schritt werden die allgemeinen Parameter, wie beispielsweise die Betriebsjahre bzw. die Abschreibungsjahre oder die Bodenzeit eines Flugzeuges bei einem Flug, abgefragt. Diese Werte gelten im Berechnungsablauf als immer wieder auftretende und wichtige Größen, weswegen sie gleich am Anfang abgefragt werden. Im Anschluss daran wird die „Transport work“ TA berechnet. Diese spiegelt laut [Heinze 2004] den Nutzen des Flugzeuges für den Kunden wieder, wobei sie entweder in Sitzplatz und geflogene Kilometer oder in je Tonne Nutzlast und geflogene Kilometer angegeben wird. Danach fragt das Modul die sogenannten „Aircraft costs“ K_{FLZ} ab. Dieser Part der Betriebskosten beinhaltet neben den eigentlichen Kosten für das Fluggerät auch die Kosten für Abschreibung, Versicherung und Ersatzteilbevorratung. Hierbei ist noch anzumerken, dass diese Kosten, wie auch alle weiteren in PreSTo angegebenen Kosten, in Euro angegeben werden.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "preliminary sizing of large propeller driven aircraft". The interface is organized into several sections:

- Choose DOC method:** A dropdown menu is set to "IFL".
- General inputs:**
 - Number of years in operation (j): 14 [a]
 - Flight time (t): 2,79 [h]
 - Annual aircraft availability (t_{max}): 4199 [h/a]
 - Effectively usable flying hours (u): 3307,44 [h/a]
 - Turnaround time (t_{BOO}): 0,75 [h]
 - Life cycle of aircraft (T_B): 46304,10 [h]
- Transport work:**
 - Effective passenger number (N^-): 100,3 [-]
 - Passenger-equivalent (P_A): 5 [1/A]
 - Transport work (TA): 2207902384 [seat km]
 - Transport work (TA): 441580477 [t km]
- Aircraft costs:**
 - Interest rate (i): 0,08 [-]
 - Depreciation factor (f_A): 1,611 [-]
 - Residual value (W_R): 0,15 [-]
 - Annual insurance costs (p_v): 0,01 [-]
 - Insurance factor (f_v): 0,140 [-]
 - Engine spare and AF spare contribution (k_E): 0,15 [-]
 - Spare value factor (f_E): 0,441 [-]
 - Aircraft price (P_{K-}): 18600000 [Euro]
 - Total aircraft cost (K_{K-}): 40771416 [Euro]
- Fuel costs:** (Section header visible, but no data is shown in the screenshot).

The spreadsheet tabs at the bottom are: preliminary sizing, matching chart, statistics, constants, calculation.

Bild 4.12 Übersicht des neu erstellten DOC-Moduls

Darauf folgend wird der „Fuel costs“-Betriebskostenanteil K_{KR} kalkuliert. Dieser setzt sich unter anderem aus der verbrauchten Kraftstoffmasse pro Flug ohne Reserven $m_{K,Trip}(R)$ zusammen, welcher aus der Vorentwurfsberechnung gewonnen werden kann. Dabei wird einfach die „Fuel mass, all reserves“ $m_{F,res}$ von der „Fuel mass, needed“ $m_{F,erf}$ abgezogen, wonach theoretisch die verbrauchte Kraftstoffmasse für eben die betrachtete Flugmission ohne Reserven herauskommt. In einem weiteren Schritt werden die Kosten der Besatzung („Staff costs“) K_{BES} ermittelt. Dazu zählen unter anderem die Kosten für die Gehälter, die Ausbildung und das Training der Piloten und der Flugbegleiter, welche als spezifische Kosten pro Flugstunde angegeben werden. Weiterhin wird die Verteilung der Besatzungsmitglieder im Flugzeug benötigt. Die Gesamtanzahl an Crew-Mitgliedern ist ein aus PreSTo abgeleiteter Wert, welcher einfach übernommen wurde. Der Anwender muss nun nur noch manuell zwischen Piloten und Flugbegleitern unterscheiden, was ebenfalls dann mit in die Betriebskosten für die Besatzung einfließt. Weiterhin werden dann noch die „Maintenance costs“ K_{WART} bestimmt. Hierbei wird ein ähnlicher Ansatz wie bei den „Staff costs“ gewählt, indem spezifische Kosten je Flugstunde getrennt für Zelle und Triebwerk vorgegeben werden, so dass sich die gesamten Wartungskosten für die Lebensdauer des Flugzeugs ergeben. Im Übrigen ist dies bei allen hier berechneten Kosten der Fall, dass diese für das komplette Flugzeugleben berechnet werden. Der letzte Berechnungspunkt betrachtet die „Fees and charges“ K_{GEB} . Unter diesem Punkt werden alle Lande-, Abfertigungs- und Navigationsgebühren zusammengefasst. Diese fließen dann ebenfalls direkt in die vom Flugzeug verursachten Betriebskosten.

Sind alle Kosten einzeln erfasst, so werden sie anschließend über die Gleichung

$$\sum K = K_{FLZ} + K_{KR} + K_{BES} + K_{WART} + K_{GEB} \quad (4.1)$$

zusammengefasst. Dieser errechnete Wert stellt alle Kosten eines Flugzeuges dar, welche über ein komplettes Flugzeugleben anfallen. Als letzter Schritt müssen diese verursachten Betriebskosten nur noch ins Verhältnis zu der im selben Zeitraum erbrachten Transportarbeit gesetzt werden, was nach Gleichung 4.2 geschieht. Als Ergebnis kommen die direkten Betriebskosten DOC heraus, welche nun einen Rückschluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Flugzeugentwurfes erlauben.

$$DOC = \frac{\sum K}{\sum TA} \quad (4.2)$$

5 Zusammenfassung

In dieser Projektarbeit wurde das Vorentwurfsprogramm PreSTo erweitert. Dabei wurde es an die Bedürfnisse von Propellerflugzeugen angepasst und es wurde ein Modul zur Entwurfsbetrachtung auf Basis der direkten Betriebskosten integriert.

Die Anpassungen an die Bedürfnisse von Propellerflugzeugen beinhalteten die Einarbeitung der Turboprop-Berechnungsmethode, die Erstellung und Integration der Datensammlung für Propellerflugzeuge und die Entwicklung und Implementierung der Propellerwirkungsgrad-Funktion in das Tool.

Weiterhin wurden verschiedene Layoutänderungen in das PreSTo Programm eingearbeitet, welche die Benutzerfreundlichkeit verbessern sollen. Außerdem wurde zur Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit eine Funktion zum Anzeigen von Microsoft Formel 3.0 Objekte als Kommentar eingefügt.

Literaturverzeichnis

- Heinze 2004** HEINZE, Wolfgang: *Beschreibung der im Entwurfsprogramm PrADO verwendeten DOC-Berechnungsmethode als Diskussionsgrundlage für die Bewertung eines modularen Flugzeugkonzeptes*. Braunschweig : IFL, 2004
- Jane's 1999** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 1999/2000*. Couldson : Jane's Information Group, 1999
- Jane's 2000** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 2000/2001*. Couldson : Jane's Information Group, 2000
- Jane's 2001** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 2001/2002*. Couldson : Jane's Information Group, 2001
- Jane's 2002** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 2002/2003*. Couldson : Jane's Information Group, 2002
- Jane's 2004** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 2004/2005*. Couldson : Jane's Information Group, 2004
- Jane's 2008** JACKSON, Paul (Bearb.): *Jane's All The World's Aircraft 2008/2009*. Couldson : Jane's Information Group, 2008
- Jane's 2009** URL: <http://jawa.janes.com/public/jawa/index.shtml> (2009-04-18)
- Java 2009** URL:
<http://java.sun.com/docs/books/tutorial/deployment/applet/index.html>
(2009-04-23)
- Scholz 1999** SCHOLZ, Dieter: *Skript zur Vorlesung Flugzeugentwurf*. Hamburg, Fachhochschule Hamburg, FB Fahrzeugtechnik, Abt. Flugzeugbau, Vorlesungsskript, 1999
- Scholz 2006** SCHOLZ, Dieter: *Diplomarbeiten normgerecht verfassen*. Hamburg : Vogel, 2006
- Wikipedia 2009a** URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Look_And_Feel (2009-05-04)
- Wikipedia 2009b** URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Makro> (2009-05-18)

Wikipedia 2009c URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic_for_Applications
(2009-05-08)

Zum 2009 URL:
<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/gebhardt/schaubild/beispiel/bewachst.html> (2009-04-01)

Anhang A Datensammlung

A.1 Datensammlung ziviler Turboprop-Flugzeuge

| | max. PAX | s TO [m] | sL [m] | R [km] | mMT O [kg] | mMLW [kg] | mMP L [kg] | mOWE [kg] | nE [-] | PE [kW] | Pges [kW] | VC [km/h] | hmax [m] | VS [km/h] | VAPP [km/h] | high lift system | flap type | DOC [USD/PAX Mile] | Quelle |
|--------------------|----------|----------|--------|--------|------------|-----------|------------|-----------|--------|---------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|------------------|---|--------------------|-------------|
| Dash-80-100 (HG/W) | 39 | 991 | 786 | 1889 | 16465 | 15377 | 4082 | 10433 | 2 | 1603 | 3206 | 500 | 7620 | 134 | 174,2 | high wing | two-section slotted Fowler flaps | - | Jane's 2008 |
| Dash-80-200 | 39 | 1000 | 780 | 1713 | 16465 | 15649 | 4195 | 10501 | 2 | 1603 | 3206 | 537 | 7620 | 134 | 174,2 | high wing | two-section slotted Fowler flaps | - | Jane's 2008 |
| Dash-80-300 (HG/W) | 56 | 1055 | 1040 | 1711 | 19504 | 19050 | 6124 | 11793 | 2 | 1864 | 3728 | 528 | 7620 | 141 | 183,3 | high wing | two-section slotted Fowler flaps | - | Jane's 2008 |
| Dash-80-400 (HG/W) | 78 | 1300 | 1287 | 2518 | 29256 | 28009 | 8670 | 17186 | 2 | 3781 | 7562 | 667 | 7620 | - | - | high wing | two-section slotted Fowler flaps | 0,075 | Jane's 2008 |
| Dornier 228 | 19 | 686 | 402 | 1167 | 6400 | 6100 | 2201 | 3739 | 2 | 578,7 | 1157 | 408 | 4575 | 128 | - | high wing | single-slotted Fowler flaps | - | Jane's 2004 |
| Dornier 328 | 33 | 1465 | - | 1556 | 12500 | 12250 | 3450 | - | 2 | 1353 | 2706 | 639 | 9450 | - | - | high wing | single-slotted Fowler flaps | - | Jane's 2000 |
| Saab 340 | 37 | 1271 | 1049 | 1807 | 12927 | 12700 | 3758 | 8035 | 2 | 1305 | 2610 | 519 | 7620 | 164 | - | low wing | single-slotted flaps | - | Jane's 1999 |
| Saab 2000 | 50 | 1360 | 1250 | 2557 | 22000 | 21500 | 5900 | 13500 | 2 | 3096 | 6192 | 663 | 9450 | - | - | low wing | single-slotted flaps with offset hinges | - | Jane's 1999 |
| Fokker 50-400 | 68 | 1135 | 1125 | 2151 | 22295 | 21500 | 7177 | 13423 | 2 | 1864 | 3728 | 511 | 3900 | - | 421 | high wing | single-slotted trailing edge flaps | - | Jane's 2002 |
| ATR 42-300 | 50 | 1040 | 1030 | - | 16700 | 16400 | 4600 | 10600 | 2 | 1342 | 2684 | 491 | 5485 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| ATR 42-320 | 50 | 1040 | 1030 | - | 16700 | 16400 | 4600 | 10600 | 2 | 1566 | 3132 | 498 | 5485 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| ATR 42-400 | 50 | - | - | 1527 | - | - | - | - | 2 | 1641 | 3282 | 493 | 5485 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| ATR 42-500 | 50 | 1165 | 1126 | 1555 | 18600 | 18300 | 5450 | 11250 | 2 | 1790 | 3580 | 556 | 5485 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | 0,071 | Jane's 2008 |
| ATR 72-200 | 74 | 1290 | 1067 | 1720 | 22000 | 22350 | 7350 | 12950 | 2 | 1611 | 3222 | 511 | 7620 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| ATR 72-210 | 74 | 1290 | 1067 | 1520 | 22000 | 22350 | 7350 | 12950 | 2 | 1849 | 3698 | 511 | 7620 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| ATR 72-500 | 74 | 1290 | 1067 | 1650 | 22800 | 22350 | 7850 | 12950 | 2 | 1849 | 3698 | 511 | 7620 | - | 217,4 | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | 0,062 | Jane's 2008 |
| ATR 72-600 | 74 | - | - | 1650 | 22800 | 22350 | 7850 | 12950 | 2 | 1849 | 3698 | 511 | 7620 | - | - | high wing | two-segment double-slotted flaps on offset hinges | - | Jane's 2008 |
| An-140 | 52 | 1495 | - | 2770 | 21500 | 21000 | 6000 | 13200 | 2 | 1839 | 3678 | 537 | 7620 | - | - | high wing | two-section flaps in each wing | - | Jane's 1999 |
| EMB 120 | 30 | 1420 | 1370 | 1019 | 11500 | 11250 | 3039 | 7465 | 2 | 1342 | 2684 | 555 | 9750 | 162 | - | long wing | double-slotted Fowler trailing edge flaps | - | Jane's 2001 |
| XAC M460 | 60 | 1100 | 1060 | 1430 | 21800 | 21800 | 5500 | 13700 | 2 | 2051 | 4102 | 514 | 7620 | - | - | high wing | single-slotted flaps | - | Jane's 2008 |

A.2 Datensammlung militärischer Turboprop-Flugzeuge

| | max. PAX | s TO [m] | sl [m] | R [km] | mMTO [kg] | mMLW [kg] | mMPL [kg] | mOWE [kg] | nE [-] | PE [kW] | Pges [kW] | VC [km/h] | hmax [m] | VS [km/h] | VAP [km/h] | high lift system | flap type | DOC [USD/PAX Mille] | Quelle |
|----------------|----------|----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|------------------|---|---------------------|-------------|
| TU-95 | - | 2540 | - | 12550 | 188000 | - | - | 120000 | 4 | 11033 | 44132 | 925 | 7820 | - | - | mid wing | Fowler flaps | - | Jane's 2001 |
| Transall C-160 | - | 990 | 550 | 1853 | 51000 | 47000 | 16000 | 29000 | 2 | 4549 | 9098 | 513 | 8230 | 177 | - | high wing | double-slotted flaps | - | Jane's 1999 |
| C-130 Hercules | - | 1433 | 777 | 5244 | 74389 | 70305 | 18855 | 34274 | 4 | 3424 | 13686 | 628 | 8535 | 185 | - | high wing | Fowler trailing-edge flaps | - | Jane's 2008 |
| An-22 | - | 1300 | 800 | 5000 | 250000 | - | 80000 | 114000 | 4 | 11186 | 44744 | 740 | - | - | - | high wing | double-slotted trailing-edge flaps | - | Jane's 1999 |
| An-70 | - | 1700 | - | 6600 | 145000 | - | 47000 | 74000 | 4 | 10290 | 41160 | 750 | 11000 | 98 | - | high wing | double-slotted trailing-edge Fowler flaps in two sections | - | Jane's 1999 |
| A400M | - | 1150 | 680 | 4444 | 136500 | 120000 | 37000 | 76500 | 4 | 8203 | 32812 | 555 | 12192 | - | - | high wing | two-section fixed-vane flaps | - | Jane's 2008 |
| CASA C-212 | - | 587 | 527 | 1481 | 8100 | 8100 | 2950 | 4550 | 2 | 680 | 1380 | 361 | 7925 | - | - | high wing | double-slotted flaps | - | Jane's 2008 |

militärisch

Anhang B Quelltexte der VBA Makros

B.1 Anweisung zum Aufrufen eines statistischen Wertes

Die folgende Funktion befindet sich in dem Tabellenblatt „preliminary sizing“ und sorgt dafür, dass beim Klicken eines Buttons (hier: StatButton1) die Routine „statchart“ aufgerufen wird und dieser bestimmte Werte übergeben werden:

```
Private Sub StatButton1_Click()
    statchart "", 0, "E", 5, "", "F"
End Sub
```

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass diese Funktion für jeden Button in dem Tabellenblatt „preliminary sizing“ erneut angelegt werden muss, wobei die zu übergebenden Werte der Funktion, zum Beispiel zu markierende Spalten, jedes Mal neu angepasst werden müssen um ein korrektes Funktionieren des Makros zu gewährleisten.

B.2 Funktion zum Ausblenden eines statistischen Wertes

Diese Funktion hat die Aufgabe, nachdem man in der Datensammlung einen Parameter nachgeschlagen hat und zurück zur Vorentwurfsberechnung gelangen möchte, das „statistics“-Tabelleblatt auszublenden und zum eigentlichen Rechenablauf zurückzukehren:

```
Private Sub BackButton_Click()

    Dim i As Integer

    ActiveSheet.ChartObjects("Diagramm 1040").Activate
    With ActiveChart
        For i = .SeriesCollection.Count To 1 Step -1
            .SeriesCollection(i).Delete
        Next i
    End With
    Application.GoTo
    Reference:=Worksheets("statistics").range("C1"), Scroll:=True
    ThisWorkbook.ActiveSheet.Outline.ShowLevels RowLevels:=0,
    ColumnLevels:=1
    range("A1").Select
    ThisWorkbook.Sheets("preliminary sizing").Activate
End Sub
```

Als Hinweis soll an dieser Stelle gesagt werden, dass diese Funktion nur einmal in dem Tabellenblatt „statistics“ vorhanden sein muss, da auf diesem Blatt nur einen „back“-Button vorhanden ist.

B.3 Inhalt des „publicsub“ Moduls

Der nachstehende Quelltext ist in dem Modul „publicsub“ zu finden. Diese Routine hat die Aufgabe, einen gewünschten Detailbereich anzuzeigen und das Diagrammfeld mit Werten zu befüllen:

```
Public Sub statchart(StrColumnNoShow As String, IntColumnNoShow _
    As Integer, StrColumnShow As String, IntColumnShow _
    As Integer, StrDataColumnNoShow As String, _
    StrDataColumnShow As String)

    Dim columnempty As Boolean
    Dim test(3, 100) As Variant
    Dim i As Integer, j As Integer

    With ThisWorkbook.Sheets("statistics")
        .Activate
        If Not StrColumnNoShow = "" And Not IntColumnNoShow = 0
Then
            .Columns(StrColumnNoShow & ":" &
StrColumnNoShow).Select
                ExecuteExcel4Macro "SHOW.DETAIL(2," & IntColumnNoShow
& ",TRUE)"
            End If
            .Columns(StrColumnShow & ":" & StrColumnShow).Select
                ExecuteExcel4Macro "SHOW.DETAIL(2," & IntColumnShow &
",TRUE)"
            Application.GoTo
Reference:=Worksheets("statistics").Range(StrColumnShow & "1"),
Scroll:=True
        End With
        If Not StrDataColumnNoShow = "" Then
            ActiveSheet.ChartObjects("Diagramm 1040").Activate
            With ActiveChart
                .ChartArea.Select
                .ChartType = xlXYScatter
                .SeriesCollection.NewSeries
                .SeriesCollection(1).Name = ""
                .SeriesCollection(1).XValues =
Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnNoShow & "5:" &
StrDataColumnNoShow & "100")
                .SeriesCollection(1).Values =
Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnShow & "5:" &
StrDataColumnShow & "100")
                .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
                .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text
= Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnNoShow & "2")
                .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
                .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text =
Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnShow & "2")
            End With
            i = 5
            columnempty = False
            Do Until columnempty = True
                If Worksheets("statistics").Range("D" & i).Value = ""
And _
                    Worksheets("statistics").Range("D" & i + 1).Value = ""
Then
                    columnempty = True
                Else
                    test(1, i - 5) =
Worksheets("statistics").Range("D" & i).Value
```

```

        test(2, i - 5) =
Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnNoShow & i)
        test(3, i - 5) =
Worksheets("statistics").Range(StrDataColumnShow & i)
        i = i + 1
    End If
Loop
ActiveChart.SeriesCollection(1).DataLabels.Select
For j = 0 To i - 5
    If Not test(1, j) = "" And Not test(2, j) = "" And Not
test(3, j) = "" Then
        ActiveChart.SeriesCollection(1).Points(j +
1).DataLabel.Select
        Selection.Characters.Text = test(1, j)
        Selection.AutoScaleFont = False
        With Selection.Characters(Start:=1,
Length:=Len(test(1, j))).Font
            .Name = "Arial"
            .FontStyle = "Standard"
            .Size = 8
            .Strikethrough = False
            .Superscript = False
            .Subscript = False
            .OutlineFont = False
            .Shadow = False
            .Underline = xlUnderlineStyleNone
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
    End If
Next j
End If
ThisWorkbook.Sheets("statistics").Range(StrDataColumnShow &
"5").Select
End Sub

```

Als eine Anmerkung soll an dieser Stelle noch gesagt werden, dass das in das Datensamm-
lung-Modul integrierte Diagramm den Namen „Diagramm 1040“ trägt. Möchte man dieses
verändern, so muss man den korrekten Namen des Charts angeben. Dabei ist darauf zu ach-
ten, dass der Name groß geschrieben wird. Falls der Name klein geschrieben ist, kann das
Diagramm nicht angesprochen werden und das Makro stürzt ab.

B.4 Quelltexte der „FoalKo“-Module

Die folgenden beiden Quelltexte sind Inhalt der zwei Module namens „FoalKoeinzeln“ und
„FoalKokomplett“, welche sich im PreSTo Tool befinden. Sie haben die Aufgabe Microsoft
Excel Formel 3.0 Objekte in Kommentare umzuwandeln, um die Übersichtlichkeit in PreSTo
zu verbessern.

Modull „FoalKoeinzeln“:

```

Option Explicit

'~~~~~
'importiert Objekte vom Typ Microsoft Formel Editor 3 als
Kommentar

```

```

'EINZELN!
'~~~~~
'Anleitung:
'1. Formelobjekt mit der Maus anwählen
'2. Tastenkombination Strg + Umsch + E drücken
'3. Zelle anwählen, in der der Kommentar gespeichert werden soll
'4. OK drücken
'~~~~~

Dim strPath As String
Dim PicHeight As Long
Dim PicWidth As Long

Public Sub FoalKoeinzel()
    Dim MyChart As String, MyPicture As String
    Application.ScreenUpdating = False
    On Error GoTo Fin
    strPath = Environ$("TEMP") & "\"
    MyPicture = Selection.Name
    With Selection
        PicHeight = .ShapeRange.Height + 7
        PicWidth = .ShapeRange.Width + 6
    End With
    Charts.Add
    ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject,
Name:="calculation"
    Selection.Border.LineStyle = 0
    MyChart = Selection.Name & " " & Split(ActiveChart.Name, "
")(2)
    With Tabelle3
        With .Shapes(MyChart)
            .Width = PicWidth
            .Height = PicHeight
        End With
        Tabelle1.Shapes(MyPicture).Copy
        With ActiveChart
            .Legend.Delete
            .PlotArea.Height = 0
            .PlotArea.Width = 0
            .PlotArea.Top = PicHeight / 2
            .PlotArea.Left = PicWidth / 2
            .ChartArea.Select
            .Paste
        End With
        .ChartObjects(1).Chart.Export Filename:=strPath &
"TMP.png", FilterName:="png"
        .Shapes(MyChart).Cut
    End With
    Call Pic_Comment1
Fin:
    Application.ScreenUpdating = True
    If Err.Number <> 0 Then MsgBox "Keine Formel oder Zelle
ausgewählt!"
End Sub

Private Sub Pic_Comment1()
    Dim varTMP As Variant
    Dim myCom As Object
    Application.ScreenUpdating = True
    Set varTMP = Application.InputBox("Auswahl", "Zelle", , , , ,
, 8)
    Application.ScreenUpdating = False
    With Tabelle1
        If Not .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).Comment Is
Nothing Then _
            .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).Comment.Delete
        .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).AddComment
    End With
End Sub

```

```

        Set myCom = .Cells(varTMP.Row,
varTMP.Column).Comment.Shape
        With myCom
            .Fill.UserPicture strPath & "TMP.png"
            .Width = 1.2 * PicWidth
            .Height = 1.2 * PicHeight
        End With
    End With
End Sub

```

Modul2 „FoalKokomplett“:

Option Explicit

```

'~~~~~
'importiert Objekte vom Typ Microsoft Formel Editor 3 als
Kommentar
'KOMPLETT ALLE VORHANDENEN!
'~~~~~
'Anleitung:
'1. Tastenkombination Strg + Umsch + K drücken
'2. Zelle anwählen, in der der Kommentar gespeichert werden soll
'3. OK drücken
'4. wenn weitere Formelobjekte vorhanden -> weitere Zellen wählen
'~~~~~

Dim strPath As String
Dim PicHeight As Long
Dim PicWidth As Long

Public Sub FoalKokomplett()
    Dim MyChart As String, MyPicture As String, MyObject As Shape
    Application.ScreenUpdating = False
    On Error GoTo Fin
    strPath = Environ$("TEMP") & "\"
    For Each MyObject In Tabelle1.Shapes
        If MyObject.Type = msoEmbeddedOLEObject Then
            If MyObject.Name Like "Obj*" Then
                MyPicture = MyObject.Name
                With MyObject
                    PicHeight = .Height + 7
                    PicWidth = .Width + 6
                End With
                Charts.Add
                ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject,
Name:="calculation"
                Selection.Border.LineStyle = 0
                MyChart = Selection.Name & " " &
Split(ActiveChart.Name, " ")(2)
                With Tabelle3
                    With .Shapes(MyChart)
                        .Width = PicWidth
                        .Height = PicHeight
                    End With
                    Tabelle1.Shapes(MyPicture).Copy
                    With ActiveChart
                        .Legend.Delete
                        .PlotArea.Height = 0
                        .PlotArea.Width = 0
                        .PlotArea.Top = PicHeight / 2
                        .PlotArea.Left = PicWidth / 2
                        .ChartArea.Select
                        .Paste
                    End With
                    .ChartObjects(1).Chart.Export
Filename:=strPath & "TMP.png", FilterName:="png"

```

```

        .Shapes(MyChart).Cut
    End With
    Worksheets("preliminary sizing").Activate
    Call Pic_Comment2
End If
End If
Next MyObject
Fin:
    Application.ScreenUpdating = True
    If Err.Number <> 0 And Not Err.Number = 438 Then MsgBox "Keine
Formel oder Zelle ausgewählt!"
End Sub

Private Sub Pic_Comment2()
    Dim varTMP As Variant
    Dim myCom As Object
    Application.ScreenUpdating = True
    Set varTMP = Application.InputBox("Auswahl", "Zelle", , , , ,
, 8)
    Application.ScreenUpdating = False
    With Tabelle1
        If Not .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).Comment Is
Nothing Then _
            .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).Comment.Delete
            .Cells(varTMP.Row, varTMP.Column).AddComment
            Set myCom = .Cells(varTMP.Row,
varTMP.Column).Comment.Shape
            With myCom
                .Fill.UserPicture strPath & "TMP.png"
                .Width = 1.2 * PicWidth
                .Height = 1.2 * PicHeight
            End With
        End With
    End With
End Sub

```

Anhang C CD-Rom

Diese CD-Rom beinhaltet alle Dateien, die im Laufe dieser Projektarbeit angefertigt wurden. Außerdem befindet sich noch dieser Bericht als PDF- und als DOC-Datei auf dem Datenträger.