

Einführung in PropCalc

1. Der Computer hilft

Die Eigenschaften von Propellern sind für die Flugleistungen von Modellen von erheblicher Bedeutung. „Genaueres“ weiß man aber oftmals nicht. Messungen von Schub und Antriebsleistung im Stand werden manchmal gemacht, aber über die Verhältnisse im Flug sagen diese nicht allzuviel aus. Messungen im Flug oder im Windkanal sind sehr aufwendig und daher selten. An deren Stelle kann der Einsatz von Computern und „Berechnen“ treten und zu tieferem Verständnis führen.

Die dazu notwendigen Rechenprogramme kann man in zwei Kategorien einteilen:

1. 1 „Optimalpropeller“-Berechnung

Hierbei „sagt“ man dem Programm, unter welchen Bedingungen der Propeller arbeiten muß. Das sind z.B. Motorleistung und -drehzahl, die Fluggeschwindigkeit, und der mögliche Durchmesser des Propellers. Dazu kommen noch ein paar aerodynamische Größen. Das Programm berechnet daraus dann die optimale Form des Propellers.

Ein solches Programm scheint auf den ersten Blick ideal zu sein; in der Praxis hat es aber auch Nachteile. Es berechnet den Propeller nur für einen einzigen „Betriebspunkt“, und man weiß noch nicht, wie er sich unter anderen Betriebsbedingungen (z.B. beim Start) verhält. Auch können als Ergebnis Propellerformen entstehen, die unpraktikabel und/oder schwierig herzustellen sind. Abgesehen davon erfordert ein solcher Optimalpropeller natürlich auch eine individuelle Herstellung, und die liegt meist außerhalb der Möglichkeiten oder der Bereitschaft von Modellfliegern.

Trotzdem werden solche Props für gewisse Aufgabenstellungen (z.B. Solarflug oder Rekordmodelle) berechnet und hergestellt. Die Optimalrechnung gibt auch Aufschluß darüber, was im günstigsten Fall möglich wäre.

1. 2 Propeller-„Nachrechnung“

Hier geht es darum, die Eigenschaften eines in seiner Form bekannten Propellers zu ermitteln. Es wird u.a. berechnet, welchen Schub, welchen Leistungsbedarf und welchen Wirkungsgrad der Propeller bei einer bestimmten Drehzahl und Fluggeschwindigkeit aufweist. Dabei ermöglicht es die Rechenleistung des Computers, in sehr kurzer Zeit nicht nur einen einzigen Fall von Drehzahl und Fluggeschwindigkeit („Betriebspunkt“) zu berechnen, sondern z.B. die Fluggeschwindigkeit über einen großen Bereich zu verändern. Dadurch erhält man dann Diagramme, die z.B. den Verlauf des Schubs über der Fluggeschwindigkeit angeben. Das ist genau dasselbe, was man auch mittels Windkanalmessungen macht. Bild 1 zeigt das Ergebnis einer Windkanalmessung; es könnte aber auch Ergebnis einer Computerrechnung sein.

Daher kann man ein Nachrechnungs-Programm auch als „virtuellen Windkanal“ bezeichnen. PropCalc ist ein solches Programm.

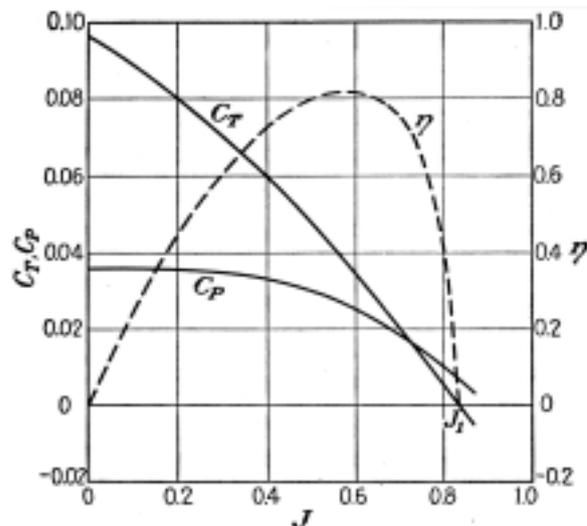


Bild 1

2. Was PropCalc vom Propeller wissen muß

Eigentlich ist es selbstverständlich, daß man dem Programm zuerst „mitteilen“ muß, wie der Propeller im Detail aussieht. Pauschale Kurzangaben wie „Steigung“ und „Durchmesser“ genügen dazu nicht. Beispielsweise erzeugen breite Blätter mehr Schub und brauchen mehr Antriebsleistung als schmale. Propellerblätter können unterschiedlich verwunden sein; auch das Blattprofil kann sehr unterschiedlich sein. All das hat erheblichen Einfluß auf die Eigenschaften.

Zum Glück bleibt die Anzahl der notwendigen Angaben in Grenzen. Ein Teil der möglichen Blattform-Merkmale spielt bei der Leistungsberechnung keine oder nur eine vernachlässigbare Rolle. So ist es z.B. gleichgültig, ob die Blattachse in Radiusrichtung eine Vor- oder Rück-„Pfeilung“ aufweist; auch eine „V-Form“ (Konuswinkel) spielt keine Rolle.

2. 1 Die Tiefenverteilung

Wichtig ist dagegen die „Tiefe“ (Breite) der Blätter. Da sich diese normalerweise längs des Blattradius ändert, muß man sie an genügend vielen „Stationen“ angeben, und man bezeichnet das dann als die *Tiefenverteilung* der Blätter.

Um Propeller unterschiedlicher Größe in ihrer Tiefenverteilung vergleichbar zu machen, gibt man sowohl die Lage der *Radiusstationen* als auch die jeweilige Tiefe nicht absolut (in mm oder cm) an, sondern bezogen auf den *Blattradius* R, entweder in Prozent oder als Dezimalbruch.

PropCalc verwendet 9 Radiusstationen r/R ; diese sind 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0.

Entsprechend gibt es dann 9 zugehörige Werte von t/R . Diese Daten können in PropCalc individuell eingegeben (und gespeichert) werden, oder es können Tiefenverteilungen aus der Datenbank abgerufen werden. Die Tiefenverteilung kann man auch anschaulich in Diagrammform ansehen (Bild 2).

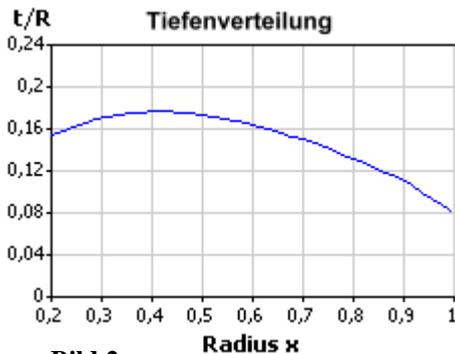


Bild 2

2. 2 Die Blattwinkelverteilung

Die zweite wichtige Verteilung betrifft den „Steigungswinkel“ β der Blätter.

In PropCalc ist dieser immer als Winkel zwischen der Drehebene und der Unterseiten-Tangente des Blattprofils definiert. In Nabennähe ist er relativ hoch, und zu den Blattspitzen hin nimmt er ab. Man muß also auch hier eine „Verteilung“ angeben, was natürlich wieder für die schon genannten 9 Radiusstationen erfolgt. Diese β -Verteilung wird als *Blattwinkelverteilung* bezeichnet.

Die Blattwinkel werden im Gegensatz zu den Tiefen stets absolut (in Grad) angegeben. Dahinter steckt die Eigenschaft, daß beim Vergrößern oder Verkleinern die Blattwinkel sich nicht ändern. Auch die Blattwinkelverteilungen können entweder individuell eingegeben oder aus der Datenbank abgerufen werden. Auch die Blattwinkelverteilung kann als Diagramm angezeigt werden (Bild 3).

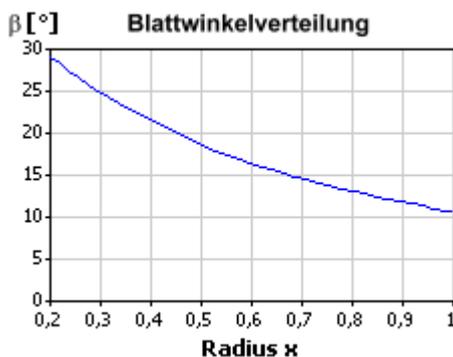


Bild 3

Hätten Propeller stets eine über den Radius konstante *Steigung* H (in mm oder cm), dann würde die Blattwinkelverteilung eine Schraubenfläche darstellen und man könnte sich die Blattwinkelverteilung sparen. Dies ist aber meistens nicht der Fall. Damit man auch in diesem Fall eine „*Nennsteigung*“ angeben kann, wird (per Definition) aus dem Blattwinkel an der Radiusstation 0,7 die zugehörige Steigung $H_{0,7}$ berechnet, auf den Durchmesser D bezogen, und heißt dann „ $H/D_{0,7}$ “. Die Radiusstation 0,7 (in US-Arbeiten meist 0,75) wird verwendet, weil an dieser

Stelle das Blatt am „intensivsten“ arbeitet und am besten repräsentiert wird.

2. 3 Das Blattprofil

PropCalc geht von der Vorstellung aus, daß an den 9 Radiusstationen der „Steigungsfläche“ das *Blattprofil* in der jeweiligen, durch t/R gegebenen Tiefe auf die Steigungsfläche „aufgelegt“ ist.

Das Profil ist für das gesamte Blatt gleich; „Mischprofile“ und Straks sind also nicht möglich. Dies hat u.a. den Grund, daß in der Datenbank Profile samt ihren Windkanal-Messdaten hinterlegt sind. Das Programm interpoliert daraus Auftriebs- und Widerstandsbeiwert je nach Anstellwinkel und Re-Zahl der jeweiligen Stelle, was eine ziemlich aufwändige Rechnung bedeutet. Eine weitere Interpolation „über die Profilform“ würde die Rechnung sehr viel komplizierter machen und zudem fragwürdige Ergebnisse erzeugen, da bei Modell-Re-Zahlen eine „Mischung“ der Messdaten nicht zuverlässig möglich ist.

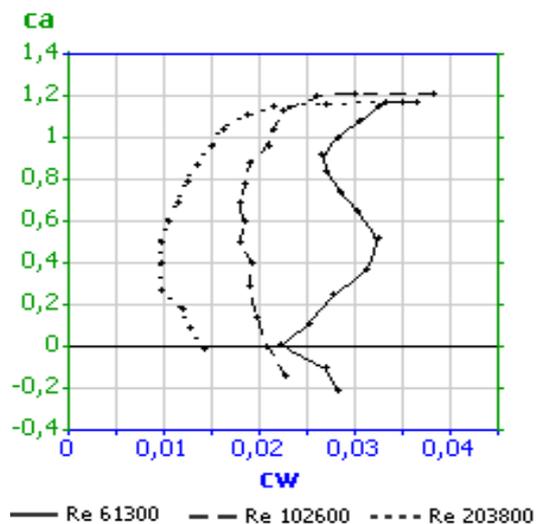


Bild 4

Im nabennahen Bereich (etwa bis $r/R = 0,3$) ist es in der Praxis nicht möglich, dasselbe Profil wie weiter außen beizubehalten, was im Prinzip dann Fehler in der Rechnung zur Folge hat. Zum Glück bleiben die Fehler sehr gering, da in diesem Bereich die Anströmgeschwindigkeiten und damit die aerodynamischen Kräfte sowie die entsprechenden Kreisflächen klein sind; aus rein „formalen“ Gründen der Rechnung müssen aber hier sowohl noch ein Profil als auch Tiefen- und Blattwinkelwerte definiert sein.

In der Datenbank sind einige bewährte Blattprofile für unterschiedliche Anwendungen abgelegt. Daneben besteht die Möglichkeit, weitere Profile einzugeben, für die dann natürlich Messdaten vorhanden sein müssen. Sowohl die Profilformen als auch ihre Messwerte („Polaren“) können graphisch angezeigt werden (Bild 4). Jedem in der Datenbank abgelegten „Propeller“ (Tiefen- und Blattwinkelverteilung) ist ein für ihn typisches Blattprofil schon zugeordnet. Es ist aber leicht möglich, statt dessen ein anderes Profil zu wählen und zu sehen, was dies für Auswirkungen hat.

2. 4 Der Durchmesser

Der Durchmesser eines Propellers hat allergrößten Einfluß auf Schub und Leistungsbedarf. Für jeden Propeller sind in der Datenbank nicht nur die o.e. „dimensionslosen“ Verteilungen und ein Profil, sondern auch der (ursprüngliche) Durchmesser abgelegt. Bei z.B. einem Prop namens „Cox 20x10“ ist ein Durchmesser von 200 mm gespeichert; bei Wahl dieses Propellers wird dieser Durchmesser verwendet.

Der Durchmesser lässt sich in PropCalc leicht ändern. Hierzu muß nur in das betr. Eingabefeld der gewünschte neue Durchmesser eingegeben werden; es entsteht dann ein neuer, auf- oder ab-,„skalierter“ Propeller. Dabei wird die Steigung automatisch mitskaliert (Blattwinkel bleiben aber gleich !), sodaß sich das H/D des Props nicht ändert. Da die Blattiefen immer bezogen auf den Radius gespeichert sind, werden sie bei einer Skalierung des Durchmessers bzw. Radius ebenfalls automatisch mitskaliert.

Beispiel: Aus dem o.e. 20x10-Prop wird nach Eingabe von 300 mm für den Durchmesser ein 30x15-Propeller mit um den Faktor 1,5 breiteren Blättern; insgesamt also eine einfache geometrische Vergrößerung um den Faktor 1,5.

2. 5 Die Blattzahl

PropCalc kann Propeller mit beliebigen *Blattzahlen* berechnen. Meistens sind es 2, die bei der ersten Aufnahme in die Datenbank eingegeben werden/wurden. Durch die Eingabe einer anderen Blattzahl in das betr. Feld kann der Propeller z.B. auf 3 oder 4 Blätter geändert werden. Dabei ändern sich Durchmesser, Steigung und Blattwinkel nicht.

2. 6 Der Verstellwinkel

Das Programm erlaubt es, die Blätter um einen bestimmten Winkel τ („tau“) zu verdrehen; also das, was in der Realität bei einem Verstellpropeller geschieht. Dazu muß nur ein *Verstellwinkel* eingegeben werden; positive Verstellwinkel erhöhen die Blattwinkel und damit Schub und Leistungsbedarf; negative Verstellwinkel erniedrigen sie. Der Grundzustand für den Verstellwinkel ist 0° .

Achtung: Sehr große positive oder negative Verstellwinkel können zu erheblichen Rechenfehlern und führen. Die Ursache dafür liegt in den Profil-Messdaten, die nur für „vernünftige“ Anstellwinkel verfügbar sind. Kleine Blattbereiche mit abgerissener Strömung verkraftet das Programm, indem es einen speziellen Begrenzungs-Algorithmus verwendet. Bei großen Bereichen mit Strömungsabriß ist aber keine Rechnung mehr möglich. Beispielsweise kann kein „Umkehrschub“ mit negativen Blattwinkeln berechnet werden.

2. 7 Der „Tiefenfaktor“

Der *Tiefenfaktor* erlaubt es, mit PropCalc die Auswirkung von unterschiedlichen Blattiefen zu untersuchen. Er ist einfach ein Faktor, mit dem die in der Rechnung verwendeten Blattiefen immer multipliziert werden. Solange man ihn nicht anwendet, ist er 1, das hat keine Auswirkung.

Wird er z.B. auf 1,5 gesetzt, dann werden alle Blattiefen mit 1,5 multipliziert, und das Ergebnis sind um 50% breitere Propellerblätter. Diese liefern dann mehr Schub, brauchen aber natürlich auch mehr Antriebsleistung. Sinngemäß hat ein Tiefenfaktor von 0,8 dann Blätter mit 20% kleinerer Blattiefen als der Ausgangsprop zur Folge. Eine Änderung der Blattiefen mit dem Tiefenfaktor hat keine Auswirkung auf Blattwinkel und Steigung.

3. Drehzahl und Fluggeschwindigkeit

Die unter 2.1 bis 2.7 erläuterten Eingaben sind Daten, die den Propeller selbst beschreiben. Hiervon sind 2.1 bis 2.5 „Pflicht“, während Verstellwinkel und Tiefenfaktor als „Editierfunktionen“ nicht unbedingt notwendige, zusätzliche „features“ von PropCalc sind.

Im Gegensatz dazu geben *Drehzahl* und *Fluggeschwindigkeit* die *Bedingungen* an, unter denen der Propeller arbeitet. Wenn man nur eine einzige Drehzahl und eine einzige Fluggeschwindigkeit in Betracht zieht, dann nennt man dies den *Betriebspunkt* des Propellers. Die Leistungsfähigkeit moderner PCs ist so hoch, daß PropCalc für eine Vielzahl von systematisch variierten Bedingungen rechnen kann; so entstehen die anfangs erwähnten Diagramme.

Wichtiger Hinweis:

Wer nicht schon über Grundlagenkenntnisse zu Propellern verfügt, sollte jetzt das Script „Fortschrittsgrad & Co“ lesen, bevor er hier weiterliest !

Darin werden die Umstände ausführlich erklärt, um die es bei Drehzahl und Fluggeschwindigkeit geht; hier geschieht es nur in Kurzform.

3. 1 Der Fortschrittsgrad

Es gibt eine große Anzahl Kombinationen von Drehzahlen und Fluggeschwindigkeiten, die an einem Propeller auftreten können. So viele, daß es unpraktikabel wäre, für jeden denkbaren Fall Daten zu berechnen und zu speichern.

Bei näherem Hinsehen stellt man jedoch fest, das diese Vielfalt „System“ hat. Fluggeschwindigkeit v und Tangentialgeschwindigkeit v_t setzen sich an jeder Radiusstation vektoruell zur *resultierenden Anströmgeschwindigkeit* v_{res} zusammen; die Strömung trifft deshalb „schräg“ auf die Propellerebene (Bild 5).

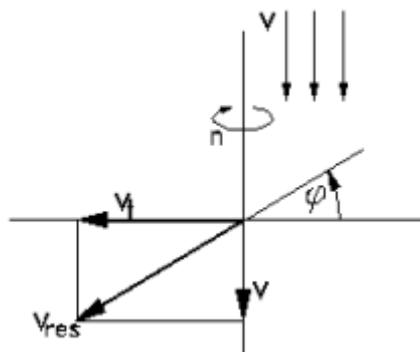


Bild 5

Zwischen der Tangentialgeschwindigkeit an jeder Radiusstelle und der Tangentialgeschwindigkeit an der Blattspitze = *Umfangsgeschwindigkeit* besteht ein einfacher Zusammenhang. Daher genügt es zur Kennzeichnung des Anströmzustands, diesen nur an der Blattspitze zu betrachten.

Offensichtlich hängt es nur vom Verhältnis Fluggeschwindigkeit zu Umfangsgeschwindigkeit ab, wie der Propeller angeströmt wird. Dieses Verhältnis (ein konstanter Faktor $1/\pi$ wird dabei als Verabredung weggelassen) nennt man als Fortschrittsgrad und wählt dafür den Buchstaben J.

Es ist

$$J = \frac{60 \cdot v}{n \cdot D}$$

Hierin sind v = Fluggeschwindigkeit [m/s], n = Drehzahl in [Upm], D = Durchmesser in [m].

Der Fortschrittsgrad ist eine dimensionlose „Maßzahl“ für den Anströmzustand eines Propellers. Er vereinfacht alle Überlegungen und Rechnungen erheblich. Wenn zwei ganz verschiedene Propeller beim gleichen Fortschrittsgrad betrieben werden, dann haben sie dieselben Anströmverhältnisse; egal, wie groß Fluggeschwindigkeit, Drehzahl und Durchmesser im Einzelfall sind. In Propellerdiagrammen werden deshalb die Daten immer über dem Fortschrittsgrad aufgetragen, siehe z.B. Bild 1.

Der Fortschrittsgrad hat immer nur einen bestimmten sinnvollen Bereich. Dieser beginnt bei $J = 0$ ($v = 0$, Stand). Mit zunehmender Fluggeschwindigkeit, d.h. mit steigendem Fortschrittsgrad, werden Schub und Leistungsaufnahme ständig geringer, bis bei einem bestimmten

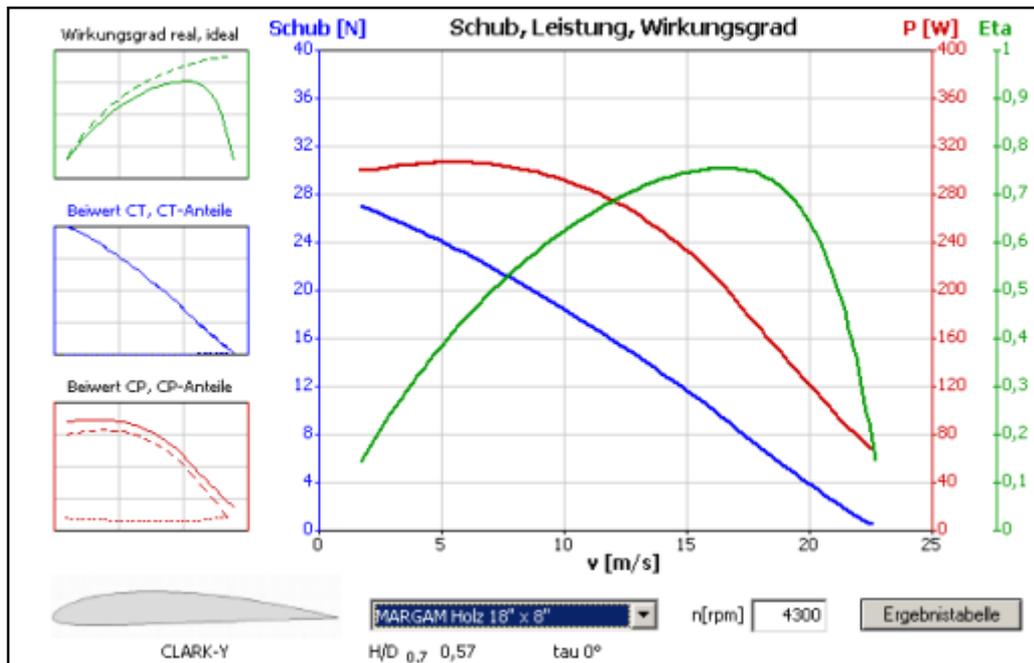
Fortschrittsgrad der Schub Null wird. Dieser „*Fortschrittsgrad des verschwindenden Schubs*“ liegt (ganz grob gesagt !) bei etwas über $J = H/D$ und ist die obere Grenze für einen Propeller; bei noch größeren Fortschrittsgraden würde der Propeller zur Windmühle. PropCalc rechnet automatisch nur in diesem sinnvollen Bereich; mit kleinen Einschränkungen.

3. 2 Die notwendige Eingabe

PropCalc verlangt zur Berechnung nur die Eingabe einer „sinnvollen“ Drehzahl in das zugehörige Eingabefeld. Das kann z.B. eine bekannte typische Drehzahl für den betr. Propeller sein, oder auch z.B. die Motordrehzahl, bei welcher der Propeller betrieben werden soll. Eine Eingabe der Fluggeschwindigkeit ist nicht notwendig !

Das Programm wählt den Bereich der möglichen Fluggeschwindigkeiten automatisch. Es beginnt bei etwas über Null, berechnet den Fortschrittsgrad und die weiteren Größen, erhöht dann die Geschwindigkeit um eine Stufe und rechnet wieder, usw. Diese „Rechenschleife“ wird wiederholt, bis ungefähr zum Fortschrittsgrad des verschwindenden Schubs.

Als besonderes „feature“ kann man die Drehzahl auch mit der Maus eingeben, indem man diese mit gedrückter linker Taste über das Diagrammfeld bewegt. Da man dabei leicht in den Bereich unsinniger (zu hoch oder zu nieder) Drehzahlen kommen kann, sollte man die jeweilige Drehzahl im Anzeigefeld im Auge behalten. Unsinnige Drehzahlen erkennt man auch z.B. durch stark „zerklüftete“ Kurven im Diagramm (Re-Zahl-Einfluß) oder durch „unmögliche“ Schub- oder Leistungswerte.



4. Ausgabe der Ergebnisse

Das Ergebnis der Berechnungen wird in 4 Diagrammen dargestellt, 1 großes und 3 kleine, s. Bild oben. Durch einen Mausklick auf jedes der kleinen Diagramme kann man dieses in die große Darstellung bringen; das seitherige

große Diagramm springt dann in die kleine Form.

Zu den Inhalten dieser Diagramme sei hier nochmal an das schon erwähnte Script „Fortschrittsgrad & Co“ erinnert.

4. 1 Schub, Leistung, Wirkungsgrad

Dies ist das für Praktiker wichtigste Diagramm, daher ist es auch nach dem Programmstart als „groß“ vorgewählt. Der Verlauf von Schub, Antriebsleistung und Propellerwirkungsgrad über der Fluggeschwindigkeit werden angezeigt.

Schub und Leistungsabnahme fallen stets mit steigender Fluggeschwindigkeit ab. Es kann jedoch (vor allem bei Propellern mit hoher Steigung) vorkommen, daß Schub und/oder Leistung zuerst konstant bleiben oder sogar ansteigen, bevor dann der Abfall eintritt. Dies ist vor allem durch teilweise abgerissene Strömung am Propeller, z.T. auch durch Re-Zahl-Effekte bei kleinen Geschwindigkeiten begründet. Diese Erscheinung ist Vielen aus der Praxis bekannt.

Der Wirkungsgrad beginnt mit dem Wert Null im Stand, steigt mit zunehmender Geschwindigkeit an, durchläuft ein Maximum und fällt dann steil ab. Die Ursache dafür ist, daß die unvermeidbaren sog. *induzierten Verluste* des Props mit abnehmendem Schub geringer werden, während die *Reibungsverluste* etwas zunehmen.

Die Lage des Wirkungsgrad-Maximums hängt in komplizierter Weise von der Form des Props ab; man kann aber (ähnlich wie bei Elektromotoren) sagen, daß der Geschwindigkeitsbereich der höchsten Wirkungsgrade umso kleiner wird, je höher und „spitzer“ das Maximum selbst ist. Es hat also gar keinen Zweck, nach Propellerformen mit hohem UND breitem Maximum zu suchen, ein solches gibt es nicht. Ein Prop mit hohem Wirkungsgradmaximum erfordert in der Anwendung sorgfältige Einstellung und Überwachung aller Parameter, sonst kann man von dem hohen Maximum leicht „herunterfallen“.

Es ist auch zu sehen, daß bei der Geschwindigkeit des besten Wirkungsgrads Schub und Leistung meist schon stark abgefallen sind und u.U. zu gering sind. Daher kann es günstiger sein, mit kleinerem Wirkungsgrad, aber höherem Schub und höherer Leistung zu fliegen. Wenn die Geschwindigkeit des Modells vorgegeben ist, dann hilft dazu nur Erhöhung der Drehzahl und/oder höhere Steigung des Props. Dabei ist PropCalc eine große Hilfe.

Achtung:

Das Diagramm gilt immer nur für die jeweils gewählte, konstante Drehzahl; diese Einschränkung ist prinzipieller Art und unvermeidlich. Die in der Praxis auftretende Drehzahlzunahme mit steigender Geschwindigkeit hängt mit den Motoreigenschaften („Drehzahlsteifigkeit“) zusammen. Die veränderliche Drehzahl kann grob berücksichtigt werden, indem man einfach eine etwas höhere Drehzahl eingibt; PropCalc rechnet dann sofort ein neues Diagramm.

4. 2 Der Schubbeiwert C_T

Der Schubbeiwert ist die in der Propeller-Aerodynamik verwendete *dimensionslose* Darstellung des Schubs; daher ist er auch wie dort üblich über dem Fortschrittsgrad aufgetragen. Er ist ungefähr dem Auftriebsbeiwert C_A eines

Tragflügels vergleichbar. Mit seiner Kenntnis kann man jede Anwendung eines Propellers berechnen, der dem berechneten (oder gemessenen) Propeller *geometrisch ähnlich* ist. Man muß im Modellflug nur noch darauf achten, daß die Re-Zahl der Prop-Berechnung grob zur Re-Zahl der Anwendung passt. Der C_T -Verlauf ist einer der Schlüssel für weiterführende Rechnungen.

C_T ist im Diagramm zusätzlich nach seinen Anteilen aufgeschlüsselt. Der „Nutzanteil“ besteht aus der in axiale Richtung fallenden Komponente des Auftriebs (c_a) an den Propellerblättern. Leider fällt auch eine Komponente des Profilwiderstands (c_w) in die axiale Richtung und vermindert den Nutzanteil. In der Regel ist dieser „schädliche“ Anteil aber gering.

4. 3 Der Leistungsbeiwert C_p

Der *Leistungsbeiwert* ist die in der Propeller-Aerodynamik verwendete *dimensionslose* Darstellung der Antriebsleistung. Es gilt daher sinngemäß das schon oben beim Schubbeiwert Gesagte. Die Entsprechung bei einem Tragflügel ist der Widerstandsbeiwert (c_w). Genauer gesagt, wäre es der *Drehmomentbeiwert* C_Q ; der praktische Umgang mit diesem hat aber gewisse Nachteile, sodaß man in der Regel nur den Leistungsbeiwert verwendet.

Mit seinen Anteilen ist es etwas komplizierter. Es gibt einen Anteil durch die in Tangentialrichtung fallende Komponente des Profilwiderstands; dies ist leicht einzu-sehen. Aber auch der Auftrieb am Blatt hat eine (bremsende) Komponente in Tangentialrichtung, da er schräg nach hinten geneigt ist. Und dieser Anteil ist sogar dominierend über den größten Teil des Fortschrittsgrad-Bereichs. Das entspricht ungefähr dem induzierten Widerstand an einem Tragflügel.

Dieser Anteil ist prinzipiell unvermeidbar, man kann ihn nur durch geeignete Formgebung des Propellers minimieren; dies gilt dann streng nur für einen einzigen Fortschrittsgrad. Eine solche Minimierung erfolgt, wenn gemäß 1.1 ein „Optimalpropeller“ berechnet wird.

Im Diagramm addieren sich die beiden Anteile.

4. 4 Der Wirkungsgrad

Im Diagramm sind 2 Kurven dargestellt; für „real“ und „ideal“. Die „Ideal“-Kurve gilt für den gedachten Fall, daß das Blattprofil keinen Profilwiderstand hätte.

Selbst dann wäre aber der Wirkungsgrad nicht gleich 1, weil da noch der oben schon erwähnte Anteil vom schräg stehenden Auftrieb ist. Dieser Anteil ist unvermeidlich und gewissermaßen der „Mindestpreis“, den man für die Umwandlung von „Drehleistung“ in „Vortriebsleistung“ zahlen muß.

Bei hohen Fortschrittsgraden (= kleiner Schub !) kann der Idealwirkungsgrad sehr hoch werden, aber genau dann fällt in der Realität der Verlust durch den Profilwiderstand besonders ins Gewicht und drückt den Real-Wirkungsgrad; letztlich bis auf Null.

5. Ausgabe von formatierten Tabellen

Ergänzend können die den Diagrammen zugrunde liegenden Daten auch in Tabellen- bzw. Dateiform angezeigt und ausgegeben werden. In einem eigenen Fenster werden als *Ergebnistabelle* die berechneten Werte für C_T , C_P usw. in Abhängigkeit vom Fortschrittsgrad J angezeigt. Diese Tabelle kann auch ausgedruckt werden.

Als weitere Option können die tabellierten Werte in eine externe „csv“-Datei geschrieben werden (csv = Character Separated Values). Diese kann danach direkt in ein Tabellen-Rechenprogramm (z.B. MS EXCEL) übernommen werden, in dem sie dann weiterverarbeitet werden. Diese Möglichkeit ist der Schlüssel für weiterführenden Rechnungen; beispielsweise die Zusammenarbeit mit dem Antriebsmotor. In der Tabellenkalkulation können auch mit wenig Aufwand weitere, in PropCalc nicht enthaltene Diagramme erstellt werden.

6. Was PropCalc nicht kann

PropCalc berechnet als „virtueller Windkanal“ vor allem diejenigen Propellerdaten, die eigentlich Propellerhersteller zur Verfügung stellen müssten. Diese sind Grundlage für eine Antriebsberechnung, aber sie können nicht die Antriebsberechnung selbst sein. Hierzu müssten z.B. Daten des Antriebsmotors und gfls. auch des Modells zur Verfügung stehen.

Das verwendete Rechenverfahren erlaubt es aus mathematischen Gründen nicht, den Propeller *im Stand* zu berechnen. Hierzu ist jedoch eine einfache Abhilfe möglich. Da die Kurven der Diagramme bis nahe an den Standfall heranreichen, können sie mit dem Kurvenlineal oder „Freihand“ bis zur y-Achse verlängert, d.h. extrapoliert werden. Da es physikalisch unplausibel ist, daß die Kurven in diesem kleinen Bereich noch „Sprünge“ machen oder sonstwie ihren Verlauf grundsätzlich ändern, erhält man so brauchbare Werte, wie beispielsweise den Standschub und den zugehörigen Leistungsbedarf.

PropCalc kann keine Fälle berechnen, in denen am Propeller große Gebiete mit abgerissener Strömung und/oder negativen Anströmwinkeln auftreten. Hierzu stehen keine Profil-Messdaten zur Verfügung.

Aus ähnlichen Gründen ist es auch nicht möglich, Propeller zu berechnen, bei denen sich das Blattprofil in Radiusrichtung ändert. In solchen Fällen kann man sich mit der Wahl eines „mittleren“ Profils behelfen. Die Auswirkung einer solchen Vereinfachung ist nicht so dramatisch wie vielleicht befürchtet und entspricht ungefähr einem Verstellwinkel von 1-2°.

PropCalc kann keinen Optimalpropeller berechnen. Man kann jedoch durch gezieltes, sinnvolles Verändern der Propeller-Parameter recht schnell zu optimalen Formen gelangen.

7. Zur Geschichte und Quellen

PropCalc wurde in seiner Urform 1996 entwickelt und in etwas vereinfachter Form in *FMT-Kolleg* Nr. 21/1997 veröffentlicht. Seine Entwicklung stützte sich auf frühere Quellen, von den hier vor allem *Rick Ruysink* und verschiedene Publikationen von *Prof. Eugene Larrabee* genannt werden sollen. Dessen im Programm „ELICA“ verwendeter Algorithmus wurde an einigen Stellen weiterentwickelt. Ähnliche Programme sind u.a. von *Ernst Schöberl* und *Hannes Delago* entwickelt worden.

Großer Dank gebührt *Christian Persson* für seine Umsetzung in eine auf modernen PCs lauffähige Form mit graphischer Oberfläche, und für das Beisteuern neuer Ideen.

Ich wünsche allen Anwendern viel Erfolg und Freude bei der Arbeit mit PropCalc.

