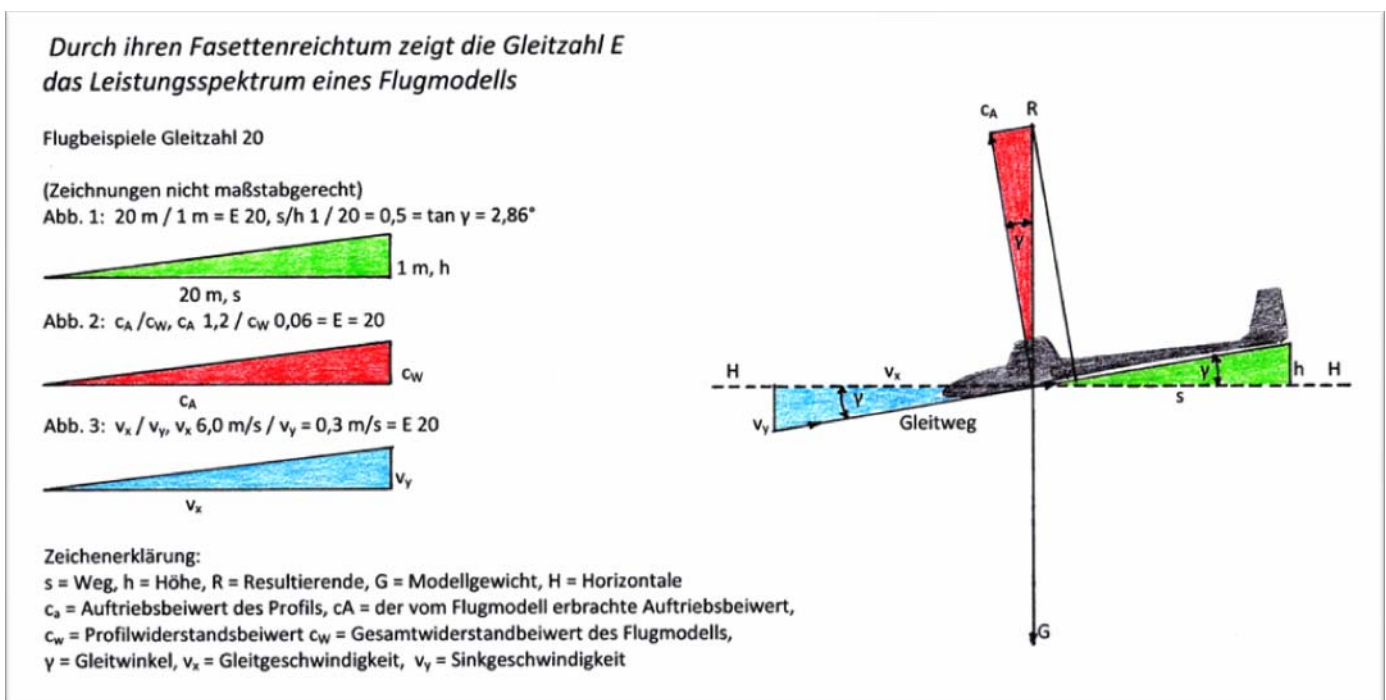


# Die Gleitzahl E und ihre Begleiter

Benützen Sie bitte, so weit erforderlich, während des Lesens die am Ende des Artikels angeführten Erläuterungen

Zum Begriff: Die mit dem Buchstaben E gekennzeichnete Gleitzahl (-) sagt aus, wie weit ein Flugmodell aus einer bestimmten Höhe zu gleiten imstande ist. Wie schon ihr Name sagt, geht es bei ihr ums Gleiten und wie noch gezeigt wird, spielt die Gleitgeschwindigkeit bei ihr nur eine Nebenrolle. Eine bestimmte Gleitzahl E kann bei kleiner oder großer Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  erzielt werden. E ist schlicht und einfach eine Verhältniszahl aus zurückgelegter Strecke und Starthöhe.

Fliegt ein Modell aus einem Meter Höhe 20 m weit, dividiert man die Strecke durch die Höhe, also  $20 \text{ m} / 1 \text{ m}$  und erhält damit die Gleitzahl  $E = 20$ . Oder bei  $s = 20 \text{ m} / h = 2 \text{ m}$  ist  $E = 10$  usw. Je weiter ein Modell aus einer bestimmten Höhe fliegt, umso größer wird E. Hinter E versteckt sich auch der Gleitwinkel  $\gamma$ , ein in der Fliegersprache gerne benützter Ausdruck, denn mit  $E = 20$  ist er der  $\arctan$  aus Höhe / Strecke;  $1 / 20 = 0,05 = 2,86^\circ$ . Das Modell gleitet also unter einem „Bahnneigungswinkel“ (so der Fachausdruck für Gleitwinkel) von  $2,86^\circ$  zur Erde. Die Gleitzahl 20 aus diesem Beispiel stellt im Bereich Modellflug schon einen sehr guten Wert dar. Beim manntragenden Segelflugzeug wäre es die Gleitzahl 50 mit dem Gleitwinkel von  $1,14^\circ$ .



Die Gleitzahl E stellt sich nicht nur durch das eben genannte, simple Verhältnis aus Flugstrecke und Starthöhe dar, sondern ist auch ein Vexierbild der Flugmechanik: Mit  $c_A / c_W$ , z. B.:  $1,2 / 0,06 = E = 20$ . Oder mit  $v_x / v_y$ , z. B.:  $6,0 \text{ m/s} / 0,3 \text{ m/s} = E = 20$ . Ihre engsten Begleiter sind also die **Gleitgeschwindigkeit  $v_x$** , die **Sinkgeschwindigkeit  $v_y$** , der **Flächenauftriebsbeiwert  $c_A$**  (im Gegensatz zum  $c_a$  des Profils, mit großem A als vom Grundriss abhängigen Mittelwert) und  $c_w$ , mit großem W für den **Gesamtwiderstandsbeiwert**.

Wie weit all diese Begleiter mit der Gleitzahl E verknüpft sind oder sie beeinflussen und bei welchem Gleitertyp eine gute (hohe) Gleitzahl wünschenswert erscheint, sei nachstehend untersucht. Dafür und vorab noch 2 Beispielrechnungen für  $v_x$  und  $v_y$ :

Die **Gleitgeschwindigkeit  $v_x$**  wird durch die Formel  $v \sqrt{1,65 \cdot (p / c_A)}$  (1) ausgedrückt; mit  $p$  als Flächenbelastung  $G/F$  (Gewicht  $G$  durch Fläche  $F$ ), dem Wert  $1,65$  für einen mittleren Luftzustand und  $c_A$  als dimensionslosem Beiwert des Flächenauftriebs. Für ein einfaches Beispiel zu  $v_x$  sei die Flächenbelastung ( $G = 0,9 \text{ kg} / F = 0,45 \text{ m}^2$ ) oder  $9 \text{ N} / 0,45 \text{ m}^2 = 20 \text{ g/dm}^2$  oder  $20 \text{ N/m}^2$  und  $c_A = 1,0$ . Dann ergibt sich aus Formel (1) eine Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  von  $5,74 \text{ m/s}$ .

Die **Sinkgeschwindigkeit  $v_y$**  ergibt sich aus der Formel  $v \sqrt{1,65 \cdot p \cdot (c_w^2 / c_A^3)}$  (2). Zu den Größen der Formel (1) scheint in (2) noch der Gesamtwiderstand  $c_w$  auf. Er setzt sich aus den drei Widerständen  $c_w$ ,  $c_{wi}$ ,  $c_{wr}$ , = Profil-, Induzierter- und Restwiderstand zusammen. Für folgende Rechnungen und ein gut durchkonstruiertes und gebautes Modell, sei vorläufig für  $c_w$  als sicherer Mittelwert,  $0,06$  (-) gewählt. Damit und den Werten aus (1), ist  $v_y = 0,344 \text{ m/s}$  und mit den so errechneten Beispielergebnissen ergibt sich  $v_x / v_y$  die Gleitzahl  $E = 16,68$ . Als

Nebenaussagen: Die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  beträgt das 16,68fache der Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  und der Auftrieb  $c_A$  das 16,68fache des Gesamtwiderstandes  $c_W$ .

In beiden Formeln hat man es neben einer Konstanten, mit dem am Messtag herrschenden Luftzustandswert, aber auch mit variablen und veränderlichen Größen zu tun. Variabel durch die Wahl des Konstrukteurs, veränderlich aus aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten.

**(I) Auswirkungen auf die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$ , durch Vergrößerung der Flächenbelastung  $p$ :**

Baut man ein Flugmodell vorgegebener Größe schwerer, erhöht sich die Flächenbelastung – oder umgekehrt. Hierzu zwei Reihen mit obigen Werten aus Formel (1), bei gleichbleibendem  $c_A = 1,0$ :

$p =$	10	20	30	40	50 N/m <sup>2</sup> ,	(bei $c_A = 1,0$ ) dann ist die Gleitgeschwindigkeit
$v_x =$	4,06	5,74	7,03	8,12	9,08 m/s,	dann ist der Prozentanstieg von z. B. 4,06 auf 5,74 m/s
gleich		41,37%	22,47%	15,5%	11,8%	

Bei jeweiliger Vergrößerung von  $p$  um 10 N, wächst  $v_x$  prozentuell nicht linear. Im niedrigen Flächenbelastungsbereich führt eine Erhöhung von  $p$  zu einer höheren Geschwindigkeit um 41,37%. Mit zunehmendem  $p$  wird der Prozentanteil immer kleiner. Bei einer Erhöhung von  $p$  von 40 auf 50 N/m<sup>2</sup> beträgt er nur mehr 11,8%!

**(II) Auswirkungen auf die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$ , durch Vergrößerung der Flächenbelastung  $p$ , bei**

$P =$	10	20	30	40	50 N/m <sup>2</sup> , ist
$v_y =$	0,24	0,34	0,42	0,48	0,54 m/s. Der Prozentzuwachs von $v_y$
ist gleich		41,6%	23,5%	14,28%	12,5%

Beim Vergleich von (I) und (II) fällt sofort auf: *Vorausgesetzt*, dass auch bei kleiner Flächenbelastung (kleinen Gleitgeschwindigkeiten) überkritische Strömung herrscht, wird bei steigenden Flächenbelastungen  $p$  die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  größer und die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  schlechter (höher).

Auffällig, aber wenig beachtet ist, dass bei **Änderung der Flächenbelastung  $p$ , keine Änderung der Gleitzahl  $E$**  eintritt. Mit steigender Flächenbelastung fliegt das Modell wohl immer *schneller: jedoch horizontal, wie auch vertikal (Gleiten/Sinken)!* Die zurückgelegte Strecke aber bleibt immer gleich. Eine Überprüfung aller  $v_x / v_y$  – Ergebnisse ergibt immer eine Gleitzahl  $E$  von 18,81!

Bei manchem Modellflieger mag dies Kopfschütteln hervorrufen. Bedenkt man jedoch, dass seit Anbeginn der Modellfliegerei immer gepredigt wurde, dass höhere Flächenbelastung  $p$  mit schlechterer Flugleistung einhergeht, scheint dies nicht verwunderlich. Gleitwinkel oder Gleitzahl sind lediglich Vergleichsgrößen. Aussagekräftige Größen eines Flugmodells sind die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  und die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$ .

Die klassenspezifischen Zusammenhänge seien zunächst am Beispiel „Freiflugmodell“ erörtert. Bei diesen Modellklassen kommt es ausschließlich auf beste Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  an. Das Modell soll möglichst lange oben bleiben und das erreicht man eben **nur** mit *bester Sinkgeschwindigkeit*  $v_y$  und diese wiederum, neben großem  $c_A$ , vor allem mit **geringer** Flächenbelastung  $p$ . Wie schnell sich das Modell vom Startplatz entfernt, entscheidet **hier** der Wind und wie schnell es seine Kreise dreht, ist dem Wettbewerber völlig egal. Mit welcher Geschwindigkeit sich das Modell fortbewegt, spielt keine Rolle. Ein F1A-Segler gleitet bei  $p = 12$  N/m<sup>2</sup> und einem  $c_A = 1,2$  mit gemächlichen 4,06 m/s dahin. Theoretisch, also bei Windstille, würde er zum Durchfliegen einer geraden Strecke von 100 m, 24,6 Sekunden benötigen. Mit Ausnahme der Klasse F1E ist also bei den Freiflugmodellen der **Leistungsträger die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$ !**

Bei den Magnetseglern (F1E) müsste vor jedem Flug die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  der herrschenden Windgeschwindigkeit durch Flächenbelastungskorrektur angepasst werden. Bei Windstille sollte  $p$  der Mindestgrößenvorschrift [12 g/dm<sup>2</sup>] entsprechen, also dem Optimum für beste Sinkgeschwindigkeit  $v_x$ .

Konträr hierzu ein Extrembeispiel der Fernsteuer-Klasse F3F. Hier gilt es, festgelegte Strecken in kürzest möglicher Zeit, also mit hoher Geschwindigkeit zu durchfliegen. Dafür, aber auch um den extrem hohen Windgeschwindigkeiten Paroli bieten zu können, benötigen die F3F-Piloten besonders schnelle Segler. Dies gelingt ihnen im Wesentlichen durch **hohe** Flächenbelastungen  $p$ . Als Beispiel sei ein Segler mit 0,5 m<sup>2</sup> Flügelfläche bei einem Gewicht von 5 kg angeführt, der bei einem  $c_A$  von 0,8 eine Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  von 14,36 m/s entwickelt.

Das verwendete Profil spielt dabei natürlich auch mit. Würde bei gleicher Flächenbelastung ein nur um 0,25% dickeres Profil Verwendung finden, das nun bei bester Profilgleitzahl ein  $c_A$  von 1,0 erreicht, verringert sich die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  um immerhin 1,52 m/s auf 12,84 m/s. Natürlich verbessert sich die Sinkgeschwindigkeit, aber auf die wird hier nicht Wert gelegt. Den benötigten Auftrieb besorgt ja bereits der Hangaufwind. Daher findet man bei diesen Modellen meist dünne, widerstandsarme, wenig Auftrieb liefernde Flügelprofile. Berechnet man die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  für oben genanntes Modell bei einer Fluggeschwindigkeit  $v_x$  von 14,36 m/s, dann ist  $v_y$  bei einem  $c_W$  von 0,05 = 0,897 m/s, was einer Gleitzahl  $E$  von 16,5 entspricht. Aber auch die interessiert den F3F-Piloten wenig, denn hohe Gleitzahlen erreicht man, wie eingangs zu ersehen, mit hohen  $c_A$ -Werten, bzw. und

kleinen Sinkgeschwindigkeiten. Der F3F-Pilot ist ausschließlich auf Fluggeschwindigkeit  $v_x$  erpicht. Die 100 m-Strecke durchfliegt er im Gegensatz zu obigem Freiflug-Beispiel in 6,9 Sekunden. Hier ist der **Leistungsträger allein die Gleitgeschwindigkeit  $v_x$ !**

Noch sind aber nicht alle Parameter auf ihre Auswirkungen näher betrachtet worden. Wie wirkt z. B. die variable Größe  $c_A$  auf  $v_x$  und  $v_y$  ein?

**(III) Auswirkung auf  $v_x$  durch Vergrößerung von  $c_A$ :** (bei  $p = 20 \text{ N/m}^2$ )

$c_A =$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,	dann ist
$v_x =$	6,86	6,42	6,05	5,74	5,47	m/s. Die prozentuelle Abnahme von $v_x$ bei $c_A$ - Erhöhung beträgt
		6,85%	5,76%	5,40%	4,93%	

Man erkennt mit größer werdendem  $c_A$  eine mäßige Geschwindigkeitsabnahme. Erhöht man  $c_A$  0,7 auf  $c_A$  1,0, also um 42,8%, beträgt die Geschwindigkeitsabnahme insgesamt lediglich 25,4 %. Der **negative Einfluss** von  $c_A$  auf die **Fluggeschwindigkeit  $v_x$  und die Gleitzahl  $E$**  durch Geschwindigkeitsabnahme, ist eher mäßig.

**(IV) Auswirkung auf  $v_y$  durch Vergrößerung von  $c_A$ :** (bei  $p = 20 \text{ N/m}^2$ )

$c_A =$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	dann ist
$v_y =$	0,588	0,481	0,403	0,344	0,298	m/s. Die prozentuelle Verringerung von $v_y$ beträgt
		22,2%	19,35%	17,15%	15,43%	

Gegenüber dem Vergleich (III) ist bei (IV) eine starke Einflussnahme auf  $v_y$  bemerkbar.

Dazu eine Gleitzahl-Vergleichsrechnung (bei konstanter Flächenbelastung  $p$  ( $20 \text{ N/m}^2$ )) für fünf  $c_A$ -Werte von  $c_A$  0,7 bis  $c_A$  1,1: dann ist  $E = 11,66, 13,34, 15,01, 16,68$  und  $18,35!!!$  Eine Nachrechnung zeigt die gleichen  $E$ -Werte auch bei anderen Flächenbelastungen! **Eine Vergrößerung von  $c_A$  wirkt sich nicht nur positiv auf die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  aus, sondern verbessert auch die Gleitzahl  $E$  beträchtlich!!!** Daher ist es nur logisch, dass extrem langsam fliegende Segler, trotz geringer Flächenbelastungen, sehr hohe Gleitzahlen erreichen können.

Aus all dem ist ersichtlich:

- Hohe Auftriebs- und geringe Widerstandsverhältnisse, aber auch geringe Gleit- und niedrige Sinkgeschwindigkeit bewirken optimale Gleitzahlen. Im Bereich Modellflug mit Gleitzahlen um 20, beim bemannten Segelflug jedoch, wegen des viel günstigeren Auftriebs- und Widerstandsverhältnisses, Gleitzahlen um 50. Für den Streckenflug sind hohe Gleitzahlen ein Muss. Die Flächenbelastung nimmt auf die Gleitzahl keinen Einfluss. Hohe Gleitzahlen kann man bei extrem langsam, als auch schnell gleitenden Flugmodellen erreichen.
- Der auf Speed ( $v_x$ ) Bedachte ist ausschließlich auf Geschwindigkeit aus. Er treibt die Flächenbelastung  $p$  in die Höhe, vernachlässigt aber die Sinkgeschwindigkeit  $v_y$ , unter Berücksichtigung möglichst geringer Gesamt-Widerstände. Den erforderlichen Auftrieb liefert ja der Hangaufwind. Die Profilform zeigt moderate Auftriebswerte und ihre Dicke wird von der Tragflächen-Festigkeit bestimmt. Die Gleitzahl ist hier ein Mitläufer.
- Der Freiflieger hingegen, wird zunächst all sein Augenmerk auf gute Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  richten, die er durch hohe  $c_A$ -Werte und geringste Gesamtwiderstandswerte  $c_w$  erzielt. Flugmechanisch befindet sich im Bereich besten Sinkens glücklicherweise auch der vom Optimum nur geringfügig kleinere Gleitzahlwert. Der RC-Pilot der ähnliche Schleicher-Typen fliegt, muss jedoch trotz guter Gleitzahl zur Erreichung des Landeplatzes bei der Landeinteilung auf die geringe Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  achten, bzw. macht es wenig Sinn, bei Windgeschwindigkeiten zu fliegen, die  $v_x$  überschreiten!
- Der Alltagsmodellflieger, der bei windigerem Wetter lange oben bleiben möchte, sich beim Thermikkurbeln weit von der Startstelle entfernt und bei einem Absauser diese noch erreichen möchte, sollte einen Kompromiss aus  $v_x$  und  $v_y$  wählen. Dabei sollte die Flächenbelastung  $G/F$  mindestens  $30 \text{ N/m}^2$  betragen, auch wenn jedes Gramm Mehrgewicht auf die Steiggeschwindigkeit beim Motorflug Einfluss nimmt. Ansonsten siehe Freiflug.
- Eine Gleitzahl 20 besagt schließlich auch noch, dass das Flugmodell aus 100 m Höhe 2 km weit fliegen kann, seine Gleitgeschwindigkeit dabei das 20 fache seiner Sinkgeschwindigkeit und sein Auftrieb das 20fache des Modell-Gesamtwiderstandes beträgt.

© Oskar Czepa

**Erläuterungen:**

$c_a$ : Polardiagramme von Profilen lassen erkennen: der Auftrieb ändert seinen Wert mit der Profilform, dem Ein(An)stellwinkel und der Anström(Flug)geschwindigkeit!  $c_a$  und  $c_w$  sind dimensionslose Beiwerte, um Auftrieb und Widerstand, insbesondere ihrer Profilform entsprechend, genauer bestimmen zu können. (Von der Hohlkugel bis zum Stromlinienkörper reduzieren sich diese Formwerte von  $c_w$  1,4 bis auf  $c_w$  0,012).

$c_A$ : Durch diese Schreibung mit dem Großbuchstaben A wird eine weitere Verfeinerung des Profil-Auftriebsbeiwertes  $c_a$  vorgenommen. Es wird damit der vom Flugmodell erbrachte und vom Flügelgrundriss abhängige mittlere Auftriebsbeiwert dargestellt. Er findet bei Flugmodellleistungsrechnungen Anwendung.

Hier kommt auch die **Profilgleitzahl** ins Spiel. Sie ist der Quotient aus  $c_a / c_w$ . Durch geschickte Formgebung ist es möglich, Profile mit hohen  $c_a$ - und kleinen  $c_w$ -Werten, also mit hohen Profilgleitzahlen zu erstellen, auch für relativ kleine, also Modellflug- Re-Zahlen (siehe unter letzte Bilder bei „Der Modellflieger...“ für E-Motorsegler „Mungo“).

**Profilform:** dünne symmetrische Profile erzeugen wenig Auftrieb, zeichnen sich aber durch sehr kleine Widerstände aus. Im Vergleich dazu bringen dickere Profile mit konkaver Unterseite, hohe  $c_a$ -, jedoch auch höhere  $c_w$ -Werte. Man beachte also: **Für den Entwurf eines bestimmten Modelltyps und den damit verbundenen Eigenheiten ist die Profiwahl entscheidend!**

**An(Ein)stellwinkel:** Aus dem Polardiagramm erkennt man aber auch, bei welchem  $c_a$ -Werten das beste Gleiten oder das geringste Sinken ein Profil liefert. Diese Alternativwerte sind bei der Flugmodellberechnung für Schwerpunkt und EWD (Einstellwinkeldifferenz) bestimmend.

**Anströmgeschwindigkeit:** Hier ist die **Reynold'sche Zahl Re** das Um und Auf. Sie nimmt im Größenbereich des Flugmodells eine besondere Stellung ein. Vereinfacht beschrieben ist sie das Produkt aus Fluggeschwindigkeit  $v_x$ , Flügeltiefe  $t$ , und der Hilfszahl 70 für den Luftzustand. Ist die Anströmgeschwindigkeit ( $v_x$ ) oder Flügeltiefe, oder gar beides, zu gering, stellt sich am Tragflügel ein unterkritischer Strömungszustand ein. Erst durch  $v_x$ -Erhöhung oder größere Flügeltiefen gelangt die Tragfläche in den überkritischen Re-Zahlbereich. Dies bewirkt eine bis zu 3-mal! günstigere Gleitzahl, als im unterkritischen Flugzustand!!!

Jeder Flugmodelltyp verlangt also seine aerodynamischen und flugmechanischen Eigenheiten. Wer immer sich der Mühe unterzieht, ein Flugmodell zu entwerfen und sei es nur ein einfaches Anfänger-RC-Segelflugmodell, sollte grundlegend beachten, dass die vom ihm entworfene Tragfläche mit dem ausgewählten Flügelprofil, mittels entsprechender Flächenbelastung  $p$ , die erforderliche Re-Zahl bzw. Fluggeschwindigkeit erzielt, um im überkritischen Flugzustand zu arbeiten! Sonst ist alles Vorhergesagte für die Katz!

Zusammengefasst: im Bereich von bester Gleitzahl  $c_a / c_{w \max}$  (etwas kleinerer Anstellwinkel) oder bester Sinkleistung  $c_{w^2} / c_a^3 \max$ , (etwas größerer Anstellwinkel) sind die Unterschiede von  $c_a$  gering. **Durch Re-Zahländerung** (im überkritischen Bereich) findet im **Modellflugbereich** durch  $c_a$  **keine nennenswerte Änderung und Beeinflussung der Gleitzahl** statt.

Damit sei dem Auftriebsbeiwert  $c_a$  ( $c_A$ ) Genüge getan und schließlich der Widerstandsbeiwert  $c_w$  behandelt.

**$c_w$ :** Im Vergleich zu  $c_a$  geht der Profilwiderstandsbeiwert  $c_w$  andere Wege. Betrachtet man die Messwerte eines Mehrfachpolardiagramms, das die Polaren eines Profiltyps bei unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten und damit auch Re-Zahlen zeigt, fällt sofort auf, dass die Profil  $c_w$ -Werte mit größer werdender Re-Zahl, also bei **größeren Flügeltiefen** und (oder) **steigenden Fluggeschwindigkeiten** (Anströmgeschwindigkeiten) **beträchtlich** kleiner werden! **Daraus leitet sich die Leistungsüberlegenheit größerer Flugmodelle, und erst recht manntragender Flugzeuge ab.**

**$c_{wi}$ :** die Formel des entweder vom elliptischen oder trapezförmigen Tragflügelumriss abhängigen **induzierten Widerstandes**  $c_{wi}$  lautet  $c_a^2 / (\pi \cdot \Lambda)$ . Bei Rechteckgrundriss wird das Formelergebnis noch mit 1,05 multipliziert. Unter dem Bruch steht  $\Lambda$  (Lambda) für die Flügelstreckung  $b^2/F$ , mit  $b$  der Flügelspannweite.  $c_{wi}$  wächst also mit dem Quadrat von  $c_a$  und verkleinert sich, umso größer die Streckung wird. Erstmals zeigt  $c_a$  einen negativen Einfluss und will man  $c_{wi}$  bei großem  $c_a$  klein halten, erreicht man dies nur durch große Streckung.

**$c_{wr}$ :** der Restwiderstand wird durch Bauteile verursacht, die keinen Auftrieb erzeugen, aber auch durch Interferenzwiderstände der ineinander übergehenden Bauteile. Eine Erklärung, wie man  $c_{wr}$  klein hält, erübrigt sich wohl.

Aus diesen drei Widerständen, dem Profilwiderstand  $c_w$ , dem induzierten Widerstand  $c_{wi}$  und dem Restwiderstand  $c_{wr}$  setzt sich der Gesamtwiderstand  $c_w$  (verschiedentlich auch  $c_w'$  geschrieben) zusammen. Im Gegensatz zum Auftrieb, der kein Freund der Gleitgeschwindigkeit ist, nimmt der Gesamtwiderstand  $c_w$  für sich in Anspruch, durch Verbesserung der Gleitgeschwindigkeit  $v_x$  und der Sinkgeschwindigkeit  $v_y$ , der Garant für ansprechende Gleitzahlen  $E$  zu sein.

**Luftzustand-Mittel** in Bodennähe: 1,225 (kg/m<sup>3</sup>) für die Luftdichte  $\rho$  und für  $\rho/2$  (sprich rho halbe) = 0,6125, bei 15° C.