



Was kommt nach der MC- Theorie?

Trainerausbildungslehrgang Lachen-
Speyerdorf 2012

Sollfahrt

Während eines Fluges kann es erforderlich sein die Geflogenen Geschwindigkeit den jeweiligen Situationen anzupassen. Es gibt im wesentlichen vier verschiedene Fälle:

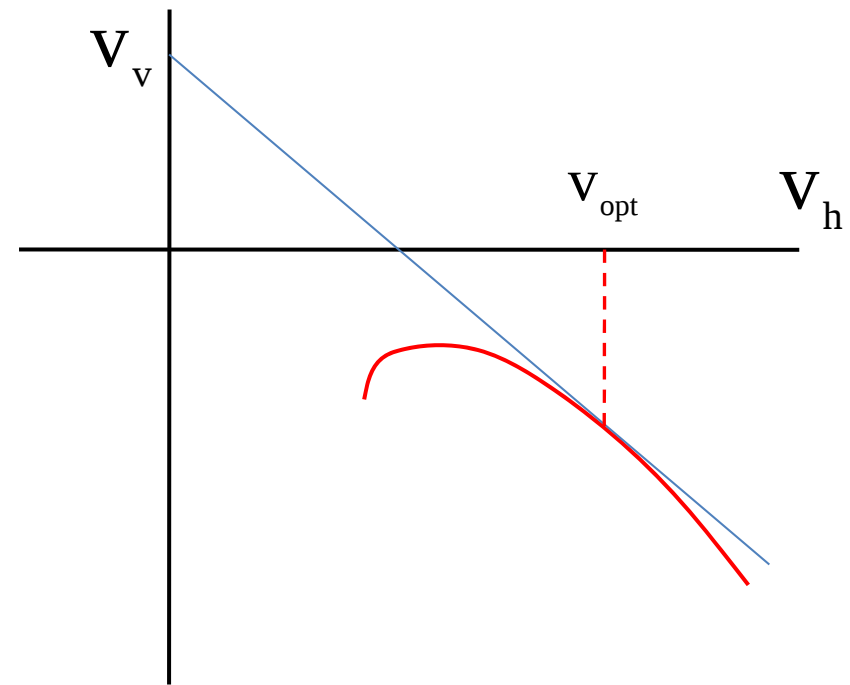
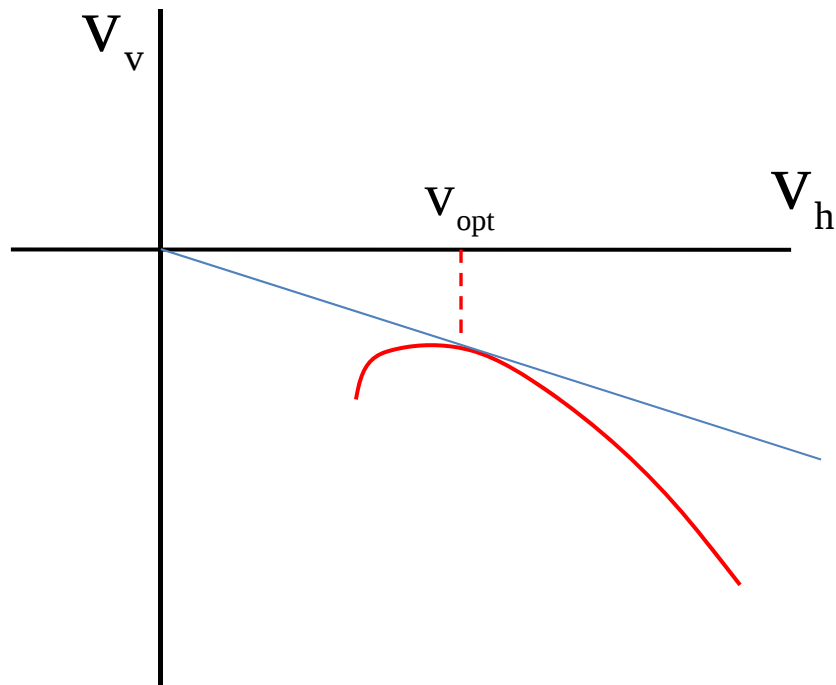
- Sollfahrt für minimales Sinken
- Sollfahrt für optimales Gleiten
- Sollfahrt für maximale Reisegeschwindigkeit
- Sollfahrt für schnellsten Endanflug
- (Sollfahrt für maximale Punkte)

Sollfahrt für minimales Sinken

Vor allem im Kreisflug interessant. Um mithilfe der Kreisflugpolare ein Optimum zwischen Kreisradius, Geschwindigkeit und Schräglage zu finden.

Stellt ein eigenständiges Thema dar welches hier nicht erörtert werden soll.

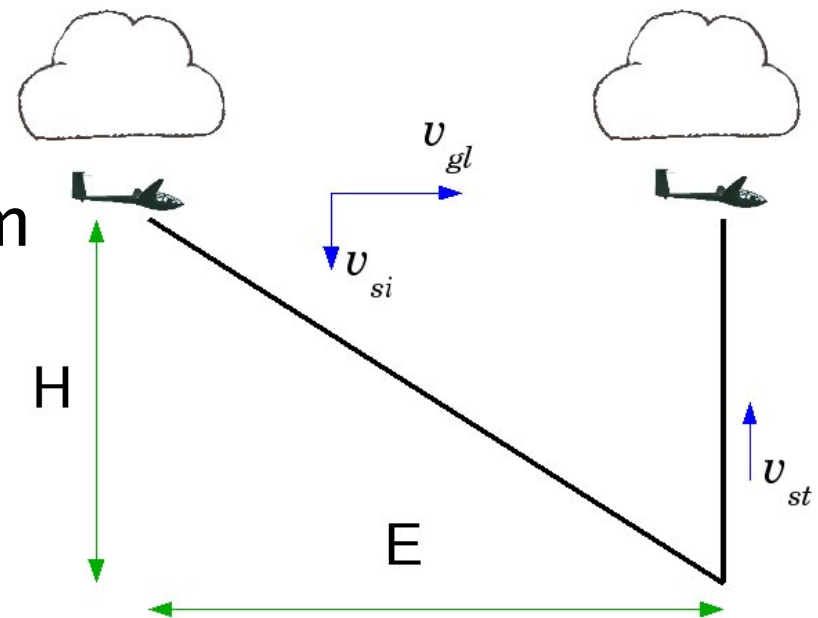
Sollfahrt für optimales Gleiten



MC-Theorie (Sollfahrt für max. Reiseg.)

Die MC-Theorie beruht auf folgendem Modell:

- Das Flugzeug steigt nur im Aufwind, während des Vorfluges sinkt es
- Der nächste Aufwind wird immer erreicht
- Der Pilot kennt die Stärke des nächsten Aufwindes



MC-Theorie (Zusatzinfos)

□ Herleitung der Sollfahrtgleichung:

$$(1) \quad t = t_{gl} + t_{st}$$

Gesamtzeit = Zeit im Vorflug + Zeit beim Kurbeln

$$(2) \quad t = \frac{E}{v_{gl}} + \frac{H}{v_{st}}$$

$$\text{Zeit im Vorflug} = \frac{E}{v_{gl}} \quad \text{Zeit beim Kurbeln} = \frac{H}{v_{st}}$$

$$(3) \quad H = -\frac{v_{si} + v_{met}}{v_{gl}} \cdot E$$

(3) in (2) = (4)

$$(4) \quad t = \frac{E}{v_{gl}} - \frac{v_{si} + v_{met}}{v_{gl} \cdot v_{st}} \cdot E$$

Um das Minimum der Gesamtzeit in Abhängigkeit von v_{gl} zu erhalten muss nach v_{gl} differenziert werden und die Ableitung gleich Null gesetzt werden.

$$(5) \quad \frac{dt}{dv_{gl}} = E \cdot \left(\frac{-1}{v_{gl}^2} - \frac{\frac{dv_{si}}{dv_{gl}} \cdot v_{gl} \cdot v_{st} - (v_{si} + v_{met}) \cdot v_{st}}{(v_{gl} \cdot v_{st})^2} \right) = 0$$

MC-Theorie (Zusatzinfos)

□ Herleitung der Sollfahrtgleichung:

$$(6) \quad 0 = -v_{st} - \frac{dv_{si}}{dv_{gl}} \cdot v_{gl} + v_{si} + v_{met}$$

$$(7) \quad \frac{dv_{si}}{dv_{gl}} v_{gl} = v_{si}(v_{gl}) - v_{st} + v_{met} \quad \text{Sollfahrtgleichung}$$

$$(8) \quad v_{si}(v_{gl}) = a \cdot v_{gl}^2 + b \cdot v_{gl} + c \quad \text{Flugzeugpolare (a,b,c Flugzeugspezifisch)}$$

$$(8) \text{ in } (7) \longrightarrow v_{gl} = \sqrt{\frac{c + v_{met} - v_{st}}{a}}$$

MC-Theorie

□ Sollfahrtgleichung

$$\frac{dv_{si}}{dv_{gl}} \cdot v_{gl} = v_{si}(v_{gl}) + v_{met} - v_{st}$$

□ Flugzeugpolare

$$v_{si} = a \cdot v_{gl}^2 + b \cdot v_{gl} + c$$

□ Sollfahrt durch

$$v_{gl} = \sqrt{\frac{c + v_{met} - v_{st}}{a}}$$

Was folgt aus den Gleichungen?

Ist die Stärke des nächsten Aufwindes bekannt und das Erreichen gesichert, so ist dies der MC-Wert für den Flug zu diesem Aufwind.

MC-Theorie

Schlussfolgerungen für den Streckenflug (nach: Delphinflug-Modell Reichmann)

- „Fliege mit der Ringeinstellung, mit der der gewünschte Flugpfad entweder im direkten Geradeausflug oder nach der Regel
 >> Endsteigen=Ringeinstellung für den Geradeausflug = Anfangssteigen<< erreicht werden kann.“

MC-Theorie

Probleme

- Wettermodell
- Berücksichtigt nicht das Risiko einer Außenlandung
- Berücksichtigt nicht die Reichweite als Faktor für die MC-Wahl
- Setzt voraus, dass die Stärke und Verteilung der vorausliegenden Aufwinde bekannt ist
- Alle in den selben Aufwinden kurbeln
- Alle die Thermik gleichschnell zentrieren

Was nun?

- Erweiterung der MC-Theorie durch **zufällige Aufwindverteilung** und **beschränkte Höhe** (Modell und numerische Lösung von John Cochrane)

„MacCready Theory with Uncertain Lift and Limited Altitude“ John Cochrane 1999

„Just a little faster, please“ John Cochrane 2007

- Was für Informationen (Randbedingungen) brauchen wir für dieses Modell?

Thermikmodell (zufällige Aufwinde)

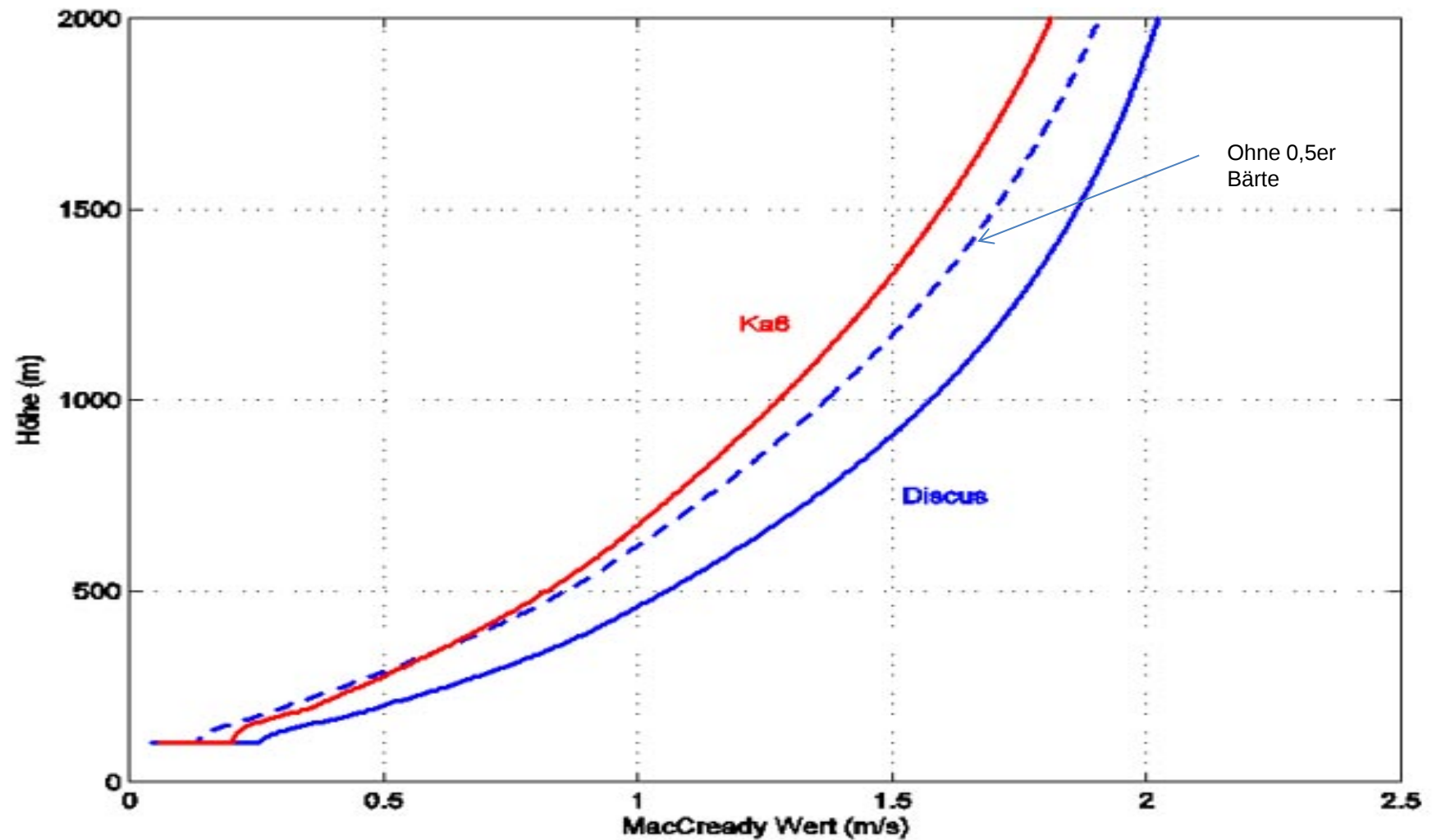
- P = Wahrscheinlichkeit
- P_{cu} = Cumulierte Wahrscheinlichkeit

Aufwind Stärke [m/s]	Wahrschein- lichkeit über 2km [%]	P_{cu} über 2km [%]	P_{cu} über 10km [%]	P_{cu} über 20km [%]
0.5	20	37	90	99
1	10	17	61	84
2	5	7	30	52
3	2	2	10	18

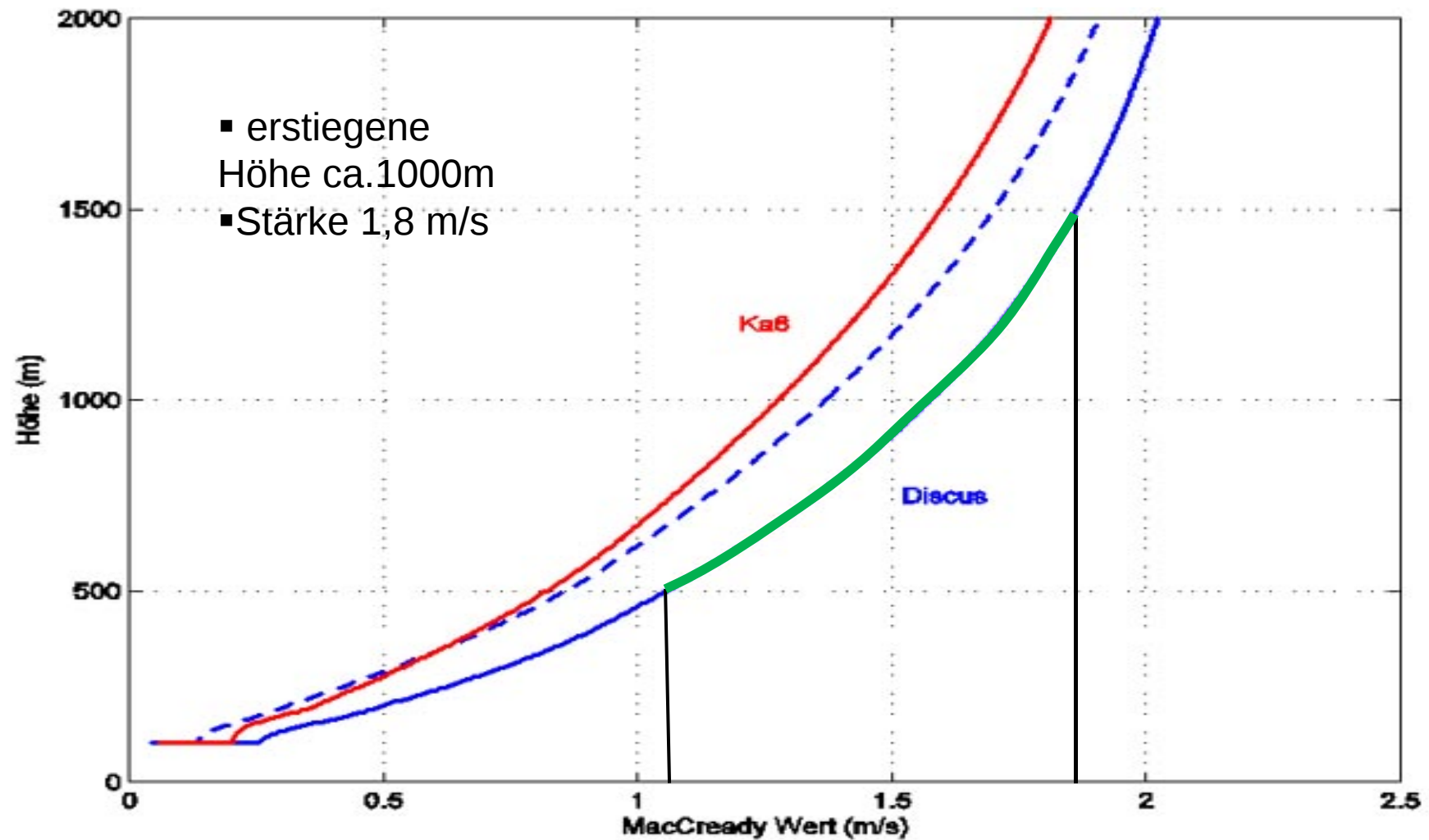
Höhenmodell/ Optimierung

- Begrenzte Arbeitshöhe (im Beispiel 2000m)
- Minimale Höhe (im Beispiel 100m)
- Außenlandung wird gewertet wie im Wettbewerb
- Optimierung nach Wettbewerbspunkten (nicht nach maximaler Geschwindigkeit)

Auswertung



Beispiele



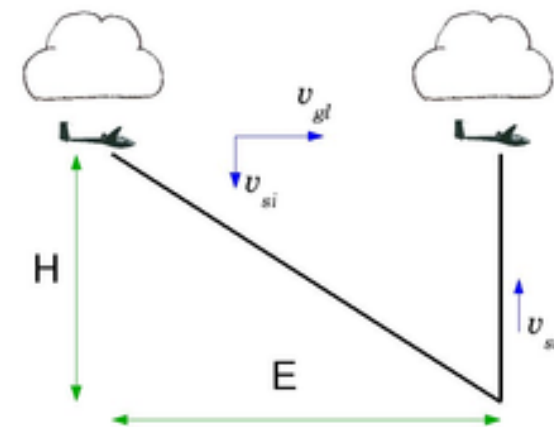
Erwartungswert

p = Wahrscheinlichkeit das der Aufwind gefunden wird.

$$p_0 = 0,2 \quad p_1 = 0,3 \quad p_3 = 0,5$$

E = Erwartungswert

$$E = p_3 \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} + p_1 \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} + p_0 \cdot 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



→ MC-Wert = 1,8

mittleres Steigen/anfangs Steigen



- Für die Wahl der Vorfluggeschwindigkeit ist der kleinere Wert zwischen mittlerem Steigen und anfangs Steigen zu wählen.

Weitere Aspekte

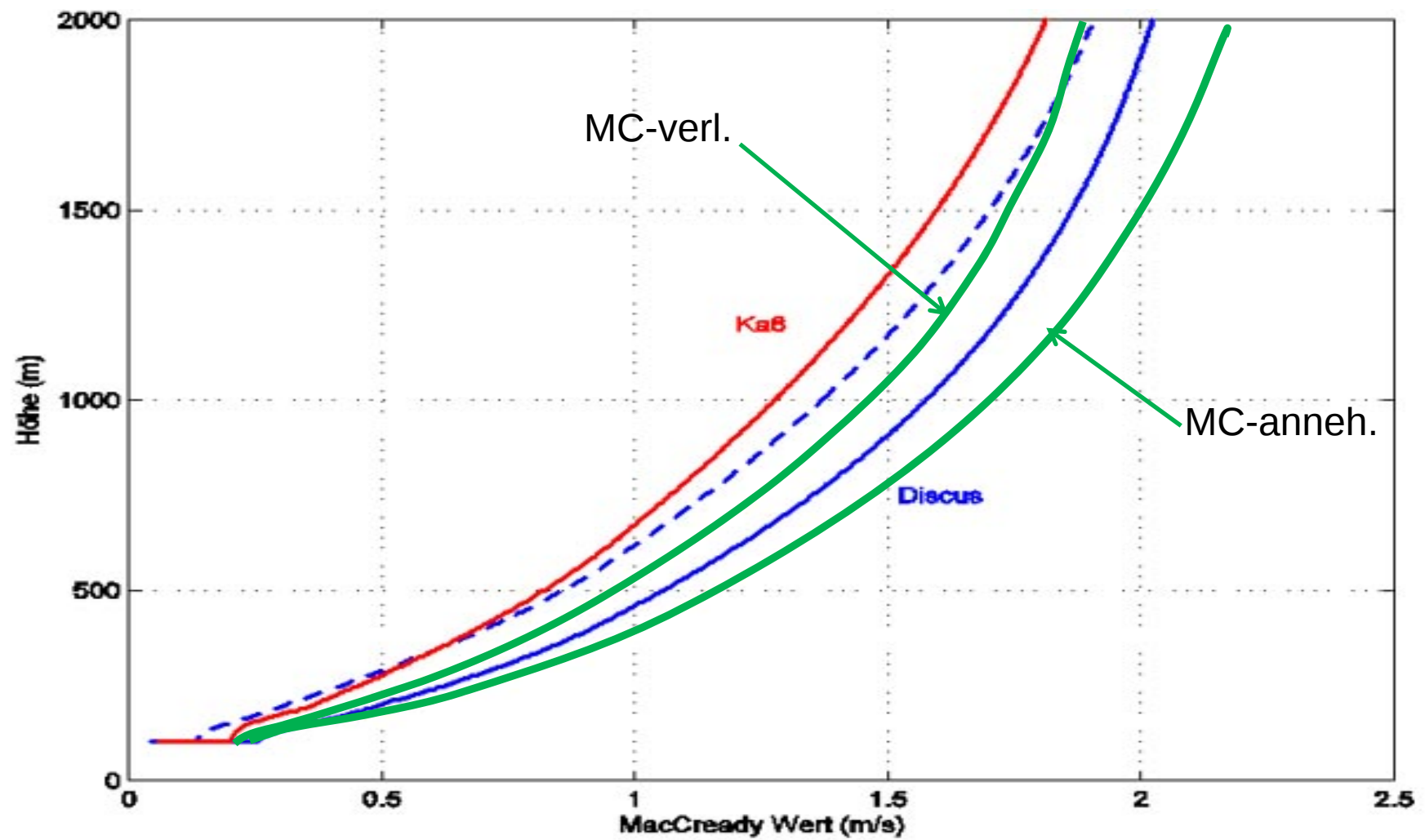
□ Auswirkung der Zentrierzeit:

Zentrierzeit 2 Minuten = 4 Kreise

Erstiegene Höhe [m]	Thermik Stärke 0,5m/s	Thermik Stärke 1,0m/s	Thermik Stärke 2,0m/s	Thermik Stärke 3,0m/s	Thermik Stärke 5,0m/s
250	0,40	0,67	1,0	1,2	1,5
500	0,44	0,81	1,4	1,7	2,3
1000	0,47	0,89	1,6	2,2	3,1
2000	0,48	0,94	1,8	2,5	3,8

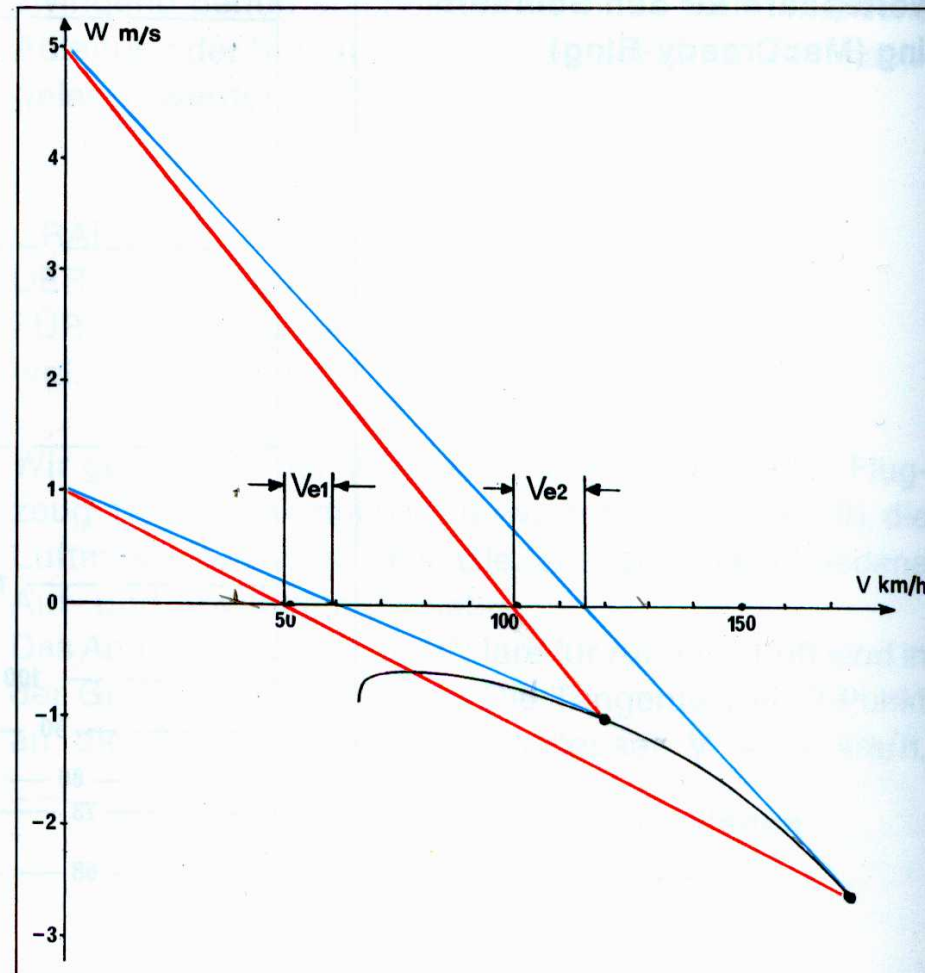
Für die Güte eines Aufwindes ist es entscheidend wie einfach er zu zentrieren ist.

- 
- Piloten verwenden heute geringere McCready-Werte als es früher üblich war. Aber dies bedeutet nicht, „McCready ist tot“, es bedeutet nur, „verwende die richtige Steiggeschwindigkeit“.

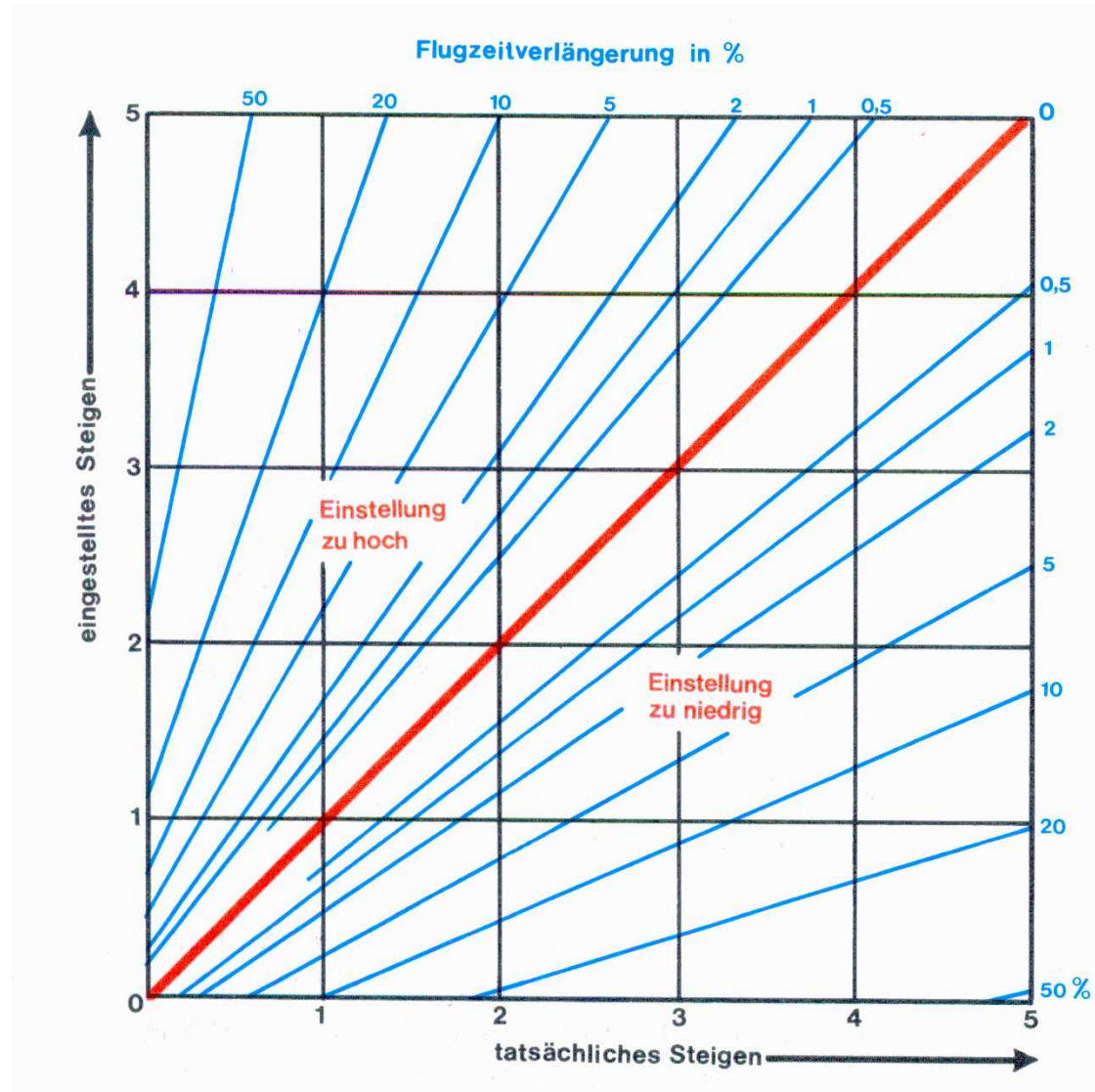


Verluste bei falschem MC

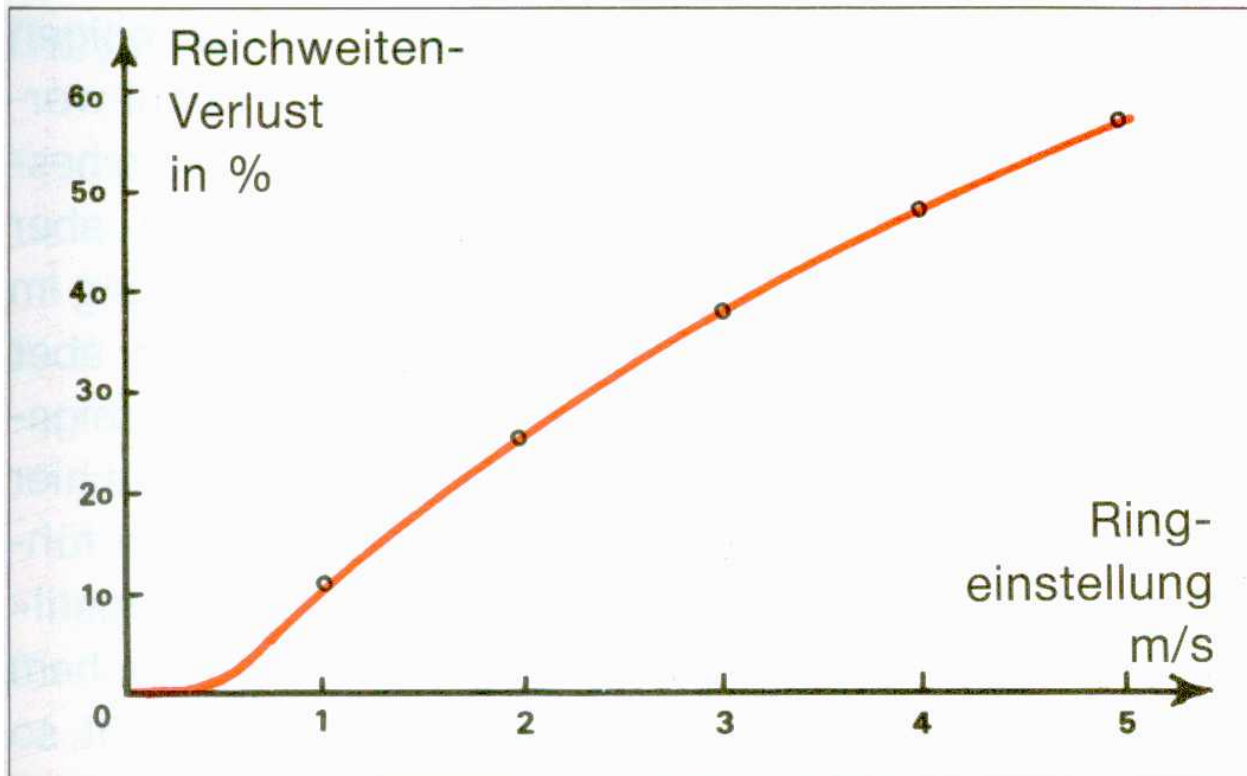
Verlust bei falscher Ringeinstellung



Verluste bei falschem MC



Verluste bei falschem MC



Reichweitenverlust eines Standard-Klasse-Segelflugzeuges in Abhängigkeit von der Ringeinstellung

Schlussfolgerungen/Empfehlungen



- Reduziere den MacCready-Wert kontinuierlich wenn du tiefer kommst – fliege langsamer und nimm schwächere Aufwinde an.
- Verlasse schwache Aufwinde um stärkere zu finden, wenn du höher kommst.
- Der McCready-Wert ist deutlich kleiner als der höchste angezeigte Wert des Integrators

Schlussfolgerungen/Empfehlungen



- Wetter, Piloten und Flugzeuge (Außenlandebereitschaft) beeinflussen den MC-Wert.
- Wenn man Zeit braucht, einen Bart zu zentrieren, ist es lohnend in solchen Aufwinden zu bleiben, die ein wenig schwächer sind als solche, für die man anhalten würde.

Schlussfolgerungen/Empfehlungen

- Die Wahl der genutzten Aufwinde ist genau so wichtig wie die Wahl der Vorfluggeschwindigkeiten. Beide sind nach der erweiterten MC-Theorie zu wählen.
- Wenn du eine Thermik unter einem bestimmten Wert nicht annehmen würdest, dann muss du auch mit diesem Wert vorwärts fliegen
- Nachfliegen des Sollfahrtgebers ist ineffektiv.

Schwächen



- Wettermodell zu homogen
- Komplex schwierig umzusetzen
- Bietet nur den wahrscheinlich schnellsten Weg.

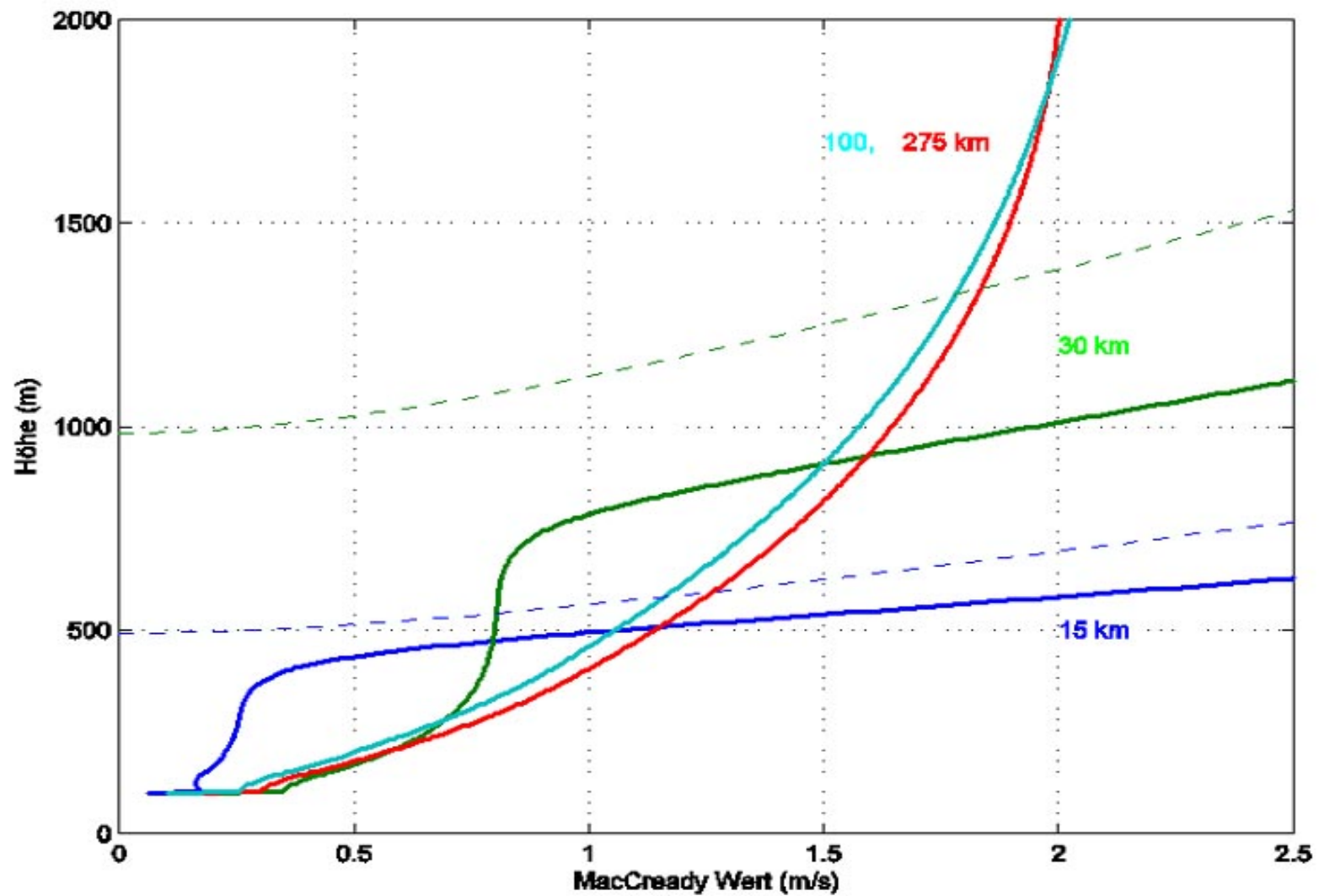
Endanflug

Mit Hilfe der erweiterten MC-Theorie lassen sich auch Endanflüge analysieren.

Bisher (Endanflug bei aktiver Thermik):

- „Früh und Niedrig“ Sicherheit durch höheren MC-Wert als beim Überlandflug.(Beginnt wenn man den Flugplatz mit $MC = 0$ erreicht.)
- „Spät und Hoch“ Normaler Überlandflug bis der Flugplatz sicher erreicht wird. (z.B.: selbst in 1,5m/s bis MC 2 Endanflug kurbeln)

Endanflug



Endanflug

- Beginne den Endanflug tief und schnell und beende ihn hoch (und schnell).
- Oberhalb des $MC=0$ Endanflugs fliege aggressiv
- Unterhalb deutlich vorsichtiger

Anwendung des Numerischen MC-Programms (Zusatzinfos)

- Benötigt wird das Programm MATLAB Version 2007 oder jünger.
- Das Programm kann unter folgendem Link bezogen werden:
http://faculty.chicagobooth.edu/john.cochrane/research/Data_and_Programs/MacCready%20programs/index.htm
- Anweisungen durch Prof.Dr. Cochrane im Quellcode befolgen.
- Eventuelle Fehler bei neueren MATLAB Versionen korrigieren (Autokorrektur benutzen)
- Berechnungen können bis zu 30min dauern.

An aerial photograph of a large lake at sunset. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering reflection on the water's surface. The sky is filled with scattered, dark clouds, and the overall lighting is a warm, golden-brown. In the foreground, the dark, curved silhouette of an aircraft's wing or tail section is visible on the right side. The word "ENDE" is superimposed in the center of the image in a large, bold, black serif font with a thin white outline.

ENDE