

Profilentwurf für den Kiel eines Segelbootes (Vortrag vom 12.02.2007)

Aufgaben eines Kiels

1. Erzeugung einer hydrodynamischen Seitenkraft bei möglichst geringem Zusatzwiderstand, um die von den Segeln produzierte aerodynamische Seitenkraft (Krängungskraft) auszugleichen.
2. Aufnahme des Ballasts in einer möglichst tiefen Position (unter der Wasserlinie), um bei Krängung einen großen Hebelarm zu erzeugen.
3. Dämpfung des von Wind- und Wellenkraft hervorgerufenen Rollens
4. Gewährleistung der Kursstabilität im Seegang

Abmessungen des Kiels :

Minimale Tiefe : $t_{\min} = 0,5m$

Maximale Tiefe : $t_{\max} = 1,5m$

Geschwindigkeit des Bootes :

Minimale Geschwindigkeit : $U_{\infty \min} = 5 \text{Knoten} = 2,5 \frac{m}{s}$

Maximale Geschwindigkeit : $U_{\infty \max} = 25 \text{Knoten} = 13 \frac{m}{s}$

Kinematische Zähigkeit des Wassers : Bei $T=20^{\circ}\text{C}$: $\nu = 1,012 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Reynoldszahlen :

Minimale Reynoldszahl : $Re_{\min} = \frac{U_{\infty \min} \cdot t_{\min}}{\nu} = 1,24 \cdot 10^6$

Maximale Reynoldszahl: $Re_{\max} = \frac{U_{\infty \max} \cdot t_{\max}}{\nu} = 1,93 \cdot 10^7$

Auslegung :

Großer Reynoldszahlbereich : $Re = 1 \cdot 10^6 \dots 20 \cdot 10^6$

Minimaler Widerstand durch maximale laminare Laufstrecke

Re_{\max} : Lange laminare Laufstrecke

Re_{\min} : Keine (turbulente) Ablösung

Kleine Anstellwinkel : Abreißverhalten egal

Laminardelle : $|c_A| \approx 0,2 \dots 0,3$

Dicke des Profils : $\delta = \frac{d}{t} \geq 0,16$

(symmetrisches Profil)

Kavitation :

Bei Unterschreiten des Dampfdruckes von Wasser bilden sich Dampfblasen aus. Da diese ein erheblich größeres spezifisches Volumen als Wasser aufweisen beeinflussen sie zunächst die Strömung.

Bei Druckanstieg brechen die Blasen zusammen, wodurch lokal extreme Druckspitzen auftreten, welche die Oberfläche des Kiels beschädigen können. Kavitation tritt auf, wenn der lokale Druckbeiwert C_p den so genannten Kavitationswert unterschreitet.

Je höher die Geschwindigkeit und je größer der Auftriebsbeiwert bzw. der Anstellwinkel am Profil, desto kritischer ist die Situation hinsichtlich Kavitation. Für langsame Fahrten ist der Kavitationsbeiwert somit völlig unkritisch.

Der Kavitationsbeiwert ergibt sich mit

$$\text{dem statischen Druck des Wassers : } p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{dem Dampfdruck des Wassers : } p_D = 0,001937 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{der Dichte des Wassers : } \rho = 998,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{und der maximalen Geschwindigkeit : } U_{\infty, \max} = 25 \text{ Knoten} = 13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{zu : } C_{p_{Kav}} = \frac{p_D - p_0}{\frac{\rho}{2} \cdot U_{\infty, \max}^2} = -1,2$$

Anmerkung :

Durch (z.B. lineare) Veränderung der Profildicke von der Wurzel ($\delta \approx 0,11$) zur Spitze ($\delta \approx 0,18$) des Kiels ergeben sich folgende Vorteile:

1. Absenkung des Schwerpunktes
2. Geringere Wellenbildung an der Kielwurzel bei hohen Krängungswinkeln
3. Kleinerer Interferenzwiderstand an der Rumpfanbindung

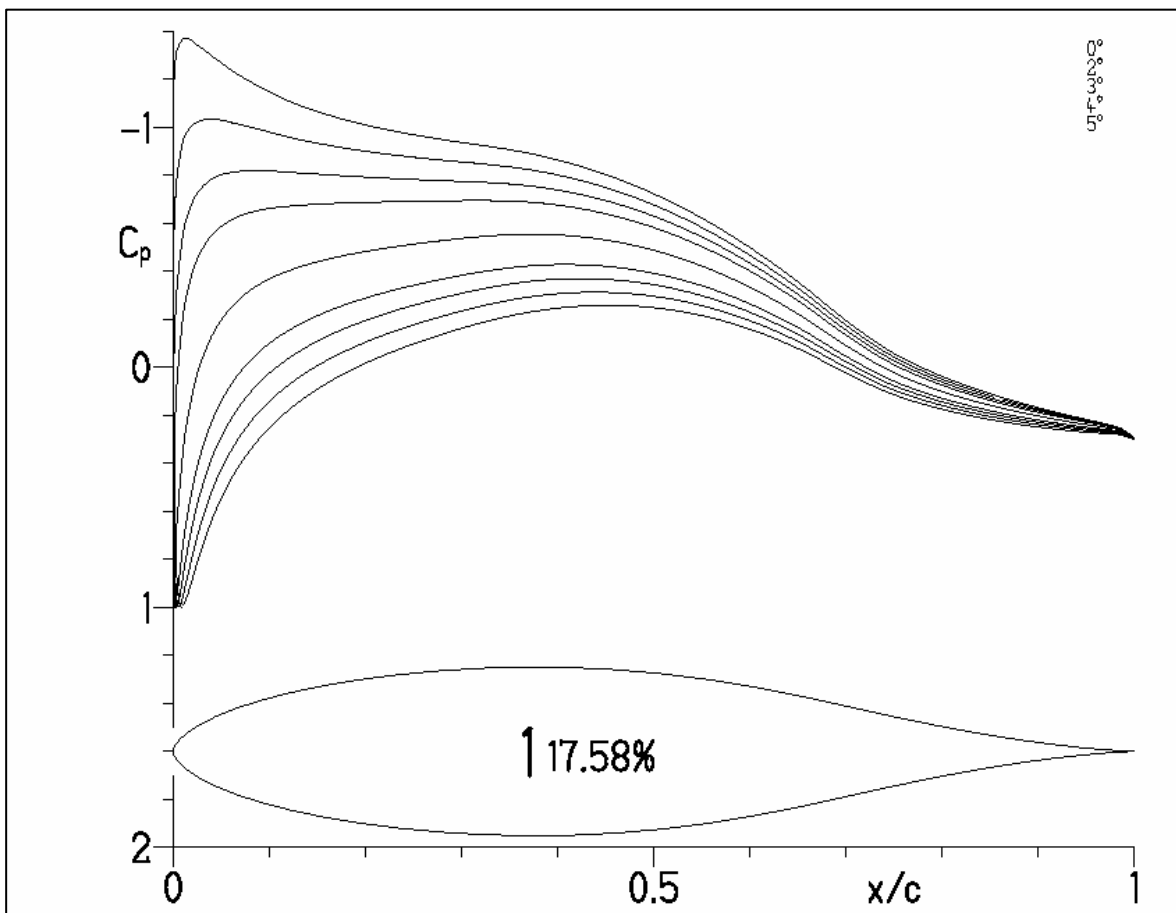
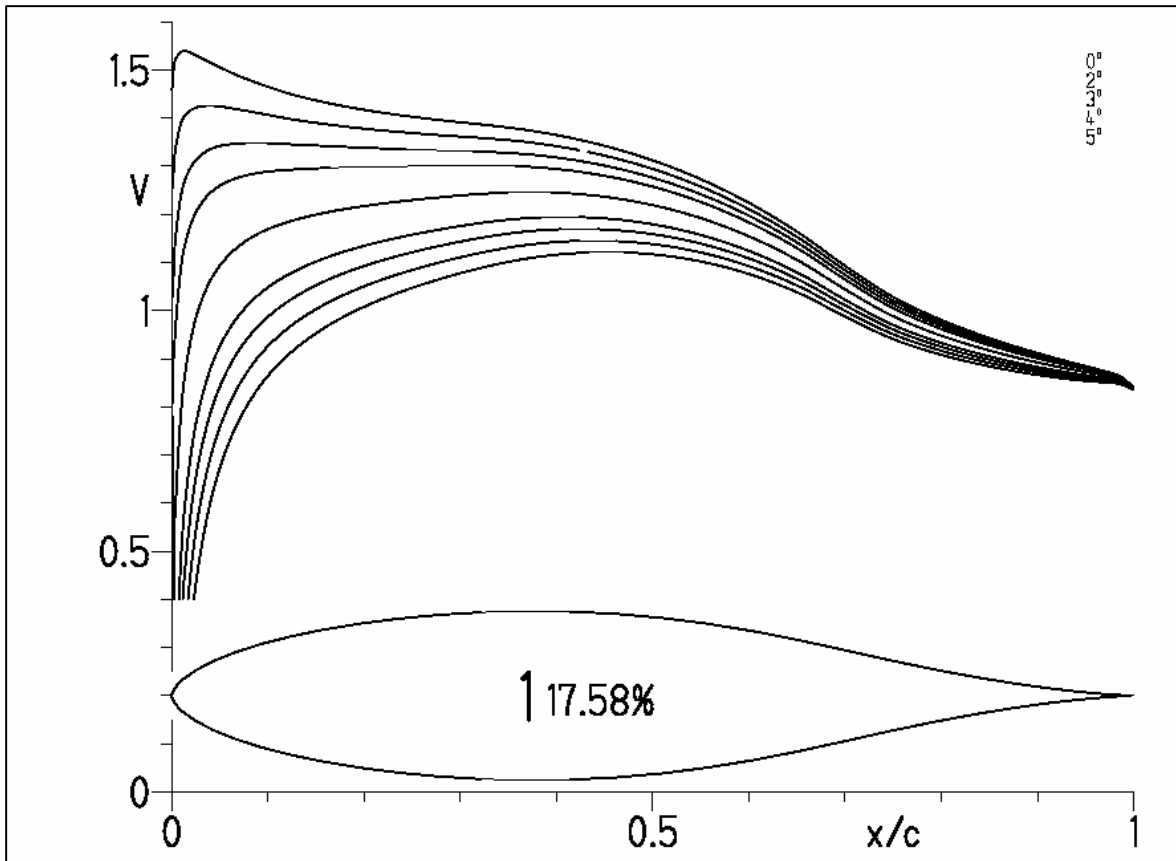
Eingabe - Datei für den Kielentwurf (Kiel.dat) :

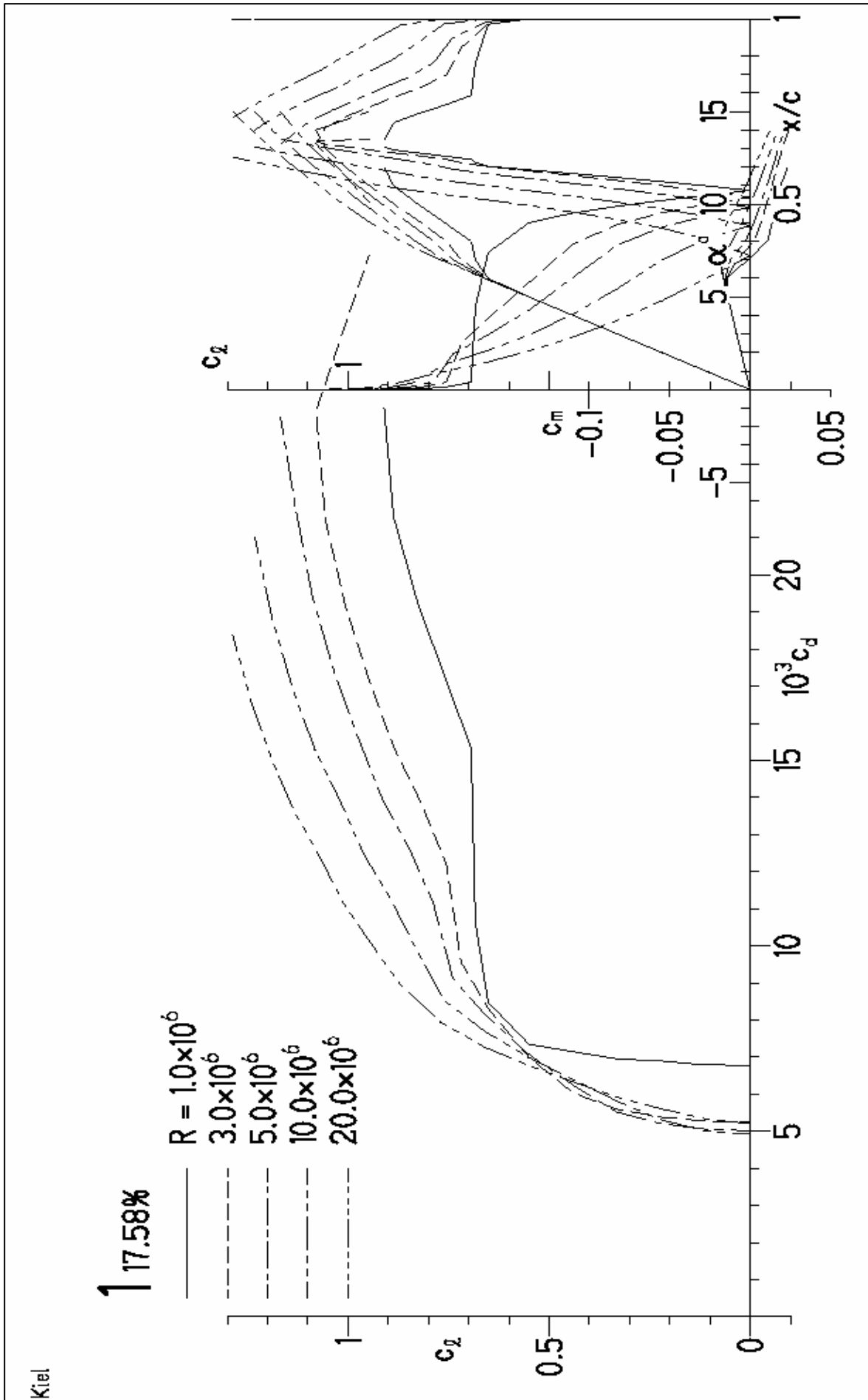
```

REMO1
REMO1 *P@1K@2iel
TRA1 1 12.5 2.0 14.5 2.1 16.5 2.2 18.5 2.3 20.5 2.4 22.5 2.5
TRA1 1 24.5 2.8 26.5 3.7 28.5 4.8 0 6.1
TRA1 1 31.5 -6.1 33.5 -4.8 35.5 -3.7 37.5 -2.8
TRA1 1 39.5 -2.5 41.5 -2.4 43.5 -2.3 45.5 -2.2 47.5 -2.1 60 -2.0
RAMP 6 2 6 2
TRA2 1 2.5 12 2 0.23 0.66 2.5 12 2 0.23 0.66 3 0.1 0
ALFA 5 0 2 3 4 5
DIAG
ALFA 2 5 0 2 3 4 5
DIAG
ALFA 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
RE 3 1000 3 3000 3 5000 3 10000 3 20000
CDCL
ENDE

```

Ausgabe des entworfenen Kiels :





Referenzprofil NACA 633018 :

