Arbeitsgruppe Simulation und Optimierung
Prof. Dr. H. G. Bock, Prof. Dr. G. Reinelt, Dr. J. Schlöder

Formoptimierungsverfahren zur Schaufelauslegung

Projektleitung: Prof. Dr. H. G. Bock (IWR, Universität Heidelberg)

Bearbeitung: Dr. W. Egartner (IWR, Arbeitsgruppe Prof. Bock)
Beratung: Dr. V. Schulz (IWR, Arbeitsgruppe Prof. Wittum)

Industriepartner: ABB, MTU

Projektseite: www.iwr.uni-heidelberg.de/~agbock/research/shape_opt.html

Arbeitsgruppe Simulation und Optimierung
Prof. Dr. H. G. Bock, Prof. Dr. G. Reinelt, Dr. J. Schlöder

S1-Formoptimierungsverfahren zur Schaufelauslegung auf Basis von MISES

1. *Problemstellung und mathematische Formulierung*
2. *Numerische Lösung*
3. *Erweiterungen der Implementierung*
    - *Betriebsbereich-Optimierung*
    - *Quasi-3D-Optimierung*
4. *Für und Wider der Simultanoptimierung: Schlussfolgerungen aus den Testrechnungen*

Ziele:

- Minimierung von Strömungsverlusten an 2D-Profilen
  - » *im gesamten Betriebsbereich*
  - » *für hinreichend viele Stromflächen (quasi-3D)*

Nebenbedingungen:

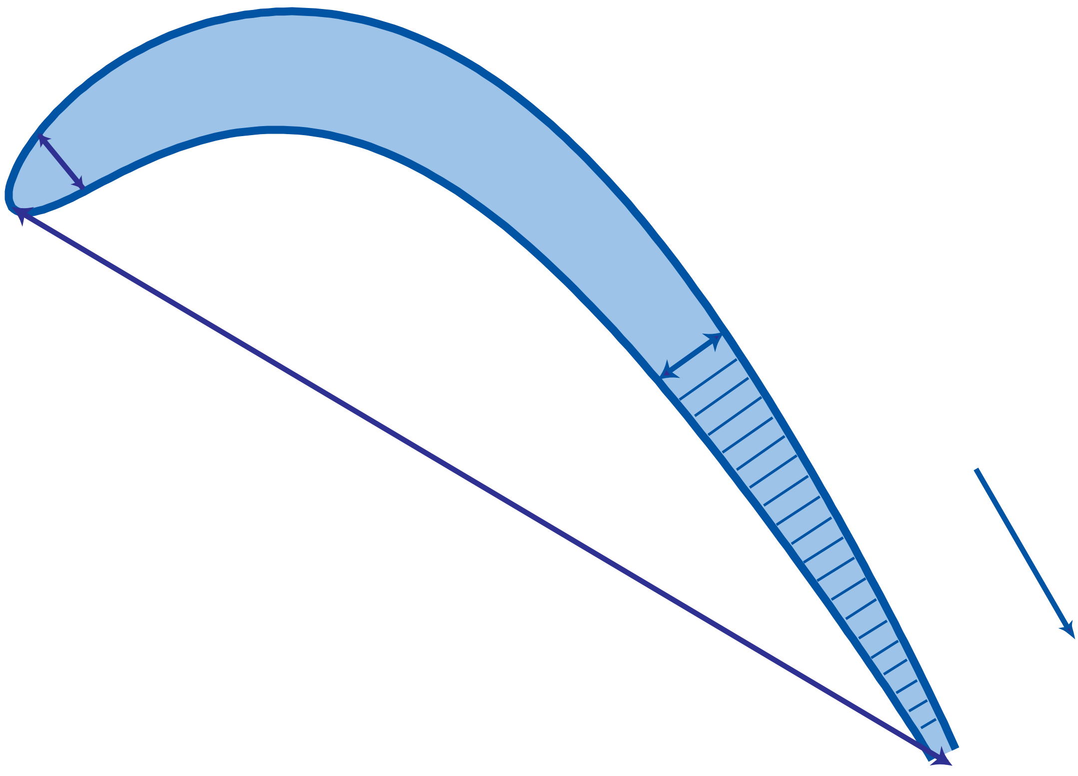
- Aerodyamik
  » *Zu- und Abströmbedingungen (Winkel, Machzahl)*
- Fertigung
  » *Krümmungsbeschränkungen*
- Festigkeit
  » *Fläche, Dicke, Flächenträgheitsmoment*
- Wärmetechnik, Schaufelkühlung
  » *Vorder- und Hinterkantendicke*

PROBLEMFORMULIERUNG

Zielfunktionen

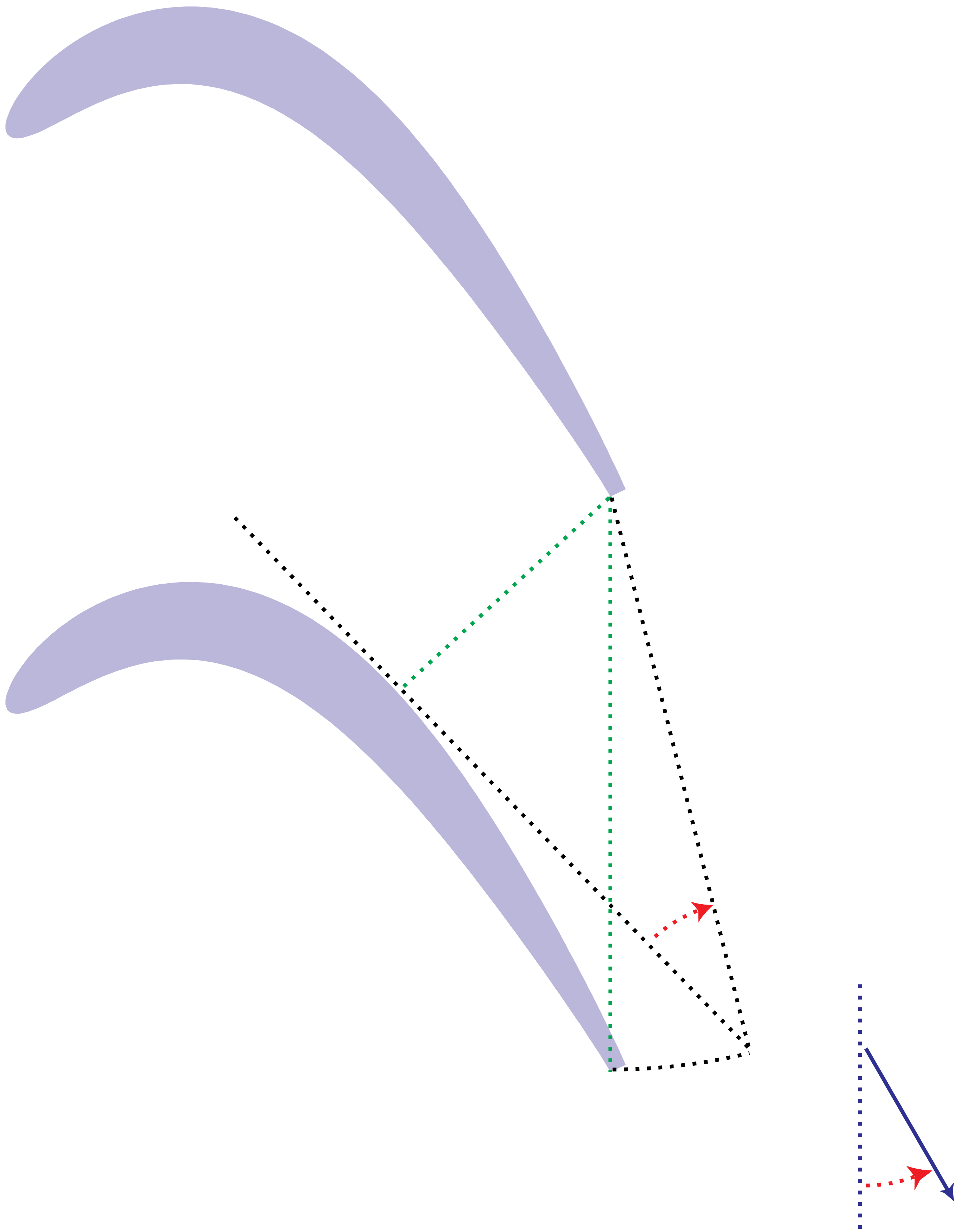
Totaldruckverlustbeiwerte
Anpassung an vorgegebene Druckverteilung (nicht implementiert)

Zusatzbedingungen



Gleichungs- und Ungleichungsbedingungen an
Länge
Fläche
Abströmwinkel (indirekt)
Vorderkantendicke (lokal)
Hinterkantendicke (frei wählbarer Bereich)
Krümmung (frei wählbare Bereiche)
Kenngrößen der Grenzschicht (z. B. kinematischer Formfaktor)

Engflächenbedingung



Besondere Aspekte der
Optimierung von komplexen Simulationen

- Inexaktes Zielfunktional und inexakte Ableitungsinformationen
- Zulässigkeitsgebiet nicht a priori bekannt
- Konvergenzprobleme der Vorwärtslösung
- sehr hohe Rechenzeiten

Übliches Vorgehen

Optimierung

Simulation

sehr einfache Schnittstelle

Simultanoptimierung

Direkte Lösung der Optimalitätsbedingungen

Optimierung in nur etwa 2–5mal der Zeit eines Simulationslaufes

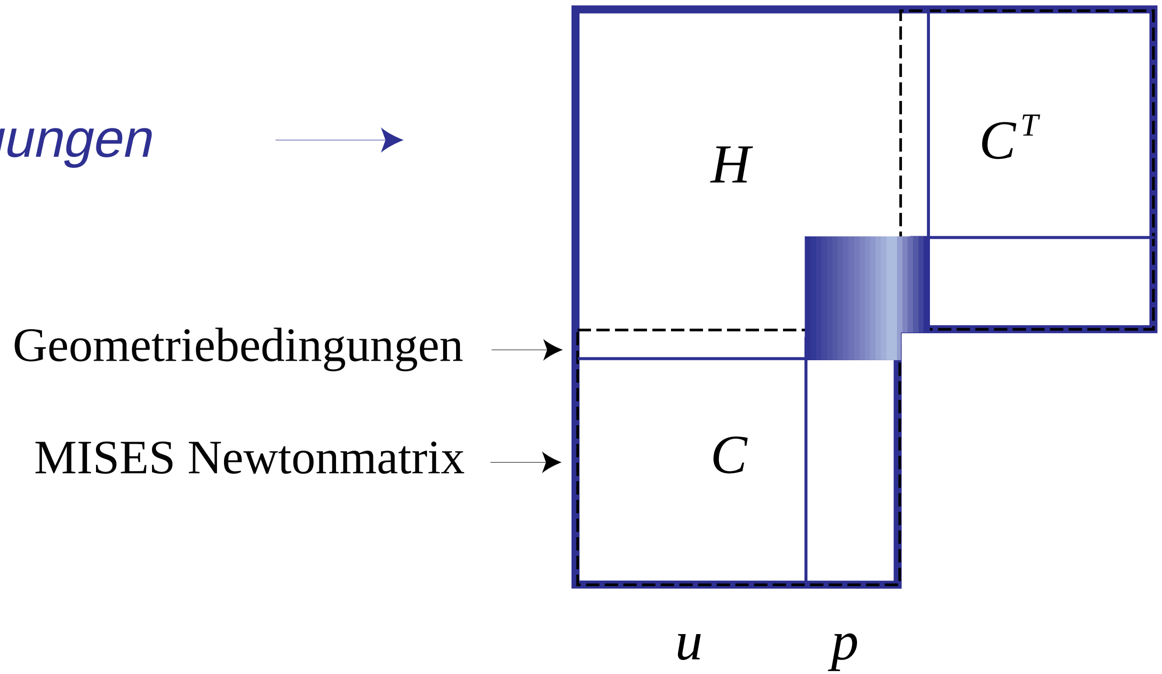
Idee der (partiell) reduzierten SQP-Verfahren

Der Iterationsschritt $\boldsymbol{s}$ *(Änderung der Schaufelparameter) wird aufgespalten in*

$$\boldsymbol{s} = \boldsymbol{x}_{k+1} - \boldsymbol{x}_k \longrightarrow \boldsymbol{Y}\boldsymbol{s}_y + \boldsymbol{Z}\boldsymbol{s}_z$$

(Z ist eine Basis des Nullraums der MISES-Newtonmatrix,
Y eine Basis dessen orthogonalen Komplements)

Damit reduziert man die Größe des
Systems der Optimalitätsbedingungen



Der Newton-Schritt (SOLVE in ISES) wird davon unabhängig durchgeführt.

Simulation

$$c(x,p) = 0$$

$$x_1, p \;\longrightarrow\; x_2, p \;\dashrightarrow\; x_m, p$$

„Feasible Path"-Optimierung

$$\min_{p} \quad f(x(p),p)$$

$$g(p) \le 0$$

Jede Funktionsauswertung verlangt die Berechnung von x(p) aus den Strömungsgleichungen

$$c(x,p) = 0$$

$$x_1, p_k \;\longrightarrow\; x_2, p_k \;\dashrightarrow\; x_m, p_k$$

k=1, ... , # Lösungen von *c*

PRSQP-Optimierung

$$\min_{x,p} \quad f(x,p)$$

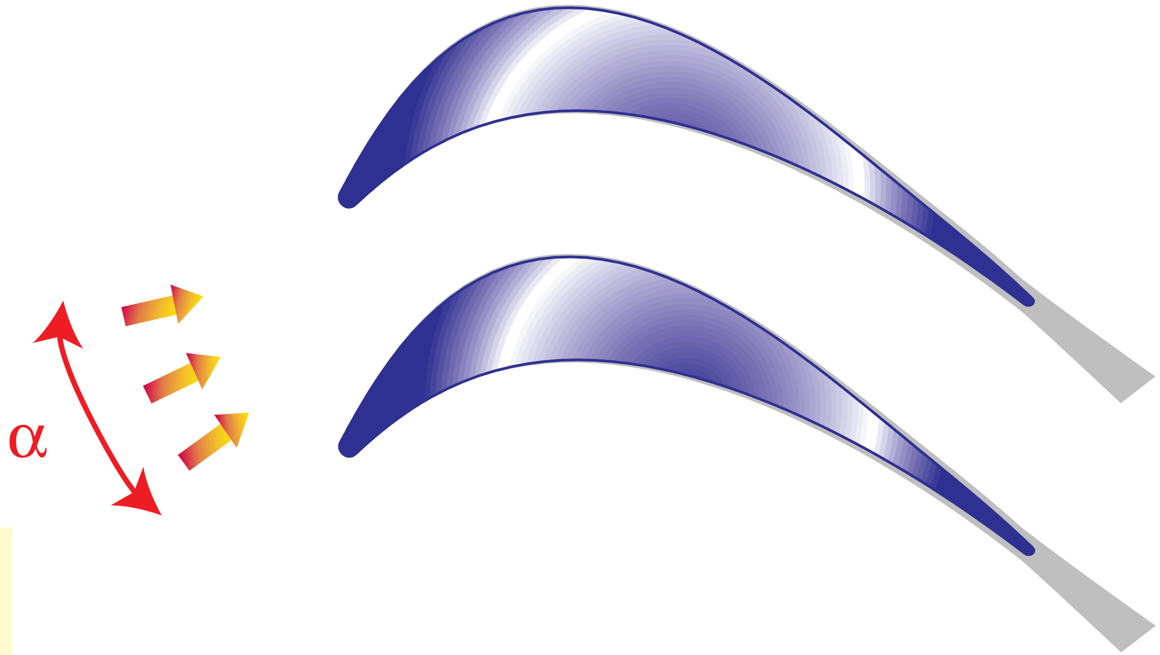
$$c(x,p) = 0$$

$$g(p) \le 0$$

Optimierung und Strömungsrechnung verlaufen simultan

$$x_1, p_k \;\longrightarrow\; x_2, p_1 \;\xrightarrow{\text{PRSQP}}\; x_2, p_2 \;\dashrightarrow\; x_n, p_n$$

Betriebsbereichs-Optimierung



$$\min_{x_i,\,p} \sum_{i=1}^{N} \omega_i \, f(x_i, p, \alpha_i)$$

$$\begin{aligned} c(x_1, p, \alpha_1) &= 0 \\ &\vdots \\ c(x_N, p, \alpha_N) &= 0 \\ g(p) &\leq 0 \end{aligned}$$

$$x_i = x(\alpha_i)$$

Betriebsbereichs-Optimierung

Der reduzierte Gradient für den Betriebsbereich ist gleich der Summe der reduzierten Gradienten an den einzelnen Betriebspunkten

Betriebspunkt 1, Betriebspunkt 2, ... , Betriebspunkt N

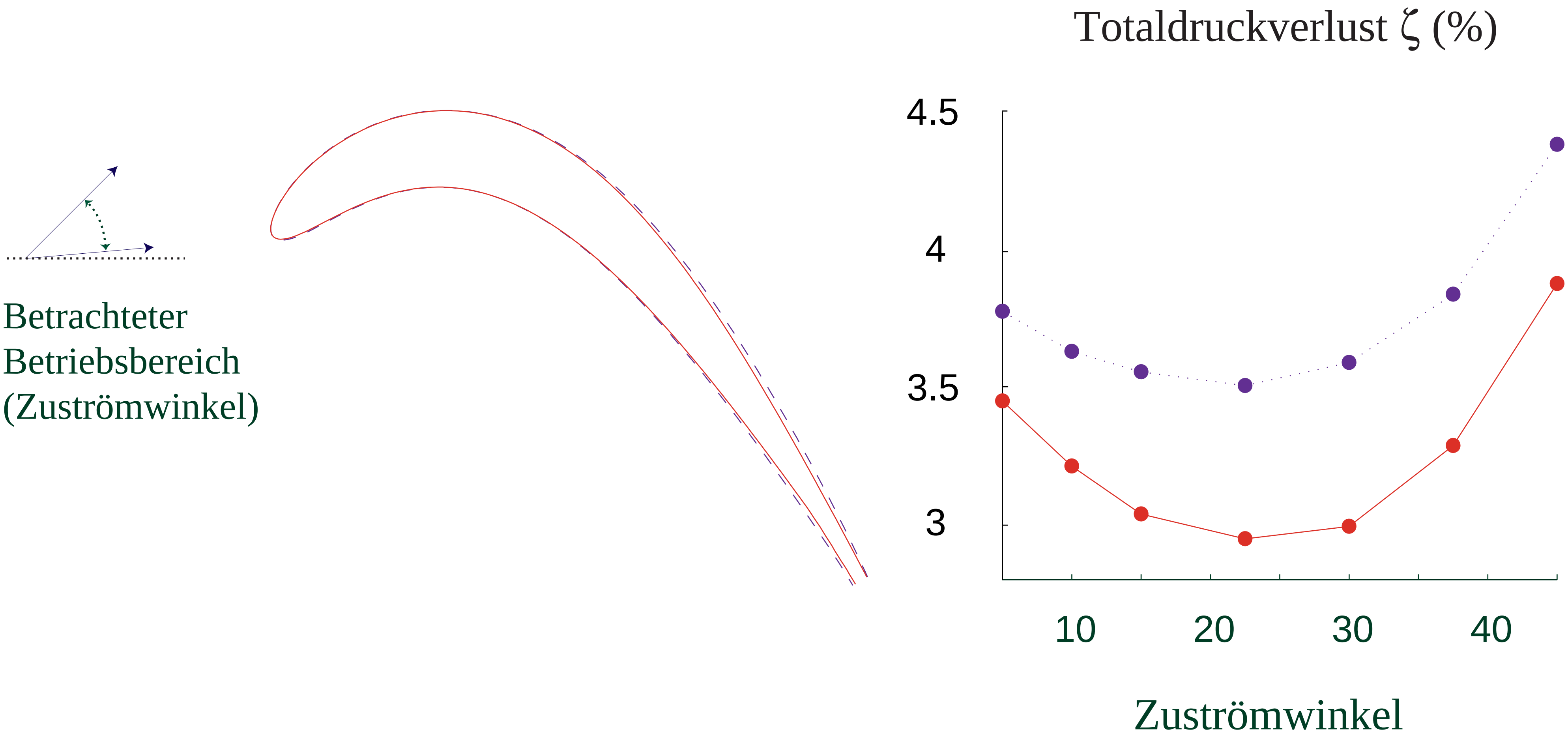
$x_{1,1}, p_1$ $\quad x_{2,1}, p_1$ $\quad x_{N,1}, p_1$

$x_{1,2}, p_1$ $\quad x_{2,2}, p_1$ $\quad x_{N,2}, p_1$

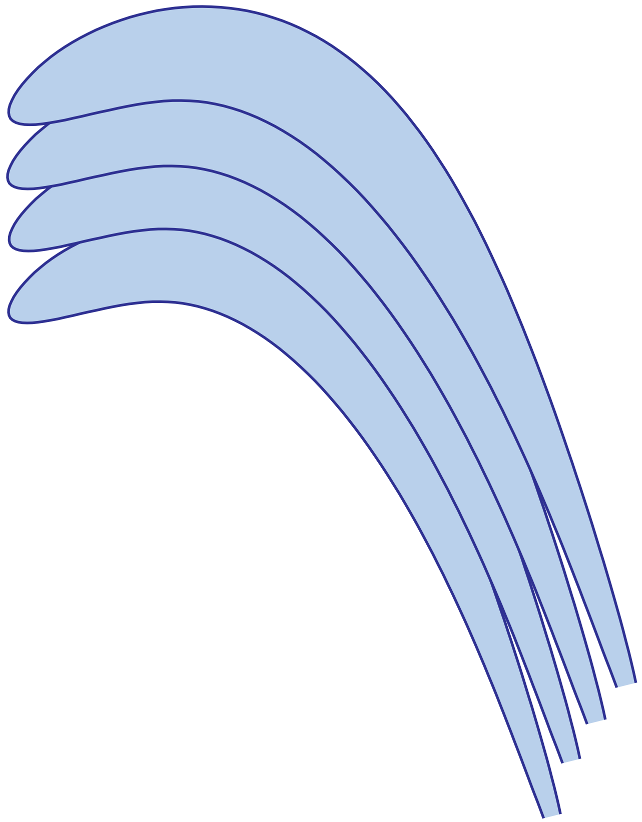
$$\gamma = \sum_{i}^{N} w_i \gamma_i$$

PRSQP

$x_{1,2}, p_2$ $\quad x_{2,2}, p_2$ $\quad x_{N,2}, p_2$


Betrachteter
Betriebsbereich
(Zuströmwinkel)
Totaldruckverlust ζ (%)
4.5
4
3.5
3
10
20
30
40
Zuströmwinkel

Quasi-3D Optimierung



$$\min_{x_i, p_i} \sum_{i=1}^{N} \omega_i \, f(x_i, p_i)$$

$$\begin{aligned} c(x_1, p_1) &= 0 \\ &\vdots \\ c(x_N, p_N) &= 0 \\ g(p_1, \dots, p_N) &\le 0 \end{aligned}$$

„Straken-Bedingung“

AG TURBO
Arbeitsgemeinschaft
Hochtemperatur-Gasturbine

BALKEN-/MEILENSTEINPLAN

Vorhaben-Gruppe: 1.100
Vorhaben: 1.111: Formoptimierung von Verdichter- und Turbinenschaufeln

LETZTE ÄNDERUNG: 26.01.97
ORIGINALPLAN VOM: 31.07.95
STICHTAG: