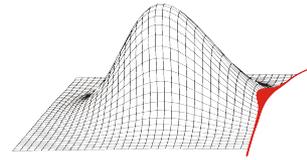


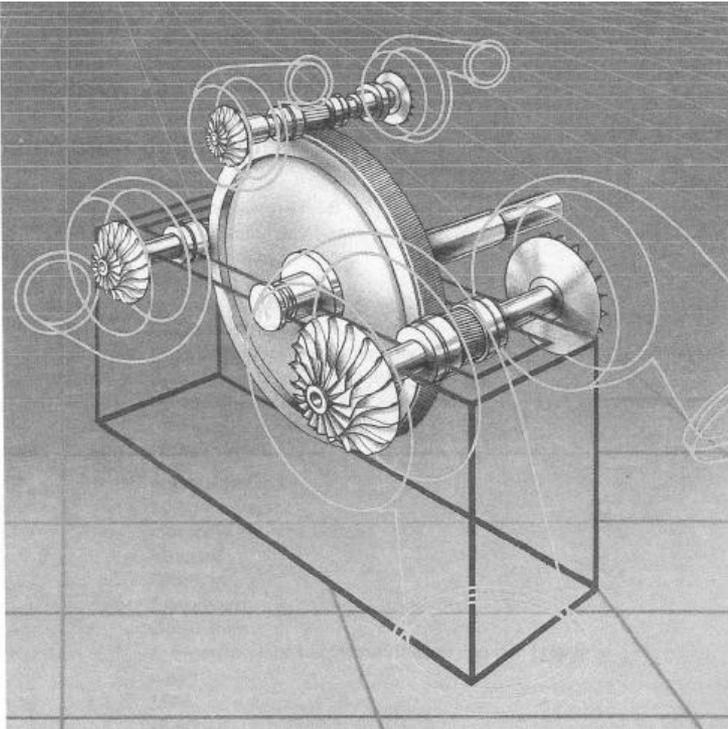
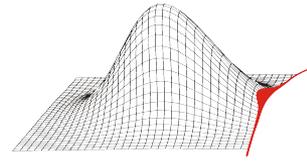
Probabilistische Simulationen zur Entwicklung von Getriebekompressoren

**T. van Lil, M. Voigt; TU Dresden
K. Metz, C. Wacker; MAN Diesel & Turbo SE**



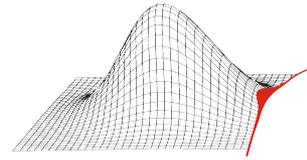


- Motivation
- Deterministisches Modell
- Simulation
- RGopt



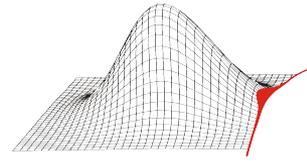
Aufbau:

- Zentrales Großrad
- Ritzelwellen
- Radiale Stufen
- Zwischenkühlung möglich



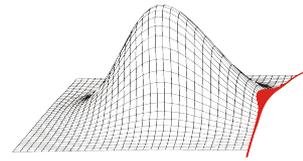
Herausforderungen

- Mehrere Verlustquellen
- Getriebe und Verdichtungsprozess sind abhängig von einander
- Berücksichtigung stochastischer Streuungen der Umgebungsbedingungen sowie Fertigungstoleranzen

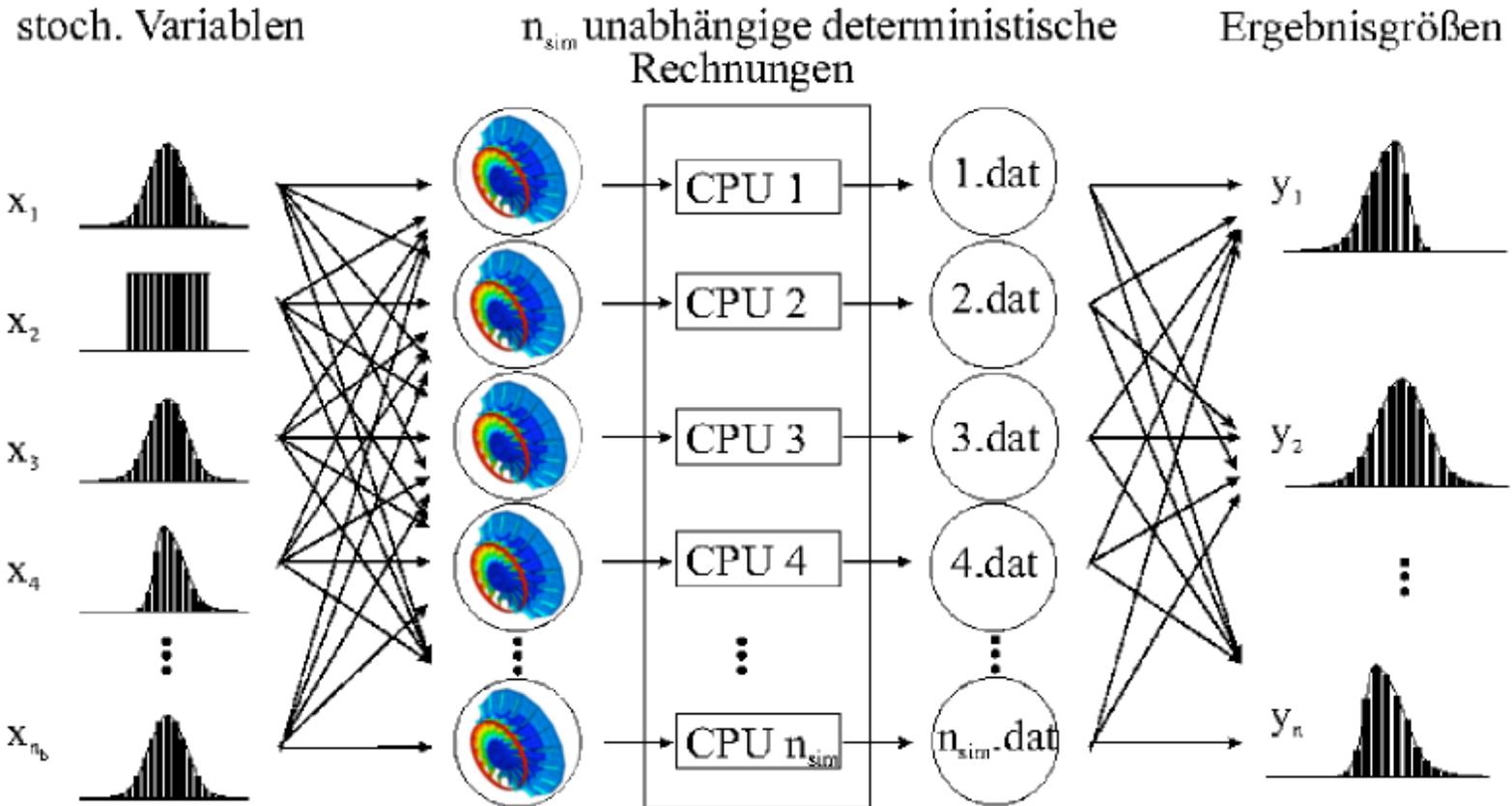


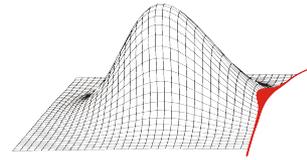
Ziele

- Auslegungssystem automatisieren
- Einfluss stochastischer Streuungen untersuchen
- Zusammenhänge aufdecken
- Design verbessern



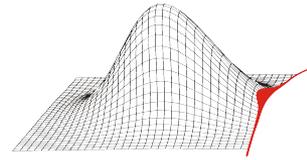
Monte-Carlo-Simulation





Auslegungssystem erstellt aus Kombination der ...

- Verdichterauslegung
- Getriebeauslegung
- benötigten Verbindungsschritte
- Kontrolle von Grenzwerten



Eingangsgrößen (Auslegung):

Betriebsparameter

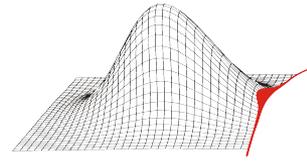
- Saugdruck, Saugtemperatur, Rückkühltemperatur, Druckverluste

Fahrpunkte

- Enddruck, Massen- oder Volumenstrom

Designparameter

- Stufenzahl
- Austrittsdurchmesser, Drehzahl
- Modul, Großdrehzahl



Eingangsgrößen (Robustheitsanalyse):

Betriebsparameter

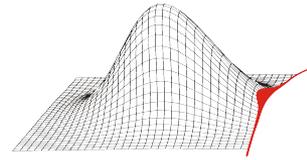
- Saugdruck, Saugtemperatur, Rückkühltemperatur, Druckverluste

Fahrpunkte

- Enddruck, Massen- oder Volumenstrom

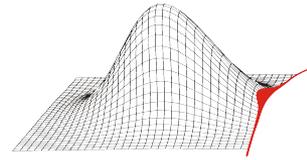
Fertigungstoleranzen

- Ein- u. Austrittsdurchmesser (Nabe u. Gehäuse)

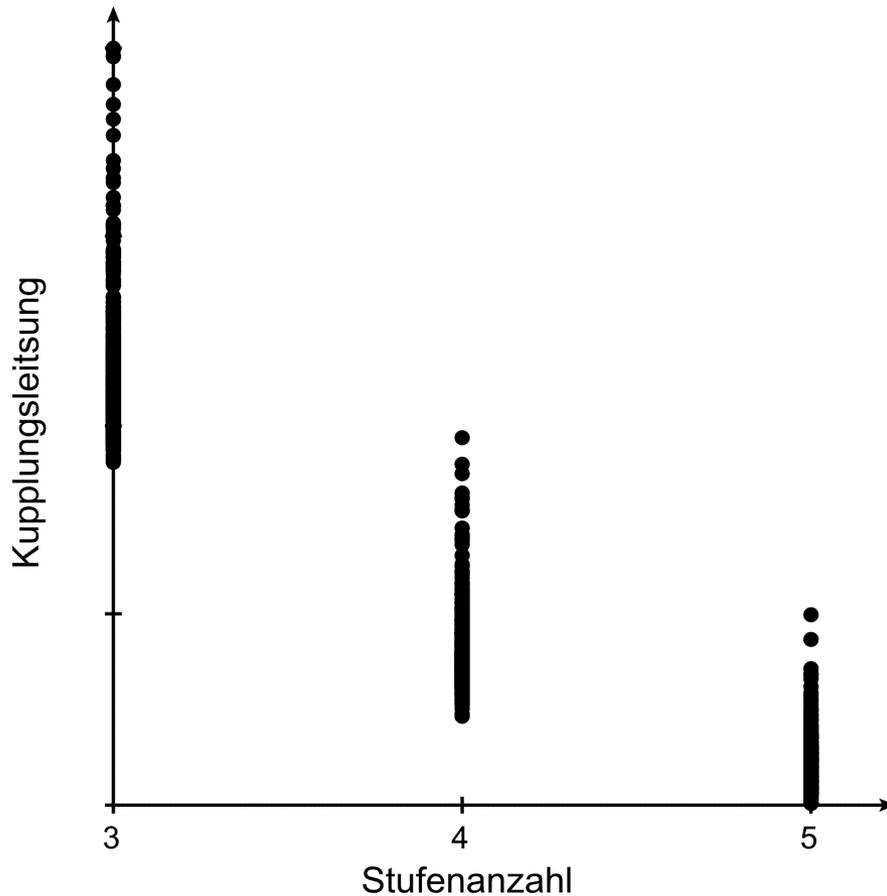


Ergebnisgrößen:

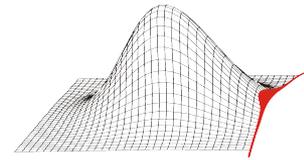
- Gesamtwirkungsgrad
- Kupplungsleistung, innere Leistung (für jeden Fahrpunkt)
- Geometrische Abmessungen
- Schluckzahlen, Umfangsgeschwindigkeiten, Stufenwirkungsgrade, ...
- Getriebeverluste, Ölverbrauch, Teilkreisgeschwindigkeiten



Ergebnisgrößen:



Vergleich der
Kupplungsleistung bei
unterschiedlicher Stufenzahl



74 RG Optimizer

File Settings Help

General Settings | Aerodynamics | Definitions of the Probabilistic Model | Dependent Variables | Result Values | Run simulation

Design parameters

Designmodel: design Use correction of efficiency (dep)

Number of stages: 5 (Min) (Max)

stage number 5

	Pinion	Rotation speed [rpm]		D2 [mm]		Beta2s [°]	Blades [-]	Phi3/Phi3opt [-]	dw [mm]	DEP [-]	DE
		Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit						
Stage 1:	1	17255	17256	355	411	18	18	0.90	80	0	<input type="checkbox"/>
Stage 2:	1	17255	17256	320	374	50	18	0.90	80	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Stage 3:	2	21396	21397	250	288	50	18	0.90	80	0	<input type="checkbox"/>
Stage 4:	3	19104	19105	280	314	50	18	0.90	80	0	<input type="checkbox"/>
Stage 5:	3	19104	19105	250	279	50	18	0.90	80	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Stochastic parameters

Thermodynamic | Operating points | Options

74 RG Optimizer

File Settings Help

General Settings | Aerodynamics | Gear | Definitions of the Probabilistic Model | Dependent Variables | Result Values | Run simulation

Gear settings

Limits

A value of '-1' set the limits to standard limits, see the documentation for further information.

Limit of power: 0 [kW]

Limit of pressure: 0 [bar]

Limit of mass flow: 0 [kg/s]

Max pitchline velocity: 180 [m/s]

Max bearing velocity: 100 [m/s]

Min number of teeth: 14

Design parameters

min. max.

Module: 4.5 7.0 Use a fix value for module CC

Profile displacement: -1.0 1.0

Stochastic parameters

Bullgear rotation speed: 1800 None

Axle-basis: 0 Normal

Abort

Probabilistische Simulation zur Entwicklung von Getriebekompressoren



Kolja Metz, Christian Wacker

Calculation & Development / Oil & Gas – Turbo Machinery

Bisher untersuchte Anwendungsfälle bei MAN Diesel & Turbo SE

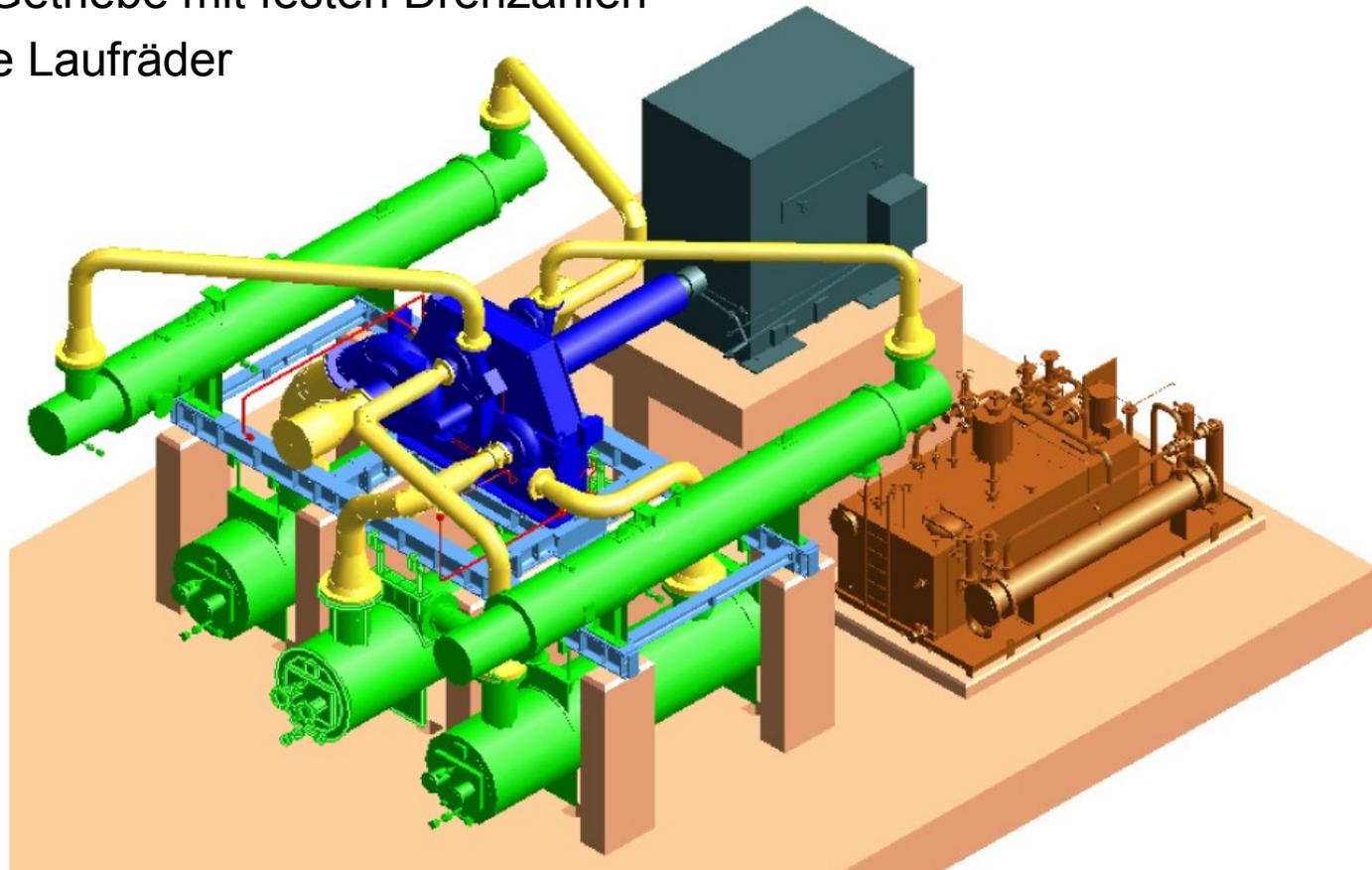
- Auslegung von Standard-Getriebekompressoren für eine gegebene Verdichtungsaufgabe
- Nachrechnung von Änderungen der Betriebsparameter (Robustheitsanalyse)
- Freie Optimierung eines Getriebekompressors für eine Verdichtungsaufgabe mit vorgegebenem Mengenbereich

Standard-Getriebekompressoren

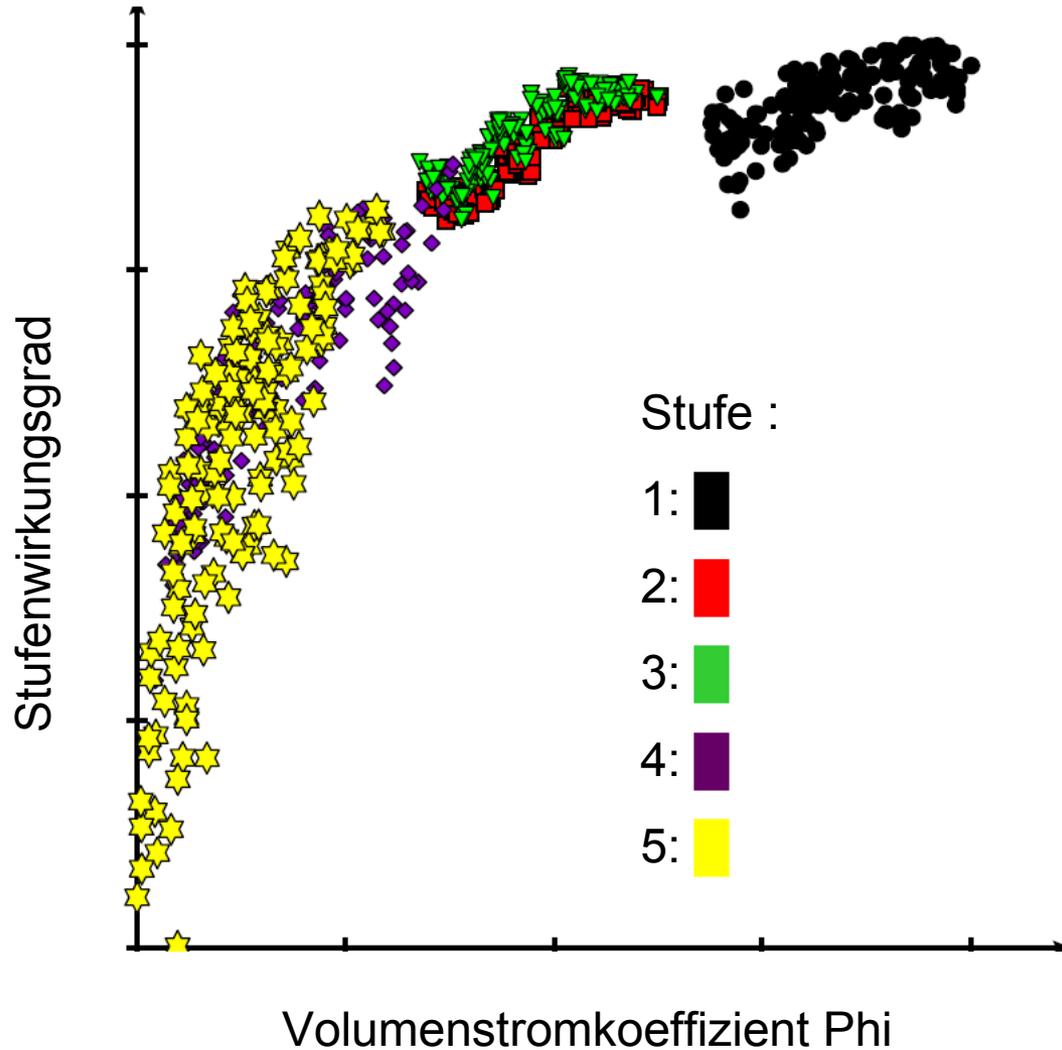


Standard-Getriebekompressoren für Luftzerlegungsanlagen:

- Standard-Getriebe mit festen Drehzahlen
- Individuelle Laufräder



Auslegung von Standard-Getriebekompressoren



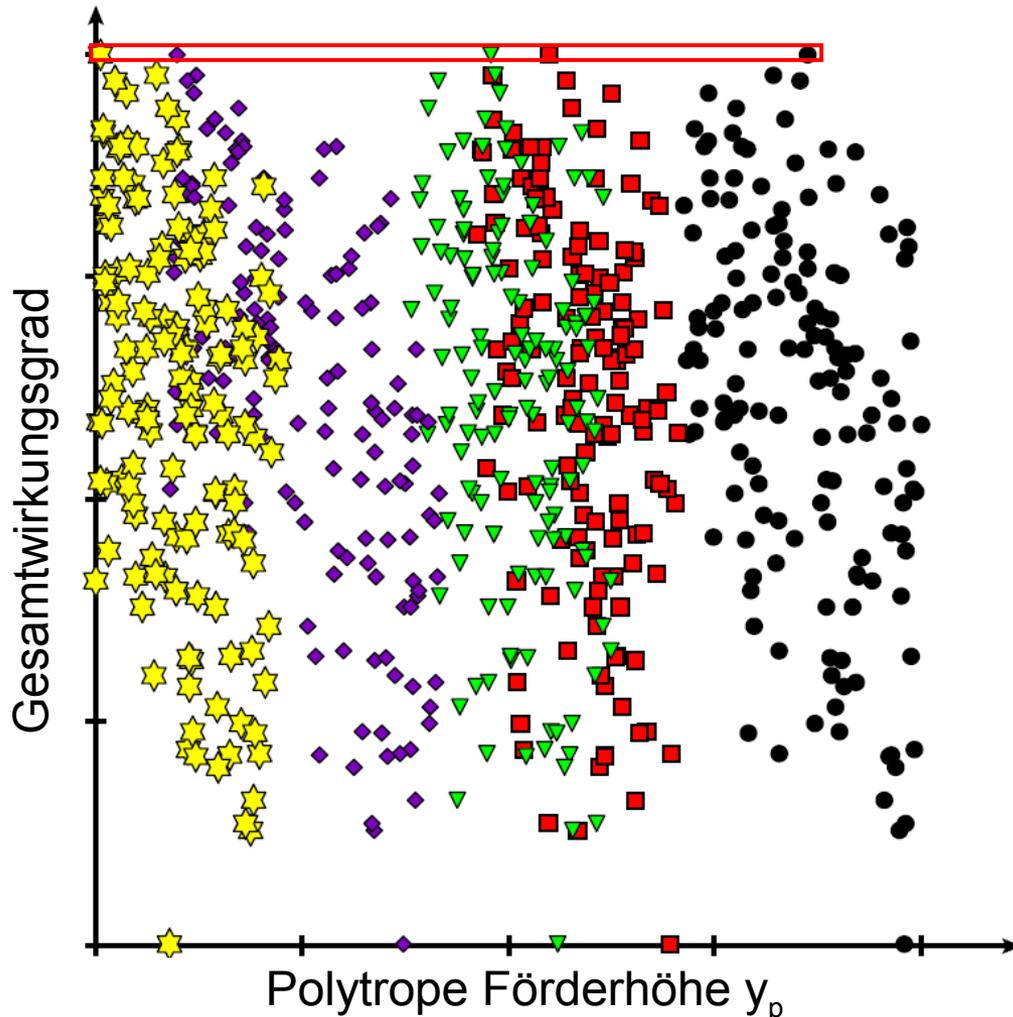
- Hohe Stufenwirkungsgrade bei mittleren Volumenstromkoeffizienten (Phi) in Stufe 1-3
- Hohe Stufenwirkungsgrade bei hohen Volumenstromkoeffizienten in Stufe 4-5

$$\varphi = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot u_2}$$

- Bei konstanter Drehzahl:

$$\varphi \sim \frac{1}{d_2^3}$$

Auslegung von Standard-Getriebekompressoren

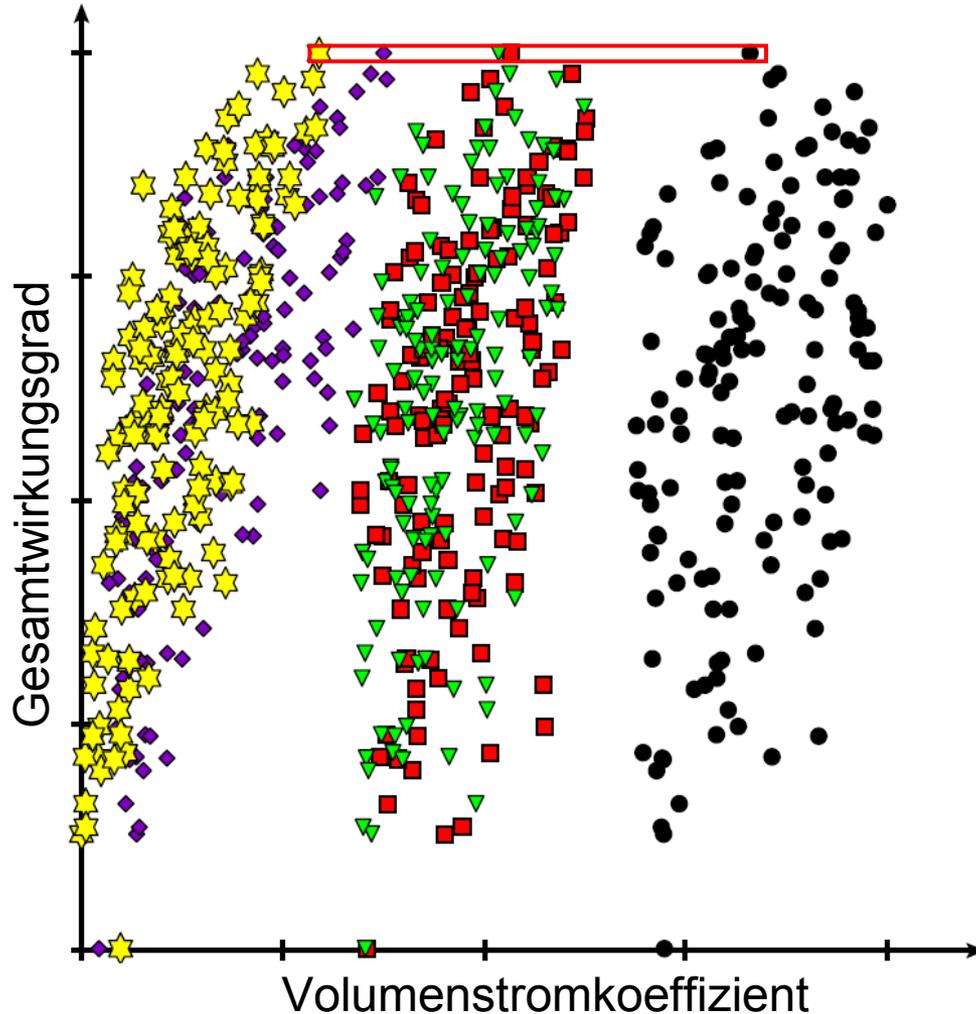


- Hoher Gesamtwirkungsgrad bei mittleren Förderhöhen in Stufe 1-3
- Hohe Gesamtwirkungsgrade bei niedrigen Förderhöhen in Stufe 4-5

$$y_p = (c_{u2} \cdot u_2 - \cancel{c_{u1}} \cdot u_1) \cdot \eta$$

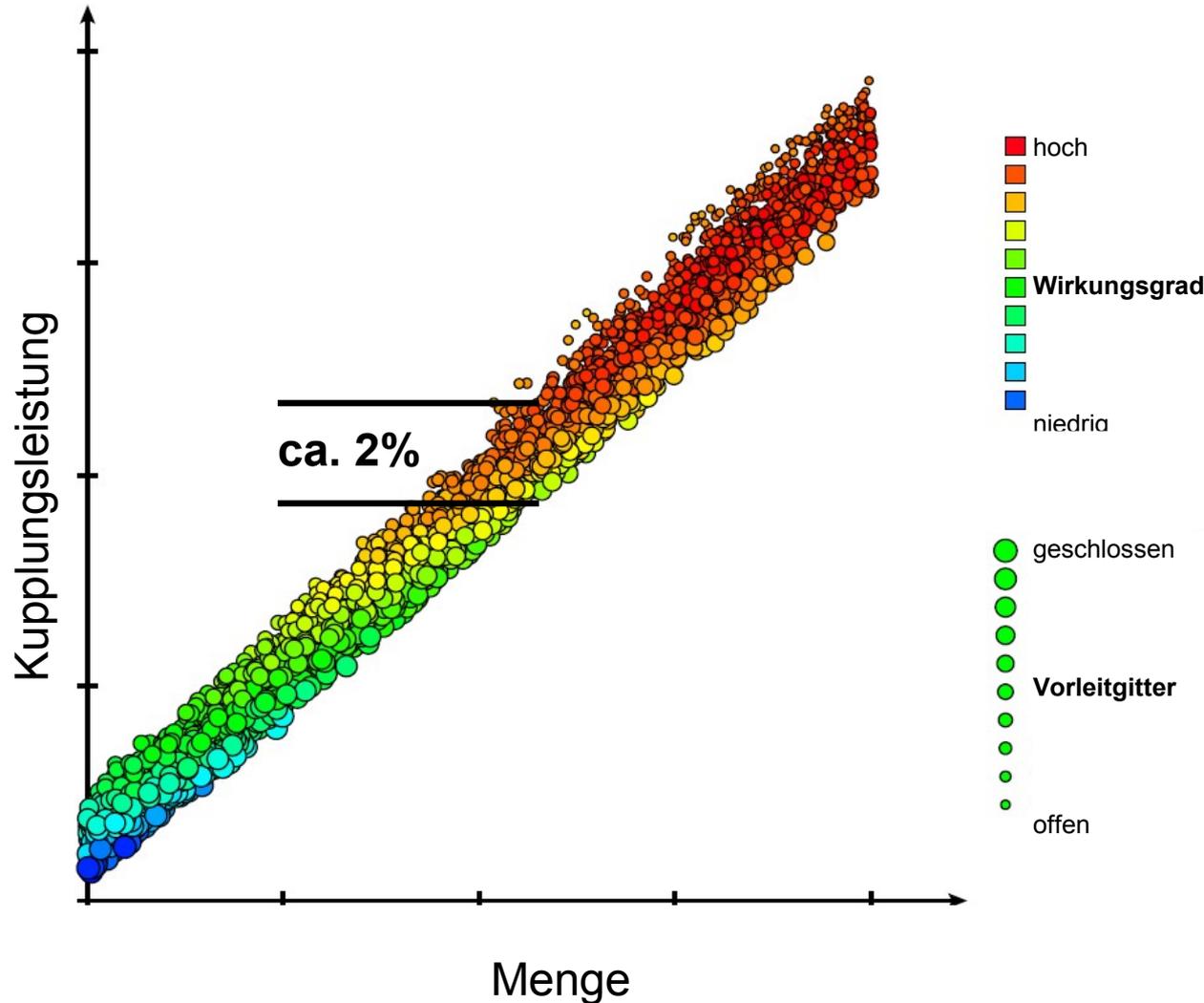
$$y_p \sim (d_2 \cdot n)^2$$

Auslegung von Standard-Getriebekompressoren



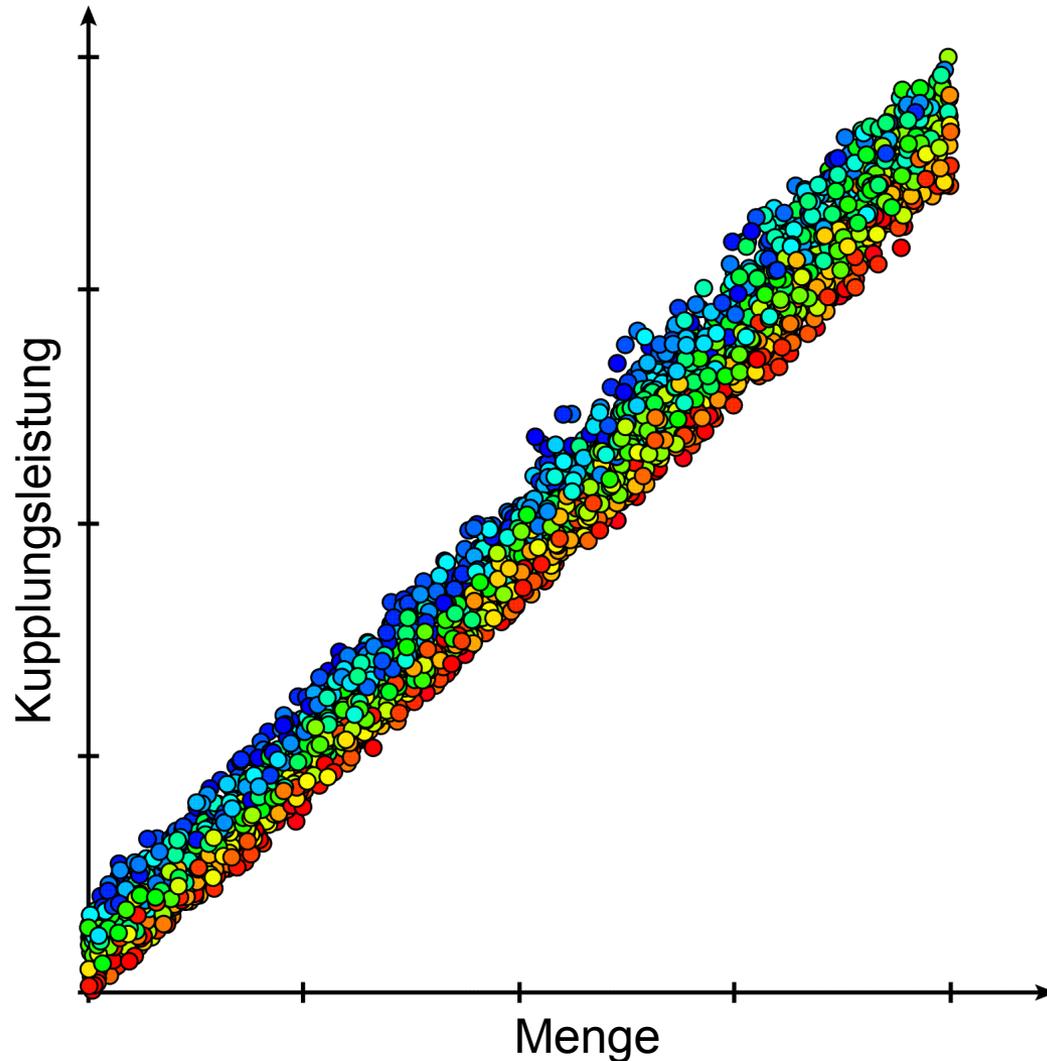
- Hohe Gesamtwirkungsgrade bei mittleren Volumenstromkoeffizienten in Stufe 1-3
- Hohe Gesamtwirkungsgrade bei hohen Volumenstromkoeffizienten in Stufe 4-5

Nachrechnung von gebauten Maschinen



- Variation von Saugdruck ($\pm 0,2$ bar), Saugtemperatur (± 5 K) und Rückkühltemperatur (± 5 K)
- Hohe Wirkungsgrade bei Vollast
- Niedrige Wirkungsgrade im Teil- und Überlastbereich

Nachrechnung von gebauten Maschinen

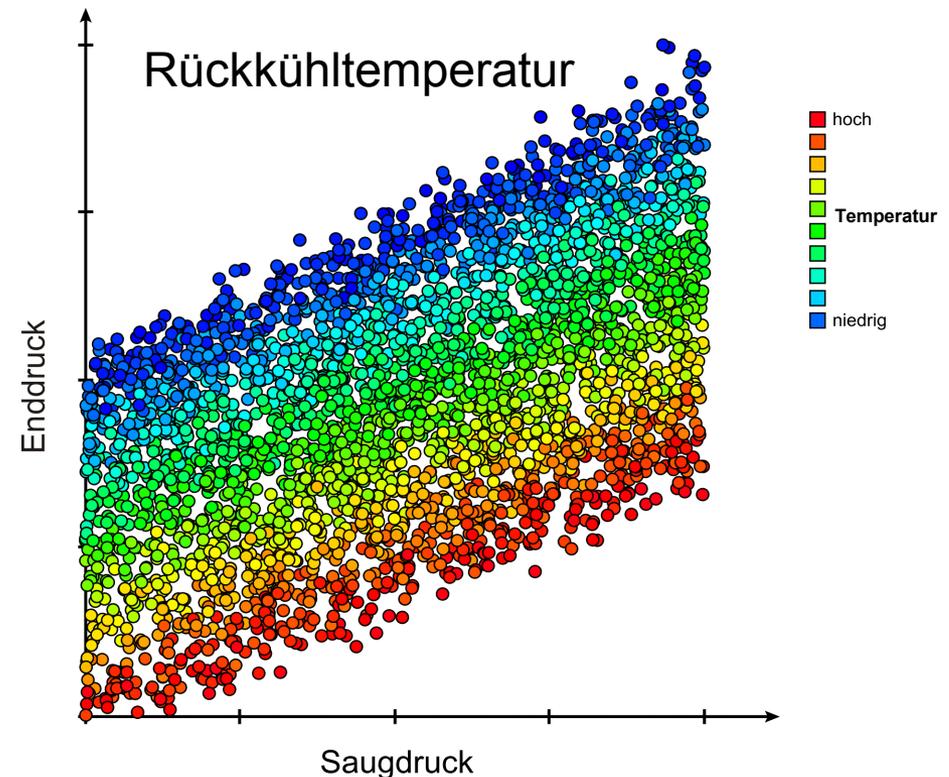
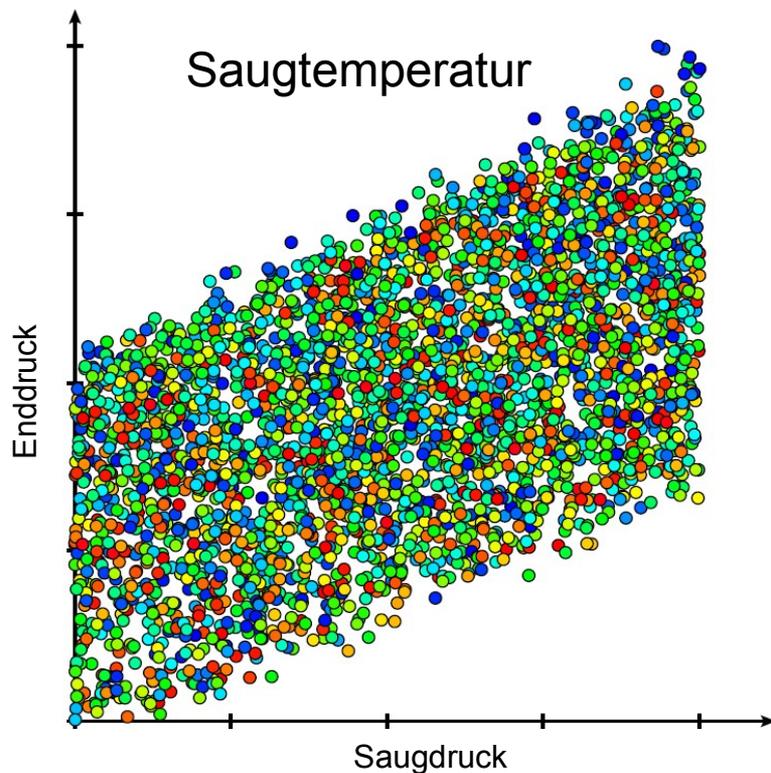


- Variation von Saugdruck ($\pm 0,2$ bar), Saugtemperatur (± 5 K) und Rückkühltemperatur (± 5 K)
- Großer Einfluss des Saugdrucks

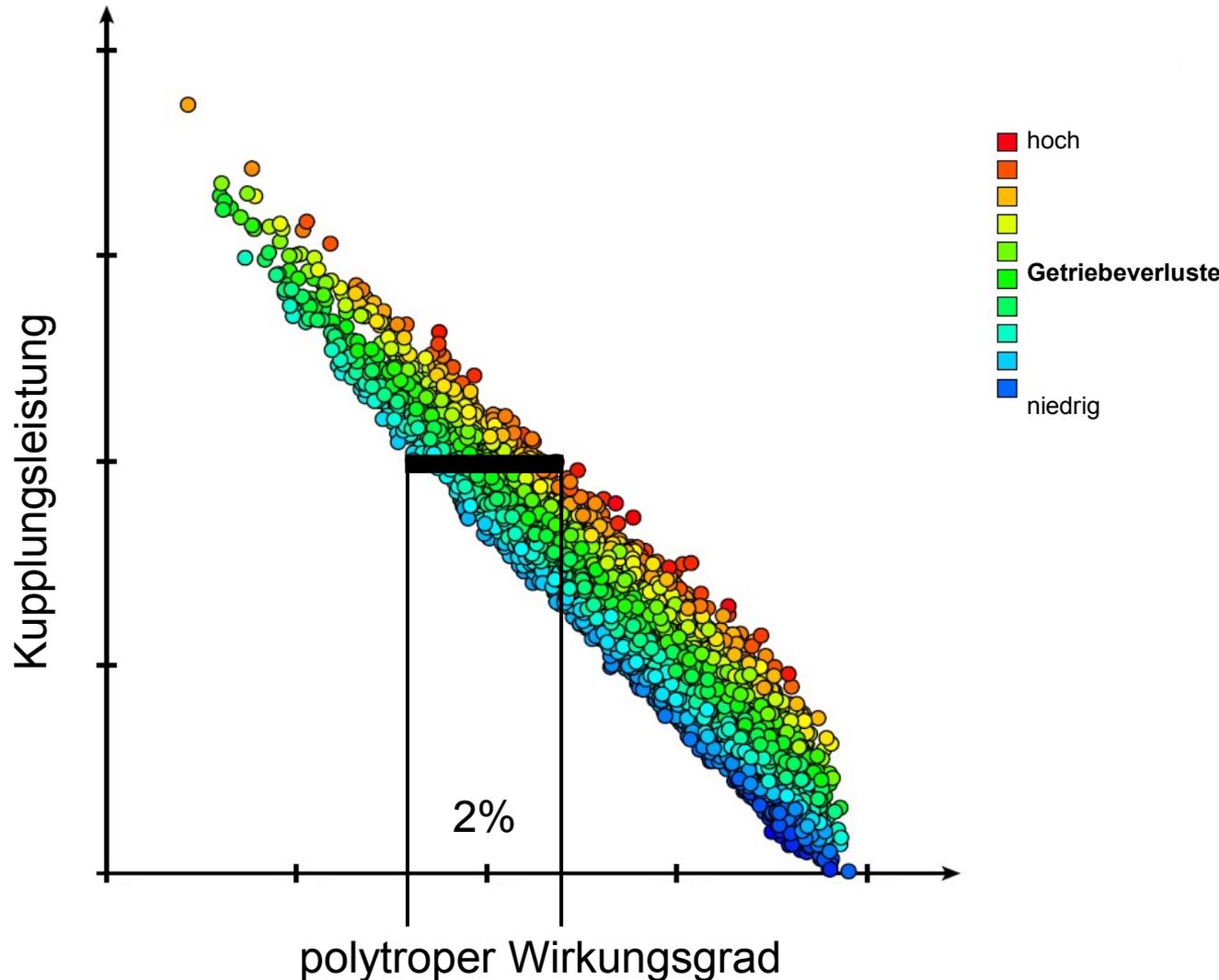
Nachrechnung von gebauten Maschinen



- Variation von Saugdruck ($\pm 0,2$ bar), Saugtemperatur (± 5 K) und Rückkühltemperatur (± 5 K)
- Großer Einfluss der Rückkühltemperatur bei konstanter Menge und konstanter Vorleitgitterstellung

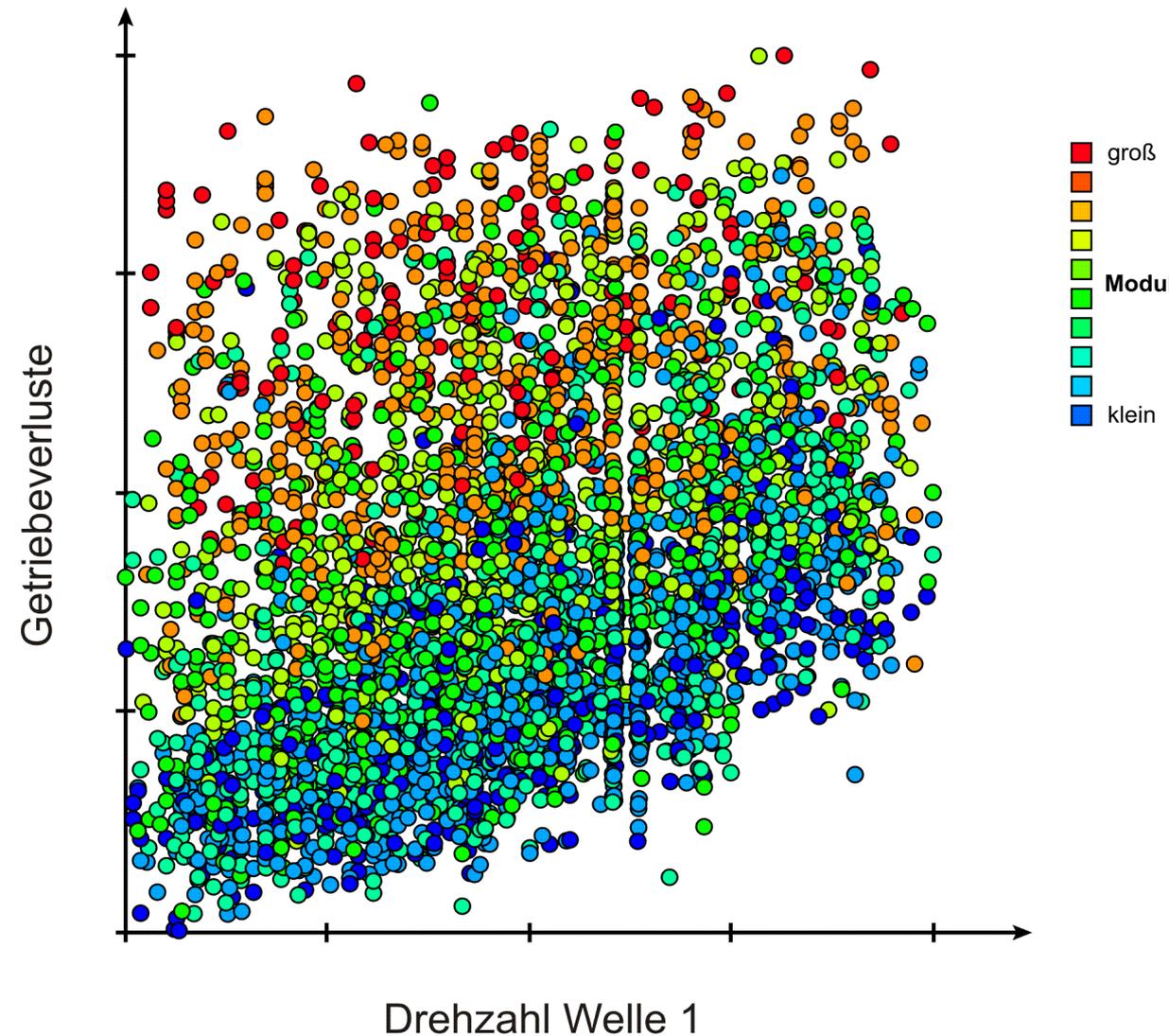


Freie Kompressorauslegung

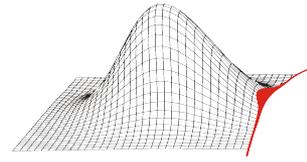


- Variation von Laufraddurchmesser, Drehzahl und Modul.
- Die Streuung der Getriebeverluste entspricht ca. 2 %-Punkten Wirkungsgrad

Freie Kompressorauslegung



- Variation von Laufraddurchmesser, Drehzahl und Modul.



- **Kontrolle rotodynamischer Eigenschaften**
- **Komplette Simulationskampagne**
- **Evaluierung der Ergebnisse**
- **Abschließen des Projekts**

Thank You for Your Attention!



All data provided in this document is non-binding. This data serves informational purposes only and is especially not guaranteed in any way. Depending on the subsequent specific individual projects, the relevant data may be subject to changes and will be assessed and determined individually for each project. This will depend on the particular characteristics of each individual project, especially specific site and operational conditions.