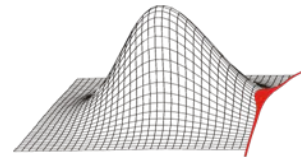


Probabilistische Untersuchungen von Getriebeverdichtern

**Thorsten van Lil – TU Dresden
Christian Wacker – MAN Diesel & Turbo SE**



Motivation



Grundlagen



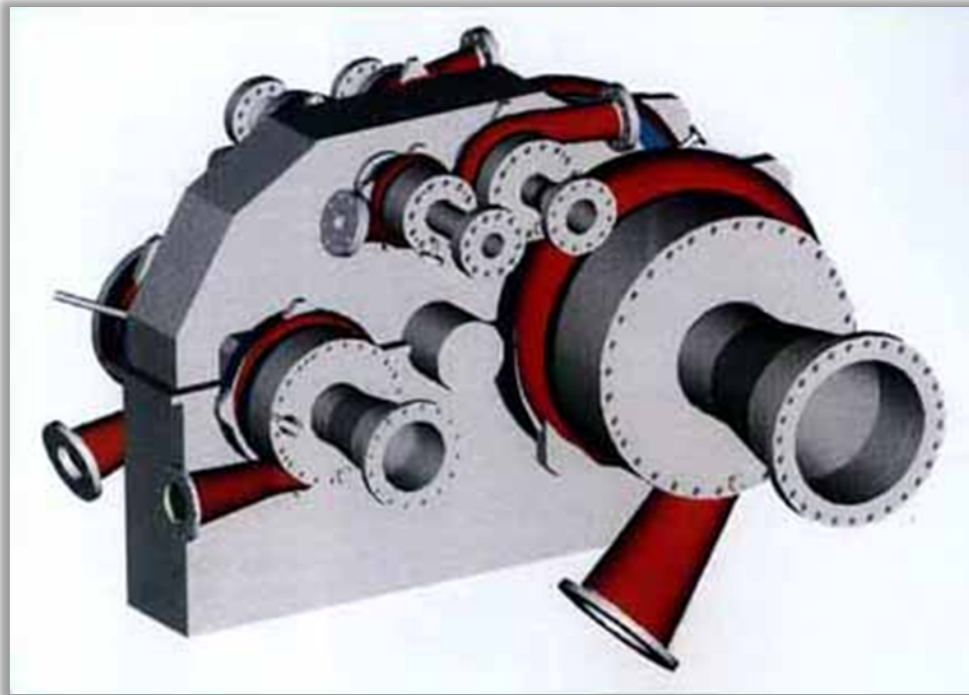
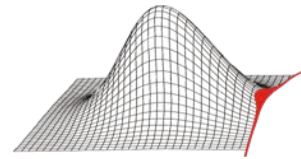
Ergebnisse



Zusammenfassung



Ausblick



Getriebeverdichter

Radialer
Mehrwellenverdichter

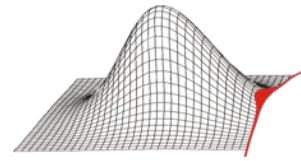
Ansaugvolumenstrom von
2000 bis 500.000 m³/h

~ 45.000 kW

200 Bar

Bis zu 10 Stufen

Kompakte Bauweise



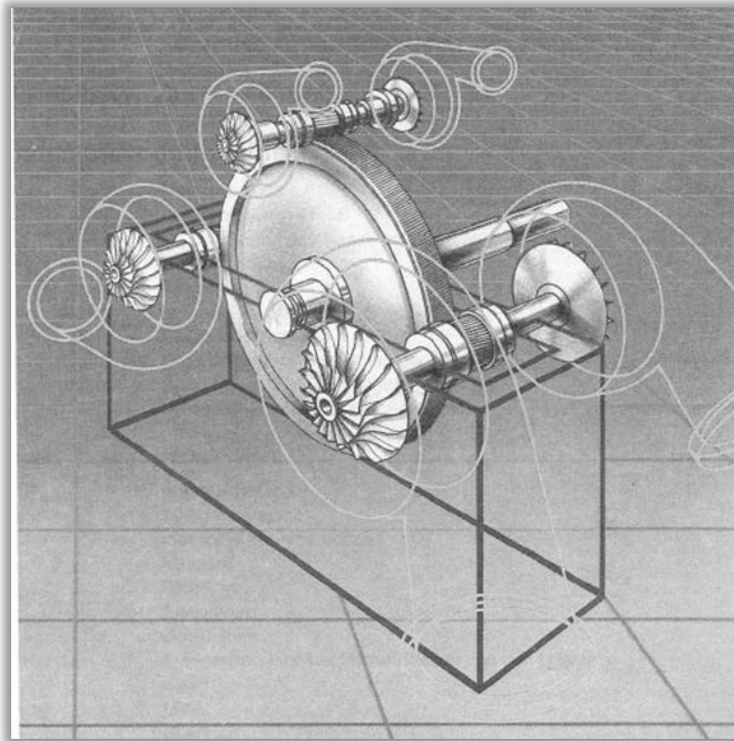
Aufbau

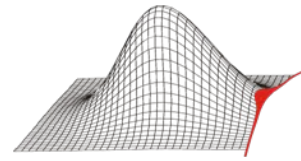
Zentrales Großrad

Mehrere Ritzelwellen

Bis zu 2 radiale Stufen pro
Ritzelwelle

Zwischenkühlung





Gründe

Steigender
Energiebedarf

Umweltschutz

Hohe Kosten

Komplexe
Zusammenhänge

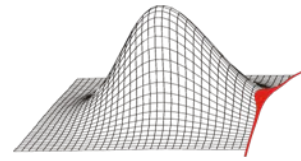
Zweck

Wirkungsgradsteigerung

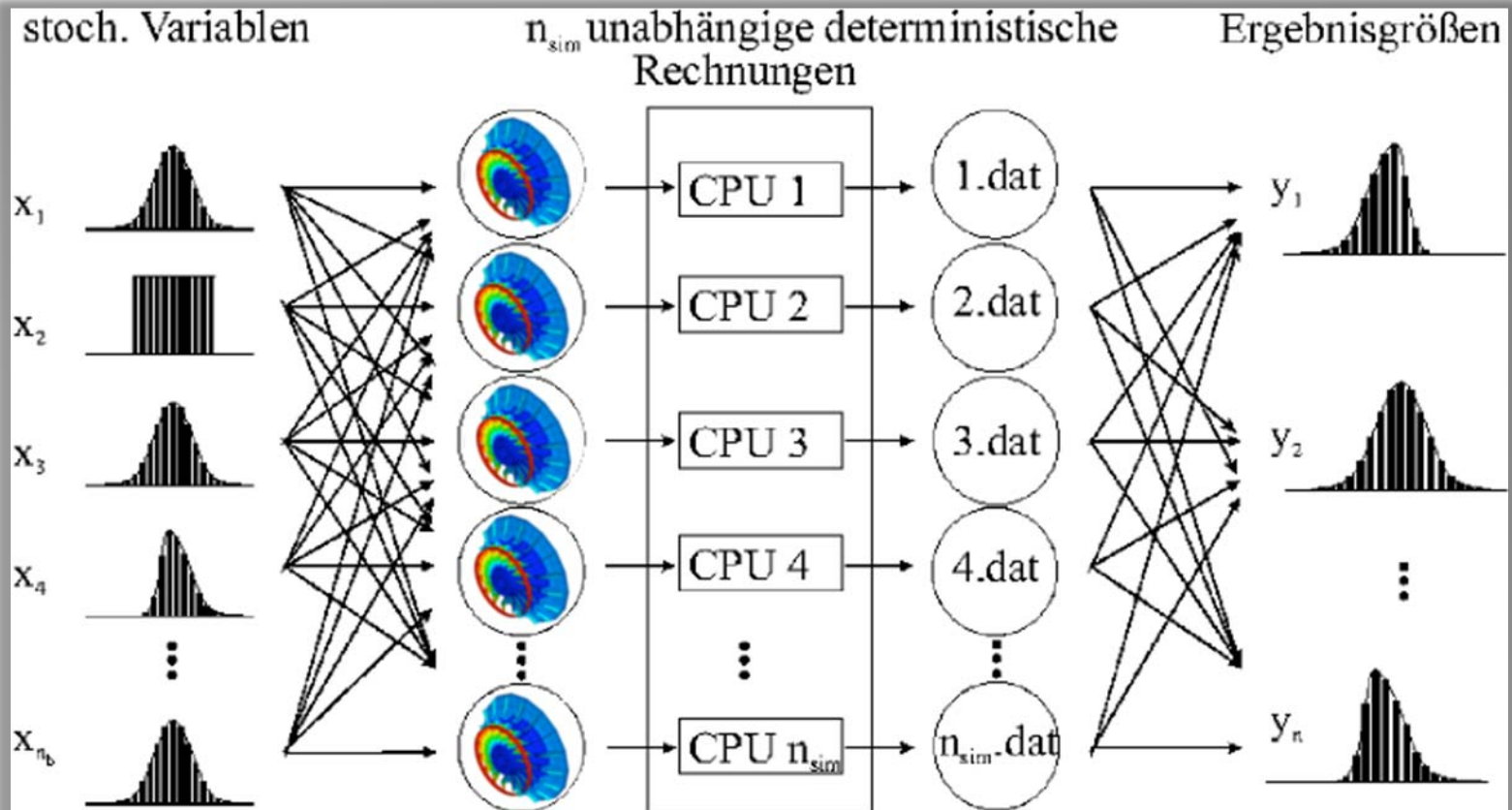
Sicherheitsabschätzungen

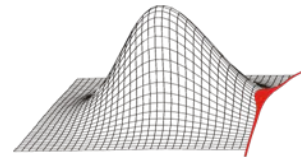
Robustes Design

Erfahrungsschatz am PC
bilden



2.1 Monte-Carlo-Simulation

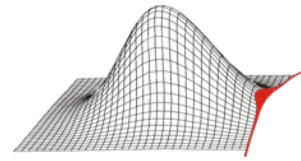




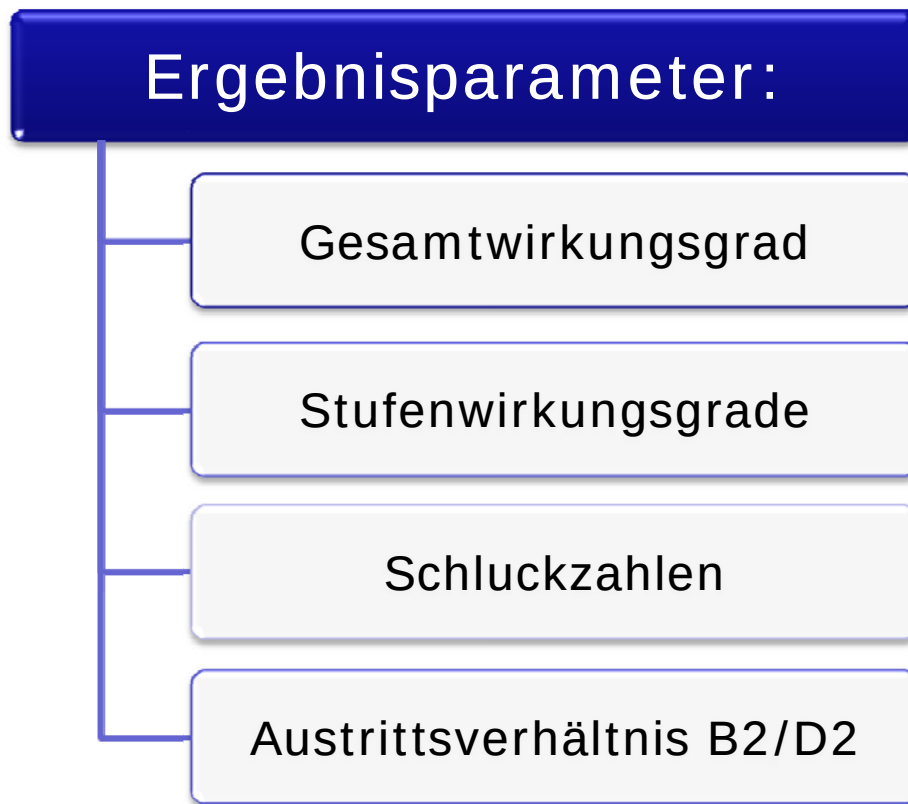
2.2 Deterministisches Modell

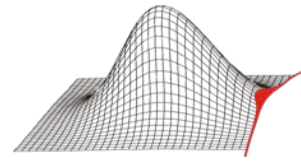
Thermodynamikberechnung

- thermodynamische/aerodynamische Auslegung
 - $= >$ Stufenzahl, Drehzahlen, Austrittsdurchmesser
 - $< =$ Wirkungsgrad, Kennzahlen, Geometrien ...



2.2 Deterministisches Modell





2.3 RGopt

74 RG Optimizer

File Help

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

Design parameters

Designmethod:

Min Max

Number of stages:

stage number 3 stage number 4 stage number 5

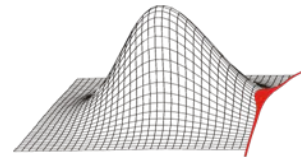
	Rotation speed		D2		Beta2s		Phi3/Phi3opt	
	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit
Stage 1:	1000	1000	10	10	50	1.05	1.05	1.05
Stage 2:	1000	1000	10	10	50	1.05	1.05	1.05
Stage 3:	1000	1000	10	10	50	1.05	1.05	1.05
Stage 4:	1000	1000	10	10	50	1.05	1.05	1.05
Stage 5:	1000	1000	10	10	50	1.05	1.05	1.05

Stochastical parameters

Thermodynamic Operating points Options

Load input file

Start Simulation Abort



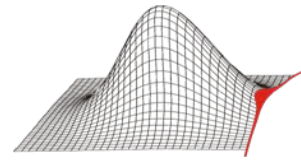
3.1 Probabilistische Systemanalyse

Designparameter (gleichverteilt)

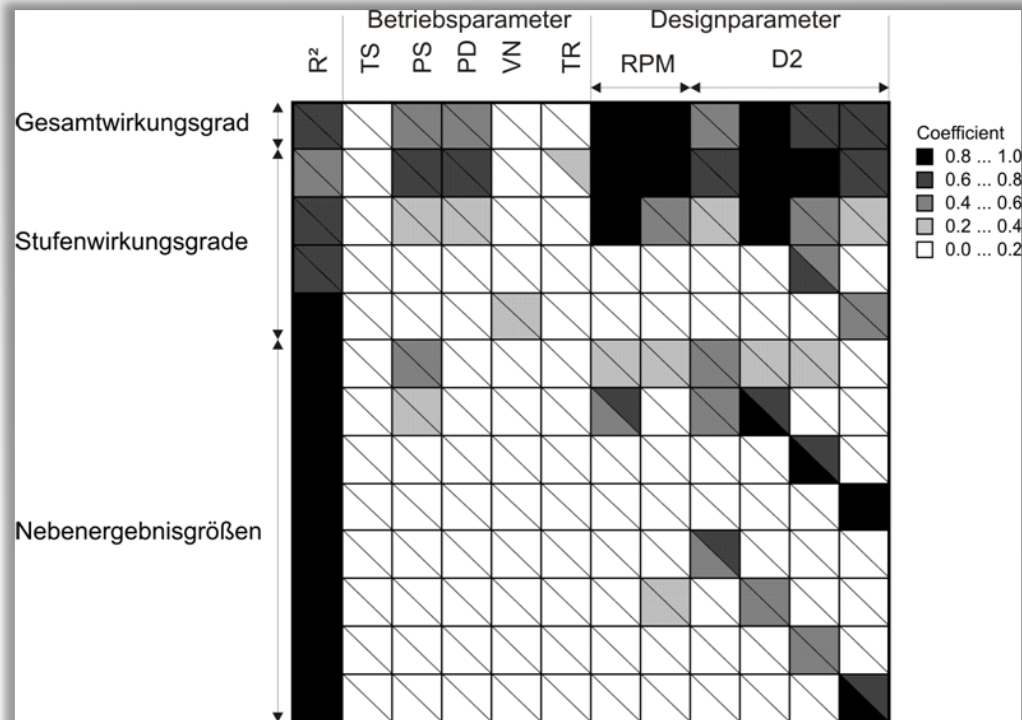
- Drehzahlen
- Austrittsdurchmesser (D2)

Betriebsparameter (normalverteilt)

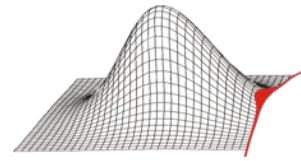
- Saugdruck
- Saugtemperatur
- Massenstrom
- Enddruck
- Rückkühltemperatur



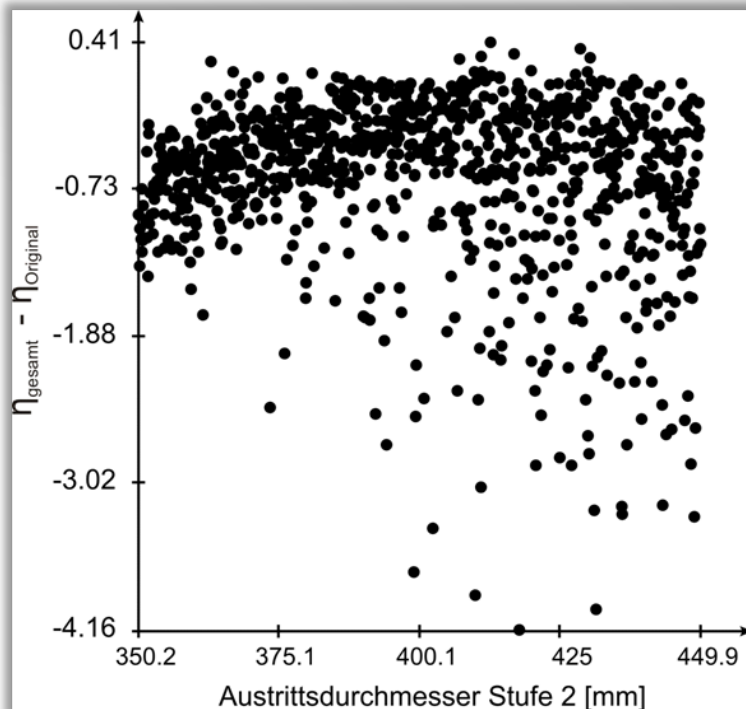
3.1 Probabilistische Systemanalyse



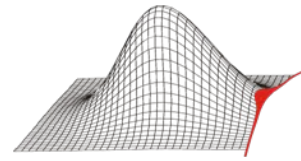
- Designparameter großen Einfluss
- Druckverhältnis (PS/PD) Einfluss erkennbar



3.1 Probabilistische Systemanalyse

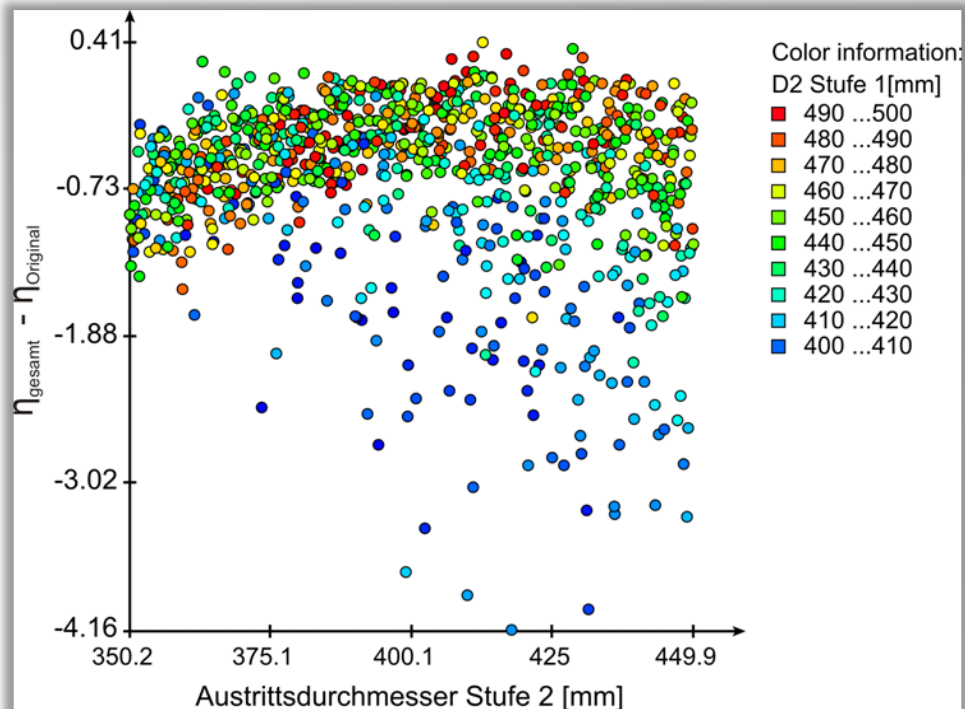


- Verlauf erkennbar
- Viele Ausreißer

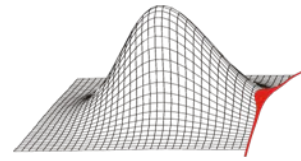


3.1 Probabilistische Systemanalyse

Austrittsdurchmesser Stufe 1 als Farbinformation

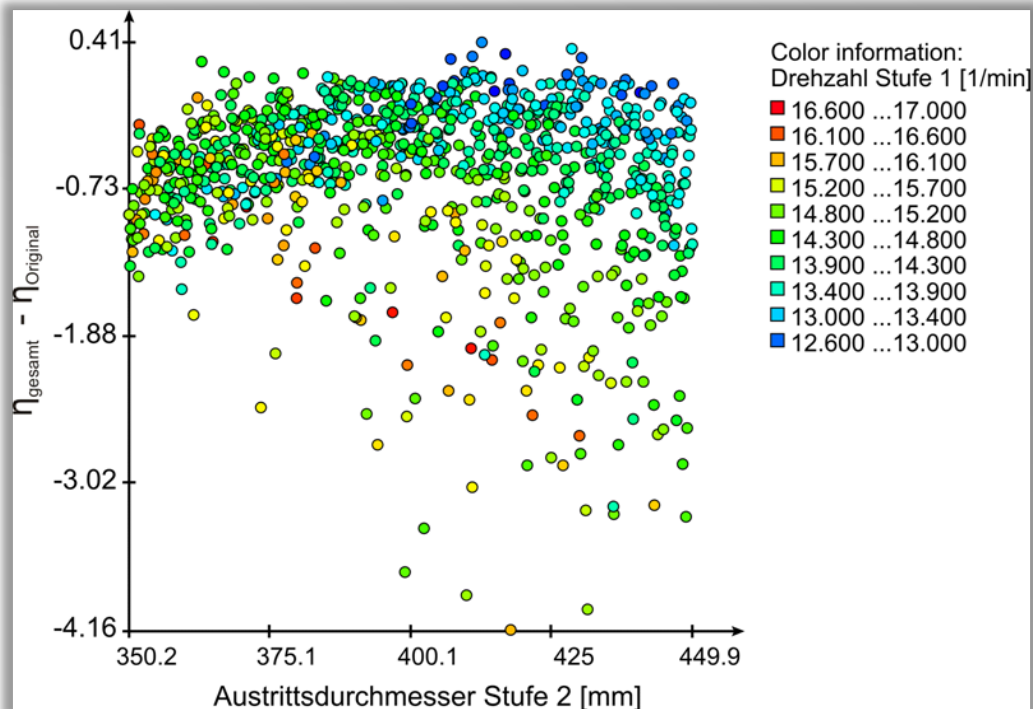


Ausreißer bei kleinen
Austrittsdurchm.
Stufe 1

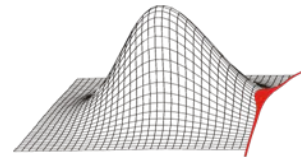


3.1 Probabilistische Systemanalyse

Drehzahl Stufe 1 als Farbinformation



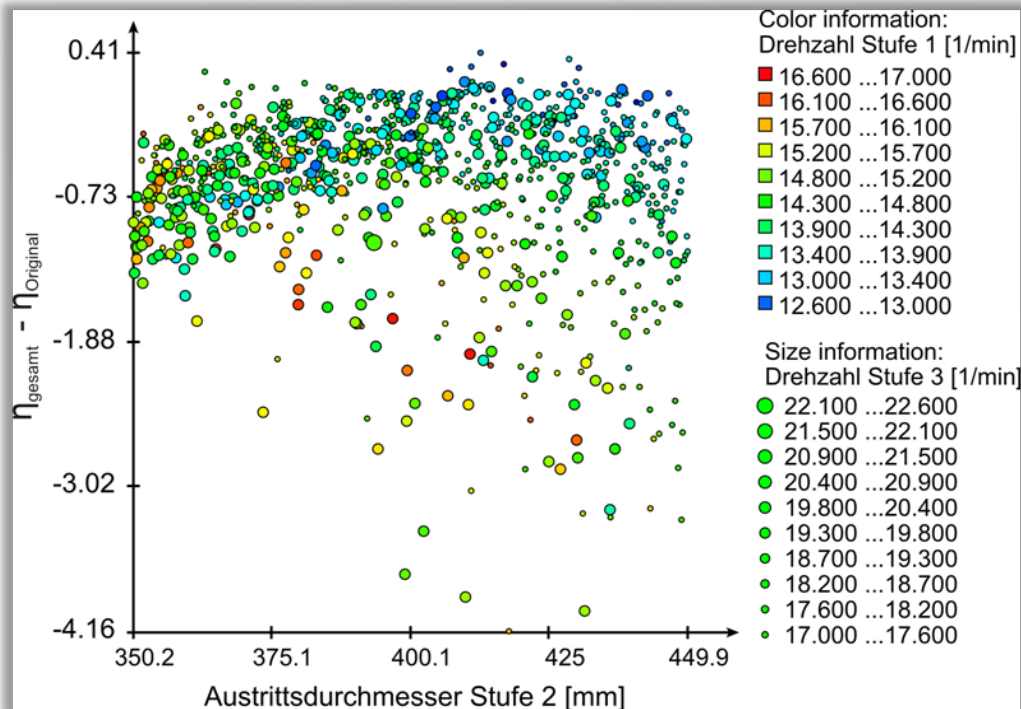
Verlauf in
Farbinformation zu
erkennen



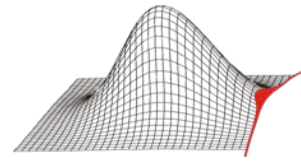
3.1 Probabilistische Systemanalyse

Drehzahl Stufe 1 als Farbinformation

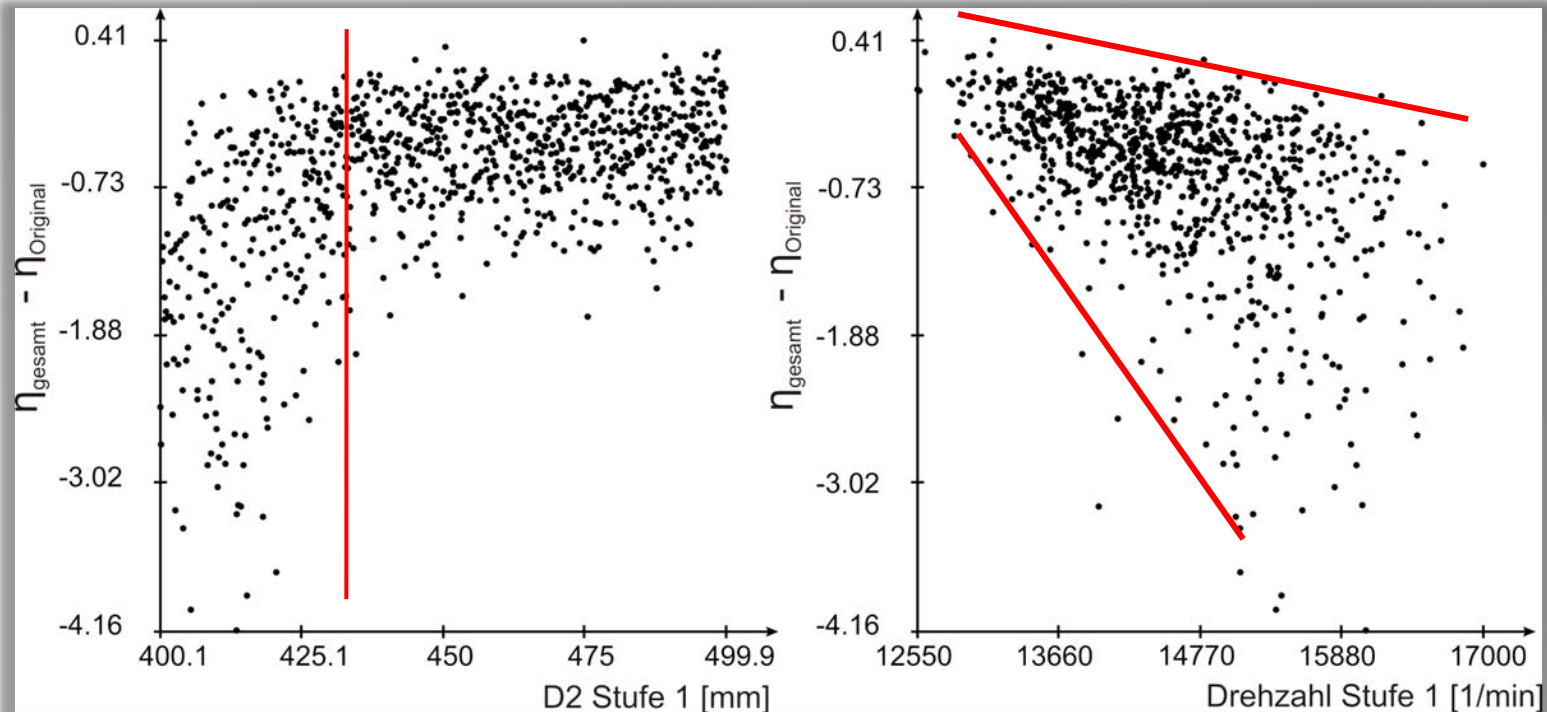
Drehzahl Stufe 3 als Größe



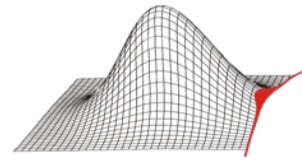
Positiven Ausreißer
bei geringer
Drehzahl der 3. Stufe



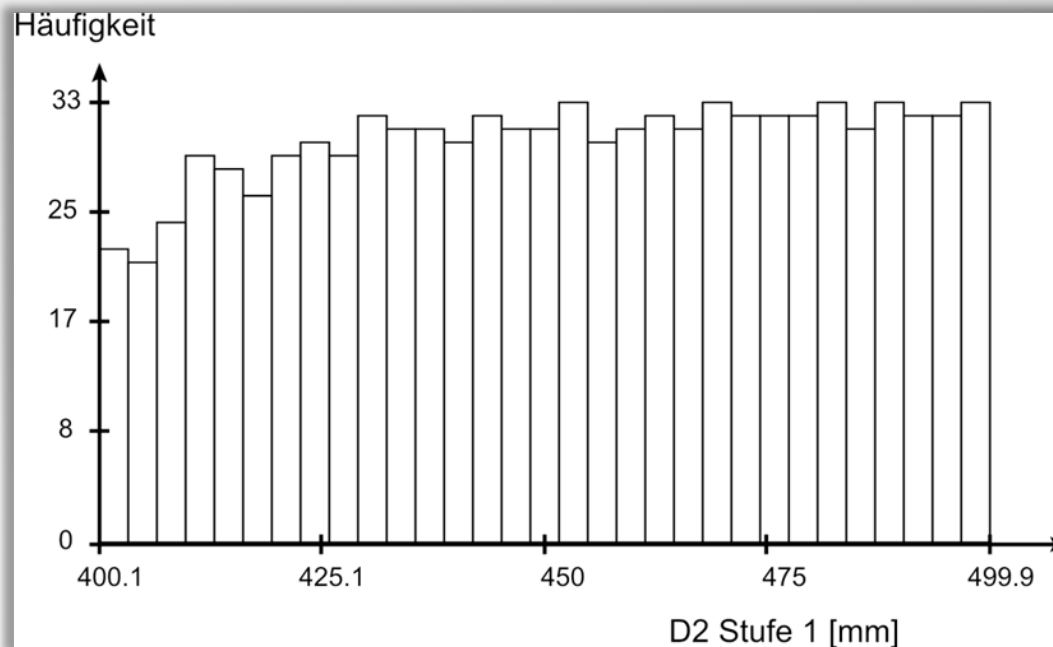
3.1 Probabilistische Systemanalyse



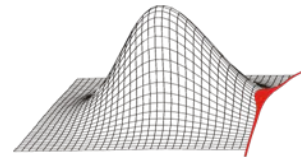
- Stabiler Wirkungsgrad über 430mm
- Höhere Wirkungsgrade für niedrige Drehzahlen



3.1 Probabilistische Systemanalyse



- Histogramme geben Aufschluss über die gewählten Grenzen der Designparameter



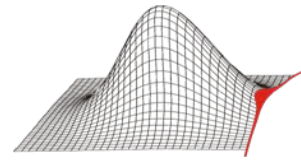
3.2 Auslegungssimulation

Designparameter (gleichverteilt)

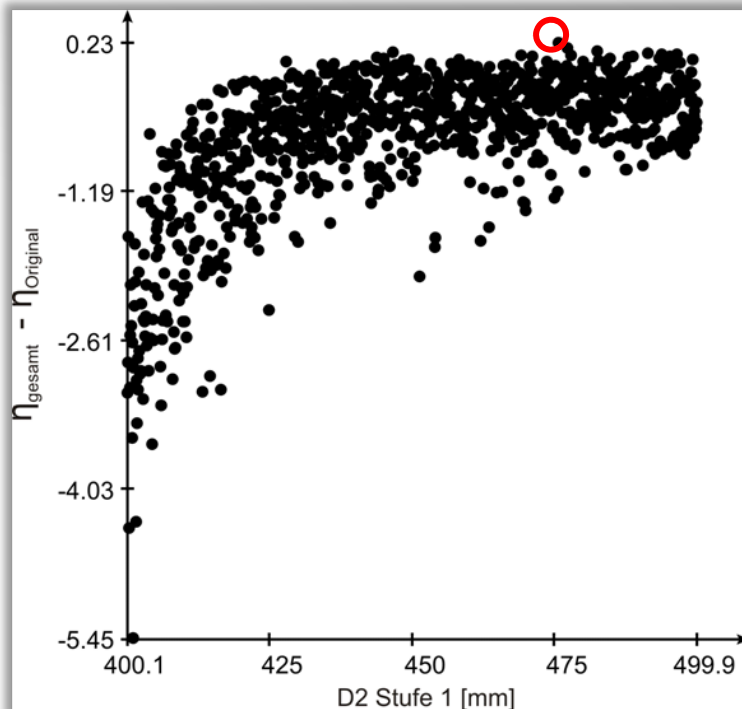
- Drehzahlen
- Austrittsdurchmesser (D_2)

Betriebsparameter (fix)

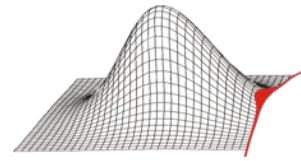
- Saugdruck
- Saugtemperatur
- Enddruck
- Massenstrom
- Rückkühltemperatur



3.2 Auslegungssimulation



- Ähnlicher Verlauf wie bei Überblick



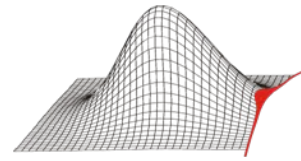
3.3 Robustheitsanalyse

Produktionsstreuungen (normalverteilt)

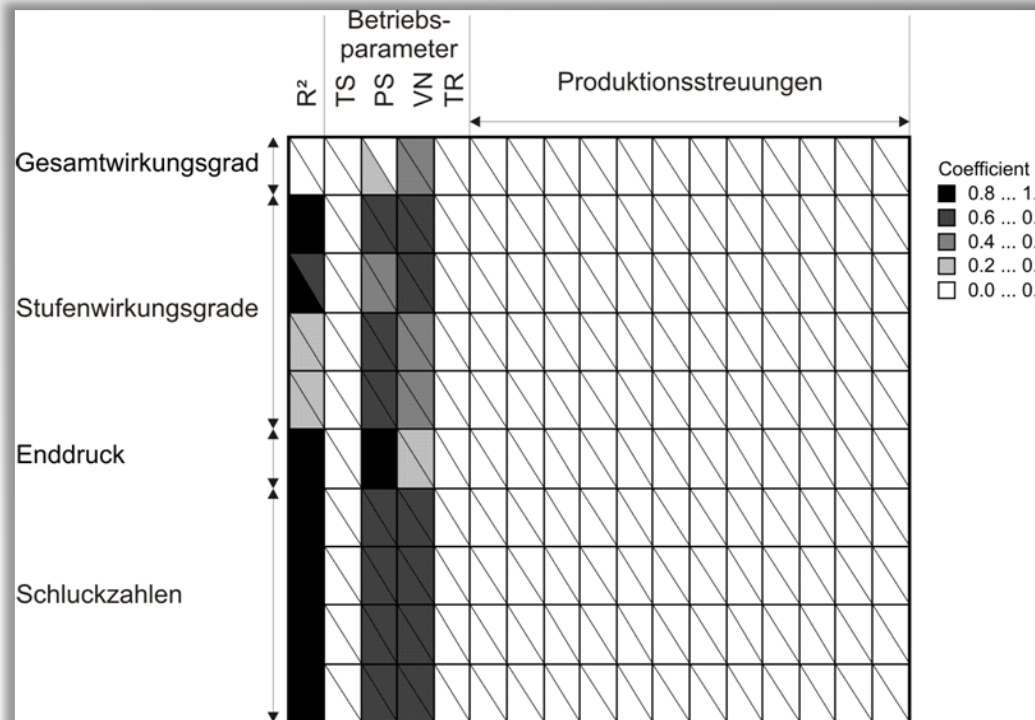
- Austrittsdurchmesser
- Eintrittsdurchmesser (Innen und Außen)
- Mittelwerte entsprechen ausgewählter Maschine

Betriebsparameter (normalverteilt)

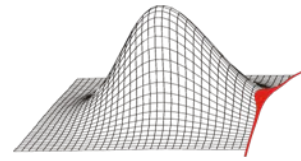
- Saugdruck
- Saugtemperatur
- Massenstrom
- Rückkühltemperatur



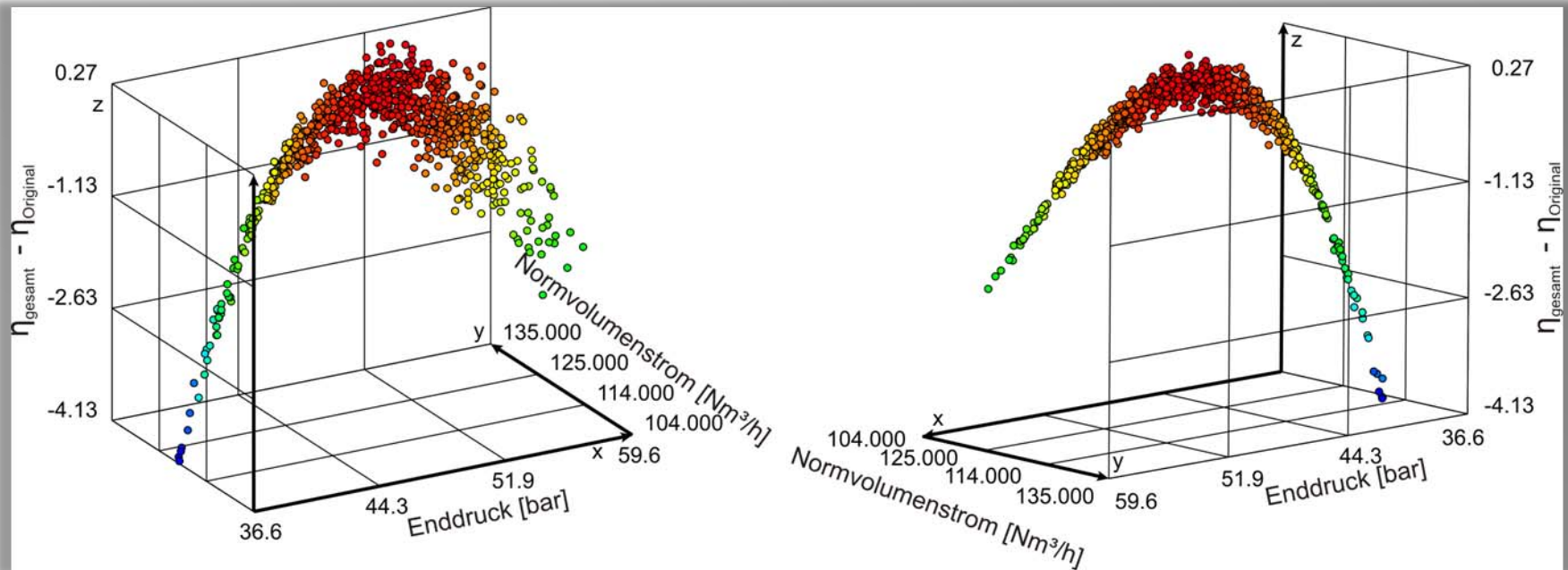
3.3 Robustheitsanalyse



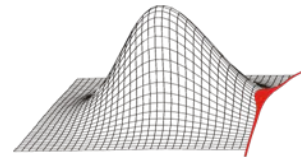
- Produktionsstreuung vernachlässigbar
- Saugdruck und Massenstrom einflussreich



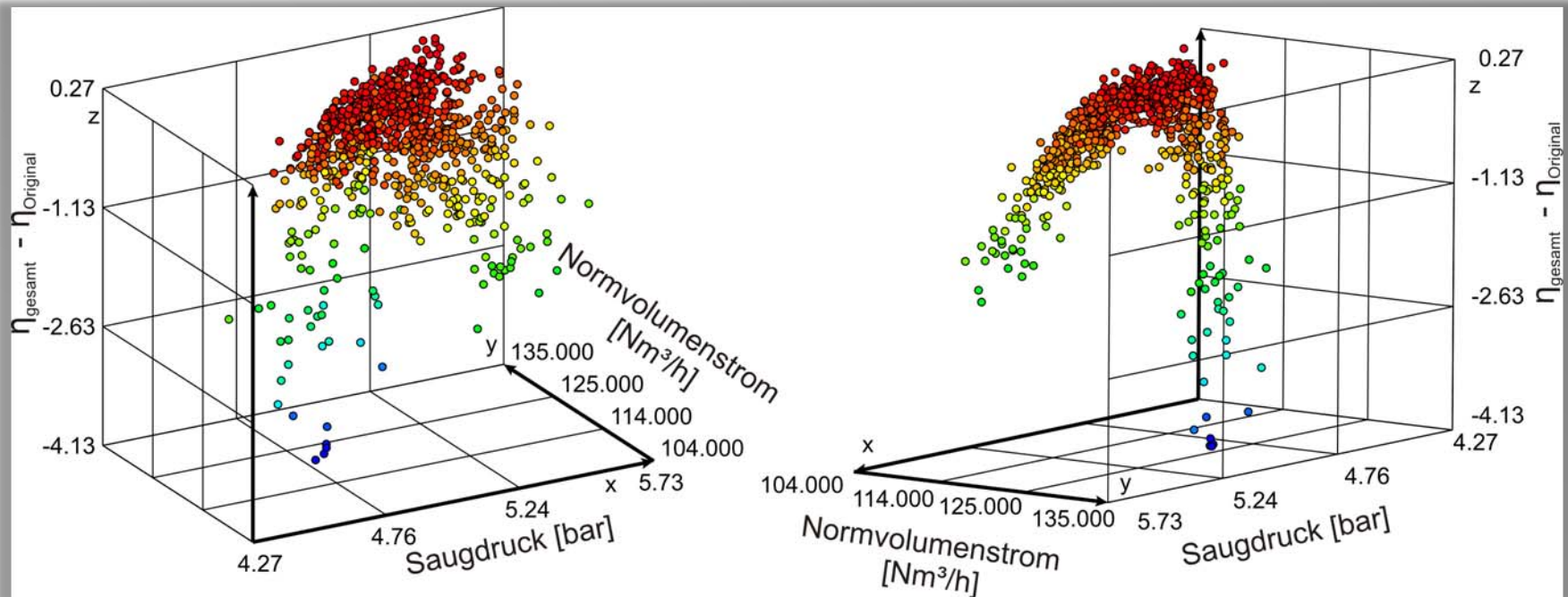
3.3 Robustheitsanalyse

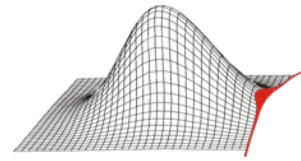


Enddruck hauptsächlich vom Saugdruck
abhängig

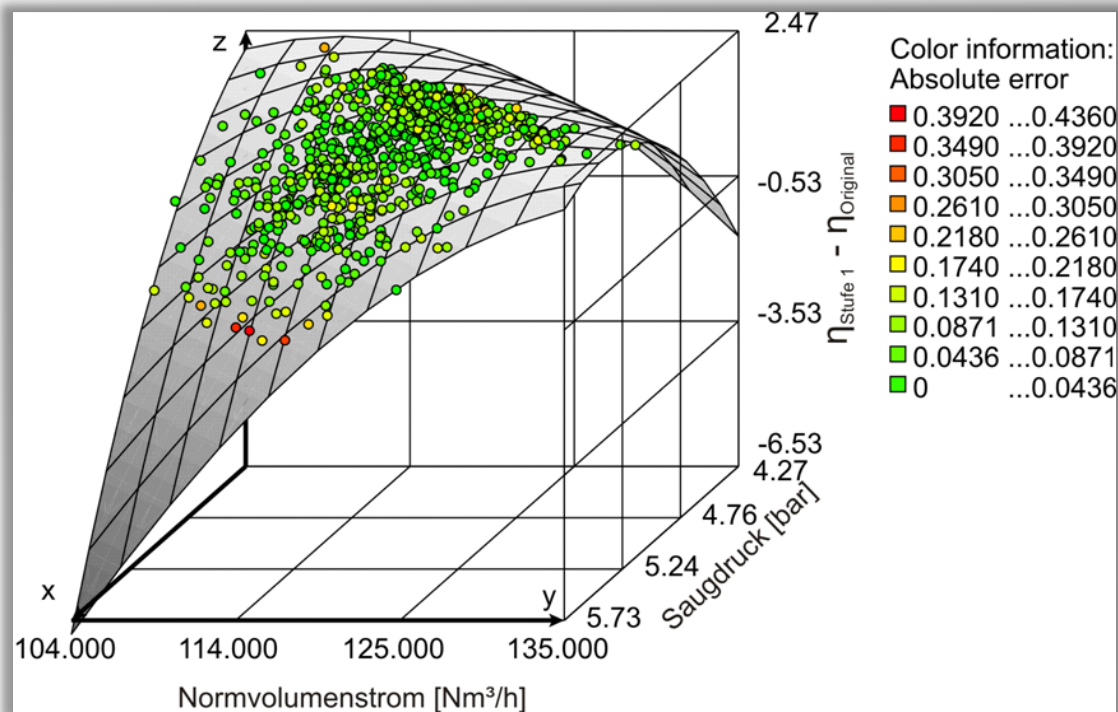


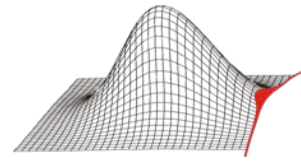
3.3 Robustheitsanalyse



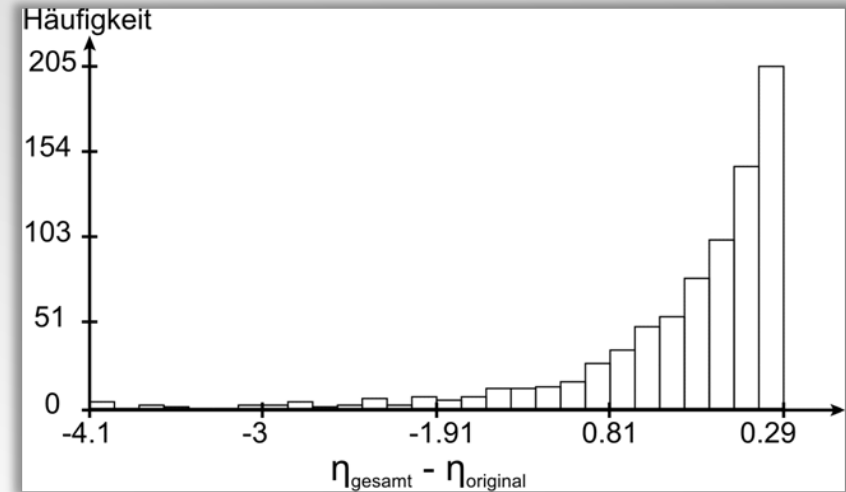
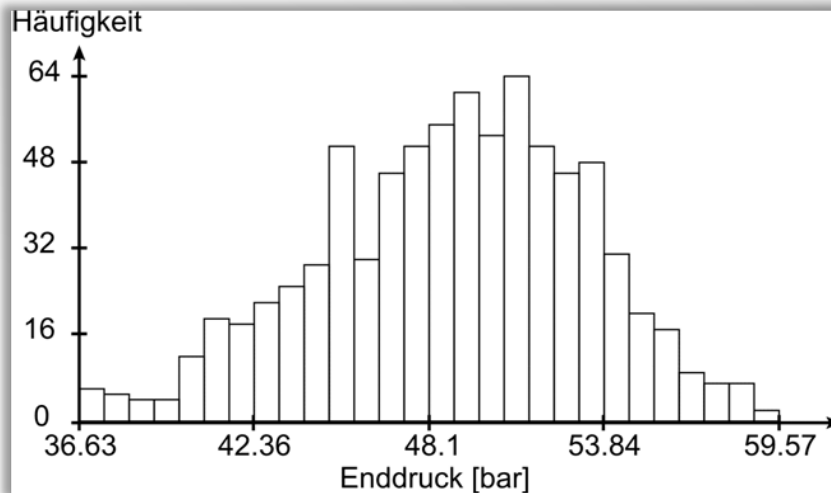


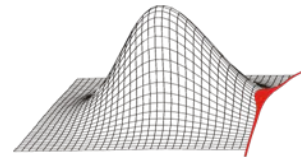
3.3 Robustheitsanalyse



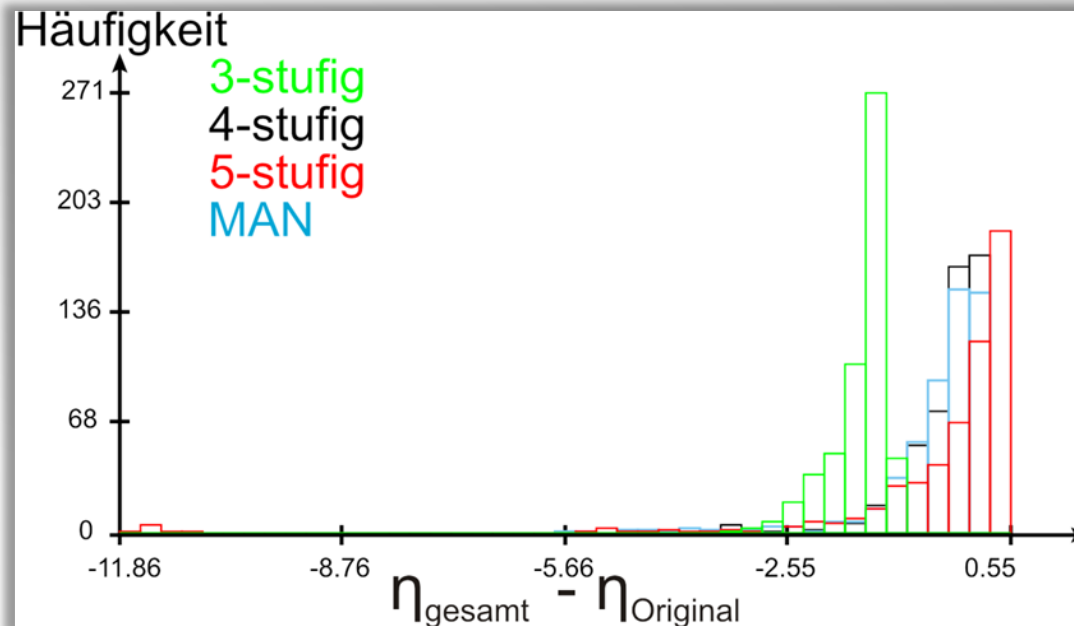


3.3 Robustheitsanalyse

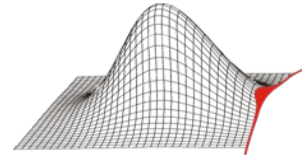




3.4 Vergleich



- 3-stufige Verdichter geringsten Modalwert
- 4- und 5-stufige Verdichter sehr ähnlich

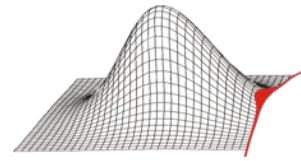


Parameterstreuungen ermittelt

Auslegungsumgebung erstellt

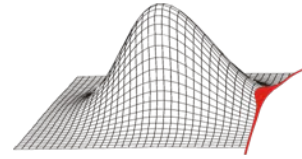
Simulationen durchgeführt

- Vordere Stufen haben dominierenden Einfluss
- Wirkungsgrad kann erhöht werden, durch Verminderung der Drehzahl
- Austrittsdurchmesser anpassen für Stabilisierung
- Im Betrieb beeinflussen Massenstrom und Enddruck/Saugdruck den Wirkungsgrad maßgeblich
- Stufenzahl je nach Anforderung



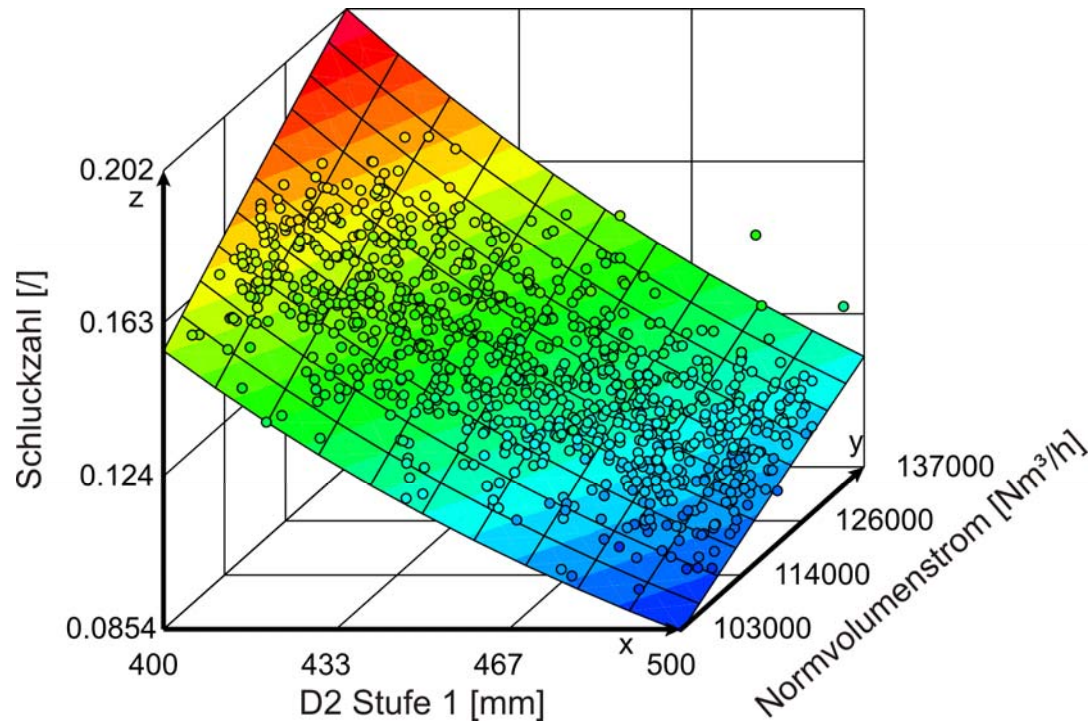
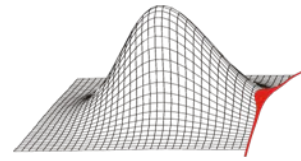
Weitere Auslegungsdisciplinen aufnehmen

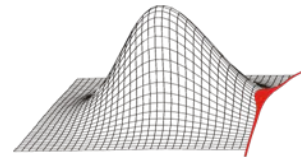
Optimierung des Gesamtsystems



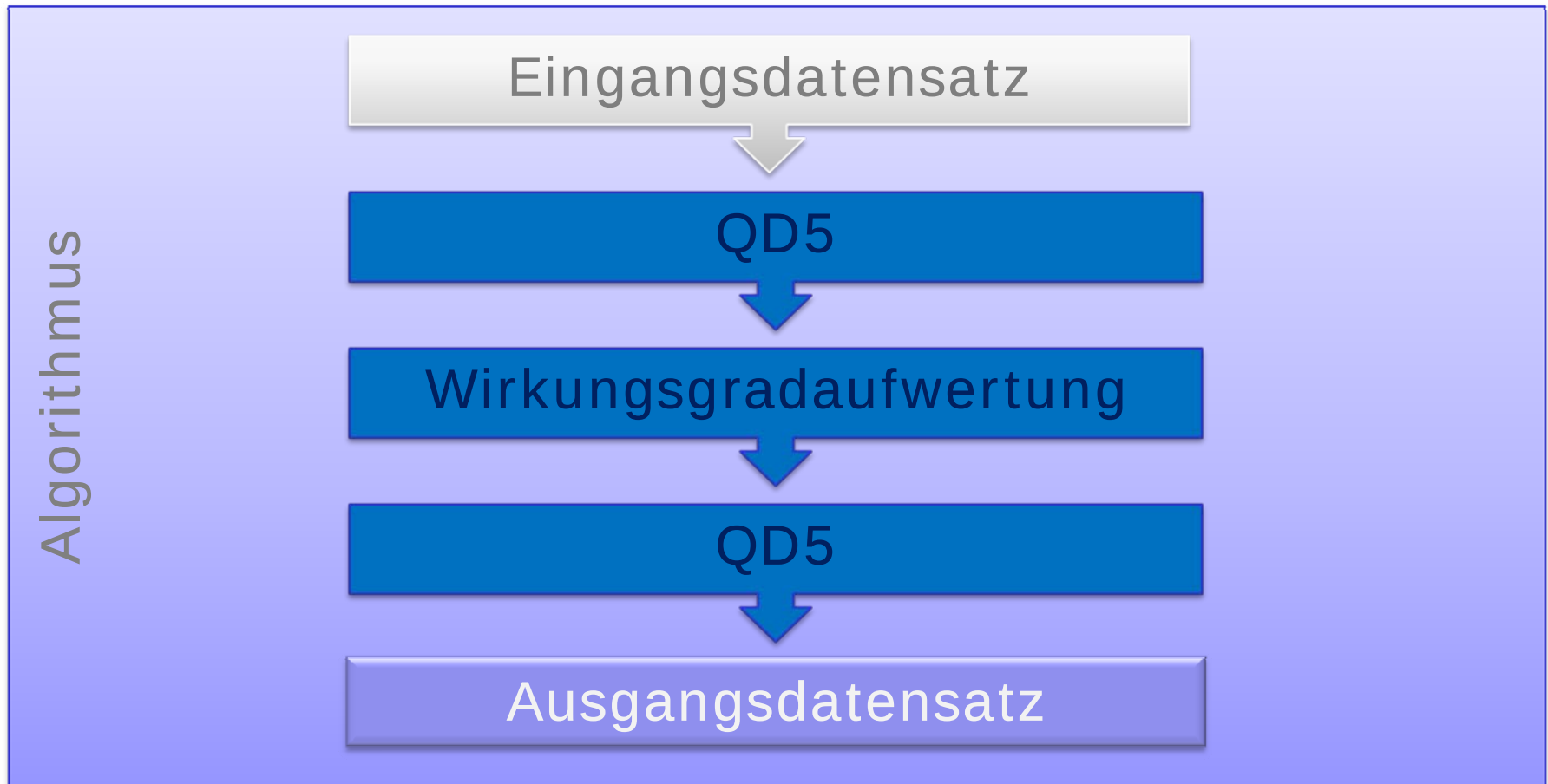
Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

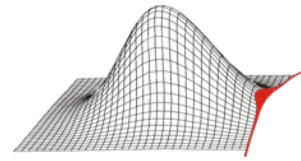
Fragen?





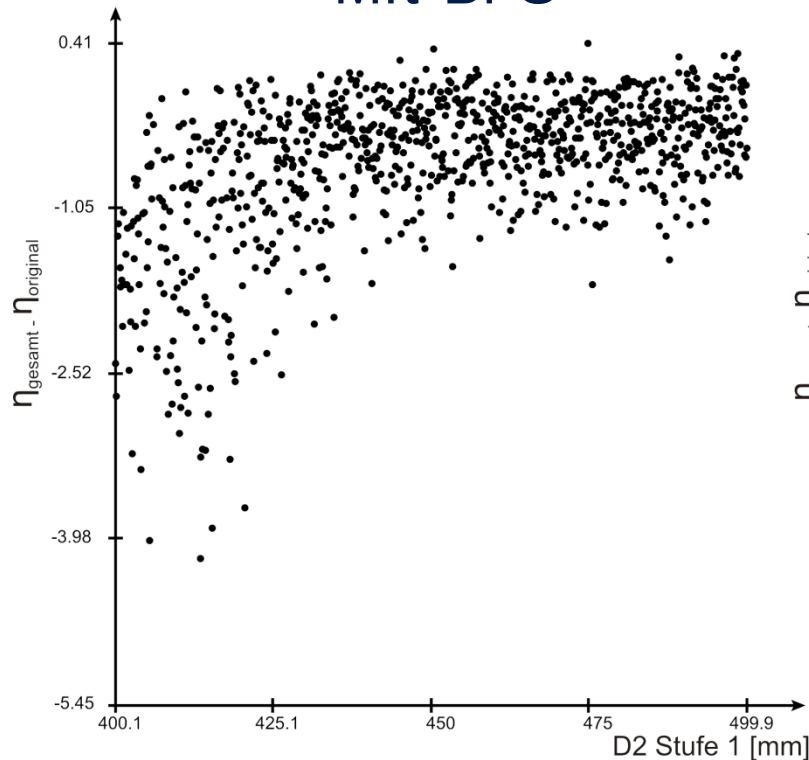
Simulationsablauf



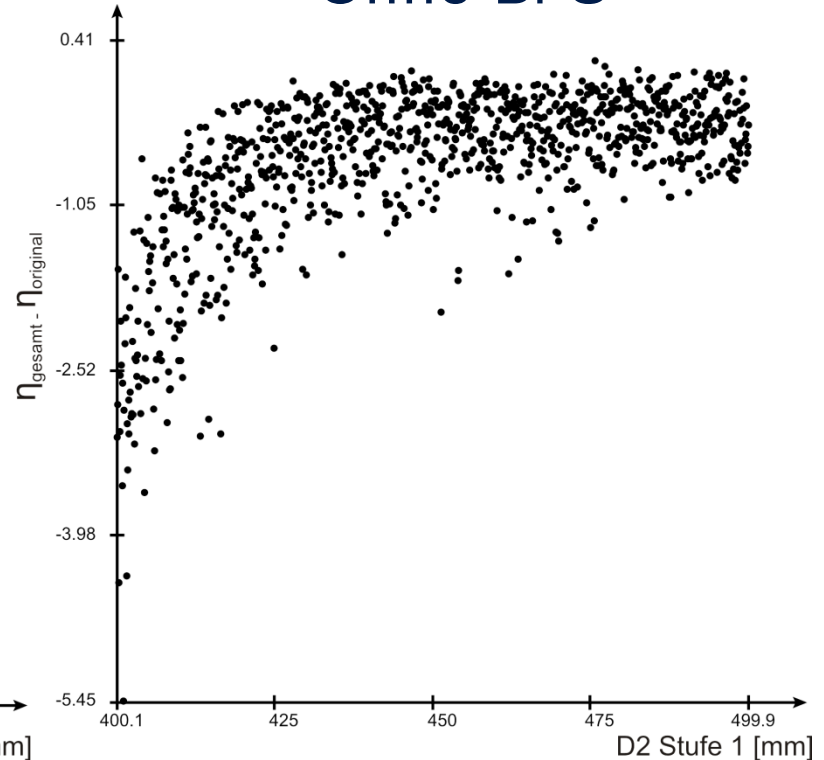


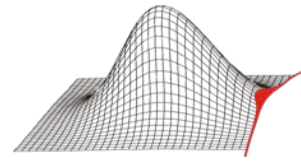
Vergleich mit/ohne Betriebsparameterstreuung

Mit BPS



Ohne BPS





5-stufiger Verdichter

