

Stationäres Teillastverhalten einer geschlossenen Einwellen-Gasturbinenanlage mit Hochtemperaturreaktor bei Druckpegel- und Bypassregelungen

Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. R. A. Dietrich

© Copyright Mai 2008 **IBSNM**

**Ingenieur-Büro Systemanalyse und Numerische Modellierung
D-21522 Hohnstorf / Elbe**

Tel.: 04139 – 6 96 91 49 , E-Mail: Rudolf-Adolf.Dietrich@t-online.de

Agenda

1. Motivation
2. Arten einer Regelung
3. Anforderungen an die Regelung
4. Ausgewählte Regelungsarten
5. Schaltplan der untersuchten Anlage
6. Erläuterung der Ergebnisse
7. Schlussbemerkungen

Arten der Regelung bei einer geschlossenen Gasturbinenanlage

- Reaktorregelung
- Drosselregelung
- Bypass zur Mengenregelung
- Bypass zur Temperaturregelung
- Druckpegelregelung

Reaktorregelung

- **Große Zeitkonstanten**
- **Schnelle Regelung nicht möglich**
- **Temperaturüberschläge**
- **Gefährdung der Gasturbine**
- **Charakteristische Eigenschaften**

Drosselregelung

- Erhöhung des Widerstandes im Arbeitskreislaufes
- Erreichen der Pumpgrenze beim Verdichter
- Anwendung begrenzt

Bypass zur Mengenregelung

- Umgehen von einer oder mehrerer Anlagekomponenten
- Wegdrosseln eines Teils der Energie
- Anordnung im möglichst energiearmen Mengenstrom

Bypass zur Temperaturregelung

- Umgehen des Wärmeübertragers und des Reaktors
- Temperatur vor der Turbine variabel
- Ungünstig für den Reaktor
- Mengenstrom und Temperatur vor dem Reaktor veränderlich

Druckpegelregelung

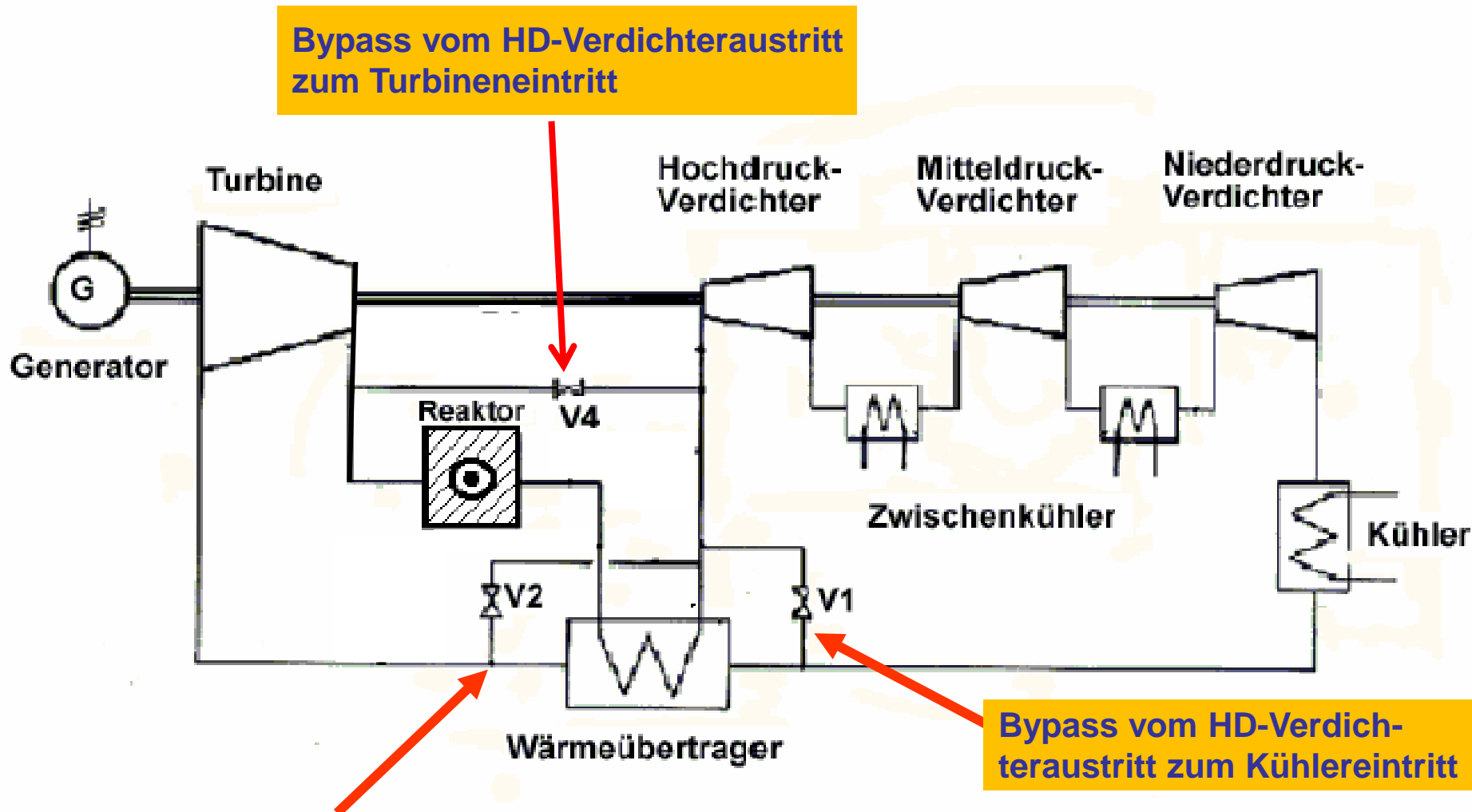
- Druckabhängigkeit des Mengenstromes
- Die innere Leistung der Turbine und der Verdichter abhängig vom Druck
- Heliummenge im Kreislauf ist Regelgröße
- Regelung erfolgt mit dem Hilfskreislauf für den Anfahrvorgang
- Keine Mehrkosten
- Regelvorgang sehr langsam

Anforderungen an die Regelung

- Hohe Zuverlässigkeit
- Kleine Baugrößen
- Kleine Umblasemengen
- Große Leistungsänderung

Ausgewählte Regelungen

- **Druckregelung**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Kühlereintritt**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Turbineneintritt**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Eintritt der ND-Seite des Wärmeübertragers**



Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Turbineneintritt

Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Eintritt der ND-Seite des Wärmeübertragers

Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Kühlereintritt

Bild 1: Schaltplan

Regelventile

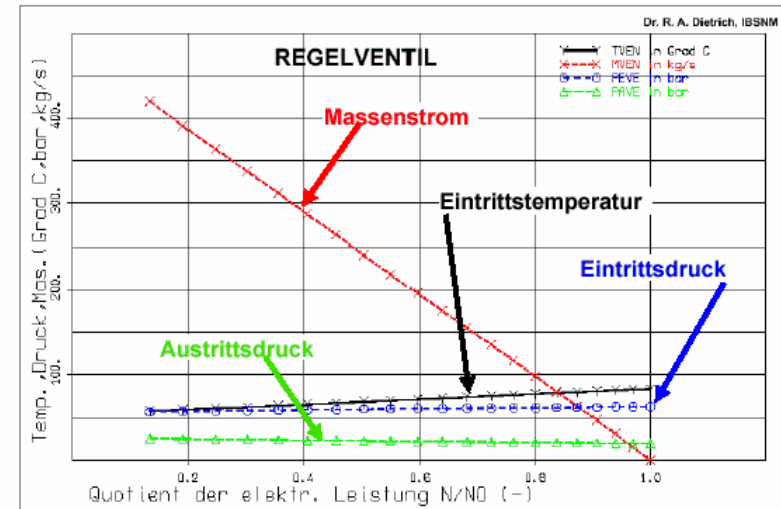


Bild 3: Stationäres Teillastverhalten des Regelventils
 Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühleintritt

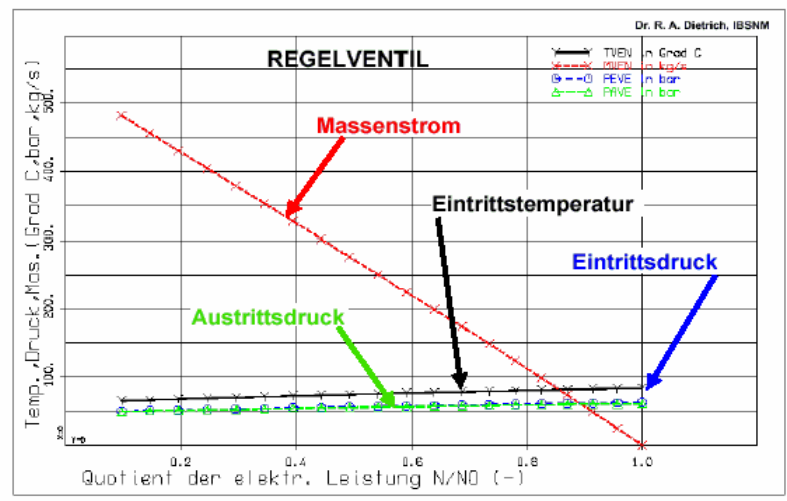


Bild 54: Stationäres Teillastverhalten des Regelventils
 Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

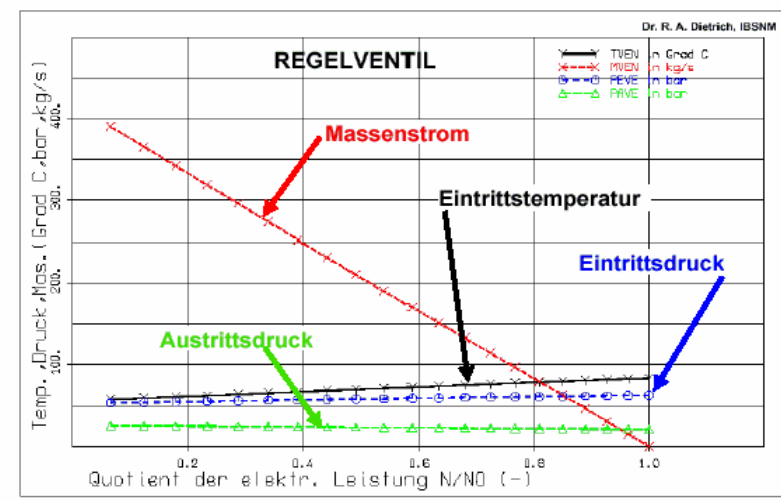


Bild 20: Stationäres Teillastverhalten des Regelventils
 Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

Hochdruck(HD)- Verdichter

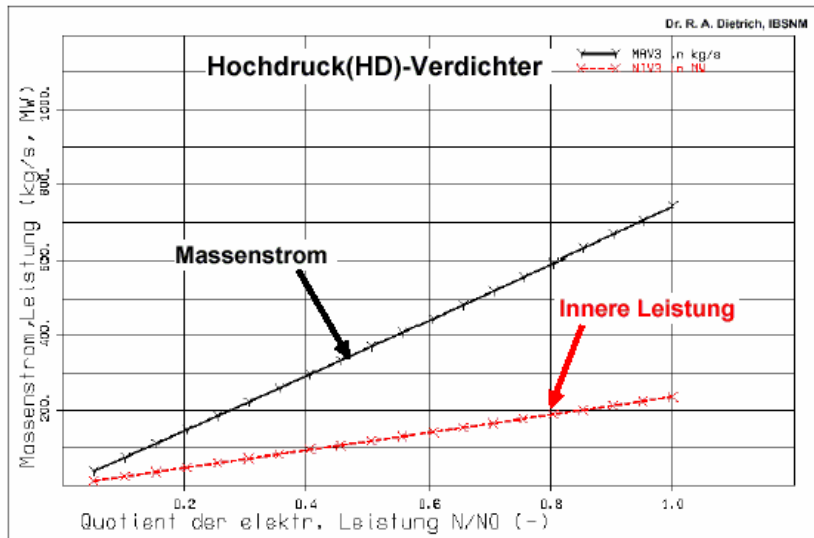


Bild 76: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Druckregelung

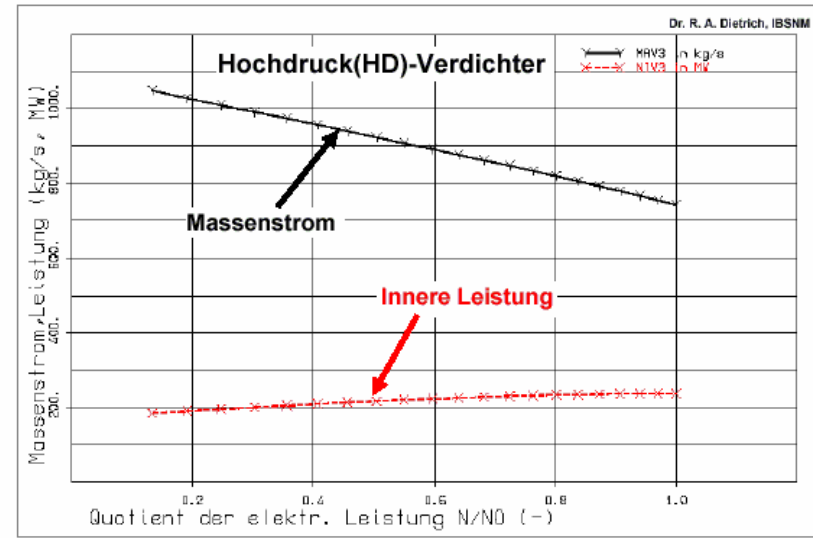


Bild 9: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

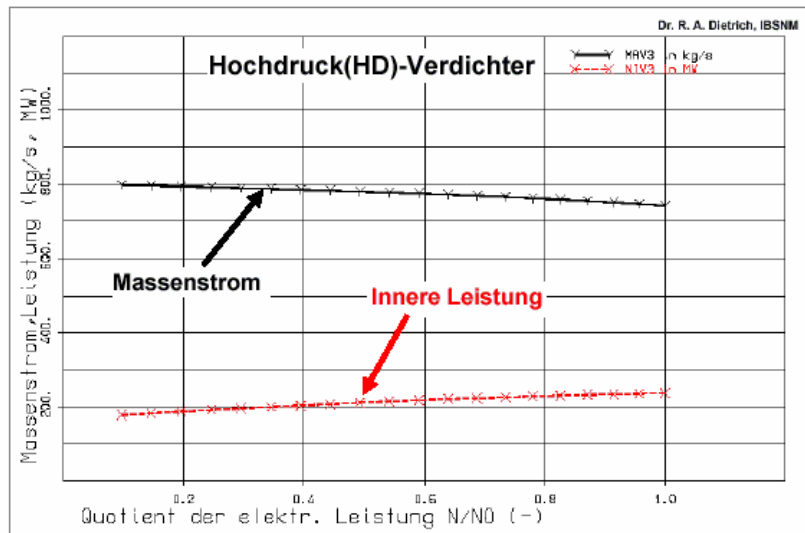


Bild 60: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

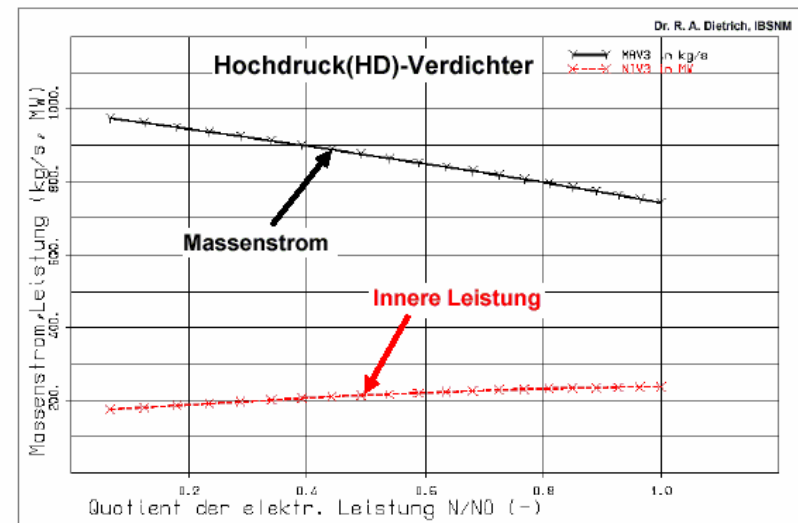


Bild 26: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

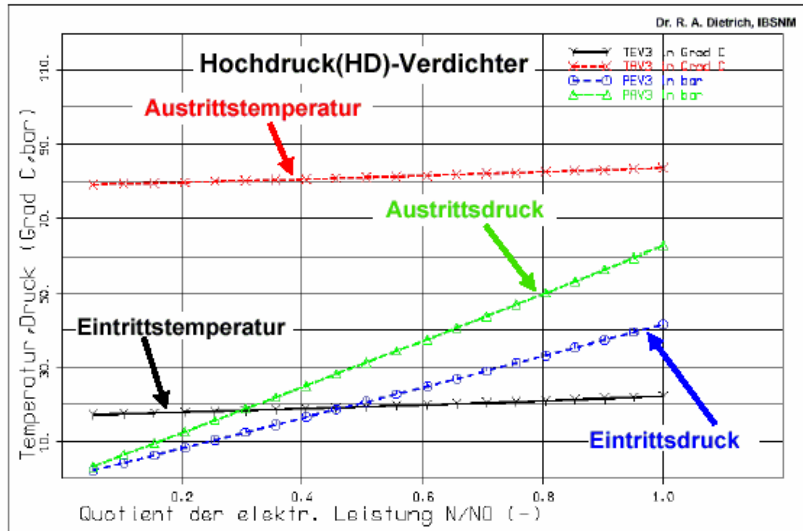


Bild 75: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Druckregelung

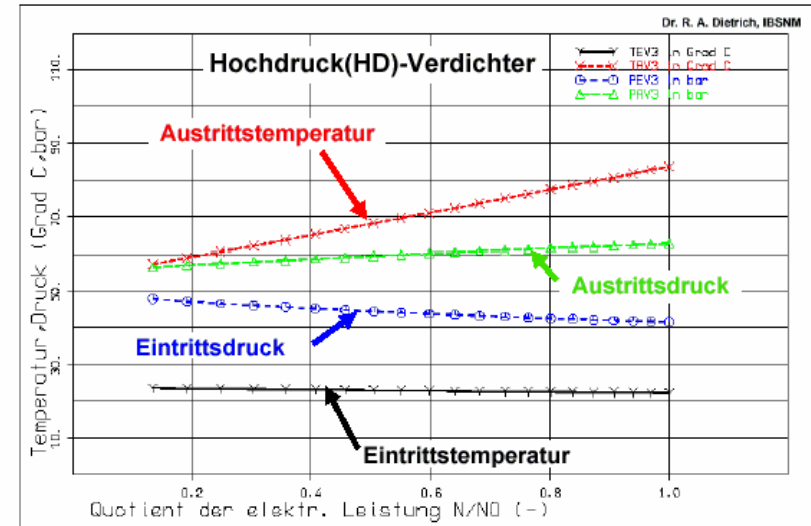


Bild 8: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

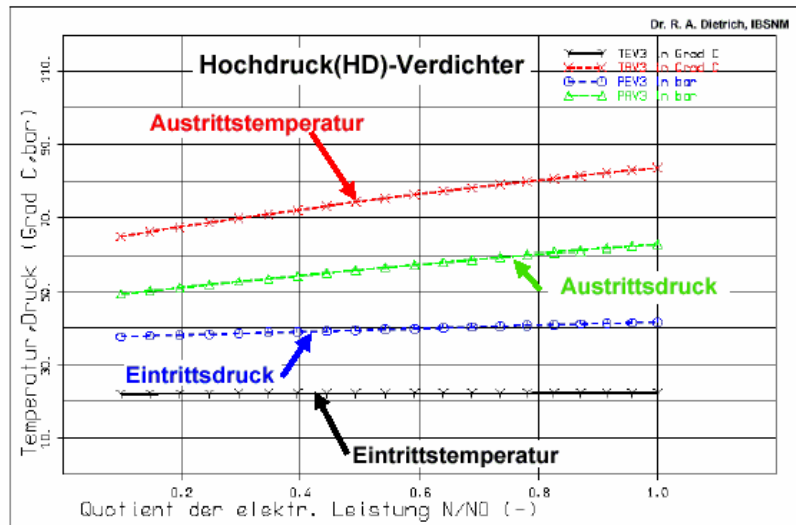


Bild 59: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

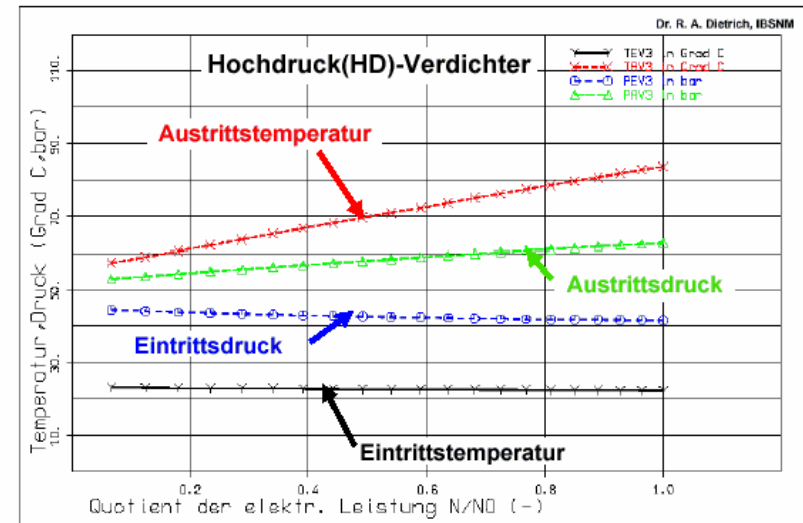


Bild 25: Stationäres Teillastverhalten des Hochdruck(HD)-Verdichters Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertrager-eintritt

Wärmeübertrager

HD-Seite

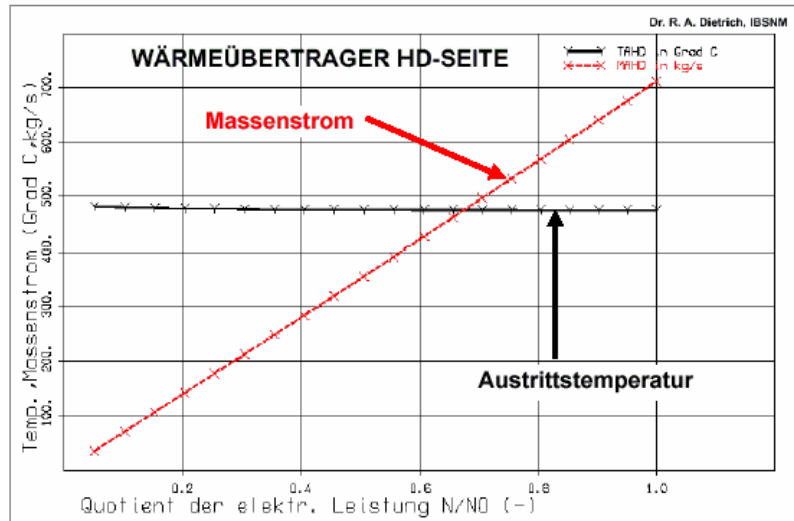


Bild 79: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers Druckpegelregelung

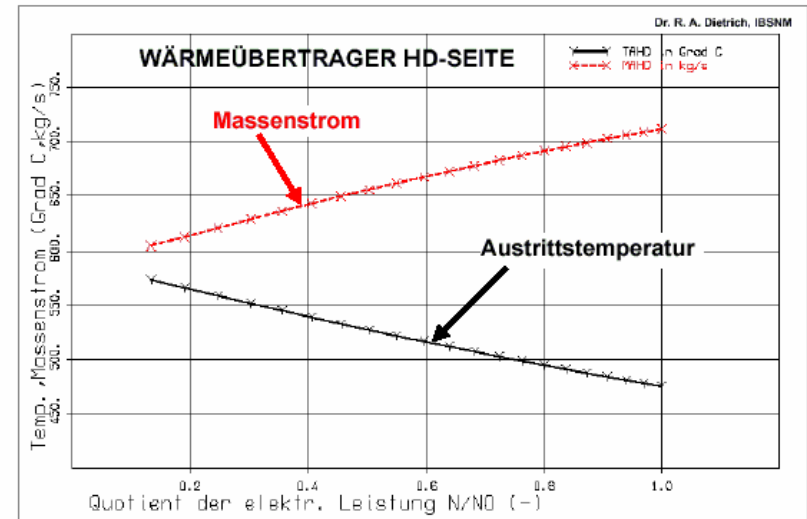


Bild 12: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

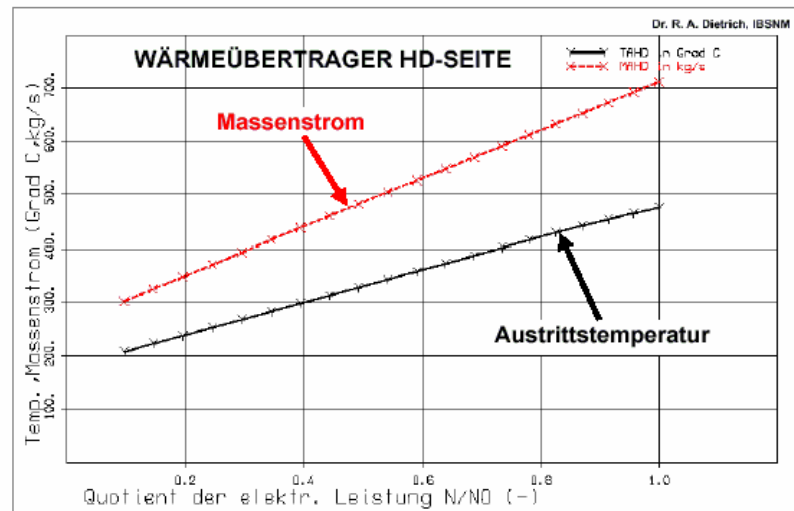


Bild 63: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

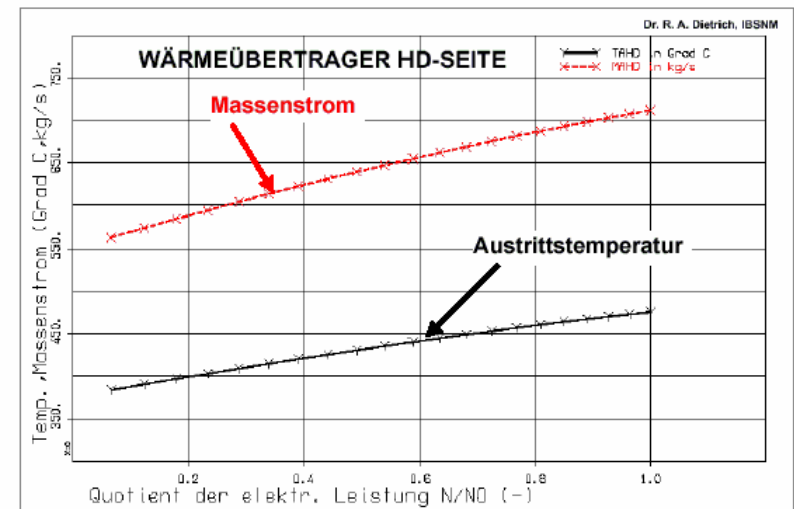


Bild 29: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

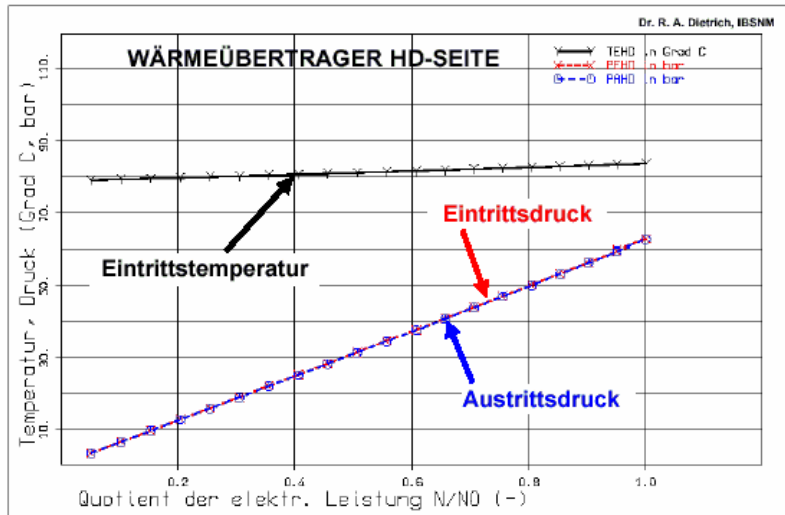


Bild 78: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers
Druckregelung

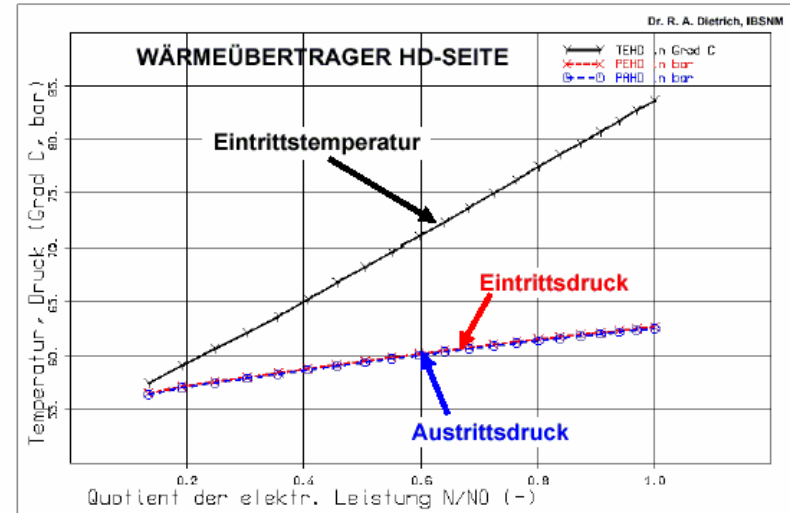


Bild 11: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

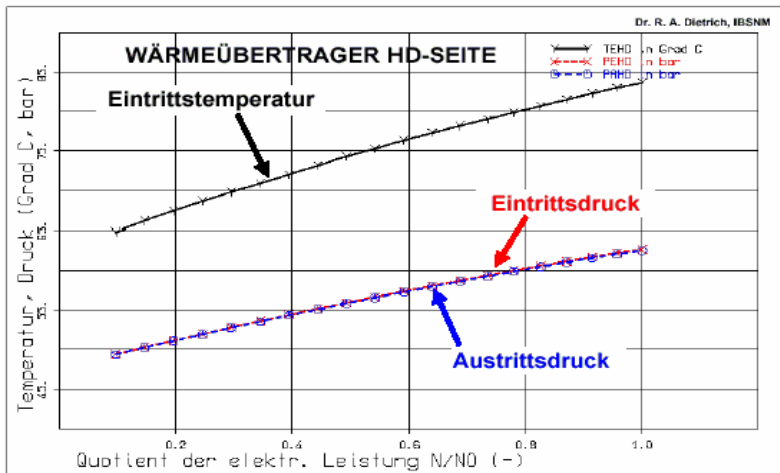


Bild 62: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

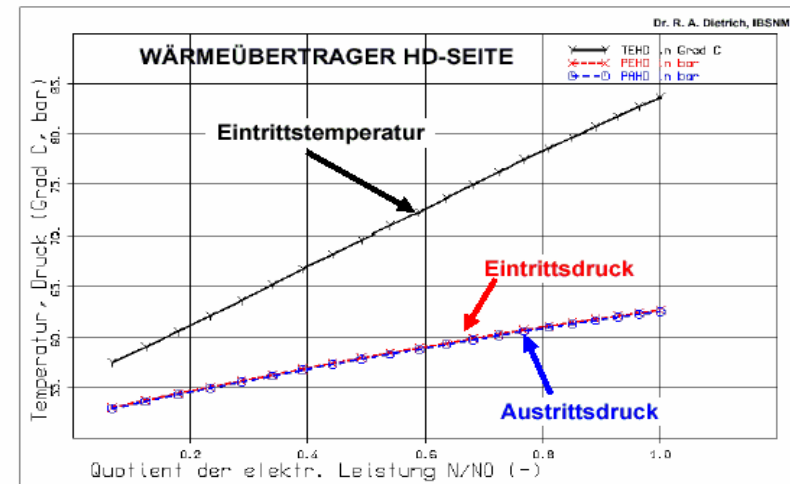


Bild 28: Stationäres Teillastverhalten der HD-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

Wärmeübertrager- Gütegrad

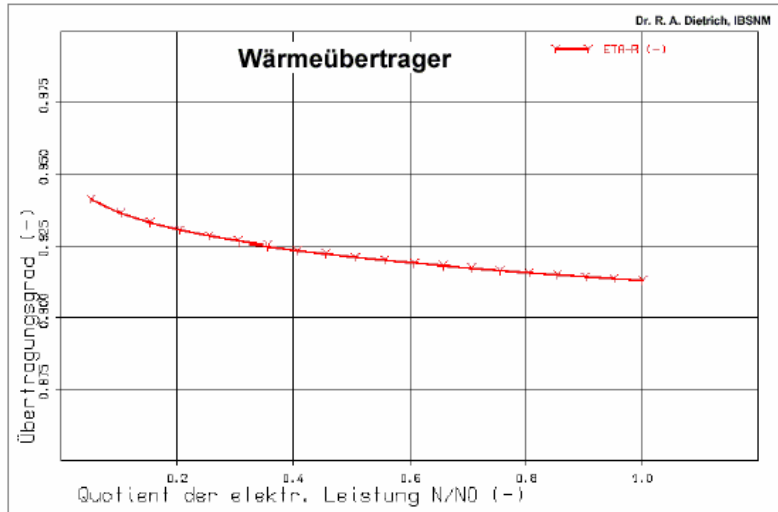


Bild 77: Übertragungsgrad des Wärmeübertragers bei stationärem Teillastverhalten
Druckregelung

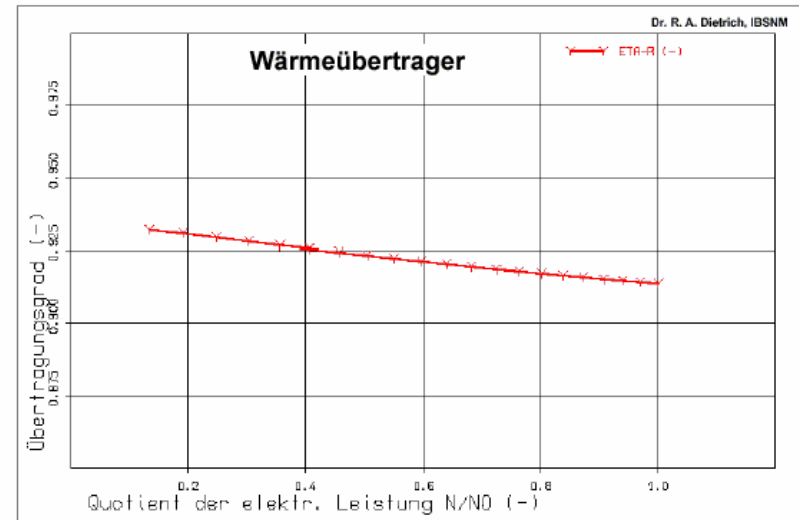


Bild 10: Übertragungsgrad des Wärmeübertragers bei stationärem Teillastverhalten
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

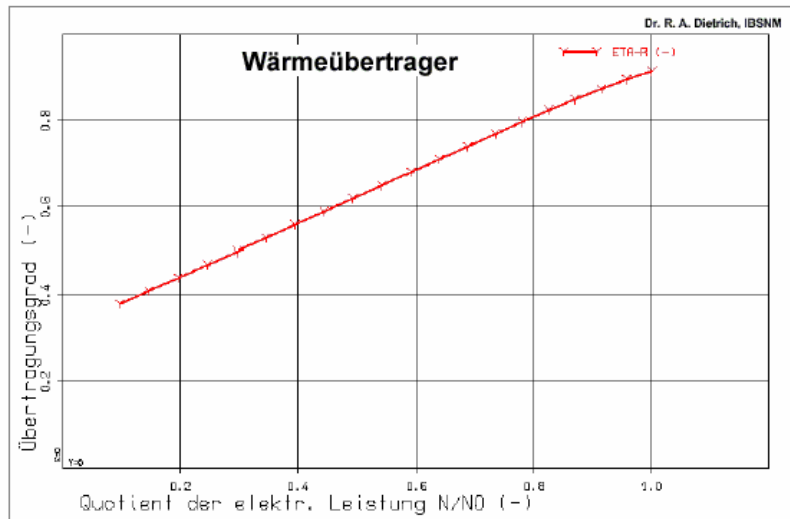


Bild 61: Übertragungsgrad des Wärmeübertragers bei stationärem Teillastverhalten
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

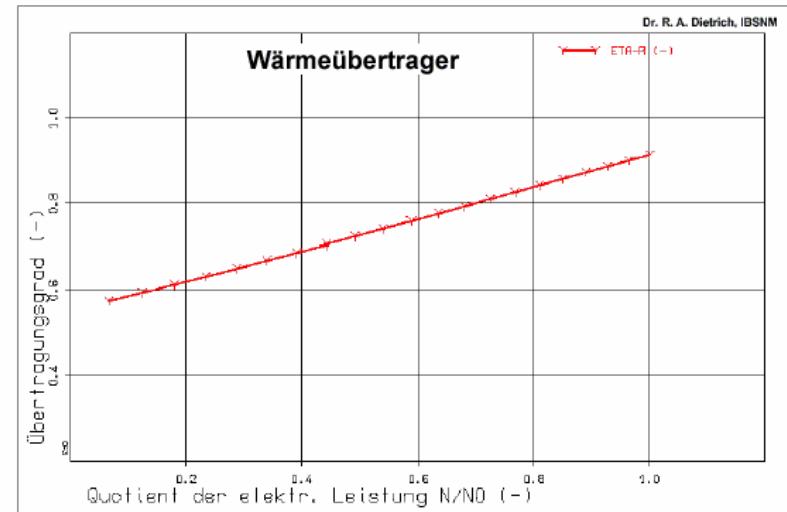
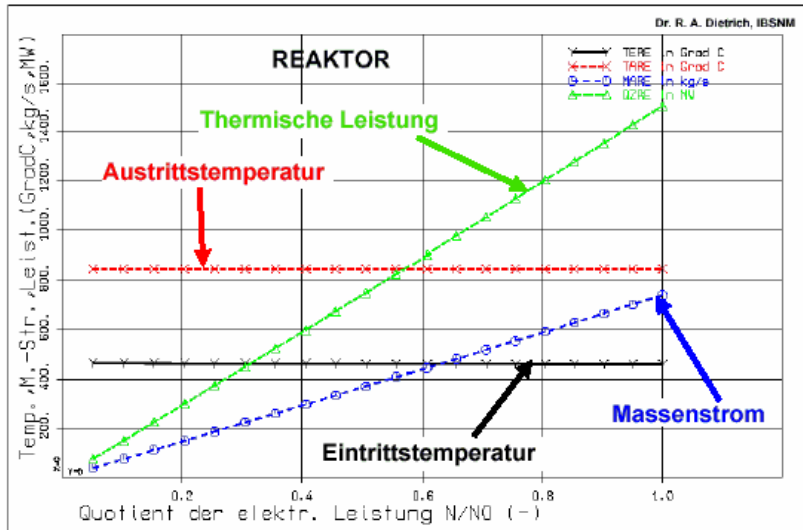
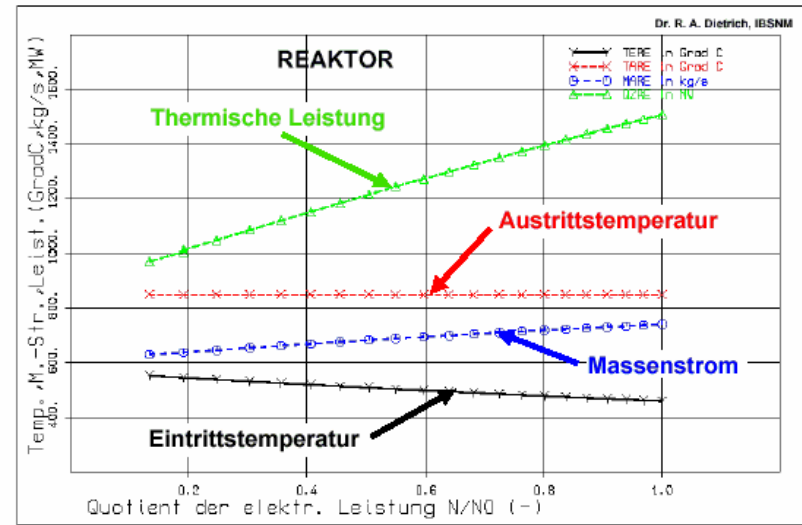


Bild 27: Übertragungsgrad des Wärmeübertragers bei stationärem Teillastverhalten
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

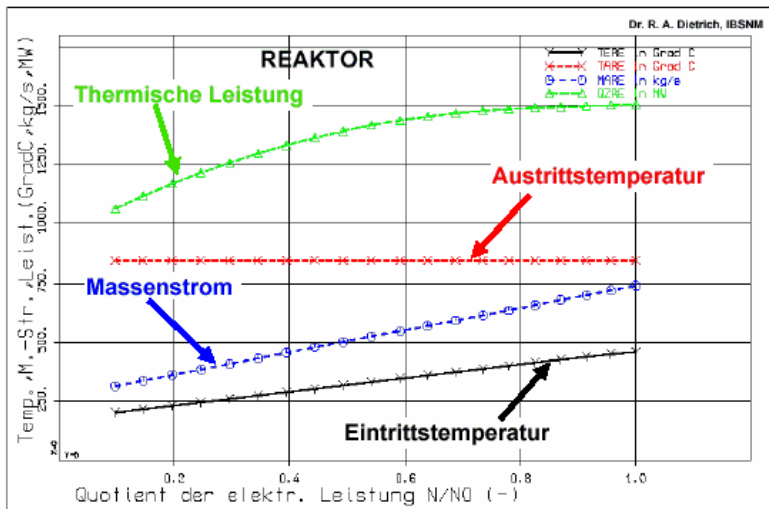
Reaktor



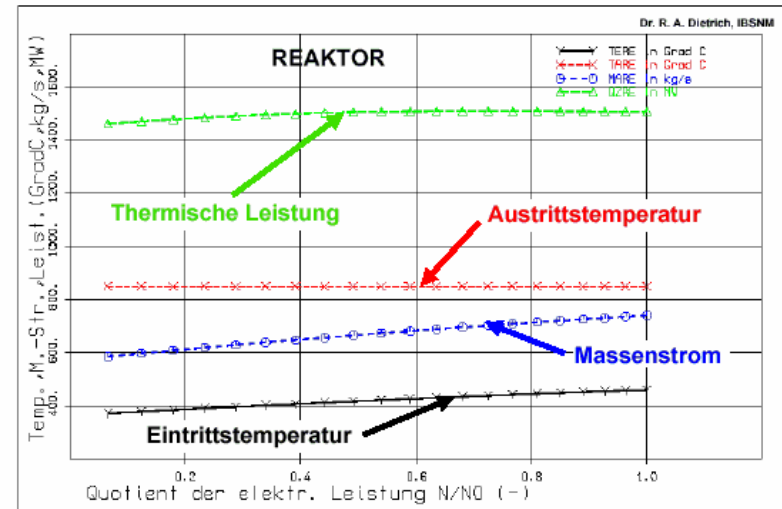
**Bild 83: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Druckpegelregelung**



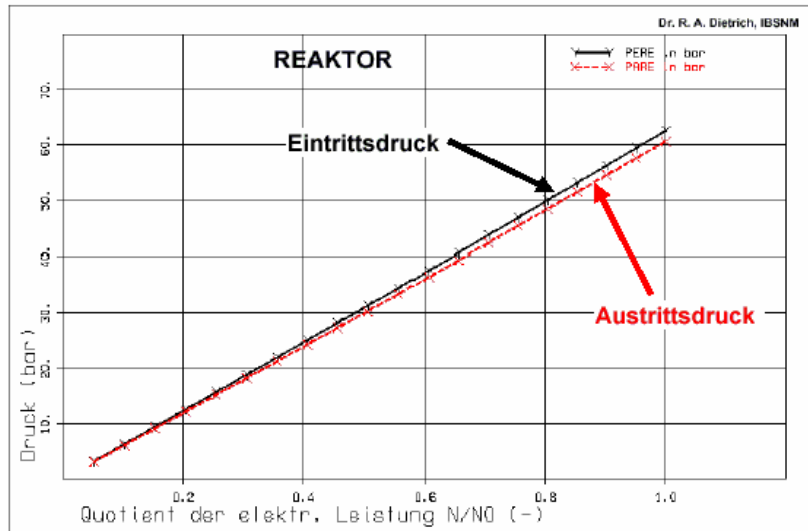
**Bild 16: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt**



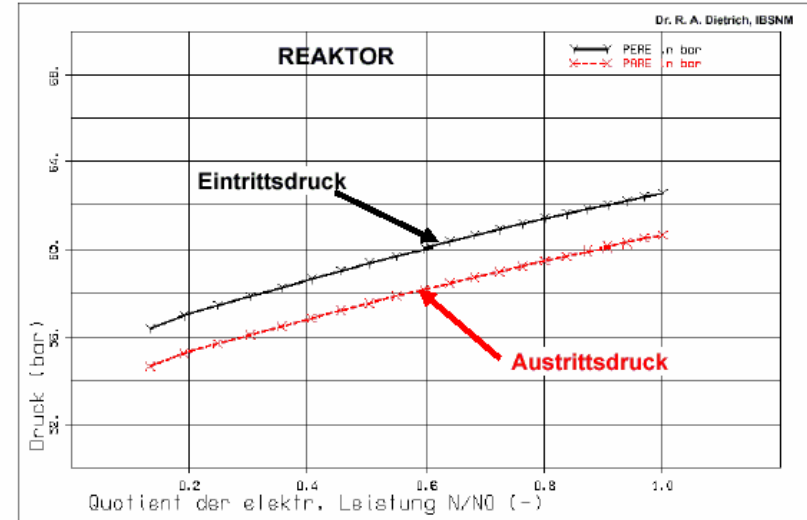
**Bild 67: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt**



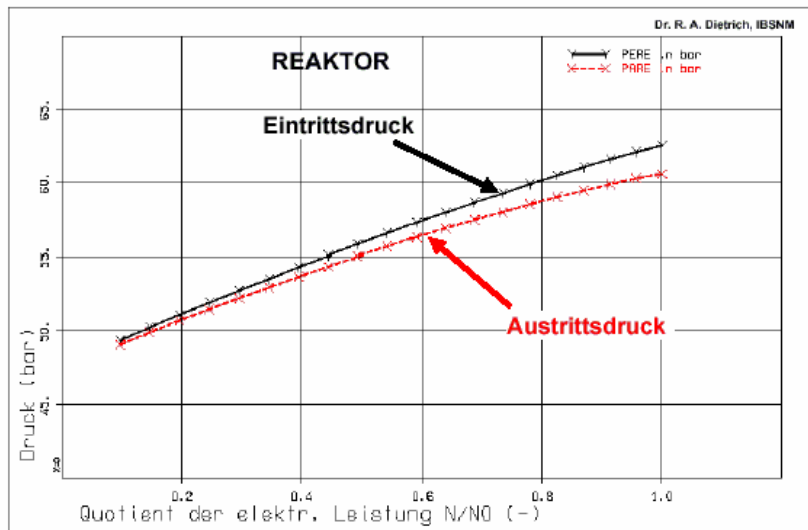
**Bild 33: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt**



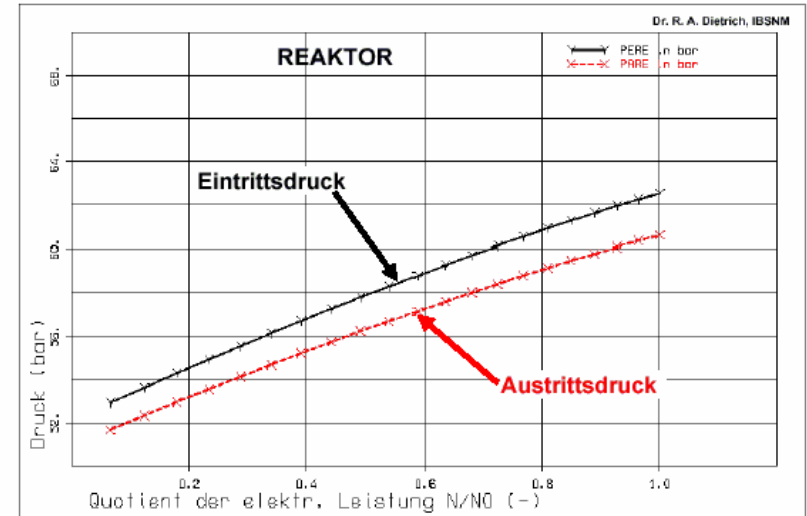
**Bild 82: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Druckregelung**



**Bild 15: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühleintritt**

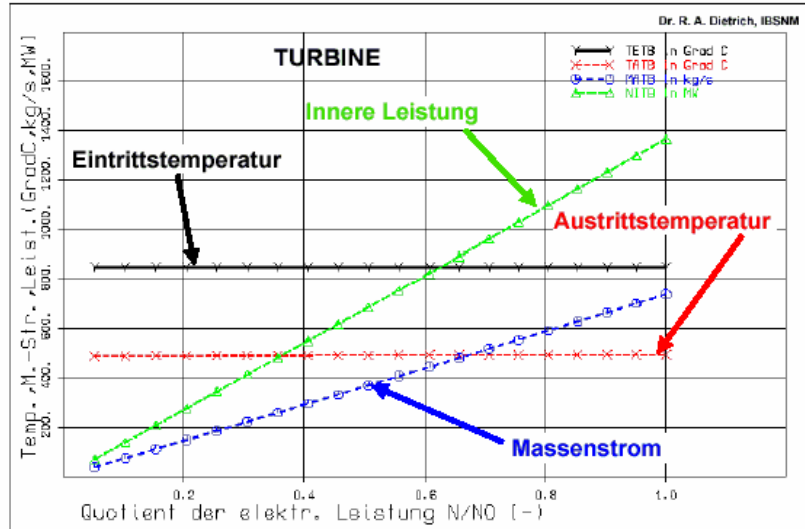


**Bild 66: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt**

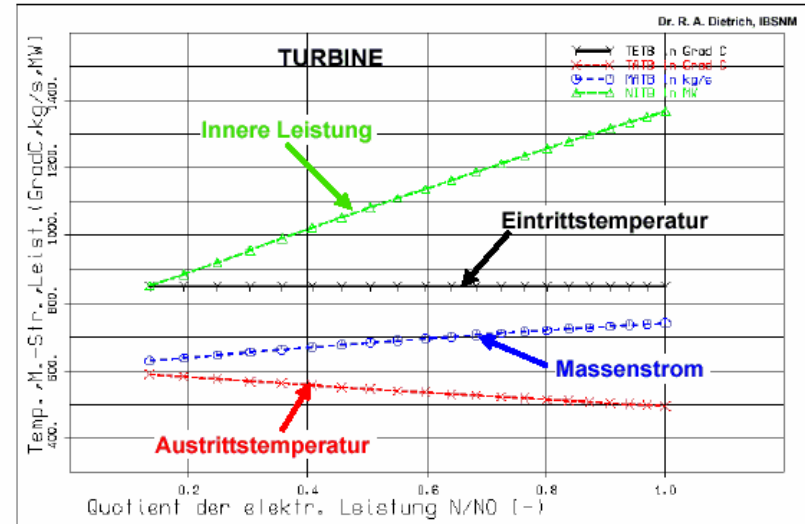


**Bild 32: Stationäres Teillastverhalten des Reaktors
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt**

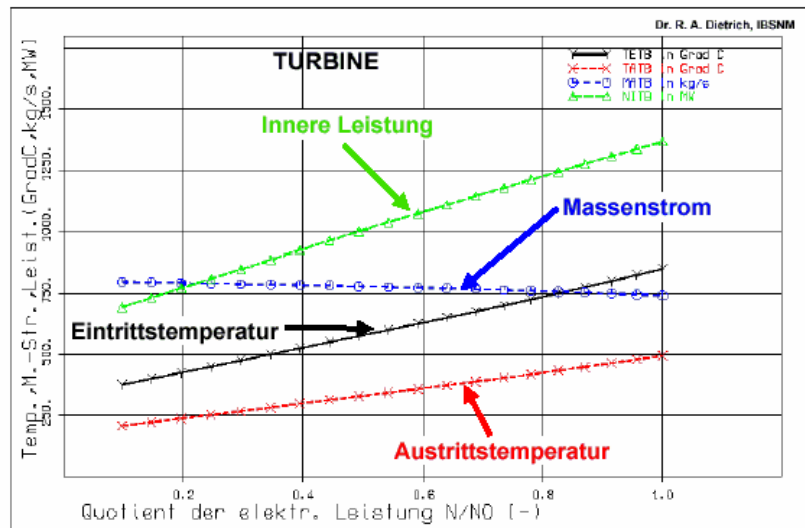
Turbine



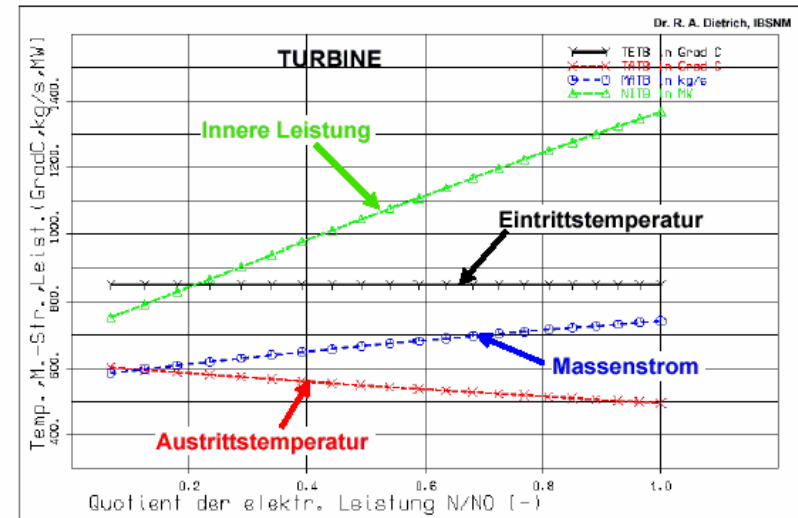
**Bild 85: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Druckregelung**



**Bild 18: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt**



**Bild 69: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt**



**Bild 35: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt**

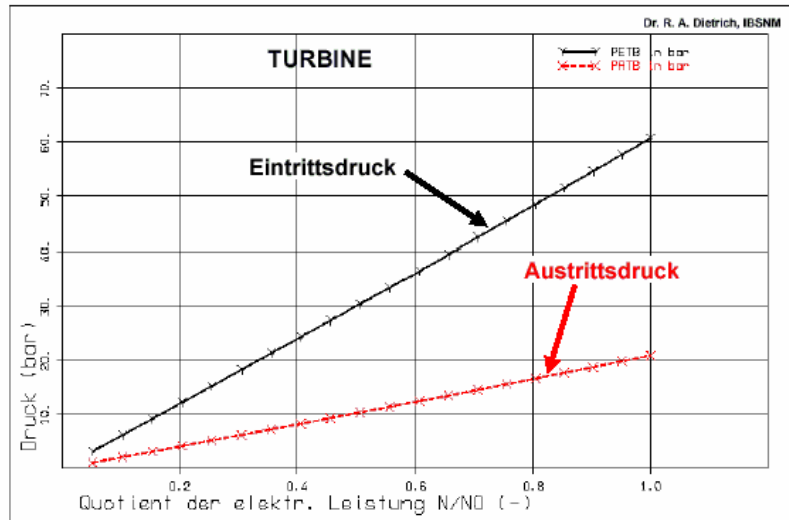


Bild 84: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Druckregelung

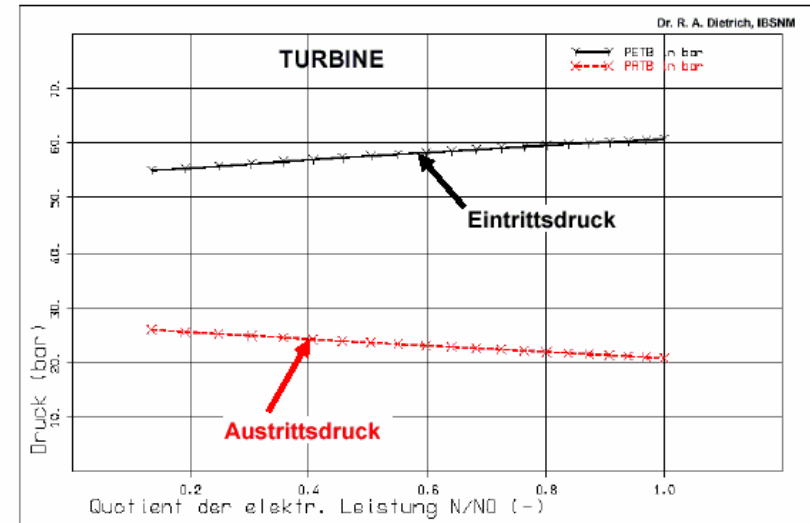


Bild 17: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

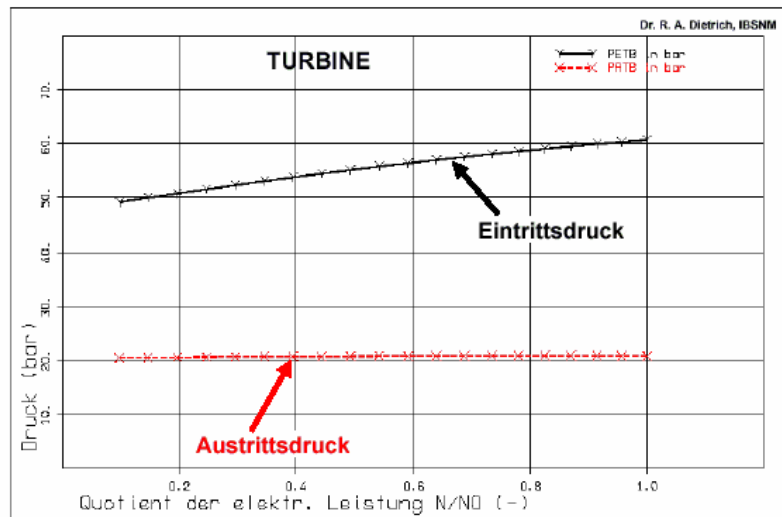


Bild 68: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

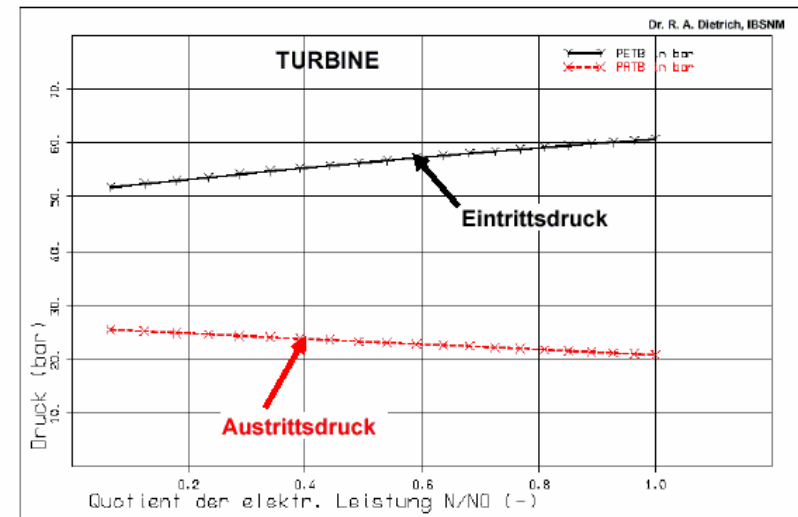


Bild 34: Stationäres Teillastverhalten der Turbine
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

Wärmeübertrager

ND-Seite

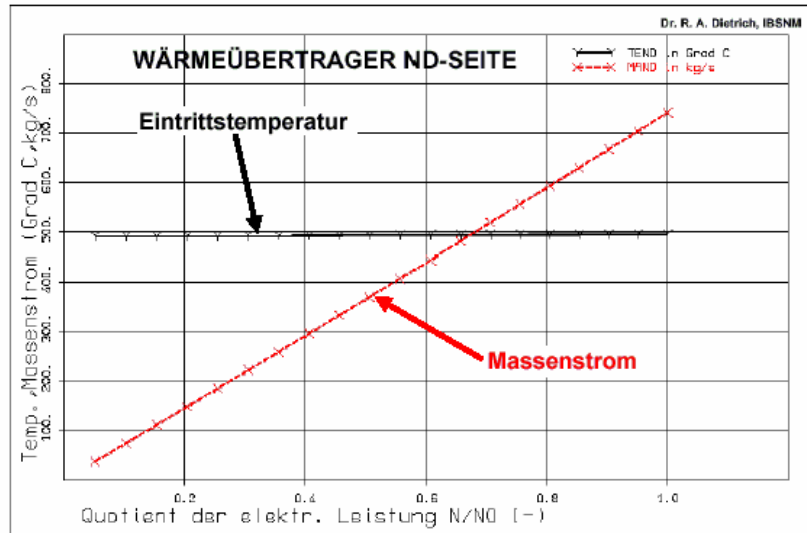


Bild 81: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers Druckregelung

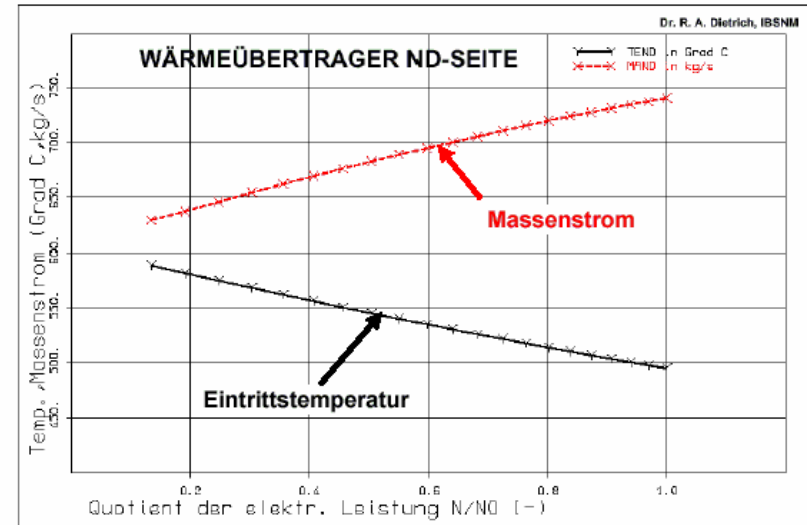


Bild 14: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühleintritt

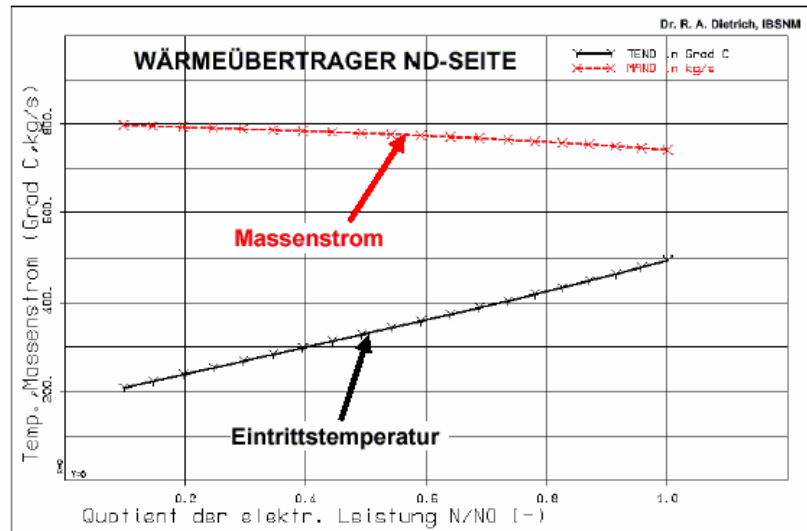


Bild 65: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

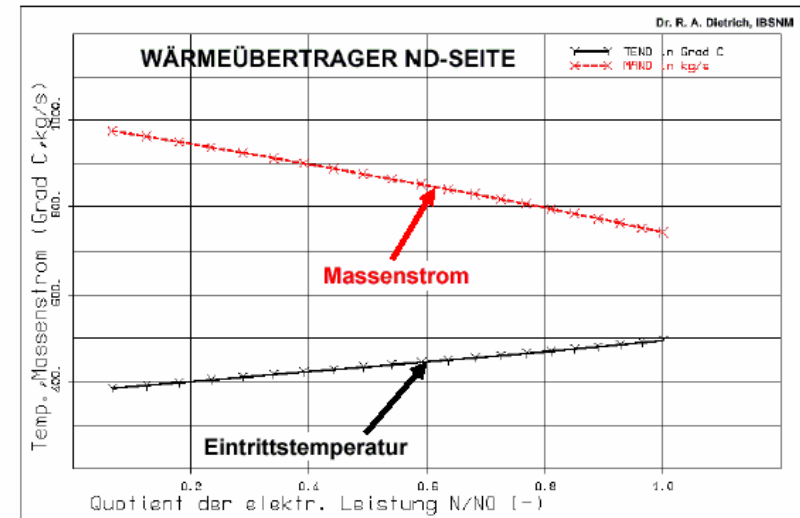


Bild 31: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

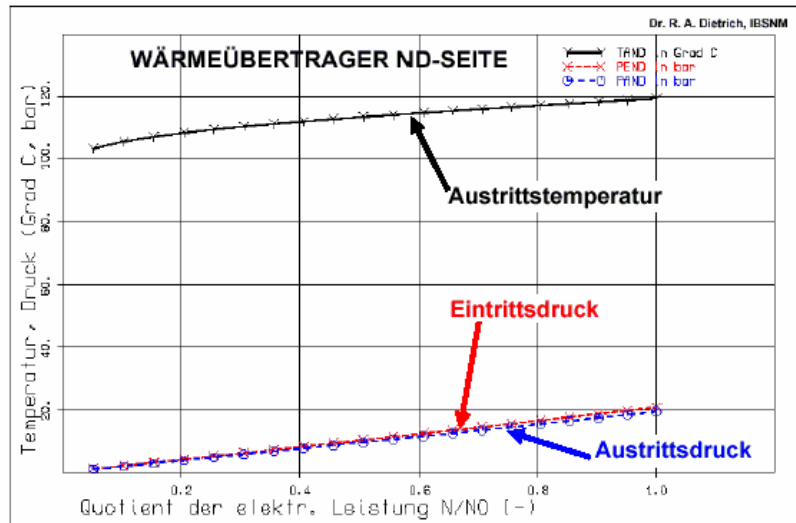


Bild 80: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers
Druckregelung

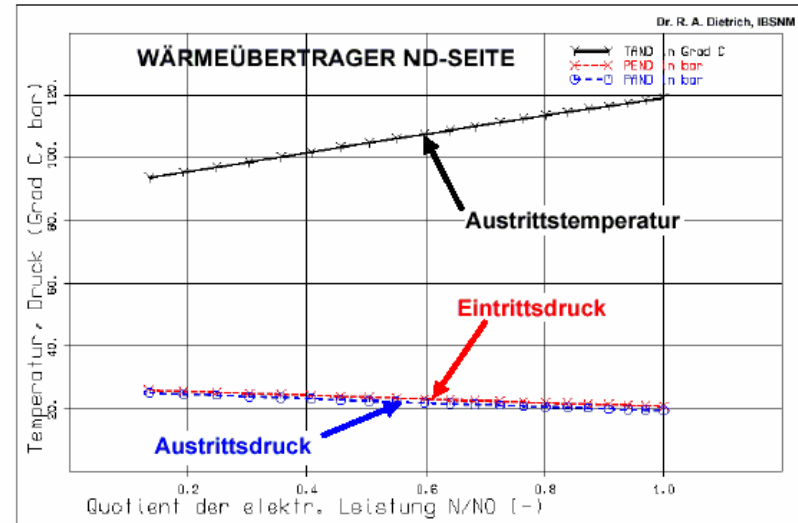


Bild 13: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Kühlereintritt

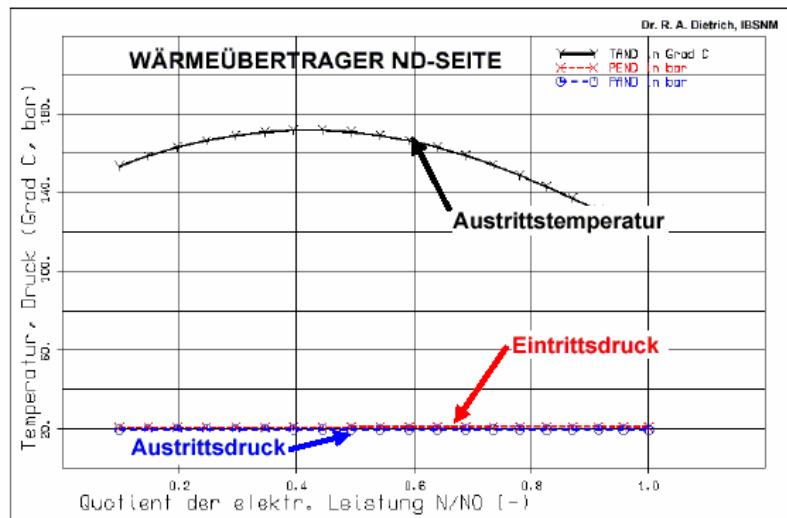


Bild 64: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → Turbineneintritt

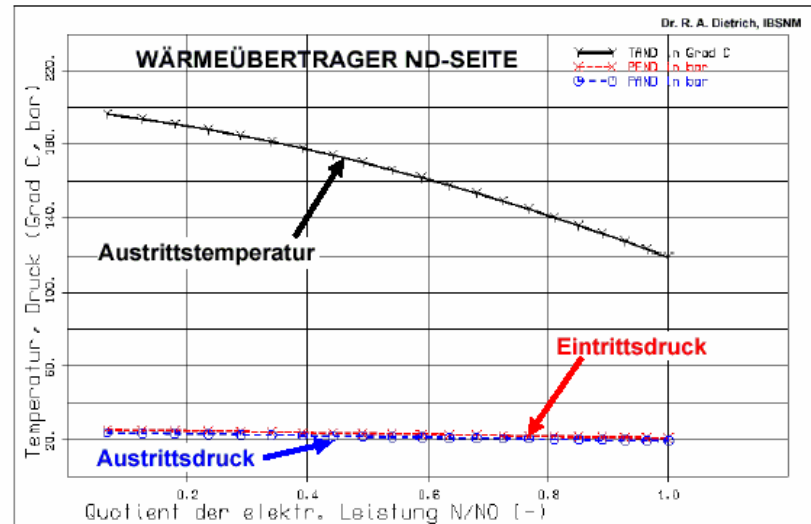


Bild 30: Stationäres Teillastverhalten der ND-Seite des Wärmeübertragers
Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt → ND-Seite Wärmeübertragereintritt

Thermische Leistung

Thermischer Wirkungsgrad

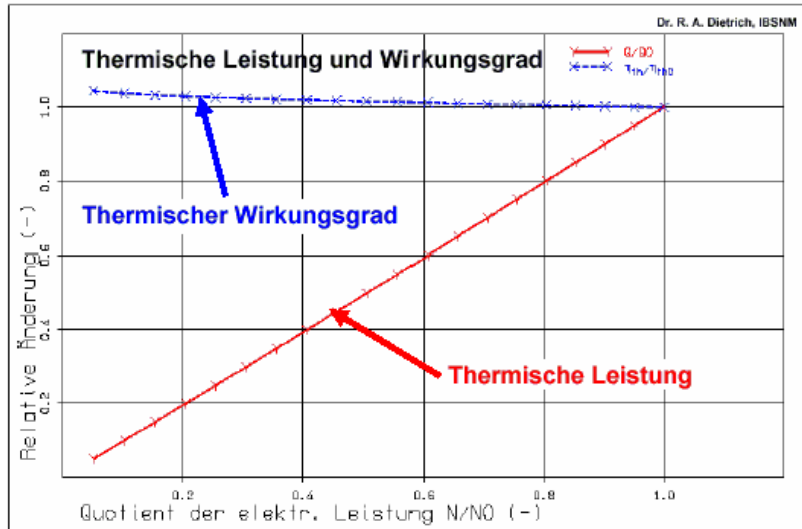


Bild 70: Änderung des thermischen Wirkungsgrades η_{th}/η_{th0} und der thermischen Leistung Q/Q_0 beim stationären Teillastverhalten Druckregelung

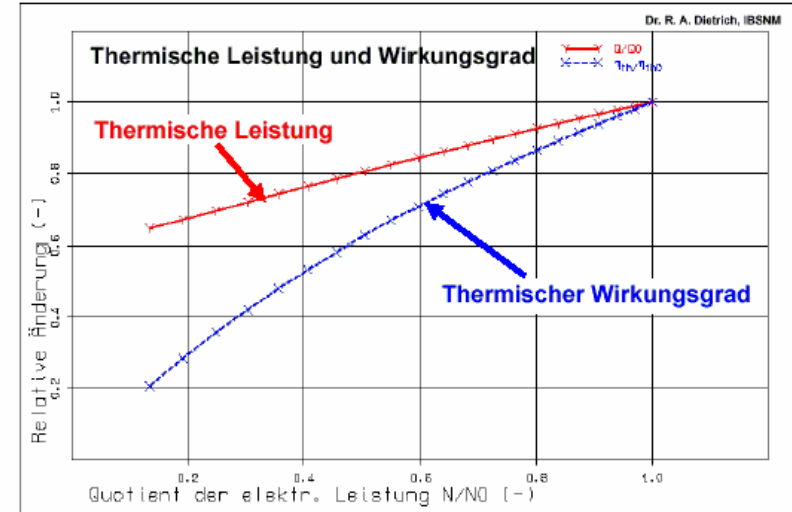


Bild 2: Änderung des thermischen Wirkungsgrades η_{th}/η_{th0} und der thermischen Leistung Q/Q_0 beim stationären Teillastverhalten Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt \longrightarrow Kühlereintritt

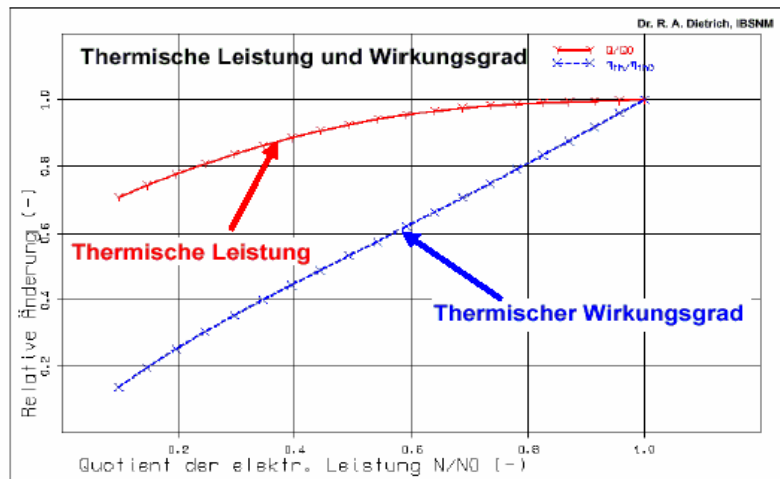


Bild 53: Änderung des thermischen Wirkungsgrades η_{th}/η_{th0} und der thermischen Leistung Q/Q_0 beim stationären Teillastverhalten Bypassregelung: HD-Verdichteraustritt \longrightarrow Turbineneintritt

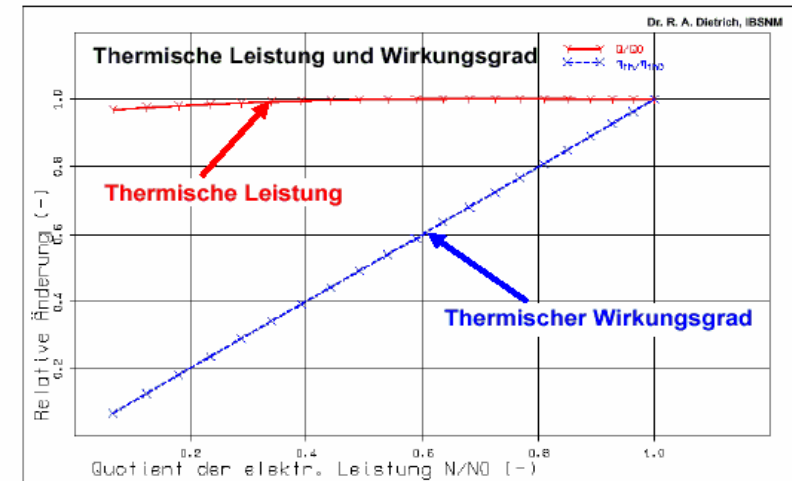


Bild 19: Änderung des thermischen Wirkungsgrades η_{th}/η_{th0} und der thermischen Leistung Q/Q_0 beim stationären Teillastverhalten passregelung: HD-Verdichteraustritt \longrightarrow ND-Seite Wärmeübertragereintritt

Bewertungen

Bewertung nach therm. Wirkungsgrad

- **Druckregelung**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Kühlereintritt.**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Turbineneintritt**
- **Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Eintritt der ND-Seite des Wärmeübertragers**

Druckpegelregelung

Diese Regelung ist wegen des nahezu konstanten thermischen Wirkungsgrades thermodynamisch zwar die beste Regelung, ist aber in der Praxis nur in Kombination mit anderen Bypassregelungen geeignet.

Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Kühlereintritt

**Diese Regelung ist als die günstigste
anzusehen.**

Bypass vom HD-Verdichteraus- tritt zum Turbineneintritt

Diese Regelung stellt bei Gasturbinen die übliche Regelung dar. Beim Öffnen des Bypasses verringert sich der Druckverlust im Kreislauf und damit ändert sich die thermische Leistung in einem kleinen Regelbereich nur geringfügig.

Bypass vom HD-Verdichteraustritt zum Eintritt der ND-Seite des Wärmeübertragers

Bei dieser Regelung ist der thermische Wirkungsgrad am geringsten, weil die Bypassmenge mit niedriger Temperatur an einer Stelle mit relativ hoher Temperatur zugeführt wird, wodurch die Temperatur auf der ND-Seite des Wärmeübertragers und somit der Übertragungsgrad des Wärmeübertragers gesenkt werden.

Schlussbemerkungen

**Vielen Dank
für Ihr Interesse
und für Ihre Aufmerksamkeit.**