



Fakultät II – Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Department für Informatik

**Präferenzorientierte Stärken- und
Schwächenidentifizierung zur Effizienzsteigerung
von Rechenzentren**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dipl.-Inf. Volkan Gizli

Gutachter:

Prof. Dr. Jorge Marx Gómez

Prof. Dr. Helmut Faasch

Tag der Disputation: 23. September 2020

Danksagung

Neben der intensiven und täglichen Beschäftigung mit dieser Arbeit trug der Impuls zur Motivation sowie die Kritik des Doktorvaters Prof. Dr. Jorge Marx Gómez zur Vollendung dieser Dissertation bei. Sein Zutrauen in die Umsetzung dieses Vorhabens hatte einen großen Einfluss auf die damit verbundenen Herausforderungen. Dafür gilt ein besonderer Dank und damit auch seiner Abteilung *VLBA (Very Large Business Applications)*.

Neben der Unterstützung des Erstgutachters trug auch das Feedback vom Zweitgutachter Prof. Dr. Helmut Faasch für den Kern des Ansatzes dieser Arbeit bei. Zudem ergab sich diese Zweitbetreuung über ein motivierendes Gespräch im Rahmen einer Dienstreise der VLBA in Südafrika, bei dem die ersten Zweifel des Themas widerlegt wurden. Ein besonderer Dank gilt ebenfalls dafür.

Aufgrund der intensiven Zeit, die insbesondere in den letzten Monaten dieser Arbeit eine erhebliche private Einschränkung erforderte, ist auch ein großer Dank an die geduldigen sowie verständnisvollen Freunde, an die Familie und besonders an den Vater Dipl.-Ing. Seyfettin Gizli gerichtet, der dieses über den gesamten akademischen Lebensweg mit viel Unterstützung und Motivation in all seinen Facetten förderte.

Volkan Gizli

Oldenburg, im September 2020

Zusammenfassung

Studien belegen, dass ca. 50.000 Rechenzentren in Deutschland über 12 TWh beanspruchen. Das macht ungefähr 2 % des Gesamtstrombedarfs im Land aus. Prognosen für das Jahr 2020 belaufen sich sogar auf 14 TWh. Durch das anerkannte Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ werden Versuche unternommen, die Energieeffizienz in den deutschen Rechenzentren zu optimieren und zertifizieren. Untersuchungen zufolge sind weniger als zehn Rechenzentren mit diesem Umweltzeichen zertifiziert. Der Hintergrund ist dabei, dass die Präferenz nicht immer auf der Energieeffizienz liegt, sondern auch auf anderen Belangen, die unabhängig davon eine Effizienz mit sich bringen.

Zu diesem Thema beschäftigt sich diese Dissertation, um auf Basis dieser Belange eine gezielte Steigerung der Effizienz zu erreichen. Dazu wird der Ansatz ProDC (Preference-oriented Data Centers) vorgestellt, mit dessen präferenzorientierten Vorgehen eine individuelle Optimierung der Effizienz in Rechenzentren möglich ist. Mit einer Bewertungsmethode wird anhand von Handlungsempfehlungen zur Effizienzsteigerung des Rechenzentrums unterstützt.

Dieser Ansatz wird im Rahmen eines Frameworks definiert und prototypisch entwickelt sowie evaluiert. Die Ergebnisse werden kritisch betrachtet und zum Schluss neue Forschungsfragen für wissenschaftliche Arbeiten gebildet.

Abstract

Studies show that approximately 50,000 data centers in Germany consume over 12 TWh. This accounts for approximately 2% of the total electricity demand in the country. Forecasts for the year 2020 even amount to 14 TWh. Attempts are being made to optimize and certify energy efficiency in German data centers through the recognized „Der Blaue Engel“ environmental label. Studies show that less than ten data centers are certified with this specific eco-label. The reason is that preference is not always given to energy efficiency, but also to other issues that independently raise efficiency.

This dissertation deals with this topic in order to achieve a targeted increase in efficiency based on these concerns. For this purpose the approach ProDC (Preference-oriented Data Centers) is presented, with whose preference-oriented approach an individual optimization of efficiency in data centers is possible. An evaluation method is used to provide support on the basis of recommendations for action to increase the efficiency of the data center.

This approach is defined within a framework and prototypically developed and evaluated. The results will be critically reviewed and finally new research questions for scientific work will be created.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Listings	XI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Stand der Forschung und Identifizierung der Forschungslücke	6
1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen	9
1.4 Wissenschaftliche Einordnung	10
1.5 Struktur der Arbeit	14
2 Grundlagen	17
2.1 Rechenzentren	17
2.1.1 Definition von Rechenzentren	17
2.1.2 Bedeutung von Rechenzentren	18
2.1.3 Aufgaben von Rechenzentren	18
2.1.4 Rechenzentrumstypologie	19
2.2 Kennzahlen und Kennzahlensysteme	20
2.2.1 Kennzahlen	20
2.2.2 Kennzahlensysteme	21
2.3 Effizienzsteigerung in Rechenzentren	22
2.3.1 Effizienz	23
2.3.2 Pareto-Effizienz	23
2.3.3 Energieeffizienz in Rechenzentren	25

2.3.4	Betriebssicherheit als Effizienz	34
2.3.5	Relevante Kennzahlen der Betriebssicherheitseffizienz	38
2.3.6	Rechenleistung als Effizienz	41
2.3.7	Relevante Kennzahlen der Rechenleistungseffizienz . .	41
2.3.8	Interdependenz verschiedener Effizienzkriterien	43
2.3.9	Relevante Kennzahlen für Rechenzentren	44
3	Präferenzorientierte Rechenzentren	45
3.1	Istzustand der Effizienzsteigerung in Rechenzentren	45
3.2	Erstes Teilziel – Istzustand	46
3.3	Sollzustand	49
3.3.1	Analyse des Nutzungskontextes	52
3.3.2	Definition der Anforderungen	52
3.3.3	Anwendungsfallbeschreibung	58
4	ProDC Konzeption	63
4.1	Bewertungsmethodik	63
4.1.1	Mittelwertbildung	64
4.1.2	Mittelwertbildung mit Standardabweichung	64
4.1.3	Perzentilbestimmung	65
4.1.4	Ranking der einzelnen Rechenzentren	77
4.2	Effizienzausprägungen	77
4.3	Handlungsempfehlungen	78
4.3.1	Handlungsempfehlungen aus dem Code of Conduct .	80
4.3.2	Handlungsempfehlungen aus der DIN EN 50600	80
4.4	Zusammenfassender Rückblick auf die Konzeption	81
5	ProDC Überprüfung	83
5.1	Prototypisierung in Oracle APEX	83
5.1.1	Architektur	84
5.1.2	ProDC Datenmodell	86
5.1.3	Implementierung der Funktionen	89

5.1.4	Beschreibung des Prototyps	93
5.1.5	Zusammenfassung der Anforderungserfüllung	95
5.2	Installation von ProDC	97
5.2.1	Einrichtung der Umgebung	98
5.2.2	Einrichtung von ProDC	98
5.3	Evaluation von ProDC	99
5.3.1	Selektion der Experten	100
5.3.2	Vorbereitung der Evaluation	102
5.3.3	Ablauf der Evaluation	104
5.3.4	Ergebnisse der Evaluation	105
5.4	Kritische Betrachtung der Evaluation	117
5.5	Einarbeitungen der Evaluationsergebnisse	119
5.5.1	Zusätzliche Evaluation eingearbeiteter Ergebnisse	121
5.6	Zweites Teilziel – Sollzustand	122
6	Fazit, Ausblick und Reflexion	123
6.1	Fazit	123
6.1.1	Zusammenfassung und kritische Betrachtung	123
6.1.2	Wissenschaftlicher Beitrag und Mehrwert	125
6.1.3	Übertragbarkeit	125
6.2	Ausblick und weiterführende Forschung	126
6.3	Reflexion	127
	Literaturverzeichnis	129
	A Anhang: ProDC – Bildschirmausschnitte	139
	B Anhang: Protokoll – Experteninterview – DIN EN 50600	151
	C Anhang: Handlungsempfehlungen – Code of Conduct	159
	D Anhang: Handlungsempfehlungen – DIN EN 50600	169