

Fakultät II - Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften

Oldenburger Schriften zur Wirtschaftsinformatik
Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez

Volkan Gizli

Präferenzorientierte Stärken- und Schwächenidentifizierung zur Effizienzsteigerung von Rechenzentren





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

Oldenburger Schriften zur Wirtschaftsinformatik

Band 28

Volkan Gizli

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

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7680-6

ISSN 1863-8627

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

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

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

Abkürzung/Akronym	Bedeutung
APEX	Application Express
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CEWE	Carl Wöltje
CPU	Central Processing Unit
CUE	Carbon Usage Effectiveness
DCIE	Data Center Infrastructure Efficiency
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ERE	Energy Reuse Effectiveness
ERF	Energy Reuse Factor
EUE	Energy Usage Effectiveness
FLOPS	Floating Point Operations per Second
ICT	Information and Communications Technologies
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IPC	Instructions per Cycle
IPS	Instructions per Second
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
IV	Inhärente Verfügbarkeit
JAZ	Jahresarbeitszahl
KDO	Kommunale Datenverarbeitung Oldenburg
KPI	Key Performance Indicator

MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
OOTB	Out-of-the-box
PL/SQL	Procedural Language/Structured Query Language
pPUE	Partial Power Usage Effectiveness
ProDC	Preference-oriented Data Centers
PUE	Power Usage Effectiveness
REF	Renewable Energy Factor
RZ	Rechenzentrum
SAP	Systeme, Anwendungen, Produkte
SPEC	Standard Performance Evaluation Corporation
SQL	Structured Query Language
TEMPRO	Total Energy Management for Professional Data Centers
TSI	Trusted Site Infrastructure
TÜV	Technischer Überwachungsverein
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
V	Verfügbarkeit
VLBA	Very Large Business Applications
WRE	Water Reuse Effectiveness
WUE	Water Usage Effectiveness

Abbildungsverzeichnis

1.1	Bekanntheit und Einfluss von Umweltzeichen in Deutschland	4
1.2	Themengebiete – Gesamt	7
1.3	Themengebiete – Effizienzerweiterung	8
1.4	Kernforschungsfrage	9
1.5	Teilforschungsfragen	9
1.6	ProDC – Zielsetzung	10
1.7	Struktur der Arbeit	15
2.1	Verfügbarkeit – Veranschaulichung	39
3.1	Fragebogen für die erste Teilforschungsfrage	47
3.2	Human-Centred Design Process – Ablauf	50
3.3	Fragebogen für die Anforderungen	54
3.4	Anforderungsschablone	56
4.1	JAZ Rechenzentren	71
4.2	ProDC – Perzentilbestimmung – Minimalbeispiel – Excel . . .	74
4.3	ProDC – Kennzahlen und Effizienzausprägungen	78
5.1	Oracle Application Express Development Tools Spectrum . . .	84
5.2	Oracle Application Express Architektur	85
5.3	APEX – ProDC – Datenmodell	86
5.4	ProDC – Verbrauch Bewertung	95
5.5	ProDC Evaluationsbogen	103
5.6	ProDC Bewertungsbogen – Usability	104
5.7	ProDC Bewertungsbogen – Nutzen	104
5.8	ProDC 2.0 – Datenfeld	120
A.1	ProDC – Login	139
A.2	ProDC – Übersicht – 1	140

A.3 ProDC – Übersicht – 2	141
A.4 ProDC – Verbrauch – 1	142
A.5 ProDC – Verbrauch – 2	143
A.6 ProDC – Verbrauch – 3	144
A.7 ProDC – Verbrauch – 4	145
A.8 ProDC – Sicherheit – 1	146
A.9 ProDC – Sicherheit – 2	147
A.10 ProDC – Sicherheit – 3	148
A.11 ProDC – Sicherheit – 4	149

Tabellenverzeichnis

1.1	Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik	11
1.2	Design-Science Research Guidelines	13
2.1	Typologie von Rechenzentren	20
2.2	Relevante Kennzahlen der Energieeffizienz	32
2.3	Bewertungsaspekte des TSI-Prüfkatalogs	35
2.4	Verfügbarkeitsklassen nach BSI	36
2.5	DIN EN 50600 – Überblick	37
2.6	Relevante Kennzahlen der Betriebssicherheitseffizienz	40
2.7	Relevante Kennzahlen der Rechenleistungseffizienz	42
2.8	Relevante Kennzahlen für Rechenzentren	44
3.3	Zusammengefasste Anforderungen an das Framework ProDC	57
3.4	Anwendungsfall Verbrauch – Eingabe der Daten	60
3.5	Anwendungsfall Verbrauch – Berechnung der Kennzahlen	62
5.1	Selektionsmerkmale Experten	102
5.5	E1. Experteninterview 1 – Ergebnisse 1/3	106
5.6	E1. Experteninterview 1 – Ergebnisse 2/3	107
5.7	E1. Experteninterview 1 – Ergebnisse 3/3	108
5.8	E2. Experteninterview 2 – Ergebnisse 1/2	109
5.9	E2. Experteninterview 2 – Ergebnisse 2/2	110
5.10	E3. Experteninterview 3 – Ergebnisse 1/2	111
5.11	E3. Experteninterview 3 – Ergebnisse 2/2	112
5.12	E4. Experteninterview 4 – Ergebnisse 1/4	113
5.13	E4. Experteninterview 4 – Ergebnisse 2/4	114
5.14	E4. Experteninterview 4 – Ergebnisse 3/4	115
5.15	E4. Experteninterview 4 – Ergebnisse 4/4	116
5.16	Übereinstimmende Kommentare der Evaluationsergebnisse	117

C.1	Nutzung, Management und Planung von Rechenzentren . . .	160
C.2	IT-Ausstattung und Dienstleistungen	161
C.3	Kühlung	165
C.4	Überwachung	166
C.5	Sonstige Rechenzentrumsausrüstung	167
D.1	Stromversorgung	170
D.2	Klimatisierung/Kühlsysteme	171
D.3	Telekommunikationsverkabelung	172
D.4	Sicherungssysteme	173
D.5	Infrastrukturkomponente Allgemein	174

Listings

4.1	ProDC – Perzentilbestimmung – Minimalbeispiel – Excel . . .	74
5.1	APEX – ProDC – Verbrauch – Angaben	89
5.2	APEX – ProDC – Sicherheit – Angaben	89
5.3	APEX – ProDC – Verbrauch – Kennzahlen	90
5.4	APEX – ProDC – Sicherheit – Kennzahlen	90
5.5	APEX – ProDC – Perzentilbestimmung – Fall 1	91
5.6	APEX – ProDC – Perzentilbestimmung – Fall 2	92
5.7	APEX – ProDC – Bewertung	93
5.8	APEX – ProDC – Gesamtbewertung	93