

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung.....	1
1.2 Annahmen und Forschungsfragen.....	3
1.3 Struktur der Arbeit .....	6
<b>2 Grundlagen der Virtualisierung und Architektur von SAP-ERP-Systemen</b>	<b>9</b>
2.1 Abstrakte Problemstellung .....	9
2.2 Grundlagen der Virtualisierung.....	11
2.2.1 Motivation zur Nutzung der Virtualisierung .....	11
2.2.2 Geschichte der softwarebasierten Virtualisierung.....	12
2.2.3 Begriffsherleitung – VMM und VM .....	14
2.2.4 Arbeitsweise eines VMM .....	16
2.2.5 Implementierung des VMM – Typ-1 und Typ-2.....	19
2.2.6 Zusammenfassung .....	21
2.3 Paravirtualisierung – Xen.....	21
2.3.1 Paravirtualisierung.....	21
2.3.2 Architektur von Xen .....	23
2.3.3 Technische Details zur Realisierung .....	25
2.3.3.1 Control-Transfer .....	25
2.3.3.2 Data-Transfer .....	26
2.3.3.3 CPU-Scheduling .....	27
2.3.3.4 Hauptspeicherverwaltung .....	27
2.3.4 Zusammenfassung .....	29
2.4 Betriebssystemvirtualisierung – Sun-Solaris-Zonen.....	29
2.4.1 Container-basierte Virtualisierung .....	29
2.4.2 Überblick über Sun Solaris 10 .....	31
2.4.2.1 Prozessmodell .....	31

2.4.2.2	Scheduling-Klassen.....	32
2.4.2.3	Virtual-Memory-System und Memory-Management-Unit.....	33
2.4.2.4	Non-Uniform Memory Architecture.....	34
2.4.2.5	MPO und Locality-Groups .....	35
2.4.2.6	Prozessplatzierung und Scheduling .....	36
2.4.2.7	Shared-Memory .....	37
2.4.3	Zonen und Sun Solaris 10.....	37
2.4.3.1	Architektur von Zonen.....	37
2.4.3.2	Labeling .....	39
2.4.3.3	Prozessmodell innerhalb lokaler Zonen.....	40
2.4.4	Zusammenfassung .....	41
2.5	Architektur eines SAP-ERP-Systems basierend auf ABAP .....	41
2.5.1	Überblick über das SAP-ERP-System.....	41
2.5.2	ABAP-Applikationsserver.....	42
2.5.3	Interaktion von ABAP-Stack und Betriebssystem .....	44
2.5.4	Ausführung von ABAP-Programmen .....	46
2.5.5	Zusammenfassung .....	48
2.6	Detaillierte Problemstellung beim Betrieb eines virtualisierten SAP-ERP-Systems .....	48
2.7	Zusammenfassung.....	51
<b>3</b>	<b>Verwandte Forschungsarbeiten</b>	<b>53</b>
3.1	Vorgehen .....	53
3.1.1	Überblick .....	53
3.1.2	Datenquellen.....	54
3.1.3	Suchstrategie.....	55
3.1.4	Selektion .....	56
3.1.5	Analyse .....	56
3.2	Performancemessungen in virtualisierten Umgebungen.....	57
3.2.1	Kategorie I – Forschungsarbeiten mit Xen .....	57
3.2.1.1	Grundlagen von Xen .....	57
3.2.1.2	Einfluss auf die Performance von Netzwerkoperationen.....	59
3.2.1.3	Xen mit Intel-VT.....	59
3.2.1.4	Performance bei hauptspeicherintensiven Operationen.....	60
3.2.1.5	Einfluss von Tracing und Lastverteilung in Xen .....	61

3.2.1.6	Einsatz im HPC-Umfeld .....	61
3.2.2	Kategorie 2 – Forschungsarbeiten mit Containern .....	62
3.2.2.1	Denali .....	62
3.2.2.2	Sun-Solaris-Zonen .....	63
3.2.3	Kategorie 3 – Vergleichende Arbeiten .....	64
3.2.3.1	Container-basierte Virtualisierung am Beispiel von Linux VServer .....	64
3.2.3.2	Vergleich zwischen nativ, Xen und KVM .....	65
3.2.3.3	Vergleich zwischen Xen, VMware und KVM .....	66
3.2.3.4	Vergleich von Xen und OpenVZ .....	67
3.2.4	Kategorie 4 – Performance innerhalb von Xen .....	67
3.2.5	Zusammenfassung .....	67
3.3	Performancemessungen von ERP-Systemen .....	68
3.3.1	Messungen der Performance einer SAP-Datenbank .....	68
3.3.2	Messung und Modellierung von SAP R/3- und Storage-Systemen .....	69
3.3.3	Messung eines SAP-Portalsystems .....	70
3.3.4	Zusammenfassung .....	70
3.4	Zusammenfassung .....	71
<b>4</b>	<b>Performanceanalyse</b>	<b>75</b>
4.1	Annahmen .....	75
4.2	Messprozess – Testsetup, Testszenario, Testreihe, Testfall .....	77
4.3	Workload .....	80
4.3.1	Benchmarks im SAP-Umfeld .....	80
4.3.1.1	Anforderungen an den Benchmark .....	80
4.3.1.2	Application Benchmark .....	81
4.3.1.3	Synthetische Benchmarks .....	82
4.3.2	Zachmanntest – ein synthetischer Benchmark .....	83
4.3.3	Workloadparameter .....	87
4.3.4	Monitore .....	89
4.3.5	Lastsituationen .....	91
4.3.6	Ablauf der Tests .....	95
4.4	Testumgebung .....	97
4.5	Zusammenfassung .....	100

5.1	Auswertungsschema.....	104
5.1.1	Zentrale Tendenz.....	104
5.1.1.1	Arithmetisches Mittel.....	104
5.1.1.2	Median .....	105
5.1.1.3	Ausreißer und Fehler.....	106
5.1.1.4	Variabilität und Streuung.....	106
5.1.2	Weitere Kriterien .....	109
5.1.3	Vergleichskriterien für den Überblick.....	111
5.2	Ergebnisse der Messungen in nativer Umgebung.....	111
5.2.1	Skalierung.....	112
5.2.1.1	Testszenario 1 – Skalierung bei einem SAP-ERP-System ( $w_{SAP}=1$ ).....	112
5.2.1.2	Testszenario 2 – Skalierung bei zwei nativen SAP-ERP-Systemen ( $w_{SAP}=2$ ).....	115
5.2.1.3	Testszenario 3 – Skalierung bei drei SAP-ERP-Systemen ( $w_{SAP}=3$ ) .....	118
5.2.2	Zusammenfassung .....	121
5.3	Ergebnisse der Messungen mit Xen .....	123
5.3.1	Konfiguration.....	123
5.3.2	Skalierung .....	124
5.3.2.1	Testszenario 4 – Skalierung bei einem virtualisierten SAP-ERP- System ( $w_{VM}=1$ ).....	124
5.3.2.2	Testszenario 5 – Skalierung bei zwei virtualisierten SAP-ERP- Systemen ( $w_{VM}=2$ ).....	127
5.3.2.3	Testszenario 6 – Skalierung bei drei virtualisierten SAP-ERP- Systemen ( $w_{VM}=3$ ).....	130
5.3.2.4	Skalierung im Vergleich zum nativen Betrieb.....	132
5.3.3	Einfluss von Xen .....	133
5.3.4	Zusammenfassung .....	135
5.4	Ergebnisse der Messungen mit Sun-Solaris-Zonen .....	137
5.4.1	Konfiguration.....	137
5.4.2	Skalierung .....	137
5.4.2.1	Testszenario 7 – Skalierung bei einem „zoned“ SAP-ERP-System ( $w_{ZONE}=1$ ).....	138
5.4.2.2	Testszenario 8 – Skalierung bei zwei „zoned“ SAP-ERP-Systemen ( $w_{ZONE}=2$ ).....	140
5.4.2.3	Testszenario 9 – Skalierung bei drei „zoned“ SAP-ERP-Systemen ( $w_{ZONE}=3$ ).....	143

5.4.2.4	Skalierung im Vergleich zum nativen Betrieb.....	145
5.4.3	Einfluss von Zonen.....	146
5.4.4	Zusammenfassung .....	148
5.5	Vergleich der drei Testsetups.....	150
5.5.1	Höchster Durchsatz.....	151
5.5.2	Mittlerer Durchsatz.....	152
5.5.3	Gesamtdurchsatz.....	154
5.5.4	Skalierung.....	156
5.6	Zusammenfassung.....	158
<b>6</b>	<b>Analyse und Implikationen</b>	<b>163</b>
6.1	Ursachenanalyse.....	163
6.1.1	Zonen.....	163
6.1.1.1	Mehrzahl an Prozessen .....	163
6.1.1.2	Fair Share Scheduler .....	164
6.1.1.3	Locality-Groups .....	165
6.1.1.4	“Aufwärmen” des SAP-ERP-Systems.....	166
6.1.2	Xen.....	167
6.1.2.1	Traces .....	167
6.1.2.2	Overcommitment .....	169
6.2	Implikation für das Sizing.....	171
6.2.1	Grundlagen des Sizings .....	171
6.2.2	Neuer Aspekt im Sizing.....	171
6.2.3	Verhältnis bei einem nativen/zoned SAP-ERP-System .....	172
6.2.4	Verhältnis bei einem virtualisierten SAP-ERP-System.....	174
6.2.5	Verhältnis bei mehreren nativen SAP-ERP-Systemen .....	175
6.2.6	Verhältnis bei mehreren SAP-ERP-Systemen in Zonen .....	176
6.2.7	Verhältnis bei mehreren virtualisierten SAP-ERP-Systemen .....	177
6.2.8	Zusammenfassung .....	179
6.3	Messmöglichkeiten für Performance Daten.....	179
6.3.1	SAP Traces im SAP-ERP-System.....	180
6.3.2	Traces im Betriebssystem.....	182
6.3.3	Traces und NUMA in Xen.....	184
6.3.4	Hardware Counter.....	186
6.3.5	Gesamtüberblick zur Erweiterung .....	187
6.3.6	Zusammenfassung .....	191

6.4 Zusammenfassung .....	191
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>193</b>
7.1 Zusammenfassung .....	193
7.2 Ausblick .....	197
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>199</b>