

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
------------------------------	-----------

Tabellenverzeichnis	xvii
----------------------------	-------------

1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Annahmen und Forschungsfragen.....	3
1.3 Struktur der Arbeit	6
2 Grundlagen der Virtualisierung und Architektur von SAP-ERP-Systemen	9
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
3	Verwandte Forschungsarbeiten	53
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
4	Performanceanalyse	75
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	Zachmannstest – 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
6	Analyse und Implikationen	163
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 Sizing.....	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 Performancedaten.....	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
7 Zusammenfassung und Ausblick	193
7.1 Zusammenfassung	193
7.2 Ausblick	197
Literaturverzeichnis	199