



Aktuelles und Trends bei Virtualisierungstechnologien

Franz Haberhauer, Oracle Deutschland B.V. & Co. KG

Virtualisierungstechnologien waren in den letzten Jahren ein wesentliches Instrument für die Konsolidierung von Systemlandschaften.

Bei der Virtualisierung stand zunächst die einfache, möglichst geradlinige Transformation mehrerer physischer Server in Form virtueller Maschinen auf einen physischen Server im Vordergrund. Im Desktop-Umfeld ging es um die Konsolidierung von Desktop-Landschaften auf Virtual Desktop Infrastructures (VDI) mit zentralen, leistungsstarken Servern und Thin Clients oder die Nutzung alternativer Betriebssysteme in virtuellen Maschinen auf einem Host-OS. Nachdem allerdings durch Konsolidierung und die damit einhergehende Virtualisierung nur das Wachstum der Anzahl physischer Systeme eingedämmt wurde, nicht aber die Zahl der Betriebssystem-Instanzen – ins-

besondere die der unterschiedlichen Instanzen (im Hinblick auf Softwareversions-/ Patch-Stände) – und damit der Aufwand für deren Wartung, wird nun versucht, durch eine höhere Standardisierung und Automatisierung dem Problem beizukommen. Auch hier spielen wiederum Virtualisierungstechnologien eine zentrale Rolle.

Leichtgewichtige Virtualisierung

Aktueller Trend sind leichtgewichtige Virtualisierungstechnologien, die nicht mehr eine vollständige virtualisierte Hardware bereitstellen, auf der vollständige Betriebssysteme installiert werden, sondern reduzierte, effiziente Ausführungsumgebungen für Anwendungen. Dies ist

nicht nur im Hinblick auf einen möglichst geringen Overhead bei der Ausführung effizient, sondern auch beim Ausrollen, der sogenannten „Provisionierung“. Hierbei geht es nicht nur um die Anwendung selbst, sondern auch um dafür benötigte weitere Software-Komponenten – und zwar in den jeweils benötigten Versionen.

Weitere Aspekte solcher sogenannter „Container“ sind ihre Isolation gegeneinander im Hinblick auf Sicherheit sowie als Einheit im Ressourcen-Management, was ein einfaches Ressourcen-Management für darin gekapselte Anwendungen ermöglicht. Solaris war bei der leichtgewichtigen Virtualisierung mit den Solaris-Containern in Solaris 10 ein Vorreiter und ist auch mit

den Zonen in Solaris 11 führend, insbesondere was die Integration mit anderen Funktionalitäten im Betriebssystem angeht.

Auch unter Linux hat sich mit den Linux-Containern („lxc“) eine leichtgewichtige Virtualisierungstechnologie etabliert – seit dem UEK 3 in Oracle-Linux voll un-

terstützt. Die leichtgewichtigen Virtualisierungstechnologien auf der OS-Ebene lösen allerdings keineswegs die Hypervisor-basierten Technologien zur Hardware-Virtualisierung ab, vielmehr hat jede Technologie ihre spezifischen Stärken: die Hardware-Virtualisierung eine weiterge-

hende Isolation und Flexibilität hinsichtlich der Gäste (OS-Versionen und Stände), die OS-Technologien eine höhere Effizienz durch die Nutzung gemeinsamer Ressourcen und eine weitergehende administrative Integration.

In Solaris 11.2 wurde eine neue Virtualisierungstechnologie eingeführt, die Vorteile aus beiden Technologien kombiniert: die Kernel Zones. Diese sind ein Type-2-Hypervisor, der keine generische Hardware virtualisiert, sondern mit Solaris als Host-OS spezifisch für Solaris-Gäste ausgelegt ist. Das ermöglicht signifikante Performance-Optimierungen. Administrativ sind sie nur ein neuer Typ (Brand) der Zonen, sie werden mit denselben Kommandos wie die nativen Zonen konfiguriert und administriert. Gäste nutzen bei Kernel Zones eigenen Kernel, die damit auch unterschiedliche Stände haben können. Zudem ermöglicht die höhere Isolation der Kernel Zones eine Migration laufender Zonen zwischen physischen Systemen – in Solaris 11.2 warm über Suspend/Resume und in Solaris 11.3 auch als Live-Migration.

In einem früheren Artikel [1] hatte der Autor die verschiedenen Technologie-Ansätze zur Server-Virtualisierung verglichen. Duncan Hardie hat in einem Blog [2] sehr schön einen Entscheidungsbaum zu den Virtualisierungstechnologien für Solaris – native Zonen, Kernel Zones und OVM – zusammengestellt (siehe Abbildung 1). Über die in Solaris 11.2 eingeführten Unified Archives ist es zudem einfach möglich, eine Instanz von einer Virtualisierungstechnologie in eine andere oder auch von oder in eine physische Instanz zu konvertieren.

Aktuell findet plattformübergreifend Docker [3] großes Interesse, wobei dabei die Provisionierung von Anwendungen im Vordergrund steht. Docker ermöglicht es über einfache Kommandos, vordefinierte Anwendungsumgebungen in Form von Containern aus einem öffentlichen oder aus privaten Repositories zu laden [4]. Auf einem Basis-Container können weitere Container, in denen etwa Anwendungen gekapselt sind, aufgesetzt und modifiziert werden. Laufende Container können einfach als neue Container gespeichert, in Repositories abgelegt und daraus – gegebenenfalls auch mehrfach – instanziiert sein. Die Docker-Infrastruktur kümmert sich dabei etwa um die Zuordnung von IP-Adressen und Port-Abbildungen.

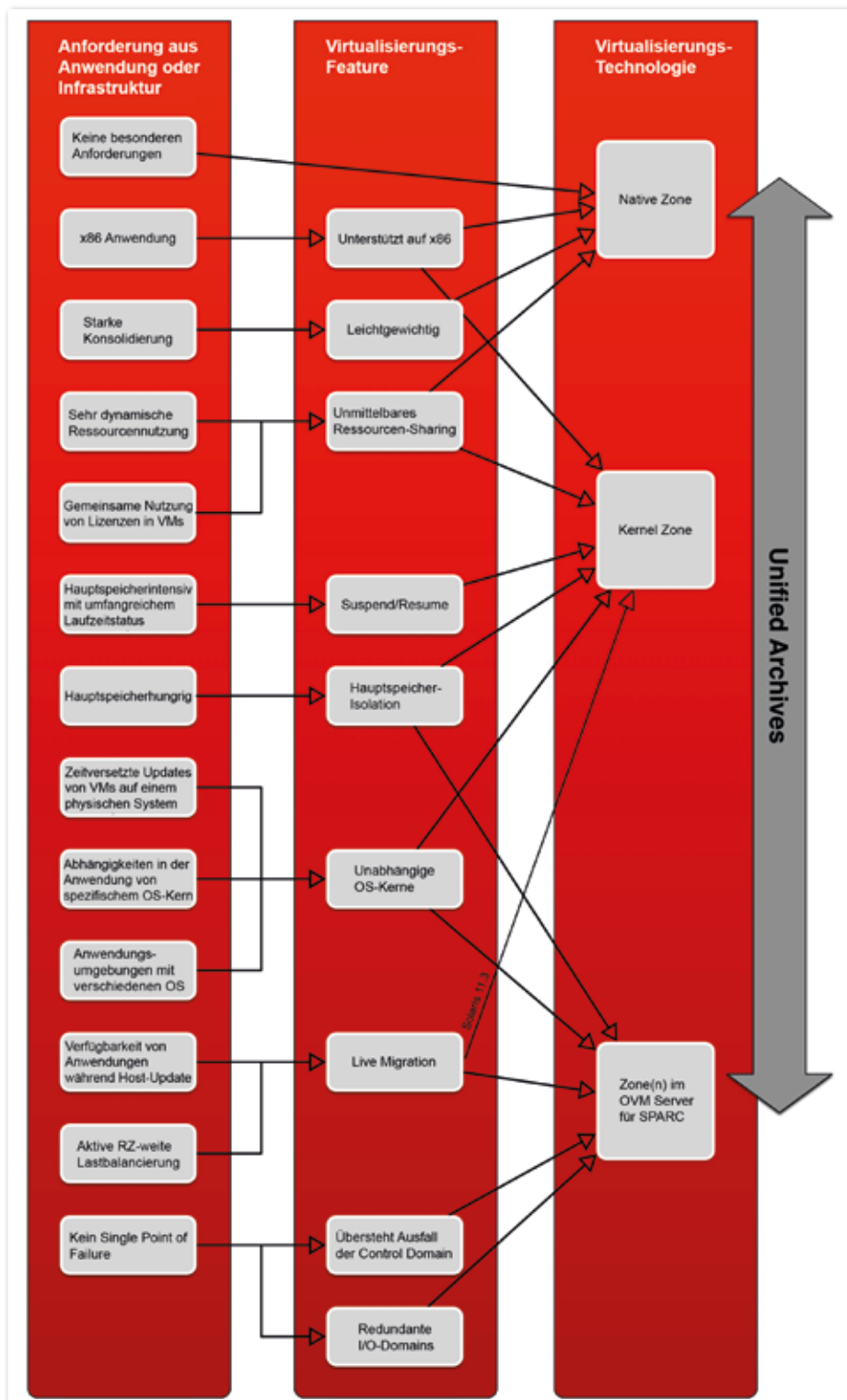


Abbildung 1: Kriterien für die Auswahl der Virtualisierungs-Technologie auf Oracle Solaris aufgrund von Anforderungen der Anwendung oder Infrastruktur [2]

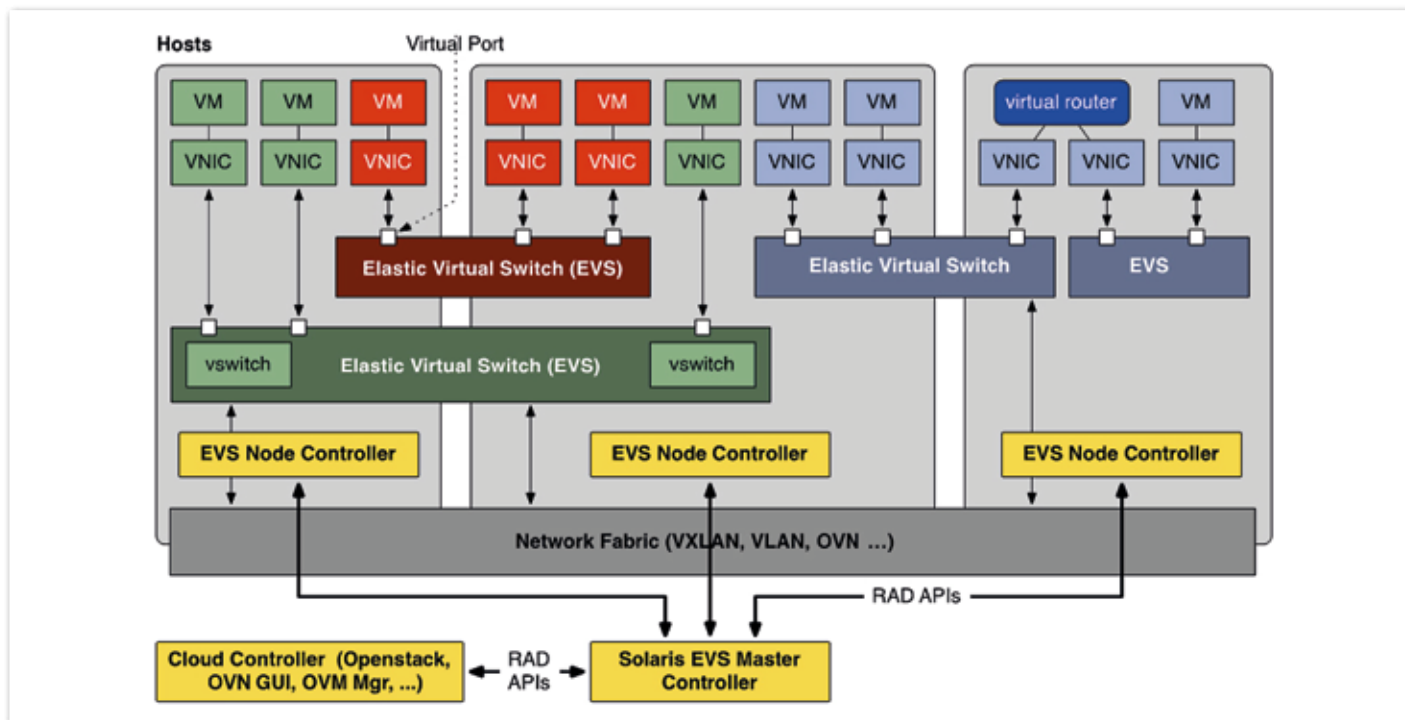


Abbildung 2: Architektur des verteilten Elastic Virtual Switch (EVS) in Solaris 11.2

Ursprünglich nutzte Docker direkt Linux-Container als Container-Technologie, Mitte 2014 mit der Version 1.0 wurden diese jedoch durch die Bibliothek „libcontainer“ abgelöst, die es zudem ermöglicht, auch andere Container-Technologien zu integrieren und Docker (die APIs und Tools) für die Provisionierung zu nutzen. So gibt es mittlerweile selbst von Microsoft Ankündigungen in dieser Richtung. Oracle kündigte Ende Juli an, die Solaris Zonen mit Docker zu integrieren [5].

Docker ist auf das Deployment von Containern auf einzelnen Systemen fokussiert. Für die Orchestrierung von Services, die auf mehreren Systemen laufen, stehen Technologien wie Kubernetes und/oder OpenStack (insbesondere Heat und Murano) im Raum, wobei sich dieses Feld aktuell rasch entwickelt.

Hardware-Unterstützung für Virtualisierung

Wenn heute bei der Virtualisierung zunehmend weniger Abstriche an die Performance gemacht werden müssen, ist dies einer weitergehenden Unterstützung in der Hardware selbst zu verdanken – zunächst in den CPUs, neuerdings auch bei den I/O-Karten. Spezielle Funktionalitäten in Prozessoren bieten eine immer effizientere Virtualisierung durch Hypervisor

beziehungsweise die explizite Anpassung der Gast-Betriebssysteme, die sogenannte „Paravirtualisierung“.

Insbesondere die x86-Architektur war nicht für Virtualisierung entwickelt worden. Hypervisor machten sich das vorhandene Schutzring-Konzept zunutze, womit allerdings einige Systemaufrufe nur sehr aufwändig zu virtualisieren waren; das ist durch neuere Technologien wie Intel VT-x und Extended Page Tables (EPT) sowie AMD-V und Rapid Virtualization Indexing (RVI) inzwischen wesentlich effizienter möglich [6].

Die Hardware-Virtualisierung ist sehr Prozessor-spezifisch. In die SPARC-Architektur wurde die Virtualisierungsunterstützung mit der sun4v-Architektur des UltraSPARC T1 eingeführt und seither mit jeder Prozessor-Generation weiterentwickelt. Die Nutzung solcher Hardware-Unterstützung ist auch der Hintergrund dafür, dass die Solaris Kernel Zones nur auf Prozessoren ab der Nehalem(Intel)/Barcelona(AMD)-Generation beziehungsweise ab dem SPARC T4 laufen.

Ein Feature des UltraSPARC T1 ist die Unterstützung von Verschlüsselung in Hardware, womit diese ohne größere Performance-Einbußen möglich wurde, insbesondere beim Transfer von Daten „at wire speed“. Relevant ist dies etwa während der Live-Migration, bei der eine laufende virtu-

elle Maschine über ein Netzwerk zwischen physischen Rechnern durch einen Transfer der Speicher-Inhalte verlagert wird. Oracle VM und Solaris Kernel Zones (neu ab Solaris 11.3) bieten hier eine Secure-Live-Migration mit verschlüsseltem Transfer – jeweils auf SPARC wie auf x86, nachdem neuere Intel-CPU's mittlerweile ebenfalls eine Reihe von Verschlüsselungs-Algorithmen in Hardware unterstützen. Auch für Platten-Inhalte ist eine Verschlüsselung relevant, die auf unterschiedlichen Ebenen realisiert werden kann: durch die physische Platte selbst bis hin zum Dateisystem im Gast-OS. VirtualBox 5.0 führt aktuell verschlüsselte, virtuelle Festplattenabbilder ein.

Virtualisierung ermöglicht auch ganz neue Ansätze für Security. Die Solaris Zonen bieten etwa die elegante Beschränkung des Superuser-Privilegs für Anwendungs-Administratoren auf der Ausführungsumgebung einer Anwendung (etwa für einen Neustart), nicht aber die Plattform (etwa zur Konfiguration von IP-Adressen). Über Immutable Zones können Ausführungsumgebungen sogar mit darin nur lesbaren Datei-Systemen zum Einsatz kommen.

Zurück zum Thema „Hardware-Unterstützung“: Ein grundsätzliches Problem bei der Nutzung physischer I/O-Schnittstellen durch mehrere virtuelle Maschinen gemeinsam besteht darin, dass die Schnittstellenkarte

ja selbst durch einen Treiber verwaltet werden muss – im Hypervisor oder HostOS. Bei der gemeinsamen Nutzung von I/O-Schnittstellen stehen insbesondere die Ethernet-Schnittstellen im Vordergrund. Physisch empfangene Pakete müssen hier über einen virtuellen Switch an eine virtuelle Schnittstelle der Ziel-VM weitergegeben werden, was zusätzliche Latenz mit sich bringt.

Einige neuere Netzwerk-Karten können in Hardware-Puffern Netzwerk-Verkehr in Receive- (Rx-) und Transmit- (Tx-) Ringe vorsortieren; das kann bei einer Netzwerk-Virtualisierung genutzt werden – etwa im „Crossbow“-Netzwerkstack in Solaris 11, in dem diese Ringe VNICs zugeordnet werden können. Weitere Bezeichnungen für dieses Feature sind bei Intel „Virtual Machine Device Queues“ (VMDq) oder bei VMware „NetQueue“. Einen Schritt weiter geht Single Root I/O Virtualization (SR-IOV), eine Erweiterung der Spezifikation von PCI-Express. Sie ermöglicht das Erscheinen einer physischen PCI-Karte in mehreren Instanzen. Die Karte an sich und die gemeinsamen Ressourcen der Karte werden über die sogenannte „Physical Function“ (PF) adressiert, die einzelnen Instanzen mit ihren dediziert vorhandenen Ressourcen über „Virtual Functions“ (VF). Dabei müssen alle Komponenten SR-IOV unterstützen: die I/O-Karte in der Hardware, der Hypervisor (mit einem PF-Treiber) sowie das jeweilige Gast-OS (mit einem VF-Treiber) und zudem auf x86-Plattformen auch das BIOS. Während initial vor allem Netzwerk-Karten mit SR-IOV unterstützt waren, sind es heute auch InfiniBand- und Fibre-Channel-Karten [7].

Software Defined Networking (SDN)

Die einfache gemeinsame Nutzung physischer Schnittstellen durch eine Anzahl virtueller Maschinen ist nicht zuletzt ein Grund dafür, dass für die Anbindung von Storage an virtuelle Maschinen Netzwerk-Protokolle wie iSCSI populär sind. Die Dynamik im Betrieb entsteht etwa durch Live-Migration, bei der ja mit dem System nicht nur IP-Adressen, sondern auch etwa Bandbreiten-Limitierungen mitwandern sollen. Hinzu kommt generell die Anforderung, auch Netzwerk-Topologien flexibel dynamisch konfigurieren zu können – und zwar auch automatisiert mit der Provisionierung von Services –, das erfordert ein programmatisch konfigurierbares virtualisiertes Netzwerk. Hierfür wurde in

den letzten Jahren ein ganzes Spektrum an Technologien und Produkten entwickelt, die unter dem Oberbegriff „Software Defined Networking“ (SDN) zusammengefasst sind. In Oracle-Linux ist dafür eine Open-vSwitch-Implementierung verfügbar, in Solaris 11.2 der Elastic Virtual Switch (EVS).

Oracle Linux UEK3 und Solaris 11.2 unterstützen zudem Virtual Extensible LANs (VxLANs), mit denen ein Layer-2- über ein Layer-3-Netzwerk gefahren werden kann. Damit ist die Konfiguration einer verteilten Netzwerk-Infrastruktur mit virtuellen Switches auf mehreren Systemen möglich, mit zentralem Management und Monitoring, ohne dass dazu Eingriffe in die zugrunde liegende physische Netzwerk-Infrastruktur etwa für das Routing nötig sind (siehe Abbildung 2).

Das Oracle-Virtual-Networking-Produkt-Portfolio (OVN), das sich aus der Akquisition von Xsigo entwickelt hat, bietet über die reine SDN-Funktionalität hinaus Hardware, mit der Ethernet- und Storage-Network (SAN)-I/O virtualisiert und auf eine leistungsstarke InfiniBand-basierte Infrastruktur abgebildet werden kann (Oracle Fabric Interconnect), die zudem eine kostengünstige Verkabelung einer großen Zahl von Systemen ermöglicht sowie über grafische Management-Werkzeuge (Oracle Fabric Manager und Oracle Fabric Monitor) verfügt [8].

Konvergente Systeme – von der Virtual Compute zur Private Cloud Appliance

Ein Converged Network ist auch der Kern der Oracle-Multi-Purpose-Virtualisierungsmaschine unter den Engineered Systems, die kürzlich von „Oracle Virtual Compute Appliance“ [9] in „Oracle Private Cloud Appliance“ [10] umbenannt wurde. Bis zu 25 Compute Nodes – Dual-Socket x86-Systeme – sind über eine virtualisierte I/O-Infrastruktur auf InfiniBand-Basis aus dem Portfolio des Oracle Virtual Networking in einem Rack vernetzt. Sowohl SAN als auch Ethernet werden als Software Defined Network auf dieser „Converged Infrastructure“ aufgesetzt.

Die Compute Nodes selbst werden über Oracle VMs virtualisiert, das Gesamtsystem über den OVM Manager verwaltet. Insbesondere zur Datenhaltung von Management-Daten wie VM-Images ist zudem eine ZFS ZS3 Storage Appliance integriert. Die Oracle-Private-Cloud-Appliance-Controller-Software ermöglicht das Management und Monitoring der Hardware, der Software-

Upgrades, die Verwaltung virtueller Ressourcen (virtuelle Server, Netzwerke und Storage) sowie die Überwachung der Auslastung von Ressourcen. Mit dem Technologie-Portfolio rund um Oracle VM – von OVM Templates über den Oracle Virtual Assembly Builder für die Provisionierung von Multitier-Anwendungen bis hin zum Enterprise Manager Cloud Control – lassen sich leistungsfähige virtualisierte Landschaften und Clouds aufbauen sowohl für Infrastructure as a Service wie auch für Platform oder Database as a Service.

Virtualisierte Engineered Systems

Für Platform und Database as a Service gibt es mit der Oracle Exalogic Elastic Cloud, der Oracle Database Appliance (ODA), der Oracle Exadata Database Machine und dem Oracle SuperCluster spezialisierte Systeme, die mittlerweile ebenfalls virtualisiert betrieben werden können. Dabei sollte aber weiterhin jeweils der spezielle Einsatzbereich, für den diese Systeme konzipiert sind, eine wesentliche Rolle spielen – bei der ODA, Exadata sowie dem SuperCluster Oracle sind es Datenbanken und bei der Exalogic Anwendungen auf WebLogic oder Fusion Middleware. Nur damit kommt der Mehrwert spezifischer Komponenten zum Tragen, etwa der Storage Server in der Exadata und im SuperCluster. Der Mehrwert der Virtualisierung über Oracle VMs liegt vor allem in der Isolation etwa zur Konsolidierung mit festen Beschränkungen einzelner Lasten hinsichtlich CPU/Memory-Nutzung oder bei unabhängigen Administratoren.

Ein weiterer Aspekt bei der Virtualisierung ist das Thema „Lizenzierung“. Hier erkennt Oracle bei der Core-basierten Lizenzierung ein ganzes Spektrum an Virtualisierungstechnologien als Hard Partitioning an, um die Anzahl benötigter Lizenzen auf einem einzelnen physischen Server zu beschränken. Für einige Engineered Systems (Exadata, Exalogic, Exalytics, Private Cloud Appliance) wurde mit den Trusted Partitions ein weiteres Lizenz-Konzept eingeführt, das bei Nutzung von OVM und Enterprise Manager direkt auf Basis virtueller CPUs (vCPUs) im gesamten Engineered-System Knoten-übergreifend eine einfachere Metrik bietet [11]. Diese flexible Form der Lizenzierung macht für Nutzer eines Oracle-Software-Stacks insbesondere die Private Compute Appliance zu einer interessanten Virtualisierungsplattform.

Administrationswerkzeuge für virtualisierte Umgebungen

Im Oracle-Produkt-Portfolio findet sich eine Reihe von Werkzeugen, um virtualisierte Umgebungen auch auf mehreren physischen Servern aufzubauen und zu verwalten. Diese haben ihre Wurzeln je-

weils in spezifischen Bereichen, wurden aber in letzter Zeit weiterentwickelt, so dass sie jetzt breitere Einsatzbereiche abdecken, auch indem sie intern transparent andere Werkzeuge aufrufen.

Der Oracle VM Manager wurde ursprünglich als Management-Plattform für

den OVM Server für x86 entwickelt. Die Version 3.2 unterstützt erstmals den OVM Server für SPARC (LDMs) und mit der aktuellen Version 3.3 wurde diese Unterstützung signifikant erweitert. Der OVM Manager kann nicht ohne Weiteres bereits existierende Umgebungen (Brown-

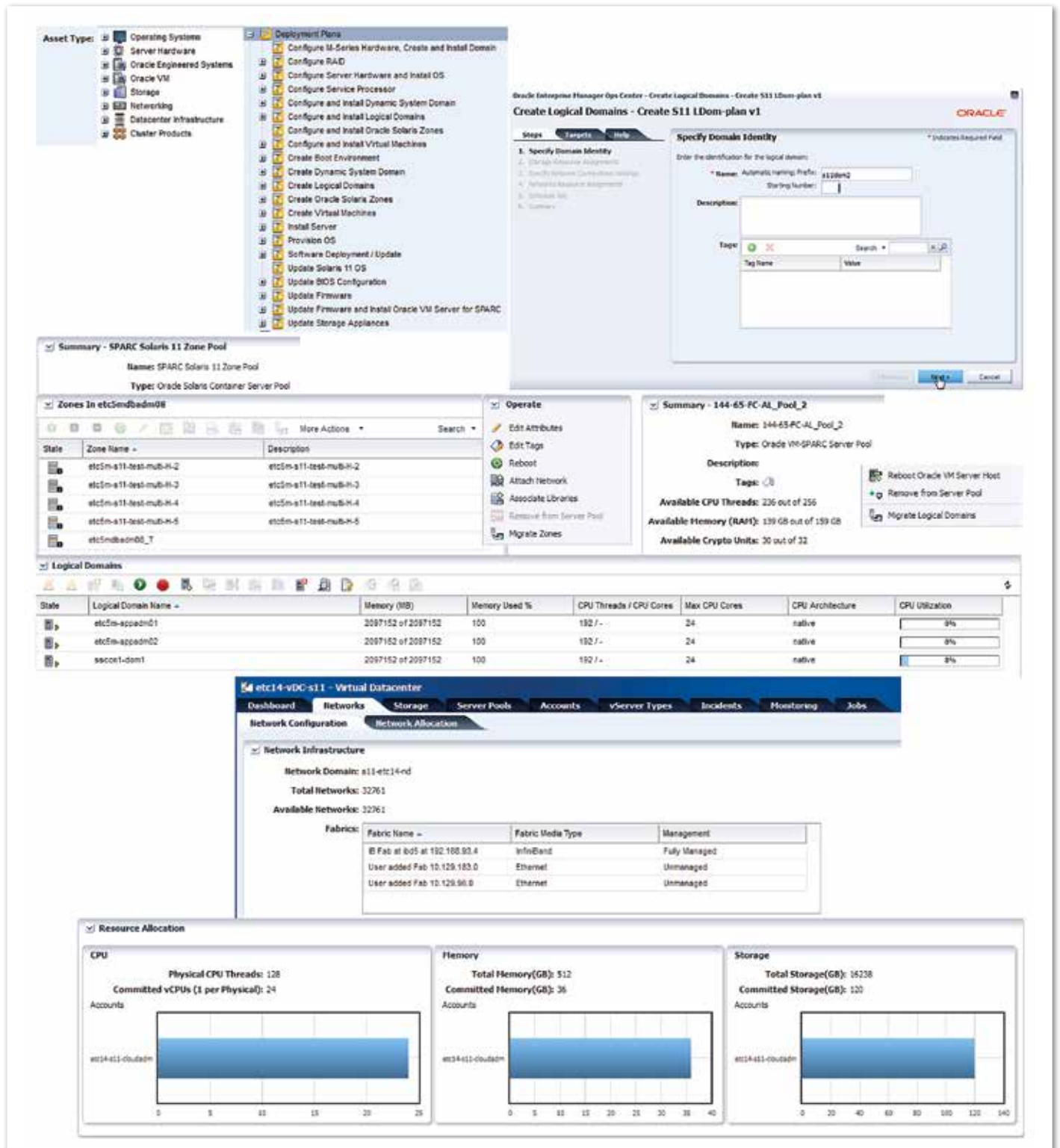


Abbildung 3: Administration virtualisierter Systeme mit dem Oracle Enterprise Manager Ops Center

field Deployments) unter seine Kontrolle bringen, in der Regel wird die virtualisierte Landschaft über den OVM Manager selbst aufgebaut (Greenfield Deployment).

Das Enterprise Manager Ops Center ist eine umfassende Lösung zur Konfiguration und Überwachung von Oracle-Hardware – nicht nur Server, sondern auch Storage- und Netzwerk-Komponenten sowie Firmware bis hin zum Betriebssystem. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf Solaris. Im Ops Center können neben OVM Servern für x86 – hierzu greift Ops Center transparent auf den OVM Manager zurück – und OVM Servern für SPARC auch Solaris Zonen verwaltet werden, in der aktuellen Version 12cR3 jetzt auch Kernel Zones. In den letzten Versionen wurden dabei immer weitergehende Brownfield Deployments unterstützt (siehe Abbildung 3).

Oracle Enterprise Manager 12c Cloud Control ist ein mächtiges Werkzeug, das virtualisierte Umgebungen bis hin zu vollständigen Clouds mit Self-Service Portal und Chargeback ermöglicht – von Infrastructure as a Service (IaaS) über Platform und insbesondere Database as a Service (DBaaS) bis hin zu Software as a Service (SaaS). Es setzt auf OVM und OVM Manager auf und zwar über eine Plug-in-Architektur, nicht zuletzt, um mit unterschiedlichen Versionsständen flexibel umgehen zu können.

Das EM12c Virtualization Plug-in Update 12.1.0.7 brachte die Kompatibilität zum Oracle VM Manager 3.3. Auch für Ops Center gibt es ein Plug-in im EM12c, das Ops Center Enterprise Manager Infrastructure Plug-in, sowie für OVN ein Oracle Virtual Networking Plug-in. Während OVM Manager, Ops Center in Verbindung mit Oracle-Systems-Produkten sowie die Basis- und IaaS-Funktionalitäten des EM12c Cloud Control frei nutzbar sind, sind weitergehende Funktionalitäten des EM12c separat kostenpflichtig zu lizenzieren [12].

OpenStack ist eine sich sehr rasch entwickelnde Open-Source-Lösung für Clouds, deren Weiterentwicklung von einer Vielzahl an Unternehmen befürwortet wird. Sie unterstützt ein breites Spektrum an Technologien zur Server-, Storage- und Netzwerk-Virtualisierung, wobei sich die einzelnen Distributionen hier etwas unterscheiden. Oracle hat OpenStack unter anderem in Oracle Solaris und in Oracle Linux integriert [13].

OpenStack ist modular aufgebaut, wobei die einzelnen Komponenten über REST-APIs

miteinander interagieren. Das ermöglicht es Anbietern, nur einzelne Komponenten wie Networking- oder Storage-Systeme für OpenStack-Deployments anzubieten – bei Oracle beispielsweise OVN für das Neutron-Networking oder ZS3-Systeme als Cinder-Block-Storage.

Während OpenStack noch eine recht neue Cloud-Technologie ist, ist Enterprise Manager Cloud Control weiter ausgereift und funktional mächtiger. Das gilt insbesondere für Platform und Database as a Service als Einsatzfeld. Hier werden etwa beim Chargeback vom EM12c auch Middleware- und Datenbank-spezifische Metriken unterstützt. OpenStack kommt aus dem Bereich des IaaS, es gibt aber inzwischen auch Projekte in Richtung PaaS und DBaaS. Man bewegt sich beim Einsatz allerdings gelegentlich im Bereich der Leading Edge, wobei es andererseits aber auch bereits große Deployments mit Tausenden von Cores gibt.

Beim Management ist übrigens ein Trend zu beobachten, Systeme über Web-Services/REST-APIs administrierbar zu machen. Dadurch vermeidet man die Installation jeweils eigener Agenten für Management-Lösungen. Solaris 11.1. hatte mit dem Remote Administration Daemon (RAD) zusammen mit der Infrastruktur ein erstes RAD-Modul zur Verwaltung von Zonen eingeführt. Mit Solaris 11.3 kommen ZFS, IPS- und AI-Server sowie Datalink-Management dazu [14]. Auch der OVM Manager 3.3 und die ZFS Storage Appliances bieten dokumentierte REST-APIs.

VirtualBox als Plattform für praktische Erfahrungen

Um praktische Erfahrungen mit einigen der oben vorgestellten Technologien und Produkte zu sammeln, bietet sich dafür ebenfalls eine Virtualisierungslösung an: VirtualBox, gerade in der Version 5.0 erschienen [15]. Einige Produkte können dazu vorinstalliert in VMs heruntergeladen werden [16, 17]. Dabei ist zu beachten, dass Virtualisierungstechnologien, die dieselben Mechanismen nutzen, nicht ohne Weiteres ineinander geschachtelt werden können – etwa VirtualBox und Solaris Kernel Zones. Für diesen konkreten Fall gibt es den Workaround, in VirtualBox die Hardware-Unterstützung teilweise auszuschalten [18]. Oracle stellt im Technology Network im Rahmen von Virtual Technology Summits regelmäßig Virtualisierungstechnologien mit Hands-On vor [19].

Literaturhinweise

- [1] Franz Haberhauer: Technologien zur Server-Virtualisierung im Überblick, DOAG News 03/2012
- [2] Duncan Hardie: Which Oracle Solaris Virtualization, Dec. 10, 2014, https://blogs.oracle.com/listey/entry/which_oracle_solaris_virtualization
- [3] Docker - Understand the architecture, <http://docs.docker.com/docker/introduction/understanding-docker>
- [4] Gitty Henningsen: Getting Started with Docker on Oracle Linux, May 2015, <https://community.oracle.com/docs/DOC-914969>
- [5] Oracle Gets Docker in the Zone with Oracle Solaris, Oracle Press Release, Jul. 30, 2015, <https://www.oracle.com/corporate/pressrelease/docker-gets-in-the-zone-with-oracle-solaris-073015.html>
- [6] Oracle VM Virtual Box User Manual, Chapter 10. Technical Background, <https://www.virtualbox.org/manual/ch10.html>
- [7] Stefan Hinker: What's Up With LDoms: Part 10 – SR-IOV, Dec. 15, 2014, https://blogs.oracle.com/cmt/entry/what_s_up_with_ldoms10
- [8] Oracle Virtual Networking, <http://www.oracle.com/us/products/networking/virtual-networking/overview>
- [9] Christian Ritzka: Virtual Compute Appliance, DOAG News 06/2014
- [10] Oracle Private Cloud Appliance, <http://www.oracle.com/technetwork/server-storage/private-cloud-appliance/overview>
- [11] Oracle Partitioning Policy <http://www.oracle.com/us/corporate/pricing/partitioning-070609.pdf>
- [12] Oracle Enterprise Manager Licensing Information 12c Release 5 (12.1.0.5), Chapter 10 Base Enterprise Manager Functionality, July 2015, https://docs.oracle.com/cd/E24628_01/doc.121/e24474.pdf#G13.1023859
- [13] Franz Haberhauer: OpenStack mit Oracle, DOAG News 05/2014
- [14] Glynn Foster: Getting Started with the Remote Administration Daemon on Oracle Solaris 11, Juni 2015, <https://community.oracle.com/docs/DOC-917361>
- [15] VirtualBox, <http://Virtualbox.org>
- [16] Pre-Built Developer VMs (for Oracle VM Virtual-Box), <http://www.oracle.com/technetwork/community/developer-vm/index.html>
- [17] Oracle Solaris Downloads, <http://www.oracle.com/technetwork/server-storage/solaris11/downloads>
- [18] Oracle VirtualBox User Manual 9.19 VirtualBox and Solaris Kernel Zones, <https://www.virtualbox.org/manual/ch09.html#vboxandsolzmm>
- [19] Virtual Technology Summit - Operating Systems, Virtualization Technologies and Hardware, https://community.oracle.com/community/technology_network_community/virtualtechsummitre-sources/systems-content-area



Franz Haberhauer
franz.haberhauer@oracle.com