

# Evolution und Trends der Storage Technologien

Christian Bandulet  
Oracle  
Frankfurt

## Schlüsselworte:

Objects, File Systems, Network, Cloud, Virtualization, Grid, Flash

## Einleitung

Speichertechnologien und die von ihnen verwalteten Daten sind die Basis einer neuen Ära, in der ökonomischer Erfolg von wissensbasierten Prozessen und effizienten Tools zur Verwaltung von Informationen abhängt. Diese Technologien unterliegen einem stetigen und raschem Wandel. Die enorme Steigerung der Leistungsfähigkeit von Speichersystemen und Devices (CPU, capacity, Bandbreite, RAM, Network, ...) bietet die Möglichkeit, immer umfangreichere Teile des I/O Stacks mit komplexen datenzentrischen Anwendungen zu bearbeiten. Hierin liegt ein sehr großes Potential für neue Produkte und Applikationen.

## Evolution der Daten

Über die letzten Jahrzehnte hinweg konnte ein extremes Wachstum der zu speichernden Datenmenge, was sich in Zukunft noch weiter beschleunigen wird, beobachtet werden. Dieses Wachstum findet zum überwiegenden Teil im Bereich der unstrukturierten Daten statt, das heißt also bei jenen Daten, die nicht in traditionellen Datenbanken verwaltet werden, sondern in Dateisystemen. In Zukunft stellt sich nicht so sehr die Frage, ob diese Daten performant gespeichert werden können, sondern ob man die gesuchten Daten wiederfindet. Dies stellt vollkommen neue Anforderungen an File- und Speichersysteme dar. Diese müssen in der Lage sein, mittels Indexstrukturen komplexe Suchalgorithmen, ähnlich wie dies in Datenbanksystemen möglich ist, durchzuführen. Aus diesem Grund wandeln sich Daten zunehmend zu sogenannten semi-strukturierten Datenobjekten, die neben den eigentlichen Nutzdaten weitere benutzer- oder applikations-definierte Metadaten beinhalten. Der überwiegende Teil der neu generierten Daten wird schon heute nicht mehr von Unternehmen erzeugt sondern im privaten Bereich. Die weite Verbreitung von mobilen Devices, die digitale Inhalte aufzeichnen und wiedergeben können, erfordert eine Neuausrichtung von Speicherstrategien. Es gilt, Daten - auch wenn sie im privaten Bereich erzeugt wurden - in professionell geführten Rechenzentren zu speichern und sie dem Anwender an jedem beliebigen Ort und in jedem denkbaren Format zur Verfügung zu stellen. Je mehr semantisch verwertbaren Zusatzinformationen mit den Daten verknüpft werden, desto schneller lassen sich aus ihnen Informationen, an denen Endanwender interessiert sind, generieren. Datenobjekte sind die Voraussetzung dafür, ausgehend von der reinen Datenverarbeitung, das nächsthöhere Niveau zu erreichen: die Informationsverarbeitung.

## Evolution der Speichersysteme

Obwohl die Kapazität, der Durchsatz und die Bandbreite von platten-basierten Speichersystemen in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gesteigert werden konnten, so blieb doch ihre grundlegende Architektur stets gleich. Ein immer größere Anzahl von magnetischen Platten wurde über ein internes

- teils proprietäres - Netzwerk mit den Backend-Ports von redundant ausgelegten Controllern verbunden. Über sogenannte Frontend-Ports stellten diese Controller auch die externe Konnektivität her. Immer größere Caches und leistungsfähigere CPU und ASICs erlaubten es zunehmend komplexere Datenoperationen in den Speichersystemen selbst durchzuführen. Moderne Speichersysteme stellen nicht länger lediglich miteinander verbundene physikalische Einzelteilen dar, sondern eher ein Ensemble von virtualisierten Einheiten. Beschränkten sich Datendienste anfangs auf RAID Kalkulationen, so kamen im Laufe der Zeit Virtualisierungsfunktionen (LUNs/VLUNs, Pooling, Snapshots, Clones, Compression, De-Duplication, Thin-Provisioning, HSM, VTL, multi-tenancy, dynamic migration, ...), Replikationstechniken (synchron, asynchron, semi-synchron, uni-/bi-directional, 1:N, M:1, M:N, cascading, three-datacenter, ...) sowie Sicherheitsfunktionen (Encryption, Shredding, ...) hinzu. All diese Funktionen wurden von den Herstellern in Form von nicht durch den Endkunden modifizierbarer Firmware/Microcode zur Verfügung gestellt. Nicht ganz neu ist der Wunsch, das Verhalten solcher Systeme besser an spezifische Umgebungen durch Erweiterungen bzw. Änderungen anzupassen. Diese Anpassung wäre den „Stored Procedure/Triggers“ im Datenbankumfeld oder den „Pre-/Postprocessing Procedures“ bei Backupapplikationen vergleichbar. Im Markt bilden sich darüber hinaus Speichersysteme heraus, die den Kontext, in dem Daten erzeugt oder verarbeitet werden, mit speichern. Solche intelligenten Speichersysteme, die man als „content aware“ bezeichnet, ermöglichen es, Beziehungen zwischen Daten und zwischen Daten und Benutzern zu erkennen, was z.B. zu einer Optimierung der Datencaches führt. Eine andere Ausprägung intelligenter Speichersysteme sind die sogenannten „Active Devices“. Dabei handelt es sich um Systeme, die Teile der Applikationslogik im Speichersystem selbst ablaufen lassen können. So können beispielsweise komplexen Suchanforderungen, die im Speichersystem durchgeführt werden zu einer erheblich Entlastung der Datenverkehrs in den Speichernetzwerken beitragen. In einigen Anwendungsbereichen verschwimmen die Grenzen zwischen Servern und Speichersystemen zunehmend. Speichersysteme mutieren insbesondere in sehr komplexen Umgebungen, in denen es auf eine sehr enge Verzahnung des gesamten Applikationsstacks ankommt, zunehmend zu intelligenten Speicherknoten. Diese Speicherknoten basieren nicht auf speziell entwickelter Soft- oder Hardware sondern auf sogenannten „general purpose“ oder „commodity“ Komponenten, die frei programmierbar sind und flexibel kombiniert werden können. Solche allgemein nutzbaren Komponenten, können durch sehr spezialisierten Komponenten, sogenannten „Storage Plug-Ins“ oder „Storage Personalities“ erweitert werden, die den Systemen spezifische Fähigkeiten geben. Bezogen auf die Software könnten z.B. Replication Services oder Encryption Services, die fast alle Speichersysteme benötigen, durch Tape Emulationen wie sie in Virtuellen Tape Libraries (VTLs) benötigt werden, ergänzt werden.

## **Evolution der Archivierung von Daten**

Alle Informationen folgen einem Lebenszyklus (Information Lifecycle). Informationen werden generiert, gespeichert und gegebenenfalls verändert, gelesen und gelöscht. Jede dieser Phasen stellt spezifische Herausforderung. So stellt sich z.B. beim Speichern die Frage, auf welchen physikalischen Medien die Speicherung am sinnvollsten ist. Der aktuelle „Wert“ von Informationen kann sich im Laufe ihres „Lebens“ verändern, so daß sie dynamisch und wenn möglich transparent aus Sicht des Anwenders über unterschiedliche Medien migriert werden können müssen. Insbesondere bei Langzeitdaten erfolgen diese Migrationen nicht allein aus Gründen der Kostenreduktion, sondern auch, um die Daten physikalisch „aufzufrischen“. Unter der Prämisse, das heute und in Zukunft immer mehr Daten über immer längere Zeithorizonte gespeichert werden müssen, erscheinen Magnetbänder als das Mittel der Wahl, weil sie sehr günstig in der Anschaffung und Unterhaltung sind. Magnetbändern eignen sich auch deshalb besonders gut für die Langzeitarchivierung von Daten, da es hier um extrem große Datenmengen geht, die in der Regel sehr selten abgefragt werden bzw. bei denen ein Lesevorgang nicht zeitkritisch ist. Da die Innovationszyklen von Soft- und Hardware sehr kurz sind, ist nicht alleine die Speicherung der Daten an sich von alleiniger Bedeutung, sondern das

Archivieren von Software mittels derer die Daten einstmals verarbeitet wurden. Dasgleiche gilt im Prinzip auch für die Hardware, wobei man Hardware nicht im eigentlichen Sinne archivieren kann. Stattdessen braucht man in diesem Zusammenhang Software, die in der Lage ist, nicht mehr verfügbare Hardware zu emulieren.

An Speichersysteme, die der Langzeitarchivierung dienen, werden sehr große Anforderungen gestellt. Neben der eigentlichen Speicherung, gilt es, Daten zu klassifizieren, ihre Herkunft festzustellen, sie für spätere Suchoperationen zu indizieren, zu chiffrieren, sie in Migrations- und Backupprozessen einzubinden, sie zu komprimieren bzw. de-duplizieren und sie sicher zu löschen.

## **Evolution der Storage Grids**

Speichersysteme vollziehen einen Trend nach, der sich im Bereich der Serversysteme schon seit Jahren zeigt, nämlich die Virtualisierung von Systemen. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten: die Disaggregation von sehr großen Systemen ins kleinere, virtuelle Systeme und die Aggregation von kleineren Systemen in größere, virtuelle Systeme, den sogenannten Compute oder Storage Grids. Storage Grids setzen sich in der Regel aus homogenen Komponenten, den Storage Bricks zusammen. Als Storage Bricks fungieren hier intelligente Speichersysteme, basierend auf „Commodity Hardware“ Komponenten und „General Purpose“ Betriebssystemen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von „horizontaler Skalierbarkeit“ oder „Scale-Out“, wobei die einzelnen Bricks ein „single data image“ darstellen. Aus Sicht des Anwenders ist nicht ersichtlich, wieviele einzelne Systeme zu einem Storage Grid zusammengeschlossen sind. Nicht zu verwechseln mit Storage Grids sind geclusterte Speichersysteme, die seit vielen Jahren im Bereich der File Server verwendet werden. Dabei werden zwei File Server, die als dual-node Cluster fungieren, was ausschließlich der Verfügbarkeit der Daten im Falle des Ausfalls eines der beiden File Server dient, miteinander gekoppelt. In Storage Grids sichern sich die einzelnen Knoten ebenfalls gegen den Ausfall eines oder mehrerer Knoten ab, darüber hinaus wird aber auch die I/O Performanz deutlich erhöht, da sich hier viele System gemeinsam die Last teilen, bestimmte Aufgaben parallelisiert werden oder mit Hilfe von Load Balancing Mechanismen optimal über die einzelnen Knoten verteilt werden können. In einem Storage Grid sollten die einzelnen Komponenten möglichst linear und unlimitiert skalieren. Komponenten müssen dynamisch austauschbar sein und sie müssen transparent aus dem Grid hinzugefügt bzw. entfernt werden können. Die physikalischen Speichermedien (i.e. Platten) stehen entweder allen Knoten des Grids zur Verfügung oder sind den einzelnen Knoten dediziert zugeordnet. Im zweiten Fall ermöglichen Replikationsverfahren mit Cache-Coherence Garantie sowie Proxytechnologien, daß die Daten jederzeit von jedem beliebigen Knoten aus zu gegriffen werden können. Die physikalische Anordnung der Knoten in einem Storage Grid sollte für den Anwender vollkommen transparent sein ebenso wie der tatsächliche I/O Pfad. Zur Erhöhung der Performance können einzelne I/Os in kleinere Segmente (Chunks) aufgeteilt werden, die wiederum jedes für sich parallel von verschiedenen Knoten bearbeitet werden. Diese Technik fand ursprünglich in High Performance Computing Umgebungen Anwendung, wird aber zunehmen auch im kommerziellen Bereich eingesetzt. Viele Technologien, die den Storage Grids und Compute Grids zugrunde liegen basieren auf Ergebnissen eines relative neuen Forschungszweiges über das sogenannten „Swarm Computing“, in dem untersucht wird, wie sich aus relativ einfachen Basiseinheiten äußerst komplexe Gebilde und signifikante Synergieeffekte erzielen lassen.

Die Organisation der Daten in einem Storage Grid stellt besondere Herausforderungen dar. Im Bereich des dateibasierten Datenzugriffs konkurrieren mehrere Technologien, die es erlauben, die Adressräume der einzelnen Knoten zu virtualisieren und in einem gemeinsamen Adressraum, dem „Global Namespace“, zu verwalten. Eine Erweiterung des NFSv4 Protokolls stellt einen sehr erfolgversprechenden Ansatz dar. Die sogenannten pNFS Extensions erlauben den parallelisierten Zugriff auf eine Aggregation von File Servern. Dabei findet jede I/O Operation in einer Art

dreistufigen Transaktion statt. Ein Client, der z.B. eine Datei lesen möchte, wendet sich in einem ersten Schritt an den sogenannten Metadata Server (MDS) - eine Art Verzeichnisdienst -, um die genaue Lokation der Datei zu erfragen. Der MDS kann nun den Client authentifizieren bzw. seine Authorisierung überprüfen. In einem zweiten Schritt erhält der Client alle notwendigen Informationen, um die gewünschte Datei zu lesen. Im dritten Schritt erfolgt der eigentliche Zugriff auf den File Server, der die Datei gespeichert hat. Um die Zugriffsgeschwindigkeit zu erhöhen, kann eine einzelne Datei auch über mehrere File Server hinweg „gestriped“ werden. Prinzipiell erlaubt pNFS neben dem dateibasierten Zugriff auch den Zugriff auf Datenblöcke bzw. Datenobjekte.

Eine weitere Möglichkeit innerhalb des NFSv4 Protokolls, einen Global Namespace anzulegen, ermöglichen sogenannte „Referrals“. Dabei erhält eine Client beim Zugriff auf einen File Server entweder die angeforderte Datei oder einen Hinweis (i.e. Referral), wo sie sich aktuell tatsächlich befindet. Mit dieser Information kann dann der finale Dateizugriff erfolgen. Beide Technologien (i.e. pNFS und Referrals) können miteinander kombiniert werden.

### **Evolution der Netzwerke**

Ein Nebeneffekt der Server Virtualisierung, die die optimale Ausnutzung physikalischer Ressourcen ermöglicht, ist eine signifikant erhöhte Last auf die Computer- und Speichernetzwerke. Server Virtualisierung aggregiert sehr viele Applikationen und OS Instanzen auf einzelnen physikalischen Servern. Jede dieser Applikationen bzw. OS Instanzen erzeugt signifikanten I/O Verkehr. Der Einsatz von multi-socket und multi-core Server Architekturen erzeugt ebenfalls erhöhte Last auf den Netzwerken. Netzwerke mit erhöhter Bandbreite und geringerer Latenz, Netzwerkkonsolidierung und Netzwerkvirtualisierung versprechen hier Abhilfe zu schaffen. Im Bereich der Speichernetzwerke (SANs) konkurrieren Ethernet, Fibre Channel und Infiniband als Transportmechanismen. Der blockbasierte Zugriff auf Daten erfolgt in der Regel über SCSI Befehle, die wiederum von verschiedensten Speicherprotokollen verwendet werden (e.g. FCP, iSCSI, SRP, ...). Eine Konsolidierung der Netzwerke wird beispielsweise mittels des relativ neuen Protokolls FcoE angestrebt. Dabei werden die Frames des Fibre Channel Protokolls direkt über Ethernet transportiert. Besonders performante Speichernetzwerke transportieren SCSI Befehle über Infiniband, welches Dank seiner RDMA (Remote direct Memory Access) Technologie besonders im High Performance Computing Bereich, wo es auf extrem geringe Latenzzeiten ankommt, Anwendung findet. Leistungsfähige Netzwerke sind für die Architektur zukünftiger Rechenzentren von entscheidender Bedeutung.

### **Evolution der Speichermedien**

Seit der Einführung der ersten kommerziell erhältlichen Festplatte vor etwas mehr als 50 Jahren hat sich die sogenannte „areal density“, d.h. die Packungsdichte, mit der Bits auf der magnetisierten Oberfläche von Festplatten gespeichert werden, nahezu um das 200 millionenfache erhöht. Dies führte zu immer kleineren Platten mit immer größerer Speicherkapazität. Gleichzeitig wurde auch die Umdrehungsgeschwindigkeit dieser Platten erhöht, jedoch um einen vielfach geringeren Faktor. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Platten ist jedoch ein maßgeblicher Faktor für die Zugriffsgeschwindigkeit auf die Daten. Setzt man die Zugriffsgeschwindigkeit in Relation zu der Kapazität einer Platte, so ergibt sich die sogenannten „access density“. Paradoxerweise hat sich diese Kenngröße trotz aller technologischen Weiterentwicklungen in den letzten Jahrzehnten deutlich verschlechtert. Der Einsatz immer höher kapazitive Platten, deren Rotationsgeschwindigkeit nahezu stagniert, führt dazu, daß sich Anwendungen immer häufiger in den Status „waiting for IO“ befinden. Da sich die Leistungsfähigkeit der CPUs sowie der Netzwerke ebenfalls schneller entwickeln als die Rotationsgeschwindigkeit der Festplatten, wird sich dieses Problem in Zukunft weiter verschärfen. Für dieses Problem bieten sich mehrere Lösungen an, von denen jedoch nur eine dauerhaft erfolgreich zu

sein scheint. So kann man z.B. nur die äußeren Zylinder, die besonders schnell im Zugriff sind, beschreiben oder man kann einfach mehr Festplatten einsetzen als man von der benötigten Kapazität her eigentlich benötigt. Beide Methoden sind ökonomisch gesehen jedoch wenig sinnvoll. Eine wirkliche Lösung scheint sich mit der ursprünglich in der Unterhaltungselektronik eingesetzten Flashspeichertechnologie anzudeuten. Flashspeicher werden häufig in Form von Solid State Drives (SSDs) angeboten, was dazu geführt hat, daß die Begriffe Flashspeicher und SSD fälschlicherweise synonym gebraucht werden. SSDs, die auf DRAM Technologie basieren gibt es schon seit mehr als 30 Jahren. DRAM-Chips sind flüchtig und verbrauchen pro Gigabyte deutlich mehr Energie als eine konventionelle Festplatte. Ihr Vorteil liegt dafür in der deutlich höheren Zugriffsgeschwindigkeit. Mitte der 1990er Jahre auch als „RAM-Disk“ eingeführt, fanden sie von Anfang an Einsatz in Servern, wo auf ihnen Cacheinhalte, temporäre Dateien und Journale von Datei-, Web-, Datenbank-Servern o. Ä. abgelegt wurden. SSDs der neuen Generation sind digitale Speicherchips - auch Fmods genannt. Die genaue Bezeichnung lautet Flash-EEPROM. Sie gewährleisten eine persistente Speicherung bei gleichzeitig niedrigem Energieverbrauch. Flash-Speicher sind portabel und miniaturisiert und neben den häufig erwähnten SSDs in unterschiedlichsten Formfaktoren verfügbar. SSDs können in externen Plattensystemen oder als interne Platten in Servern eingesetzt werden. Fmods können auch direkt in Host-Bus-Adapter oder auf das Motherboards aufgebracht werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Erweiterung des Hauptspeichers durch Fmods bzw. die Erweiterung des Schreib-/Lesecaches von Applikationen. Es finden sich auch verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Fmods, DRAM, und Festplattentechnologien.

Flash Storage bietet eine neue, zusätzlich Plattform für das sogenannte „dynamic tiering“ von Daten. Dabei können Daten durch intelligente „placing“ Algorithmen entsprechend ihrer aktuellen Wertigkeit über die einzelnen Tiers verteilt werden (RAM, Flash, SATA, SAS, Tape, ...). Traditionell wurden komplette Dateien zwischen den einzelnen Tiers verschoben (i.e. Hierarchical Storage Management – HSM). In jüngster Zeit geht man dazu über, die Granularität, mit der einzelne Teile von Dateien verteilt werden, zu verfeinern. So können beispielsweise die ersten Blöcke einer Datei von größerer Bedeutung sein als die mittleren Blöcke. Mit dieser Vorgehensweise nähert man sich im Speicherbereich dem an, was man auf der Ebene der Betriebssysteme das „Memory Paging“ nennt. Dabei werden virtuelle Adressen in physikalische Adresse übersetzt und nur die Teile einer Applikation im Hauptspeicher gehalten, die aktuell ausgeführt werden. Alle anderen Teile werden in den sogenannten „Swapspace“ ausgelagert. Der Zugriff auf Teile, die benötigt werden, sich aber noch nicht im Hauptspeicher befinden, erzeugt einen „Page Fault“. Ähnliche Mechanismen liegen dem „cachen“ von Blöcken (Daten und Befehle) in den Level 1,2 oder 3 Caches zugrunde. Auch heute noch liegen die Anschaffungskosten für Flash Storage deutlich über denen von Festplatten, wenn man die Kosten auf die Kapazität relativiert (GB/€). Legt man jedoch die Kosten auf die verfügbaren IOPS um (IOPS/€), so sind flashbasierte Speichersysteme schon heute preiswerter als Festplatten. Da der Preisverfall pro Jahr bei Flashspeichern stärker ist als bei Festplatten, ist es nur eine Frage der Zeit, wann Flashspeicher auch in Bezug auf GB/€ das attraktivere Speichermedium sein werden.

Auch an den Nachfolgern von Flashspeichern wird bereits gearbeitet. Besonders erfolgversprechend scheint hier das „Phase Change Memory“ zu sein, was deutlich höhere Schreibgeschwindigkeiten als heutige Flashspeicher ermöglicht und darüber hinaus auch wesentlich günstiger herzustellen ist. Diese neuen Speichermedien bezeichnet man auch als „Storage Class Memory - SCM“, da ihre Eigenschaften in etwas zwischen DRAM und Flash anzusiedeln ist.

## **Evolution der Storage Cloud**

Schon in den späten 90er Jahren gab es die ersten Ansätze, bestimmte Aufgaben eines Rechenzentrums an spezialisierte Anbieter auszulagern. Es entstanden sogenannte xSPs, wie z.B.

Storage Service Provider, deren Aufgabe es war, Speicherhardware nach „Utility“ Modellen zur Verfügung zu stellen oder aber auch die gesamte Datensicherung eines Kunden zu übernehmen.

Eine Reihe von Ursachen führten dazu, daß sich dieses Konzept nicht durchsetzen konnte. So mußten die hohen Investitionskosten der Service Anbieter an die Kunden weitergegeben werden, was letztendlich von diesen nicht akzeptiert wurde. Darüber hinaus war die Netzwerk-Infrastruktur - insbesondere die „letzte Mile“ - noch nicht für große Datenvolumina ausgelegt. Lediglich die sogenannten ASPs (Applications Service Provider) konnten sich am Markt behaupten. Sie stellen ihren Kunden nicht allein Hardware zur Verfügung, sondern auch Applikationen wie z.B. Salesforce.com, Google Gmail, etc. ...). Mittlerweile ist ein Jahrzehnt vergangen. Die Preise für Hardware sind dramatisch gesunken und die modernen Netzwerke stellen enorme Bandbreiten zur Verfügung. In den Industrieländern sind die meisten Haushalte über DSL oder Kabel mit dem Internet verbunden. Diese beiden Faktoren befördern eine Renaissance des xSP Konzeptes. SaaS (Software as a Service) tritt die Nachfolge der ASPs an. IaaS (Infrastructure as a Service), die der reinen Hardware orientierten xSPs. All dies geschieht unter dem Sammelbegriff „Cloud Computing“. Als Cloud Computing bezeichnet man die Virtualisierung von Ressourcen (Server, Netzwerk und Storage), die von Kunden nach Bedarf abgerufen werden können. So können z.B. Speicherressourcen als Storage as a Service zentral verwaltet werden und gegen Gebühren über das Internet mit den Anwender verbunden werden. Die notwendige Hardware nennt man auch „cloud-enabled Storage“. Die Architektur für „cloud-enabled Storage“ bilden die sogenannten Storage Grids, in denen Ressourcen dynamisch hinzugefügt bzw. entfernt werden können um, um beispielsweise Spitzenlasten bewältigen zu können.

Insbesondere bei den „public“ Clouds, die sich nicht hinter einer firmeneigenen Firewall verbergen, gilt es Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. So teilen sich in der Regel mehrere Kunden die Infrastruktur und es muß unter allen Umständen verhindert werden, daß ein unbefugter Datenzugriff erfolgt. Aus diesem Grund müssen alle „cloud-enabled“ Stagesysteme auch „multi-tenancy“ fähig sein, d.h. die virtualisierten Resource sicher voneinander abschirmen können. Einen Schritt weiter geht das Konzept der Platform as a Service (PaaS). Hier werden nicht nur die notwendigen Hardwareressourcen angeboten, sondern zusätzlich allgemein verwendbare Applikationen wie z.B. Developer Tools, Datenbanken, Applikations Server, etc. ...). Amazon etwa erlaubt es Kunden, Rechen- und Speicherkapazitäten inklusive von Datenbankinstanzen zu mieten.

#### **Kontaktadresse:**

##### **Christian Bandulet**

Oracle  
Robert-Bosch-Str. 5  
D-63303 Dreieich

Telefon: +49 (0) 6103-397 188  
E-Mail christian.bandulet@oracle.com  
Internet: www.oracle.com