

Middleware – Cloud Computing

Einführung

Wintersemester 2025/26

Tobias Distler, Christian Berger

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Einführung

Überblick

Herausforderungen

■ Merkmale

- **Auslagerung von Diensten**, Berechnungen und/oder Daten
- Verfügbarkeit **scheinbar unbegrenzter Ressourcen**
- Einfacher universeller Zugriff
- **Schnelle dynamische Skalierbarkeit**

■ Grundlagen

- Hochskalierbare verteilte Infrastrukturen auf Provider-Seite
- Leistungsfähige Netzwerkanbindung auf Client-Seite

■ Literatur



Mache Creeger

Cloud Computing: An Overview

Queue – Distributed Computing, 7(5), 2009.



Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz et al.

A View of Cloud Computing

Communications of the ACM, 53(4):50–58, 2010.

- Häufiges Problem: Auslastungsabhängige Bereitstellung von Ressourcen für Dienste
 - Lastentwicklung eventuell unbekannt
 - **Ungünstiges Verhältnis zwischen Spitzen- und Durchschnittslast**
 - Starke Lastschwankungen über den Tag bzw. das Jahr hinweg
- Mögliche **Konsequenzen ungenauer Bedarfsvorhersagen**
 - Bereitstellung von zu wenigen Ressourcen (*Underprovisioning*)
 - Bereitstellung von zu vielen Ressourcen (*Overprovisioning*)
- Potentielle Vorteile durch Verlagerung von Diensten in die Cloud
 - Verfügbarkeit zusätzlicher Ressourcen im Sekunden- bzw. Minutenbereich
 - **Dynamische Skalierbarkeit in beide Richtungen**
 - Abrechnungsmodell: *Pay-as-you-go*
 - Kosten orientieren sich am tatsächlichen Ressourcenverbrauch
 - Feingranulare Abrechnung [Beispiele: Virtuelle Maschine: pro Stunde, Netzwerk: pro Megabyte]
 - **Achtung:** Dienste in der Cloud zu betreiben ist nicht automatisch günstiger!

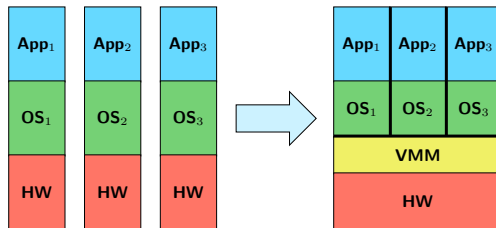
- Wartung und Reparatur von Systemkomponenten
 - Aufgabe des Cloud-Anbieters
 - **Einschränkung von Verfügbarkeitsgarantien** für Cloud-Dienste
 - Nutzer hat keinen Einfluss auf Zeitpunkt und Dauer der Maßnahmen
- Technische Infrastruktur in Cloud-Datenzentren
 - Zusammenschluss einer großen Anzahl verhältnismäßig kleiner Server
 - Günstige Einkaufspreise aufgrund großer Stückzahlen
 - Konsequenzen
 - **Ausfälle einzelner Komponenten werden zum Regelfall**
 - Kompatibilitätsprobleme aufgrund heterogener Hardware
 - Realistisches Fehlerszenario: Ausfall kompletter Datenzentren
- Maßnahmen zur **Tolerierung von Fehlern**
 - Verteilung eines Diensts auf verschiedene Datenzentren
 - Replikation von Daten über mehrere Standorte

■ Web-Services

- Sprachunabhängige Basis für entfernte Kommunikation
- Bereitstellung von Diensten in der Cloud
- Schnittstelle zur Cloud-Konfigurierung

■ Virtualisierung

- Paralleler Betrieb mehrerer *virtueller Maschinen* auf einem Rechner
- Höhere Auslastung einzelner Rechner [2-3% (ohne Virt.) → bis zu 80% (mit Virt.) [Creeger]]
- Kostenersparnis durch geringeren Platzbedarf



Everything as a Service

■ Kategorien

■ Software as a Service (SaaS)

- Bereitstellung vom Endnutzer verwendeter Dienste
- Beispiel: Google Docs

■ Platform as a Service (PaaS)

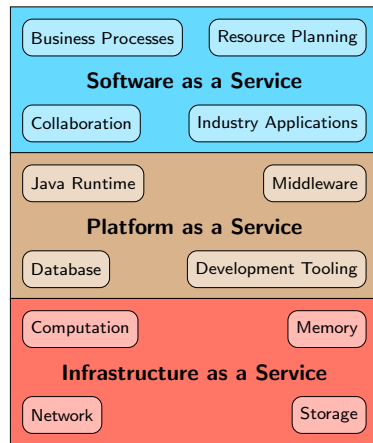
- Bereitstellung von Middleware zur Implementierung komplexer Dienste
- Beispiel: Google AppEngine

■ Infrastructure as a Service (IaaS)

- Bereitstellung von Rechen- und Speicherinfrastruktur
- Beispiel: Amazon EC2

■ In der Praxis

- Oftmals als Schichten aufeinander aufbauend
- Grenzen zwischen Kategorien fließend



■ Öffentliche Cloud (*Public Cloud*)

- Unternehmen (z. B. Amazon, Microsoft) stellen ihre Infrastruktur zur Verfügung
- Cloud-Nutzer müssen selbst vergleichsweise wenige Ressourcen vorhalten

■ Private Cloud

- Nutzung der bereits im eigenen Unternehmen vorhandenen Infrastruktur
- Einsatz von Virtualisierung zur flexiblen Verwaltung von Ressourcen

■ Hybride Cloud

- Kombination aus privater und öffentlicher Cloud
- Mögliche Aufteilung
 - Kritische Daten verbleiben im privaten Teil der Cloud
 - Öffentliche Cloud vor allem zur Deckung von Bedarfsspitzen

■ Multi Clouds / Cloud-of-Clouds

- Parallele Nutzung verschiedener öffentlicher Clouds
- Absicherung gegen den Ausfall eines Cloud-Anbieters

- „Vendor Lock-In“-Problem: Starke Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter
 - **Erschwerter Anbieterwechsel**
 - Gründe: fehlende Standards, aufwendiger Datentransfer
- Technische Limitierungen
 - **Ineffizienter Transfer großer Datenmengen** in die bzw. aus der Cloud
[Amazon bietet daher z. B. an, Daten per Festplatte zu transferieren: <https://aws.amazon.com/de/snowball/>]
 - Optimale Isolation von virtuellen Maschinen ist nicht immer möglich
 - Sicherheitsprobleme (z. B. Schwachstellen in der Virtualisierungssoftware)
 - Problem der *Performance Isolation*: Instabile bzw. unvorhersehbare Performanz bestimmter Operationen (z. B. Festplattenzugriffe)
- Weiterführende Aspekte
 - **Vertraulichkeit von Daten**
 - Rechtliche Fragen (Beispiele)
 - Dürfen medizinische Daten in einer öffentlichen Cloud verarbeitet werden?
 - Werden gesetzliche Bestimmungen zum Speicherort von Daten eingehalten?

Einführung

Überblick

Herausforderungen

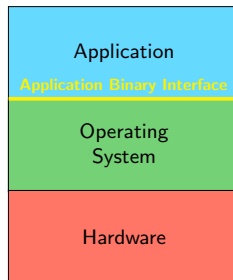
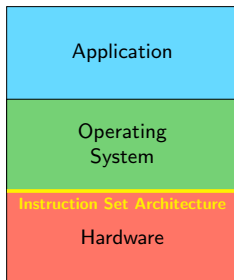
Wie lässt sich Virtualisierung praktikabel realisieren?

■ Anforderungen an ein virtualisiertes System

- Äquivalenz
- Ressourcenkontrolle
- Effizienz

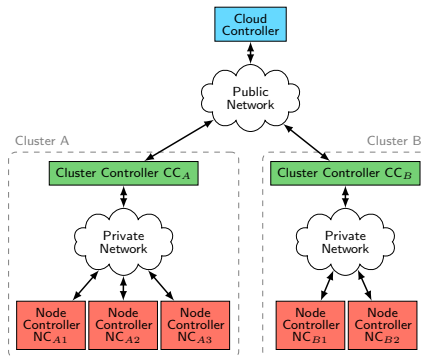
■ Virtualisierungsebenen

- Systemvirtualisierung: Virtualisierung der *Instruction Set Architecture*
- Prozessvirtualisierung: Virtualisierung des *Application Binary Interface*



Wie wird die eigene Infrastruktur für andere nutzbar?

■ Aufbau einer Infrastruktur-Cloud



■ Aufgabenbereiche

- Verwaltung von physischen Maschinen
- Verwaltung und Platzierung von virtuellen Maschinen
- Anbindung an Datenspeicher

Wie lassen sich große Datenmengen verwalten?

■ Ansatz

- Speziell auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnittene Systeme
- **Enge Verzahnung mit der Anwendung**

■ Beispiel: Google File System

- Anforderungen
 - Sehr große Dateien
 - Hauptsächlich sequentielle Schreibzugriffe, kaum Modifikationen
- Kein Dateisystem im klassischen Sinne
- Optimierte Auslastung der Netzwerkverbindungen

■ Beispiel: Amazon Dynamo

- Anforderungen
 - Große Anzahl an vergleichsweise kleinen Datensätzen
 - Hohe Verfügbarkeit
- Replizierter Datenspeicher für Schlüssel-Wert-Paare
- Abgeschwächte Konsistenzgarantien

Wie lassen sich große Datenmengen verarbeiten?

- Beispiel: Google (und viele andere)
 - Anforderungen
 - **Parallele Nutzung einer großen Anzahl von Rechnern**
 - Einfache Realisierung von Anwendungen
 - *MapReduce*
 - Framework übernimmt Verteilung der Anwendung
 - Programmierer implementiert **zwei Methoden**
 - * Map: Abbildung der Eingabedaten auf Schlüssel-Wert-Paare
 - * Reduce: Zusammenführung der von Map erzeugten Schlüssel-Wert-Paare
- Koordinierung und Konfigurierung verteilter Anwendungen
 - Anforderungen
 - **Abstimmung zwischen einer großen Anzahl von Prozessen**
 - Ausfallsichere Verwaltung von Konfigurationsinformationen
 - Beispiel: *Chubby* (Google)
 - Bereitstellung als externer Koordinierungsdienst
 - Generische Schnittstelle zur Implementierung komplexer Abstraktionen