

Cloud Computing

- Begriffsklärung

- Grundeigenschaften

- Technologie und Algorithmen

- Formen

- Vergleich: Timesharing-Systeme

Cloud-Computing-Systeme

- Amazon Web Services

- Twitter



»We call it cloud computing (...)«

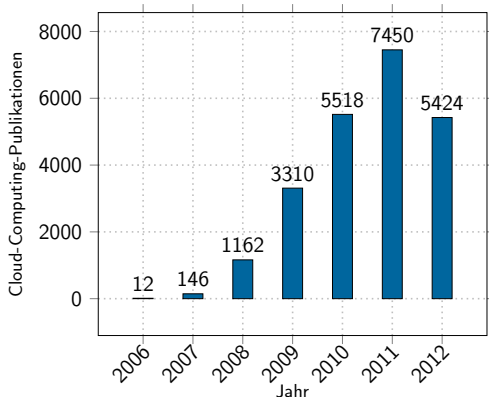


Eric Schmidt (Google)

Search Engine Strategies Conference, San Jose, 9. August 2006



Cloud Computing: ... und seine Folgen.



- Gravierende Auswirkungen des Modeworts „Cloud Computing”
 - Forschung
 - Wirtschaft
- Cloud Computing
 - Fokus auf Technik
 - $\text{Cloud} \hat{=}$ Internet, $\text{Cloud Computing} \hat{=}$ Internet + ?



- Wieso entstand Cloud Computing zu dieser Zeit? Wieso nicht früher?
- **Infrastruktur**, Hard- und Software-Technologie ✓
 - Commodity-Hardware
 - Virtualisierung
- **Systemsoftware**, Verteilte Systeme und deren Algorithmen ✓
 - Parallele, verteilte Datenverarbeitung
 - Schlüssel-Wert-Datenbank (Key-Value-Store)
 - Verteilter Koordinierungsdienst
 - Verteilte, dezentrale Datenhaltung
- **Dienstleistungsprinzip**, Geschäftsmodell („... as-a-Service“) ✓
 - *Service-Oriented Architecture* (SOA)
 - Infrastructure-as-a-Service
 - Platform-as-a-Service
 - Software-as-a-Service



- Erfüllbarkeit der Grundeigenschaften von Cloud-Computing-Systemen
- **Skalierbarkeit**, unter Wahrung von:
 - Konsistenz (Consistency)
 - Verfügbarkeit (Availability)
 - Partitionstoleranz (Partition tolerance)→ CAP-Theorem
- **On-Demand**, zum Ermöglichen von:
 - dynamischer Zuordnung von Ressourcen
 - Abrechnung nach tatsächlichem Verbrauch
- **Robustheit**, zur Vermeidung von:
 - Inkonsistenzen im Datenbestand
 - (unkontrollierter) Fehlerausbreitung im System



Systeme aus Commodity-Hardware



ALDI informiert

MEDION MD 8820 Multimedia Entertainment PC mit Intel® Core™2 Duo Prozessor E6750

PC Highlight für alle

... Do., 07. Feb.

2,66 GHz
AMD 12 Core
1000 MHz

PROZESSORLEISTUNG MIT SPASSFUNKTION
Intel® Core™2 Duo Prozessor E6750
1.66 GHz, 4 MB L2 Cache, 1000 MHz FSB

2 GB
Arbeitsspeicher

FÜR ANSPRUCHSVOLLE ANWENDUNGEN
2 GB DDR2-Speicher arbeitsspeicher mit 667 MHz FSB

500 GB
Festplatte

ENORME FESTE PLATTE
500 GB SATA II, 7200 RPM, 16 MB Cache

AVANTAGE
Medion Cinema TV Tuner

DIE GANZE WELT DES FERNSEHENS
TV-Tuner für DVB-T und analoges TV

4-Kanal-Boxer
Medion Cinema TV

HOCHAUFLÖSUNGS-ULTRABREITBAND-GRABER
Medion Cinema TV mit 16:9 Format und 1080i Auflösung

DVD/CD
Brenner

MULTIMEDIA DVD/CD BRENNER
Medion Standard DVD/CD Brenner mit DVD-RAM und Dual Layer Unterstützung

eSATA- & HDMI- Anschluss

HIGH-PERFORMANCE
Medion Cinema TV mit 16:9 Format und 1080i Auflösung

High Speed Internet
Medion Cinema TV mit 16:9 Format und 1080i Auflösung

KABELLOS INS INTERNET
Medion Cinema TV mit 16:9 Format und 1080i Auflösung

MEDION®
www.medion.de

ALDI
599,-

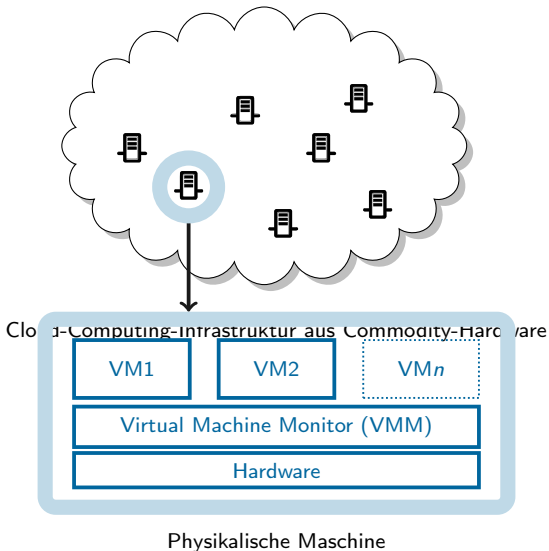
gut
Medion Cinema TV mit 16:9 Format und 1080i Auflösung

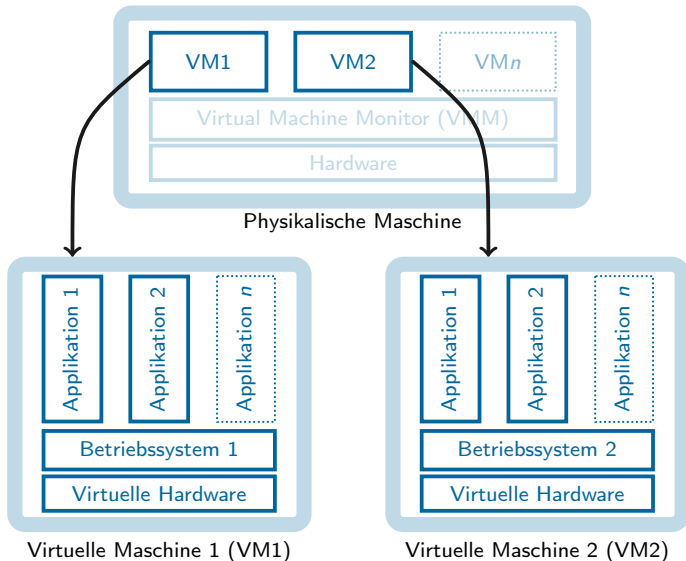
www.aldi.de



- Charakteristik
 - hoher Grad der Verteiltheit
 - „unbegrenzte“ Speicherkapazität
- Herausforderungen für verteilte Systeme
 - **Ausfälle sind** nicht die Ausnahme sondern **der Regelfall**
 - System muss trotz vieler, regelmäßig ausfallender Knoten die geforderten Kriterien (→ CAP-Theorem) gewährleisten
- Offene Standards
 - Verwendung heterogener Knoten fordert Verwendung offener Standards
 - Adressiert Problem der Anbieterabhängigkeit („*Vendor Lock-In*“)
 - Gilt sowohl für Soft- als auch Hardware







- System-Eigenschaften
 - Massiver Grad an Verteiltheit (→ „*Who owns the most servers*“)
 - Dynamische Anpassung verfügbarer Rechen- und Speicherressourcen
 - Häufiger Ausfall einzelner Komponenten des Gesamtsystems
- Typische Anwendungsszenarien in einer Cloud-Umgebung
 - Abarbeitung sehr großer Probleme
 - Verarbeitung riesiger Datenmengen
 - Beispiele: Suchindex-Erstellung, Graph-Operationen in sozialen Netzen
- Algorithmische Abbildung
 - Betriebsumgebung verlangt angepasste Systeme und Algorithmen
 - Aufteilung großer Aufgaben in **kleinere, verteilbare** und damit **parallel** zu verarbeitende Teilaufgaben (→ teile und herrsche)
 - Neue Konzepte zwingend notwendig um Cloud-Computing-Infrastruktur überhaupt effizient zu nutzen



■ MapReduce

- Framework zur parallelen Bearbeitung großer Datenmengen
- „*MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters*” (OSDI'04)
- Wichtige, einfache Datenstruktur: Schlüssel-Wert-Paare (Key-Value)

■ Ablauf

- Map- und Reduce-Phase(n)
- Anwendungs-Programmierer implementiert Map- und Reduce-Funktionen
- Jede Phase hat Schlüssel-Wert-Paare als Ein- und Ausgabe
- Mehrmalige Ausführung von Jobs zur Reduktion von Verzögerungen

■ Apache Hadoop (→ <http://hadoop.apache.org>), u.a.:

- Hadoop MapReduce
- Hadoop Distributed File System (HDFS)



Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat

MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters

In *Proceedings of 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'04)*, pp.137–149, 2004.

<http://www.usenix.org/events/osdi04/tech/dean.html>



- Schlüssel-Wert-Datenbanken (Key-Value-Stores)
 - Key-Value-Stores haben keine relationalen Datenbeziehungen und besitzen kein Datenbankschema
 - Auslagerung großer Teile der Logik (Datenbank → Applikation)
 - Extrem effizienter Datenzugriff auf Schlüssel-Wert-Paare
 - Beispiele: Amazon DynamoDB, Apache Cassandra, Google BigTable
- Abgrenzung zu SQL-Datenbanken
 - Aufweichen von Garantien ermöglicht Skalierbarkeit
 - BASE (Basically Available, Soft state, **E**ventual **C**onsistency) → NoSQL
 - ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) → SQL
- Apache CouchDB (Cluster of Unreliable Commodity Hardware)
 - Schemafreie Schlüssel-Wert-Datenbank
 - Datenverwaltung in JSON (Java Script Object Notation)
 - Peer-to-Peer für verteilte Datenverwaltung

→ Demo CouchDB



■ Verteilte Dateisysteme

- Unkonventionelle Schnittstellen, *sehr* verschieden im Vergleich mit herkömmlichen (verteilten) Dateisystemen → kein POSIX
- Replikation gewährleistet Fehlertoleranz beim Ausfall von Knoten
- Beispiele: Amazon S3, Google Filesystem

■ Verteilte Koordination

- Programmier-Schnittstelle ähnelt der von Dateisystemen
- Umsetzung von Sperrmechanismen (Locking), Anführerwahl
- Fehlertoleranz durch aktive Replikation
- Beispiele: Google Chubby, Yahoo ZooKeeper



Patrick Hunt, Mahadev Konar, Flavio P. Junqueira and Benjamin Reed

ZooKeeper: Wait-free Coordination for Internet-scale Systems

In *Proceedings of the 2010 USENIX Annual Technical Conference (ATC'10)*, 2010.

http://www.usenix.org/events/atc10/tech/full_papers/Hunt.pdf



- Infrastruktur: „*Infrastructure-as-a-Service*“ (IaaS)
 - Anmieten von Ressourcen (virtuelle Maschinen, Speicherkapazität)
 - Beispiele: Amazon Elastic Cloud Computing (kurz: Amazon EC2), Amazon S3, Microsoft Azure, Google Compute Engine
- Plattform: „*Platform-as-a-Service*“ (PaaS)
 - Anmieten von Laufzeitumgebung um Applikationen auszuführen
 - Beispiele: AWS Elastic Beanstalk, Google App Engine
- Software/Anwendung: „*Software-as-a-Service*“ (SaaS)
 - Statt starrer Lizenzierung von Anwendungen wird nur für den Benutzungszeitraum abgerechnet
 - Beispiele: Google Gmail, Auslagerung ganzer Geschäftsprozesse
- Gemeinsamkeiten
 - Abrechnung nach tatsächlichem Verbrauch („*pay what you use*“)
 - Garantierte Skalierbarkeit, keine langfristige Bindung („*on demand*“)
 - Prozessauslagerung auf entfernte Systeme

→ Problematik „*Vendor Lock-In*“



- „*How to Consider a Computer*” (1959)
 - Erste wissenschaftliche Arbeit zum Thema Timesharing von Bob Bemer (IBM)
 - „The Father of ASCII”: hat u.a. Backslash und Escape beigetragen
 - Weitblick: Erste Veröffentlichung zur Jahr-2000-Problematik im Jahre 1971 („*Time and the Computer*”)
- „*Utility Business Model*” (1961)
 - Rede von John McCarthy (Stanford University) am Massachusetts Institute of Technology (MIT)
 - Rechenleistung und Spezialanwendungen sollen verkauft werden wie andere Ressourcen — wie Wasser und Strom
- Timesharing-System mit Virtualisierung (1967)
 - IBM Cambridge Scientific Center, MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL): IBM CP-40
 - Native Virtualisierung



Vergleich: Timesharing, Cloud Computing

- Gemeinsamkeiten
 - Teilen von Ressourcen
 - Abrechnungsmodell
 - Aufteilung von Anwendungslogik und Benutzerschnittstelle
- Unterschiede
 - Transparenter Zugriff, ortsunabhängig
 - *Unendlichkeit* der Ressourcen
 - Grad der Verteilung, Netzstruktur



Cloud Computing

- Begriffsklärung

- Grundeigenschaften

- Technologie und Algorithmen

- Formen

- Vergleich: Timesharing-Systeme

Cloud-Computing-Systeme

- Amazon Web Services

- Twitter



- Idee: Ungenutzte Ressourcen der Amazon-Rechenzentren gewinnbringend vermieten
 - Dienste ermöglichen den Aufbau eigener, komplexer Systeme in einer Cloud-Infrastruktur (Auszug):
 - Elastic Compute Cloud (EC2) – Betrieb virtueller Maschinen
 - Simple Storage Service (S3) – Netzwerkbasierter Speicher-Dienst
 - Elastic Load Balancing – Lastverteilung für EC2
 - Elastic Map Reduce – MapReduce-Framework basierend auf EC2 und S3
 - DynamoDB – Key-Value-Store basierend auf Dynamo
 - Die Abrechnung erfolgt nach tatsächlichem Verbrauch **und** Standort
 - Betriebsstunden, Speicherbedarf
 - Transfervolumen, Anzahl verarbeiteter Anfragen
 - Standorte in Nord- und Südamerika, Europa und Asien
- AWS Preisübersicht: <https://aws.amazon.com/pricing>



Amazon Web Services (AWS)



- Twitter und Cloud Computing
 - Als junges Start-Up-Unternehmen zunächst keine eigene Infrastruktur
→ ohne Cloud Computing würde Twitter nicht existieren
 - Nutzt Cloud-Dienste (z. B. Amazon S3) und Projekte wie ZooKeeper
- Zahlen zu Twitter
 - 24 Milliarden Suchanfragen pro Monat
 - Google: > 100 Milliarden
 - Yahoo: 9.4 Milliarden
 - Bing (Microsoft): 4.1 Milliarden
 - Über 400 Millionen Tweets pro Tag
 - Über 100 Millionen aktive Benutzer (pro Monat)
 - Etwa 900 Mitarbeiter
- Rekorde (Tweets-pro-Sekunde, TPS)
 - 25.088 TPS: Ausstrahlung „*Castle in the Sky*“ in Japan (Dezember 2011)
 - 15.107 TPS: Wiederwahl Barack Obama (November 2012)
 - 6.049 TPS: Todesfall Steve Jobs (Oktober 2011)



■ Probleme

- Ständig steigende Systemkomplexität → stets neue Fehlerquellen
- Fehler müssen so früh wie möglich erkannt werden
- Entkopplung von Teilsystemen um Fehler-Ausbreitung zu verhindern

■ Twitter-Ausfall am 21. Juni 2012



■ Amazon-Web-Services-Ausfall (North Virginia) am 29. Juni 2012

- Ereigniskette:
Starke Unwetter → Stromausfall → Notstromversorgung fehlgeschlagen
- Verfügbarkeit großer Firmen, die auf Amazon Web Services angewiesen sind, war stark eingeschränkt (z. B. Instagram, Netflix, Pinterest)



- Cloud Computing ist das Resultat paralleler, teilweise unabhängiger Entwicklung; nicht geplant, aber auch kein Zufall
- Heutige Cloud-Projekte sind erste Prototypen; nicht weniger, aber auch nicht mehr
- Cloud Computing bildet die Grundlage für Unternehmen ohne Infrastruktur; ansatzweise wie Twitter
- Nicht zu vernachlässigen: Risiken durch Abhängigkeiten von Softwarekomponenten und Firmen („*Vendor Lock-In*“)
- Cloud-Computing-Vorlesung am Lehrstuhl 4
Wintersemester 2013/2014: Middleware – Cloud Computing

