

## Cloud Computing

Begriffsklärung

Grundeigenschaften

Basistechnologie Virtualisierung

Exkurs: Amazon und Twitter

Wintersemester 2014/2015: Middleware – Cloud Computing

Forschung und studentische Arbeiten



» *We call it cloud computing (...)* «

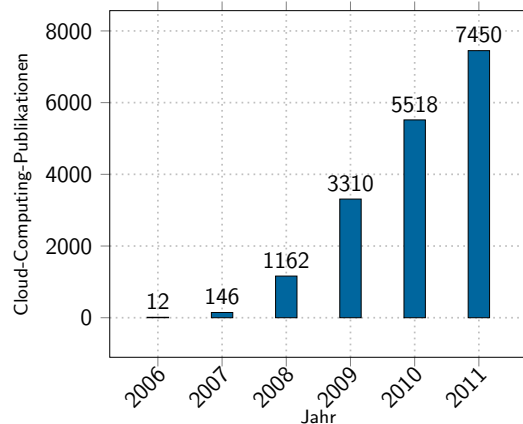


Eric Schmidt (Google)

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
- Cloud  $\hat{=}$  Internet, Cloud Computing  $\hat{=}$  Internet + ?



## Cloud Computing: Zeitpunkt, Grundeigenschaften

### ■ Wieso entstand Cloud Computing zu dieser Zeit? Wieso nicht früher?

#### ■ **Infrastruktur**, Hard- und Software-Technologie ✓

- Commodity-Hardware → Systemaufbau aus Standardkomponenten
- 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

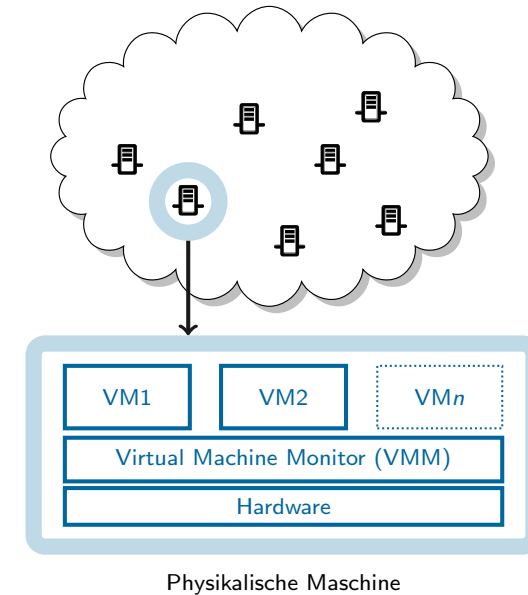


## Cloud Computing: Zeitpunkt, Grundeigenschaften

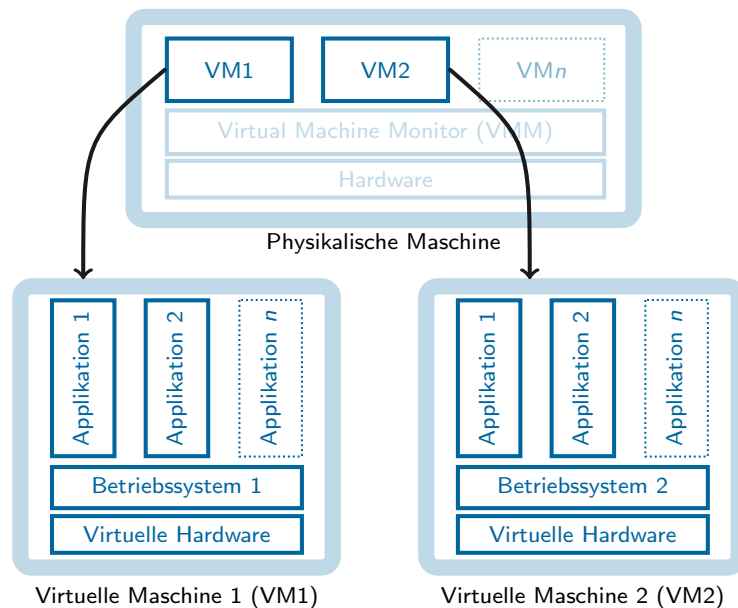
- Erfüllbarkeit der Grundeigenschaften von Cloud-Computing-Systemen
- **Skalierbarkeit**, unter Wahrung von:
  - Konsistenz (*Consistency*)
  - Verfügbarkeit (*Availability*)
  - Partitionstoleranz (*Partition tolerance*)→ CAP-Theorem
- **On-Demand**, zum Ermöglichen von:
  - dynamischer Zuordnung von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



## Basistechnologie Virtualisierung



## Basistechnologie Virtualisierung



## Amazon: Amazon Web Services (AWS)

- 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)

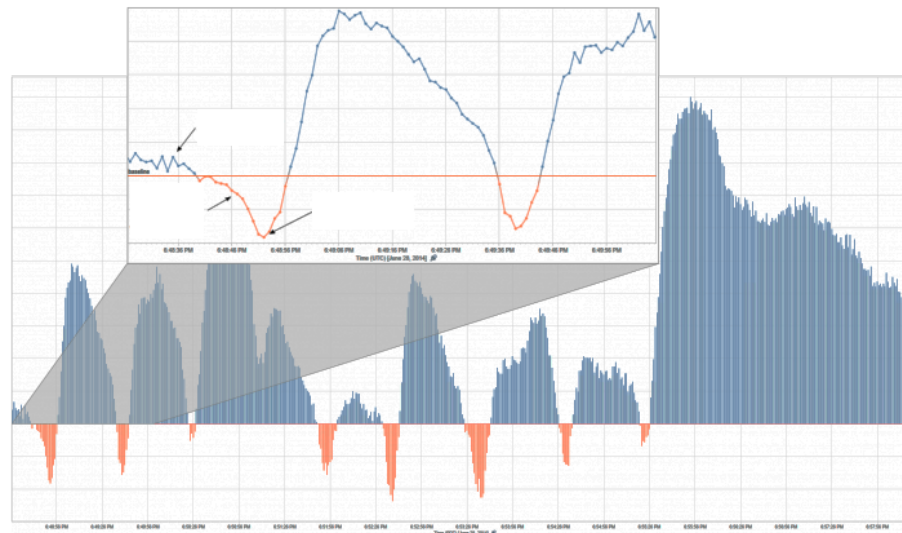


# Twitter

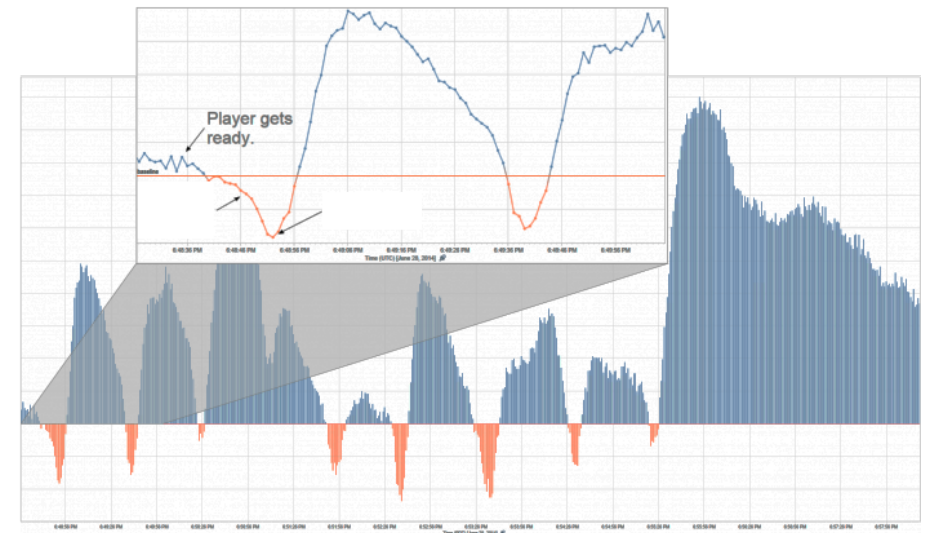
- Twitter und Cloud Computing
  - Als junges Start-Up-Unternehmen zunächst keine eigene Infrastruktur → ohne Cloud Computing würde Twitter nicht existieren
  - Nutzt Cloud-Dienste (z. B. Amazon S3) und Projekte wie ZooKeeper
- Zahlen zu Twitter
  - 24 Milliarden Suchanfragen pro Monat
    - Google: > 100 Milliarden
    - Yahoo: 9.4 Milliarden
    - Microsoft Bing: 4.1 Milliarden
  - Über 500 Millionen Tweets pro Tag (2011: 100 Millionen)
  - Über 255 Millionen aktive Benutzer (pro Monat)
  - Etwa 3.000 Mitarbeiter (davon sind 50 % Ingenieure)
- Rekorde (Tweets-pro-Minute, TPM)
  - 389.000 TPM: Brasilien gegen Chile (Weltmeisterschaft 2014)
  - 382.000 TPM: Super Bowl XLVIII (Februar 2014)
  - 300.000 TPM: Miley Cyrus (MTV Video Music Awards 2013)

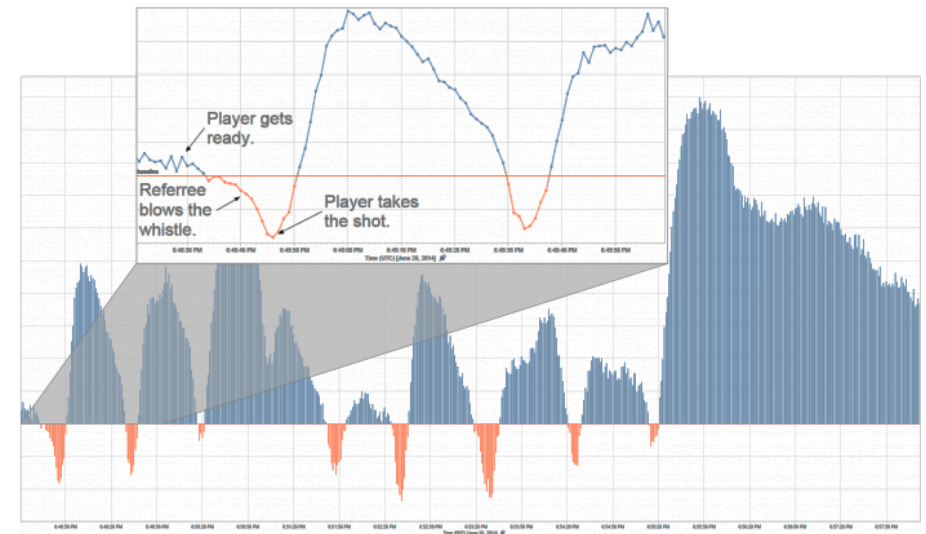
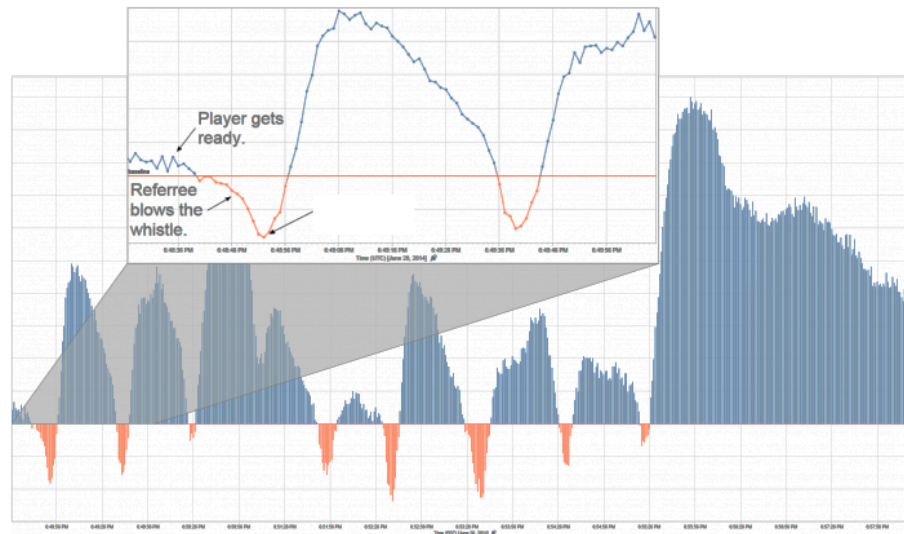


# Brasilien gegen Chile



# Brasilien gegen Chile: Elfmeterschießen auf Twitter





## Cloud Computing: Chancen und Tücken

- Cloud Computing ist das Resultat paralleler, teilweise unabhängiger Entwicklung; nicht gezielt geplant, aber auch kein purer Zufall
- Grundlage für Cloud-Computing-Systeme sind die etablierten Konzepten aus dem Bereich Verteilte Systeme
- Cloud Computing bildet das Fundament für Unternehmen ohne Infrastruktur; ansatzweise wie Twitter
- Nicht zu vernachlässigen: Risiken durch Abhängigkeiten von Softwarekomponenten und Firmen („Vendor Lock-In“)
- Cloud-Computing-Veranstaltung am Lehrstuhl 4  
**Wintersemester 2014/2015: Middleware – Cloud Computing**



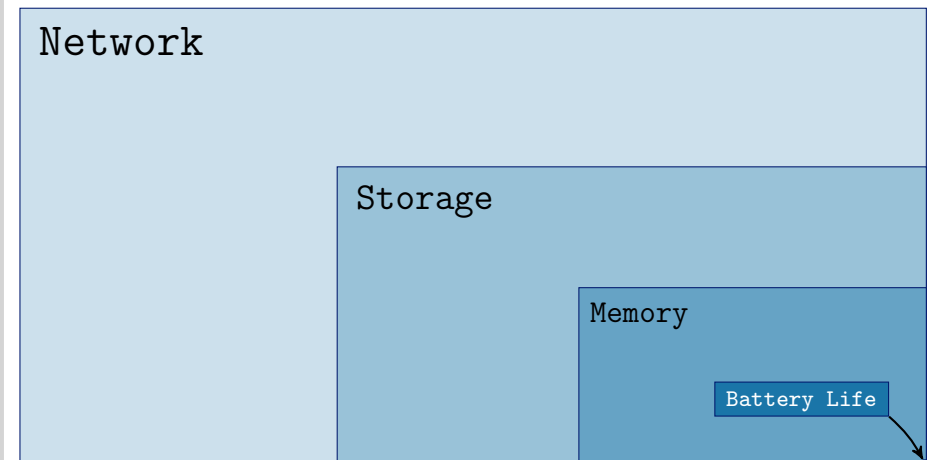
## Überblick

Cloud Computing  
Begriffsklärung  
Grundeigenschaften  
Basistechnologie Virtualisierung  
Exkurs: Amazon und Twitter  
Wintersemester 2014/2015: Middleware – Cloud Computing

Forschung und studentische Arbeiten



- Fokus der Arbeiten des Lehrstuhls für Informatik 4 lässt sich am besten mit dem Begriff *Operating Systems Engineering* beschreiben  
→ Betriebssysteme, Verteilte Systeme
- Forschungsgebiete
  - Energiegewahre Programmierung und energiegewahre Systeme  
→ Timo  
→ <http://www4.cs.fau.de/~thoenig/>
  - Cloud-Computing, sichere Cloud-Computing-Komponenten  
→ Klaus  
→ <http://www4.cs.fau.de/~stengel/>
  - Koordinierung querschneidender Belange, Automotive-Computing  
→ Christopher  
→ <http://www4.cs.fau.de/~ceibel/>
  - Byzantinische Fehlertoleranz (BFT), ressourceneffiziente BFT-Systeme  
→ Tobias  
→ <http://www4.cs.fau.de/Research/REFIT/>



- Batterielaufzeit  
→ 1 h vs. 10 h (Faktor 10)



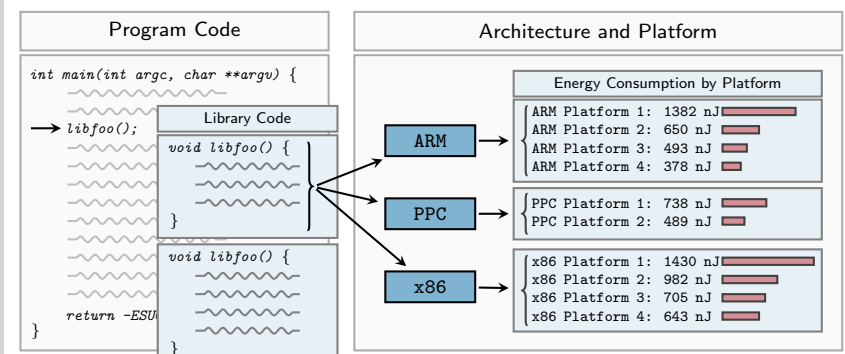
## Energiegewahre Programmierung und Systeme

- Fortschritt der letzten drei Jahrzehnte
  - Netzwerk: Faktor 3,3 Millionen
  - Speicherkapazität: Faktor 1,4 Millionen
  - Arbeitsspeicher: Faktor 0,5 Millionen
- Batterielaufzeit → 1 h vs. 10 h (Faktor 10)
- Energiesparmechanismen
  - Dynamische Systemaspekte: aktive Beeinflussung des Systemverhaltens
  - Statische Systemaspekte: Compiler-Optimierungen, Speicherzugriffsmuster
- Energiegewahre Programmierung
  - Rückwärtsgerichteter Optimierungsprozess
  - Aufwendige Analysemethoden



## SEEP


### Energiegewahre Programmierung mit SEEP



- Vorwärtsgerichteter Prozess, um Programmierer dabei zu unterstützen, energiegewahre Programme zu entwerfen
- Automatisierte Energieabschätzung für heterogene Plattformen

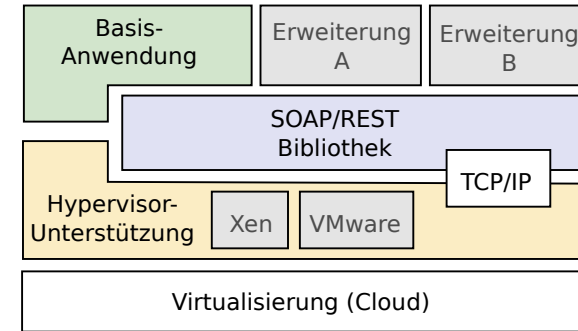


- System-Kontext
  - Klein(st)systeme (Stichwort: *Smart Dust*)
  - Eingebettete Systeme
  - Energy-Aware High-Performance-Computing (HPC), Exascale-Computing
- Aktuelle Forschungsarbeiten
  - Integrierte Ansätze für energiebewusste Programmierung
  - Energiebewertung einzelner *Software*-Systemkomponenten
  - Kombination mit Verfahren der statischen Codeanalyse
    - Bachelor- und Masterarbeiten
    - Studien- und Diplomarbeiten

 T. Höning, C. Eibel, R. Kapitza, and W. Schröder-Preikschat  
**SEEP: Exploiting Symbolic Execution for Energy-Aware Programming**  
*ACM Operating Systems Review (Best Papers from HotPower '11 Workshop on Power-Aware Computing and Systems) 45(3):58-62, 2012.*



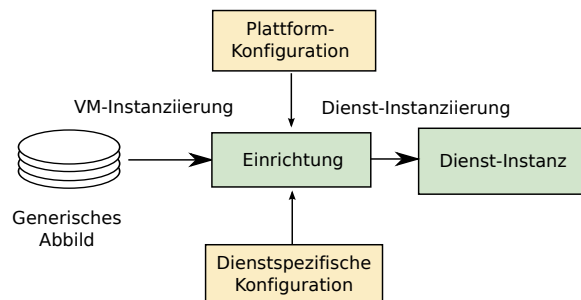
- Angepasste Architektur für Cloud-Umgebungen



- Reduzierte Angriffsfläche durch weniger Code
- Implementierung auf Basis von funktionaler Programmierung (Haskell)
- Partielle Verifikation



- Statische Konfiguration für jeweiligen Einsatzzweck
- Dynamische Adaption durch Instanziierung von Virtuellen Maschinen
- Migration von Daten



- Aktuelle Aufgaben:
  - Entwicklung von Anwendungsprototypen
  - Portierung auf verschiedene Hypervisor-Lösungen
  - Verifikation

→ Bachelor- u. Master-Arbeiten  
 → Master-Projekte

