

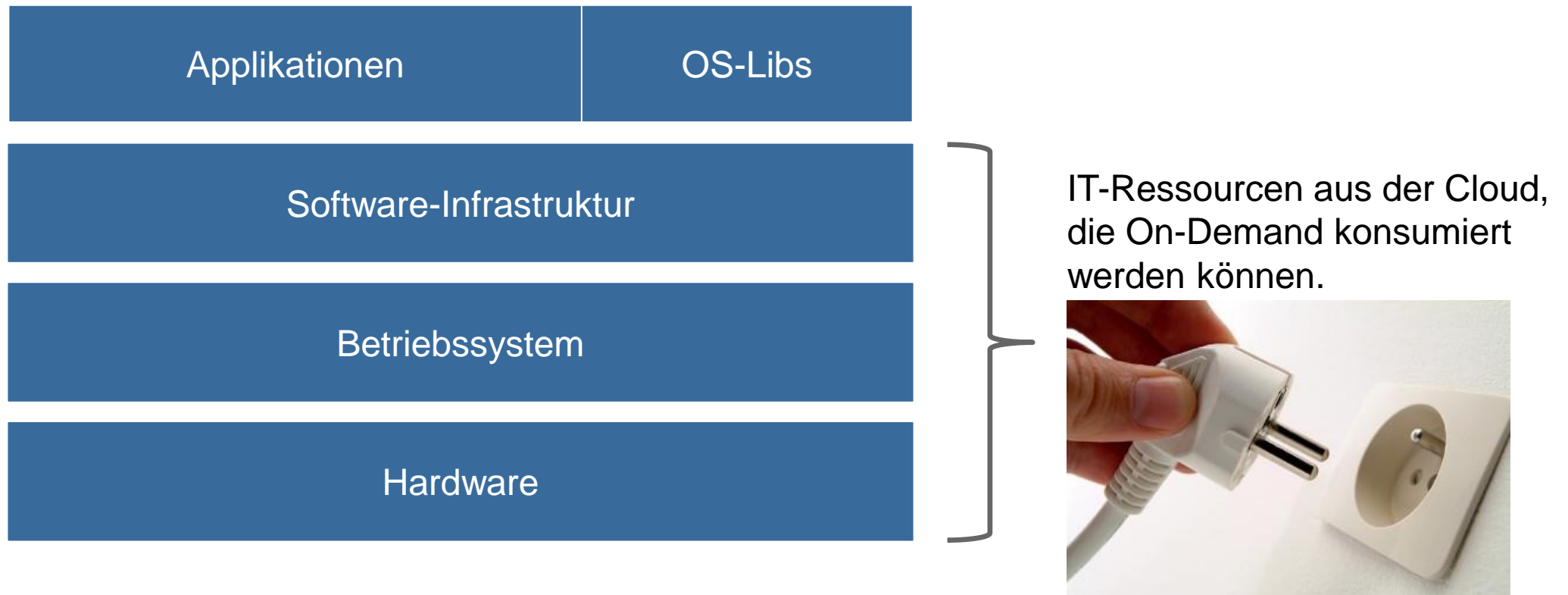
Cloud Computing

Zusammenfassung

Dr. Josef Adersberger

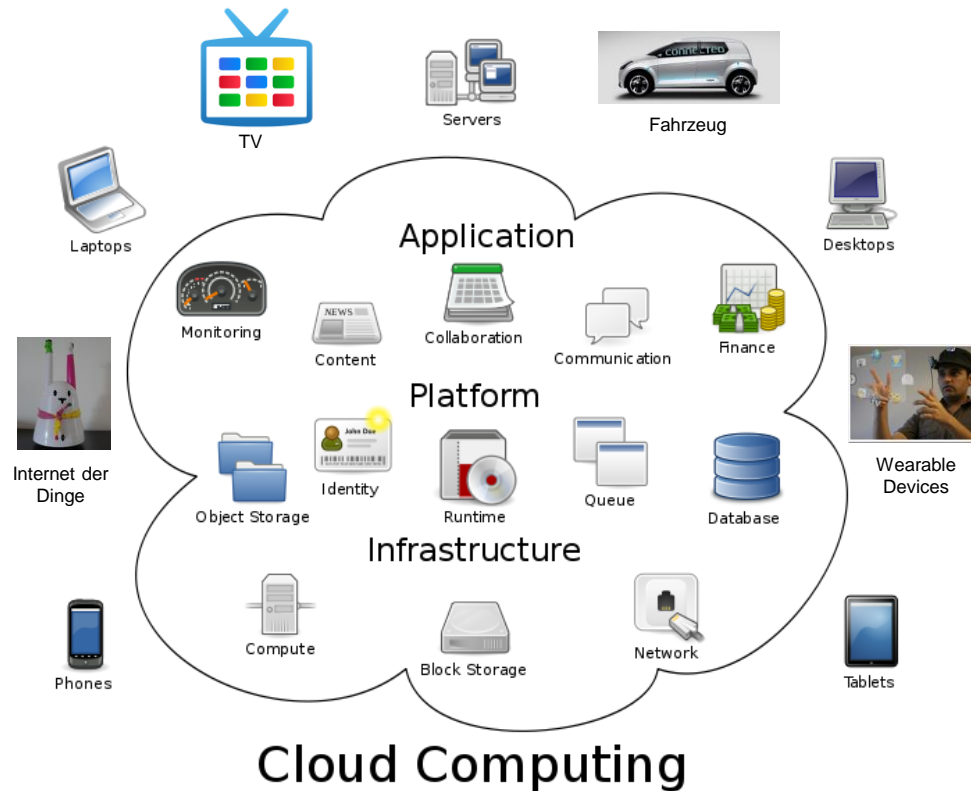
Kapitel 0: Einführung und Grundlagen

Im Kern geht es beim Cloud Computing um eine geringere Verbauungstiefe bei der Systementwicklung & dem Betrieb.



“computation may someday be organized as a public utility”, John McCarthy, 1961

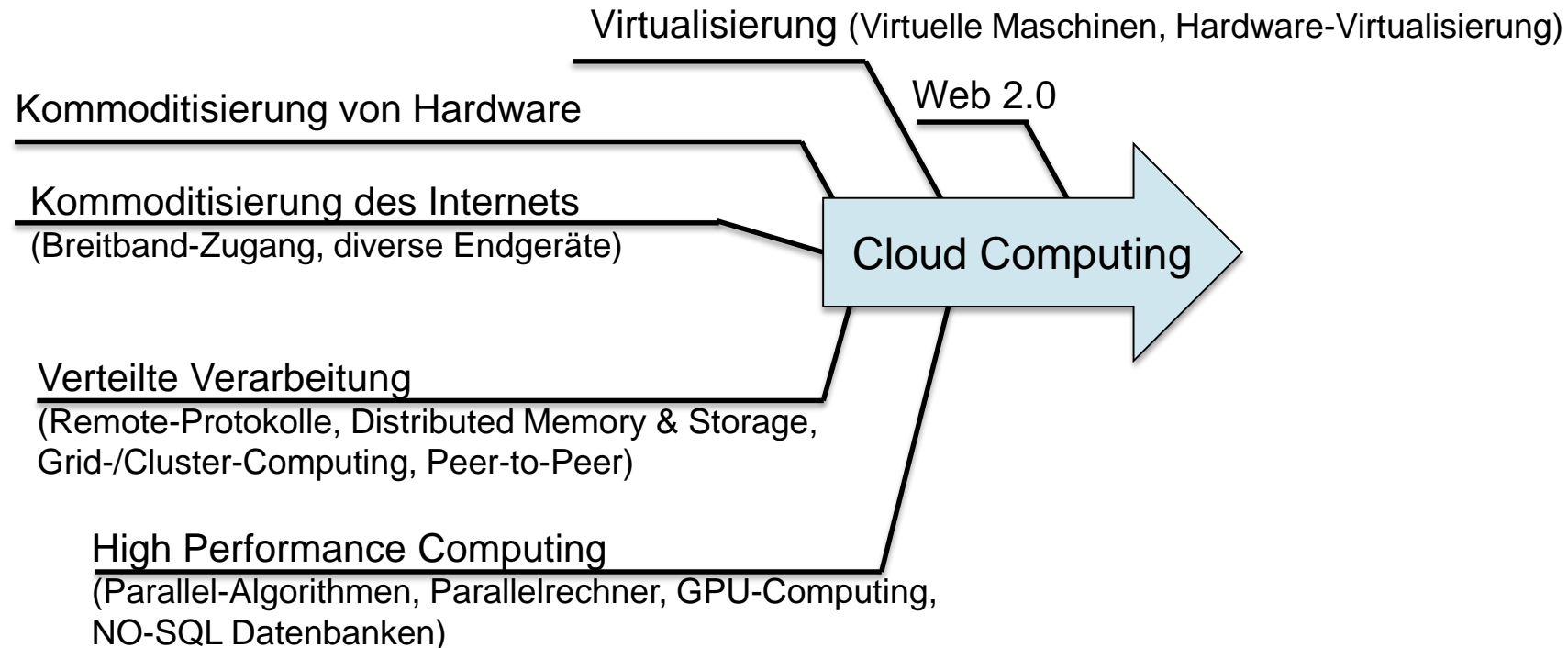
Die Cloud ist dynamisch, elastisch und omnipräsent.



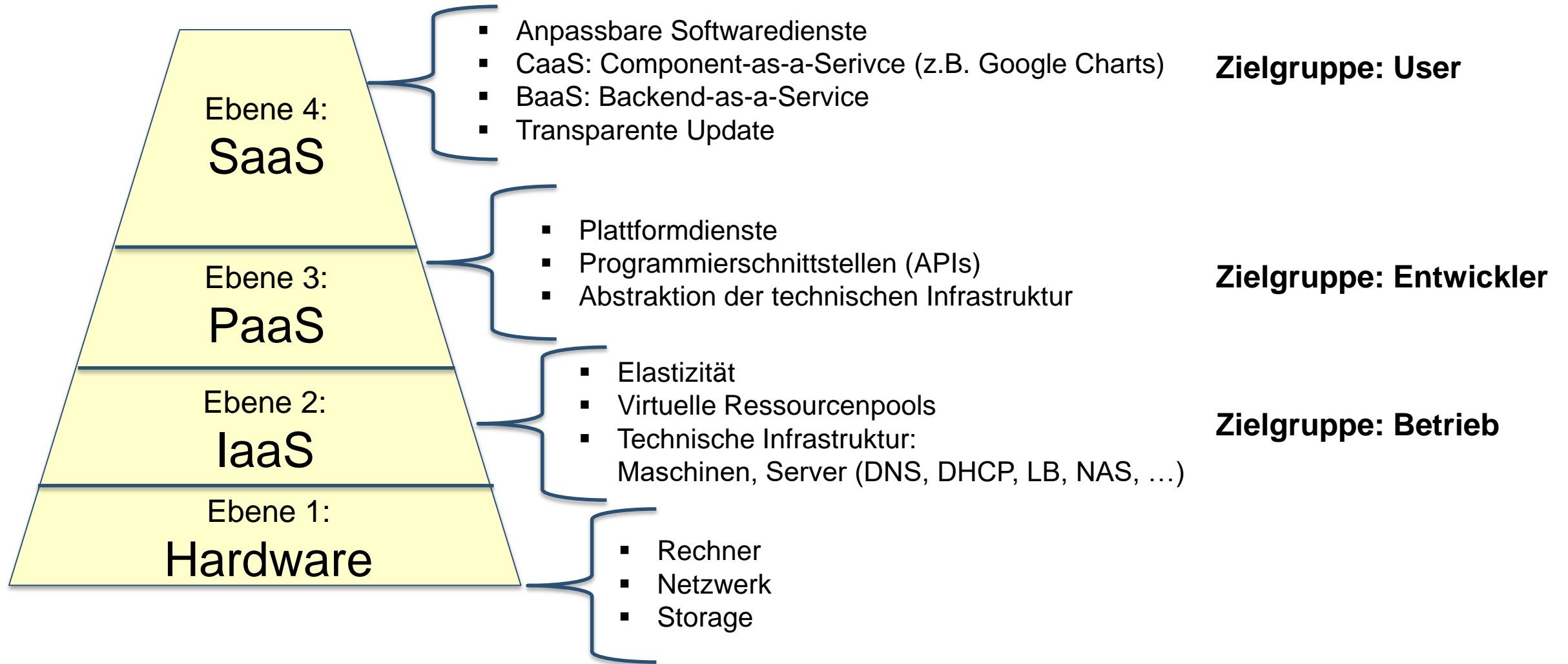
Die wichtigsten Eigenschaften von Cloud Computing:

- **X as a Service:** On-Demand Charakter; Bereitstellung von Rechenkapazitäten, Plattform-Diensten und Applikationen auf Anfrage und in Echtzeit.
- **Ressourcen-Pools:** Verfügbarkeit von scheinbar unbegrenzten Ressourcen, die Anfragen verteilt verarbeiten.
- **Elastizität:** Dynamische Zuweisung von zusätzlichen Ressourcen bei Bedarf (Selbst-Adaption). Keine Kapazitätsplanung aus Sicht des Nutzers mehr nötig.
- **Pay-as-you-go Modell** → Economy of Scale; Die Kosten skalieren mit dem Nutzen.
- **Omnipräsenz:** Zugriff auf die Cloud über das Internet und von verschiedensten Endgeräten aus (über Standard-Protokolle).

Cloud Computing ist keine Überraschung, sondern auf den Schultern von Giganten entstanden.

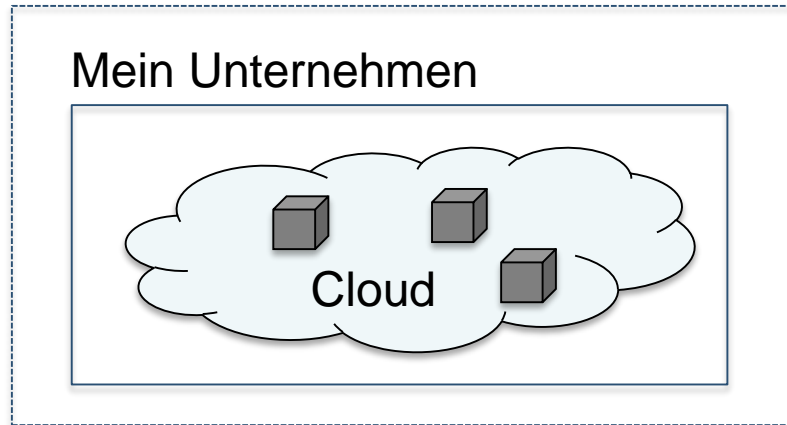


Das Schichtenmodell des Cloud Computing: Vom Blech zur Anwendung.

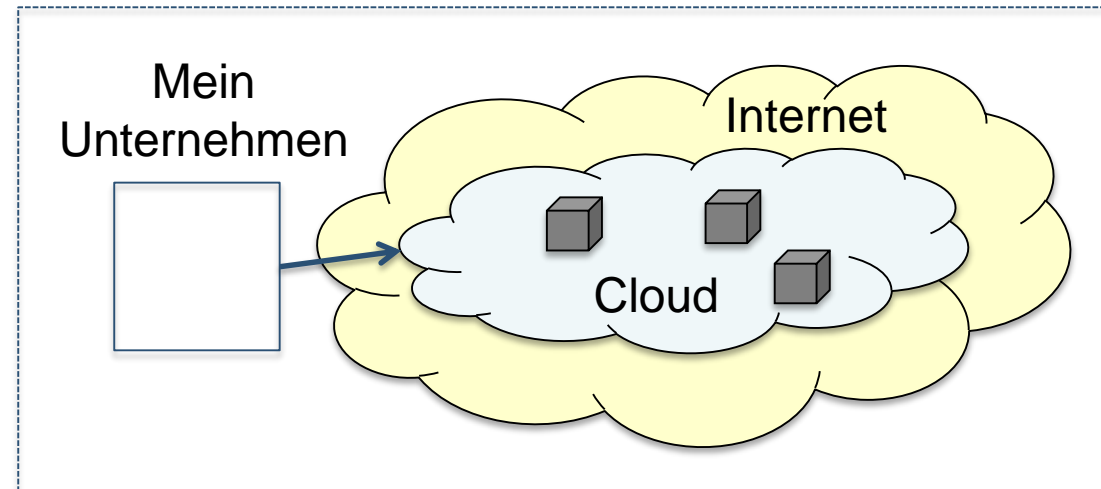


Öffentliche und private Wolken.

Private Cloud:

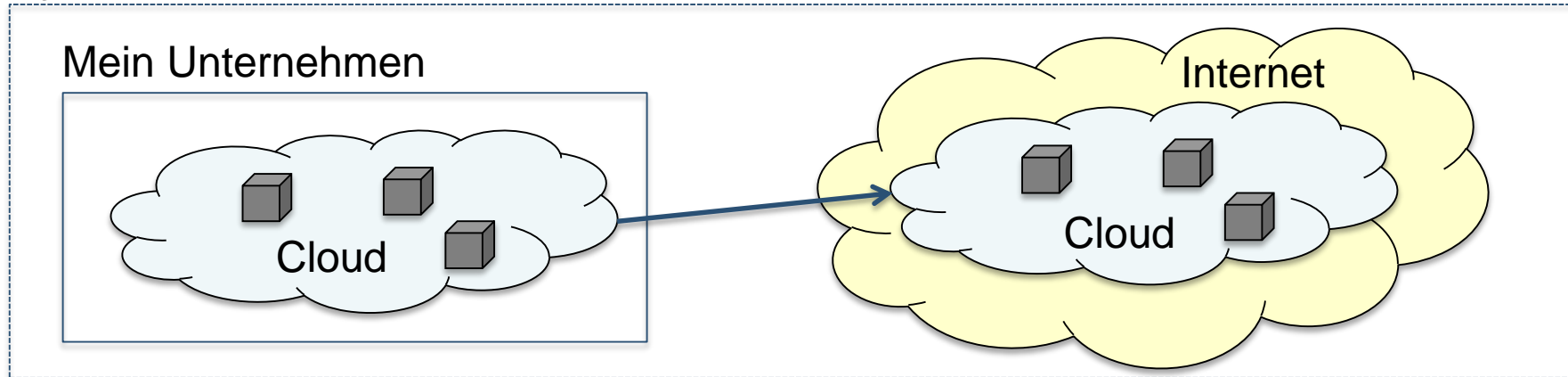


Public Cloud:

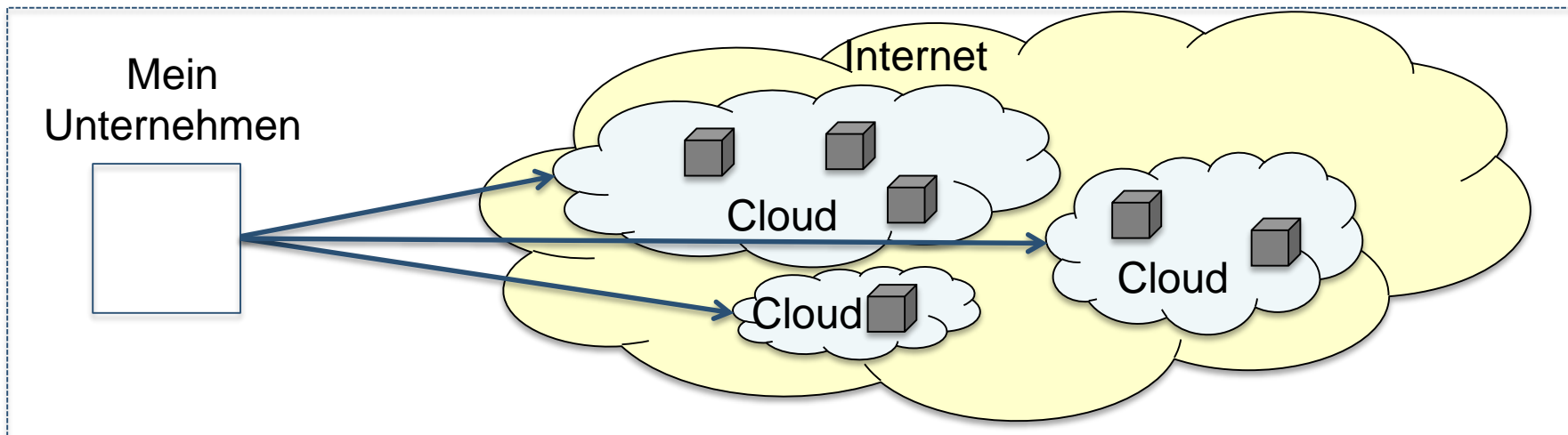


Hybride und multiple Wolken.

Hybrid Cloud:



Multi-Cloud:

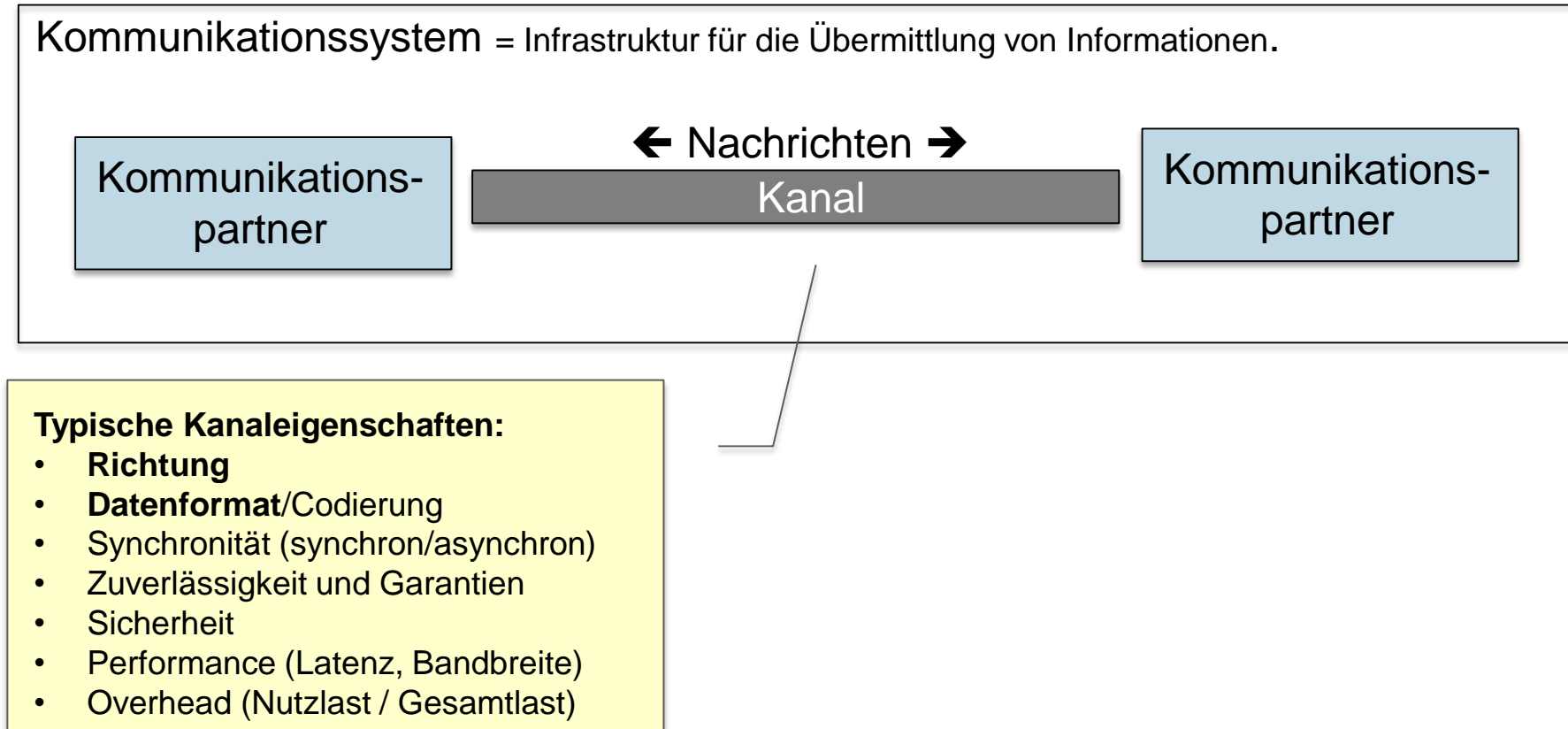


Mögliche Klausurfragen:

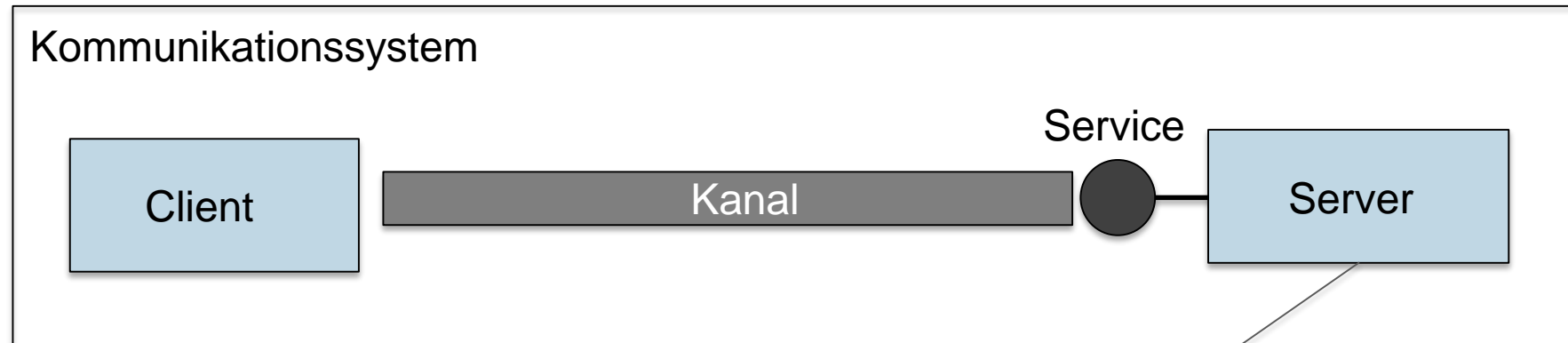
- Was versteht man im Cloud Computing unter Ressourcen Pools?
- Was sind zwei mögliche Gründe für Unternehmen, einen Multi-Cloud-Ansatz zu nutzen? Nenne mindestens zwei Gründe.

Kapitel 1: Kommunikationssysteme im Internet

Ein allgemeines Kommunikationsmodell im Internet. Angelehnt an das Modell von Shannon/Weaver.



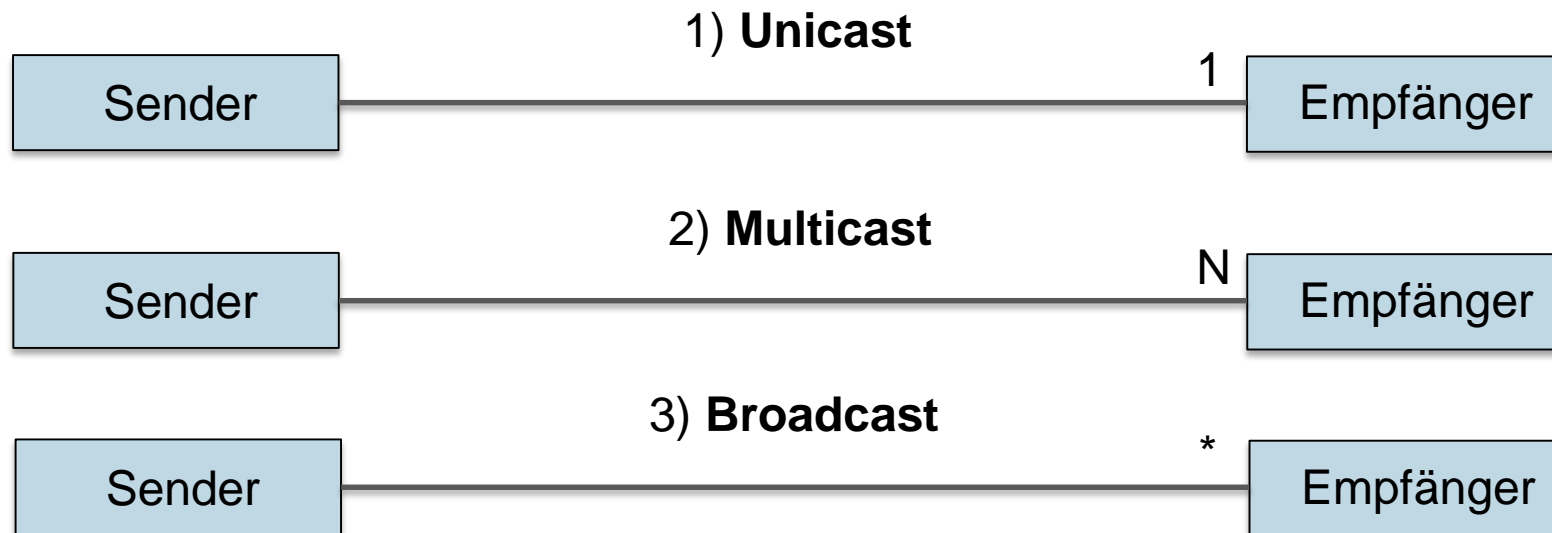
Service-Orientierung in einem Kommunikationssystem.



Ein **Service** ist eine Funktionalität, die über eine definierte Schnittstelle zur Verfügung stellt. Jeder Service ist definiert durch eine **Serviceschnittstelle**.

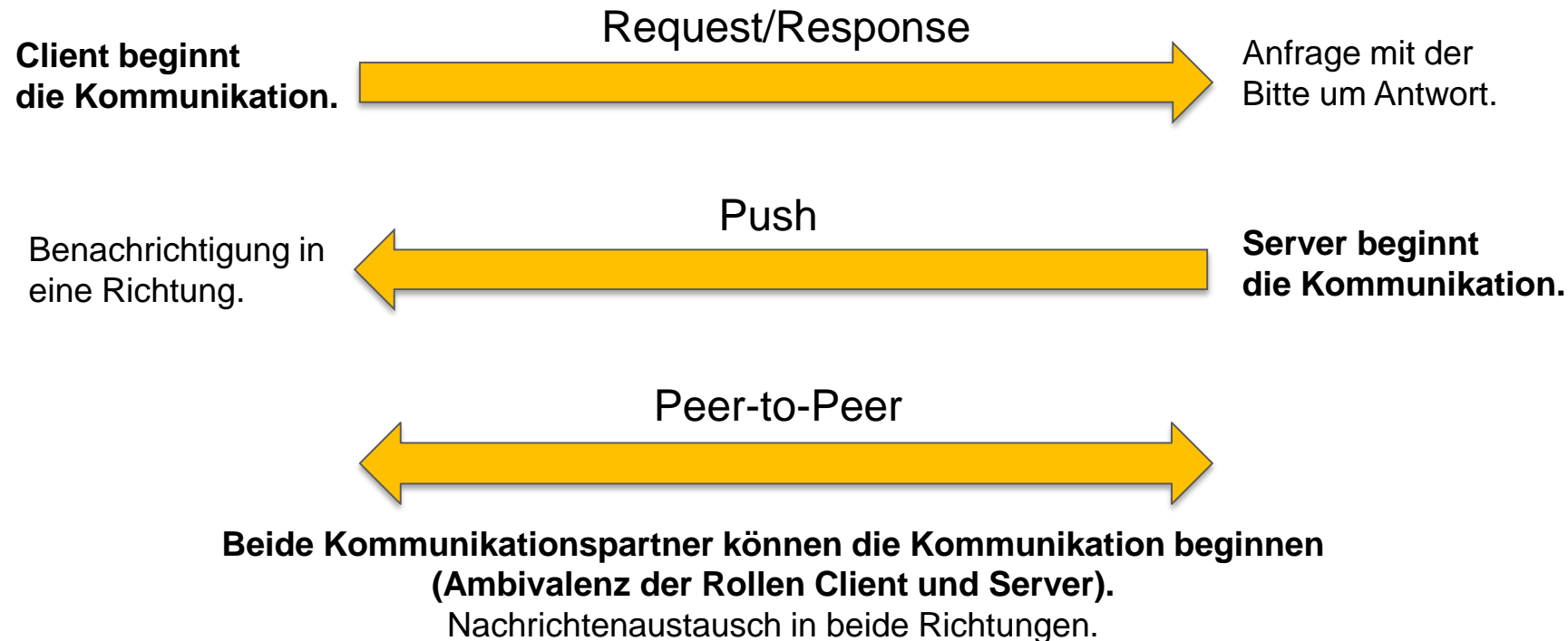
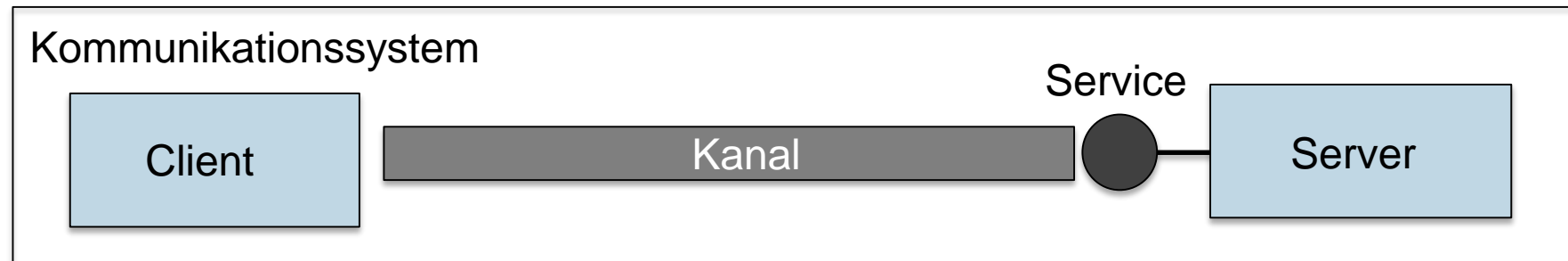
Eine **Serviceschnittstelle** ist ein Vertrag zwischen Nutzer und Anbieter über Syntax und Semantik der Service-Nutzung und enthält optional Zusicherungen in Hinblick auf den **Quality of Service**.

Klassifikation von Kommunikationssystemen: Kardinalität der Empfänger einer Nachricht.



Klassifikation von Kommunikationssystemen:

(B) Wer beginnt mit der Kommunikation?



REST ist ein Paradigma für Anwendungsservices auf Basis des HTTP-Protokolls.

- REST ist eine Paradigma für den Schnittstellenentwurf von Internetanwendungen auf Basis des HTTP-Protokolls.
- REST wurde erstmalig in der Dissertation von Roy Fielding definiert: „Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures“, 2000, University of California, Irvine.
- **Grundlegende Eigenschaften:**
 - **Alles ist eine Ressource:** Eine Ressource ist eindeutig adressierbar über einen URI, hat eine oder mehrere Repräsentationen (XML, JSON, bel. MIME-Typ) und kann per Hyperlink auf andere Ressourcen verweisen. Ressourcen sind, wo immer möglich, hierarchisch navigierbar.
 - **Uniforme Schnittstellen:** Services auf Basis der HTTP-Methoden (PUT = erzeugen, POST = aktualisieren oder erzeugen, DELETE = löschen, GET = abfragen). Fehler werden über die HTTP Codes zurückgemeldet. Services haben somit eine standardisierte Semantik und eine stabile Syntax.
 - **Zustandslosigkeit:** Die Kommunikation zwischen Server und Client ist zustandslos. Ein Zustand wird im Client nur durch URIs gehalten.
 - **Konnektivität:** Basiert auf ausgereifter und allgegenwärtiger Infrastruktur: Der Web-Infrastruktur mit wirkungsvollen Caching- und Sicherheitsmechanismen, leistungsfähigen Servern und z.B. Web-Browser als Clients.



Beispiele für REST-Aufrufsyntax: Schnittstellenentwurf über Substantive.

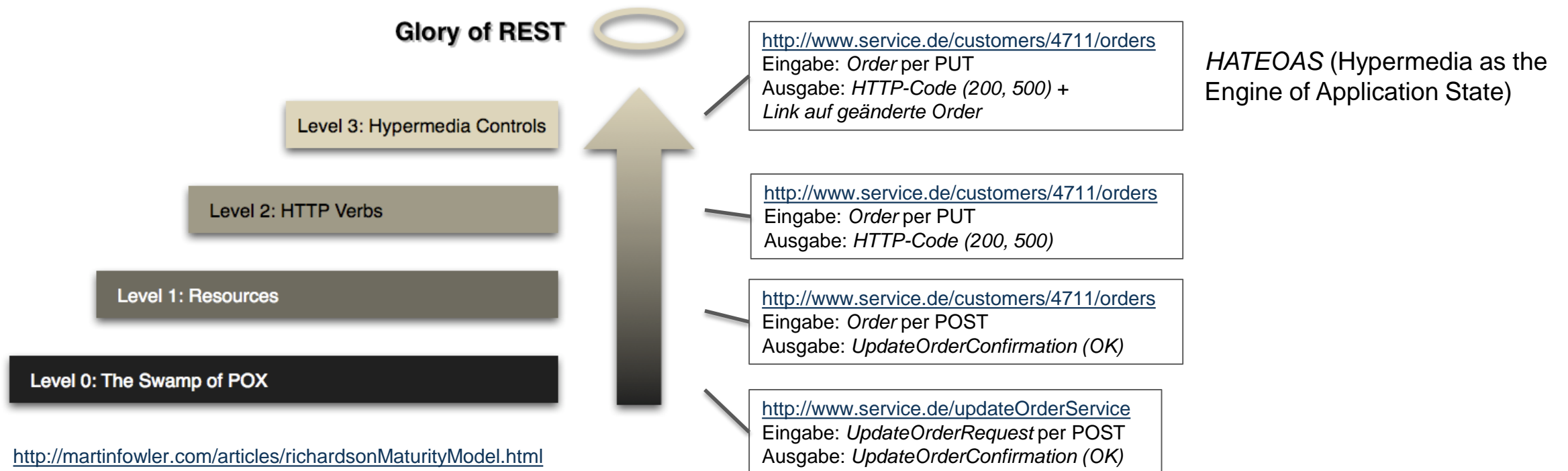
- Produkte aus der Kategorie Spielwaren:
<http://www.service.de/produkte/spielwaren>
- Bestellungen aus dem Jahr 2008
<http://www.service.de/bestellungen/2008>
- Liste aller Regionen, in denen der Umsatz größer als 5 Mio. Euro war
<http://www.service.de/regionen/umsatz/summe?groesserAls=5M>
- Gib mir die zweite Seite aus dem Produktkatalog
<http://www.service.de/produkte/2>
- Alle Gruppen, in den der Benutzer „josef.adersberger“ Mitglied ist.
<http://www.service.de/benutzer/josef.adersberger/gruppen>

Gängige Entwurfsregeln:

- Plural, wenn auf Menge an Entitäten referenziert werden soll. Sonst singular.
- Pfad-Parameter, wenn Reihenfolge der Angabe wichtig. Sonst Query Parameter.
- Standard Query Parameter einführen (z.B. für Filter und Abfragen sowie seitenweisen Zugriff) und konsistent halten.
- Pfad-Abstieg, wenn Entitäten per Aggregation oder Komposition verbunden sind.
- Pfad-Abstieg, wenn es sich um einen gängigen Navigationsweg handelt.
- Ids als Pfad-Parameter abbilden.
- Fehler und Ausnahmen über Return Codes abbilden. Einen Standard-Code suchen, der von der Semantik her passt.

Siehe auch: <http://codeplanet.io/principles-good-restful-api-design>

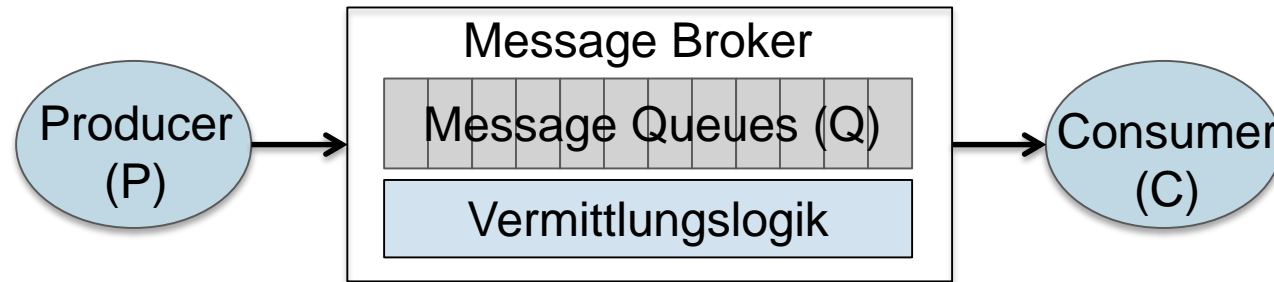
Mit dem REST Maturity Model kann bewertet werden, wie RESTful ein HTTP-basierter Service ist.



Die effizienten Alternativen: Binärprotokolle

- Binärprotokolle sind eine sinnvolle Alternative zu REST, wenn eine effiziente und programmiersprachennahe Kommunikation erfolgen soll.
 - Encoding der Payload als komprimiertes Binärformat
 - Separate Schnittstellenbeschreibungen (IDLs, *Interface Definition Languages*) aus denen dann Client- und Server-Code in mehreren Programmiersprachen generiert werden können
- Kandidaten
 - gRPC / Protocol Buffers
 - Apache Avro
 - Apache Thrift
 - Hessian
- Binärprotokolle können auch mit REST kombiniert werden: Als Content-Type und damit als Payload wird eine Binär-Codierung verwendet. Beispiel: Protocol Buffers over REST.

Messaging ist zuverlässiger, asynchroner Nachrichtenaustausch.



■ Entkopplung von Producer und Consumer.

Die Serviceschnittstelle ist lediglich das Format der Nachricht. Message Broker machen zum Format keinen Einschränkungen. Sende-Zeitpunkt und Empfangs-Zeitpunkt können beliebig lange auseinander liegen.

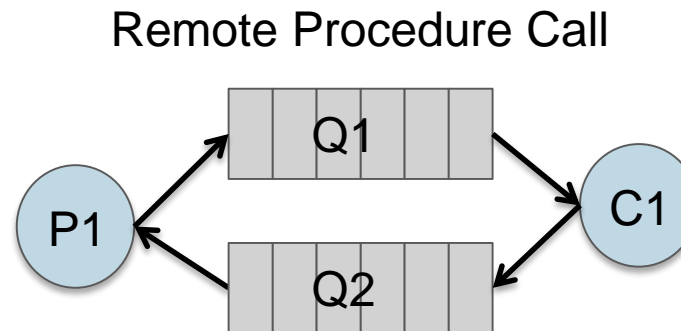
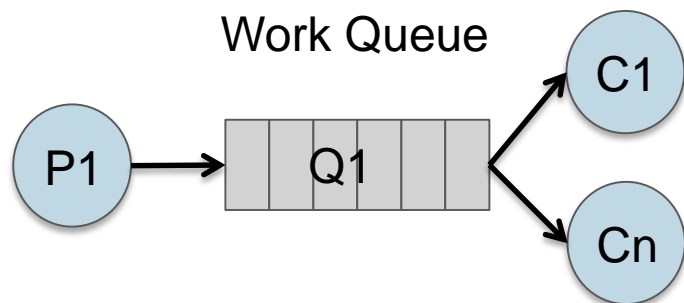
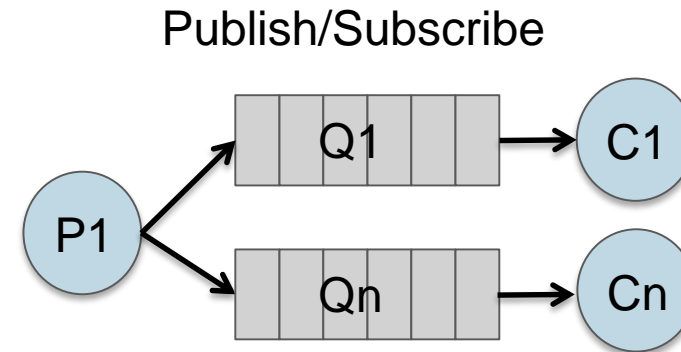
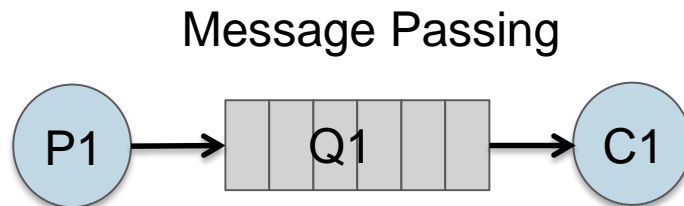
■ Skalierbarkeit. Die Vermittlungslogik entscheidet zentral ...

- ... an wie viele Consumer die Nachricht ausgeliefert wird (horizontale Skalierbarkeit),
- an welchen Consumer die Nachricht ausgeliefert wird (Lastverteilung),
- wann eine Nachricht ausgeliefert wird (Pufferung von Lastspitzen),

auf Basis von konfigurierten Anforderungen an die Vermittlung:

- Maximale Zustelldauer bzw. Lebenszeit der Nachricht
- Geforderte Zustellgarantie (mindestens 1 Mal, exakt 1 Mal, an alle) und Transaktionalität
- Priorität der Nachricht
- Notwendige Einhaltung der Zustellreihenfolge

Messaging ist eine flexible Kommunikationsart, mit der sich vielfältige Kommunikationsmuster umsetzen lassen.

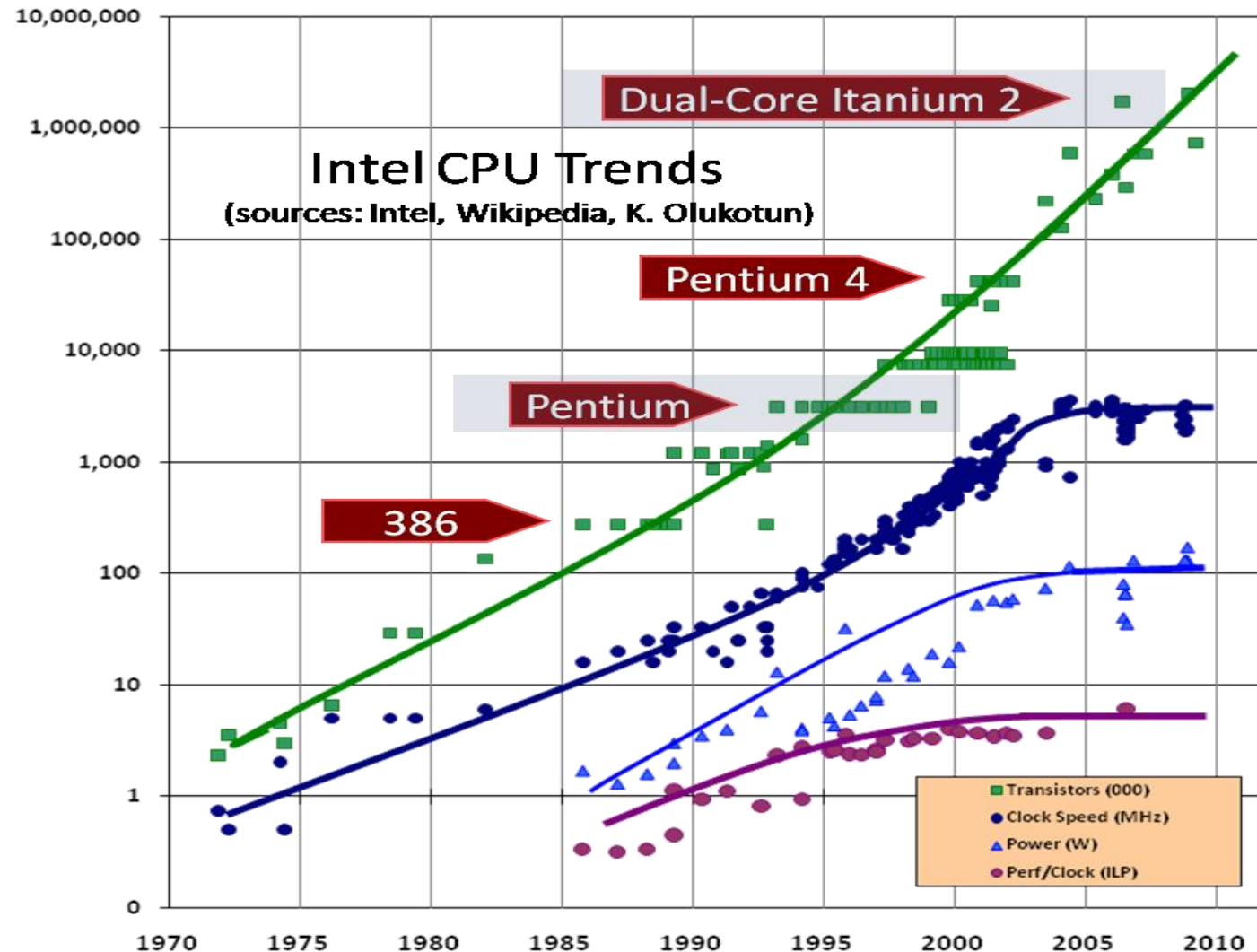


Mögliche Klausurfragen:

- Was ist Push-Kommunikation?
- Was versteht man bei der Internet-Kommunikation unter einem Service?
- Stellen sie das Messaging-Kommunikationsmuster *Publish/Subscribe* grafisch dar und beschreiben sie einen typischen Anwendungsfall für dieses Muster.

Kapitel 2: Programmiermodelle für die Cloud (Reactive Programming)

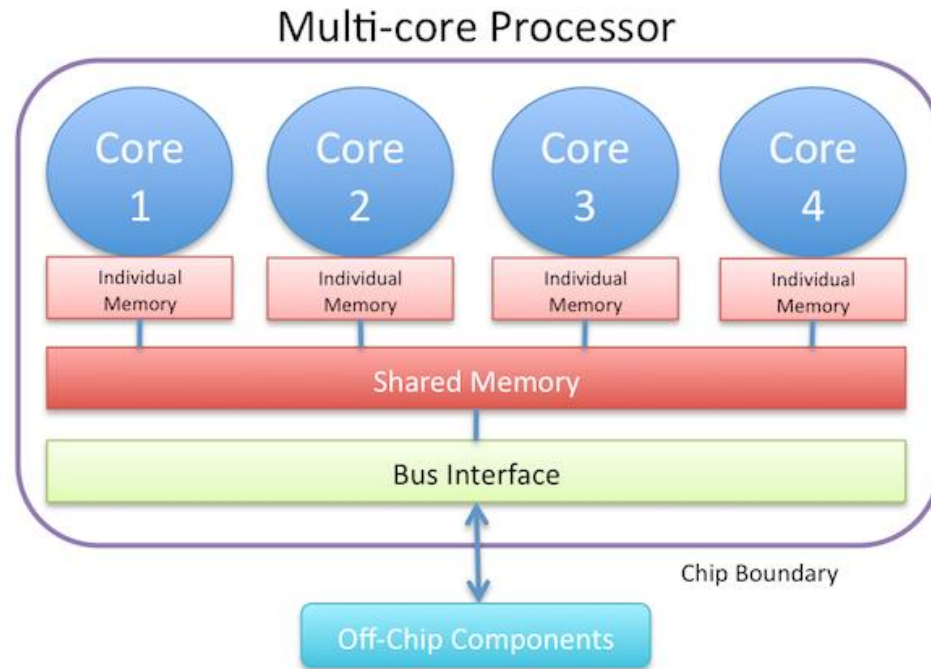
„The free lunch is over“: Es gibt keine kostenlose Performanzsteigerung mehr – Nebenläufigkeit zählt.



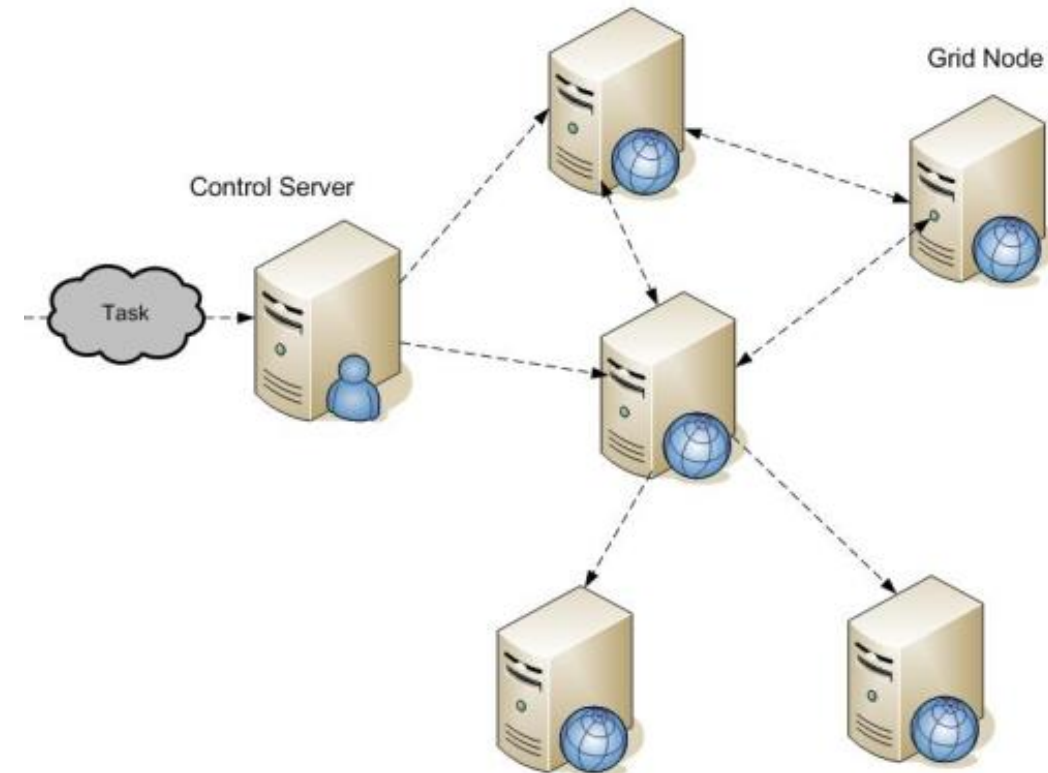
← **Anzahl Transistoren**
Moore's Law gilt weiterhin

← **Taktfrequenz**
Seit 2004 ist die Taktfrequenz von CPUs konstant

Nebenläufigkeit kann im Kleinen und im Großen betrieben werden.

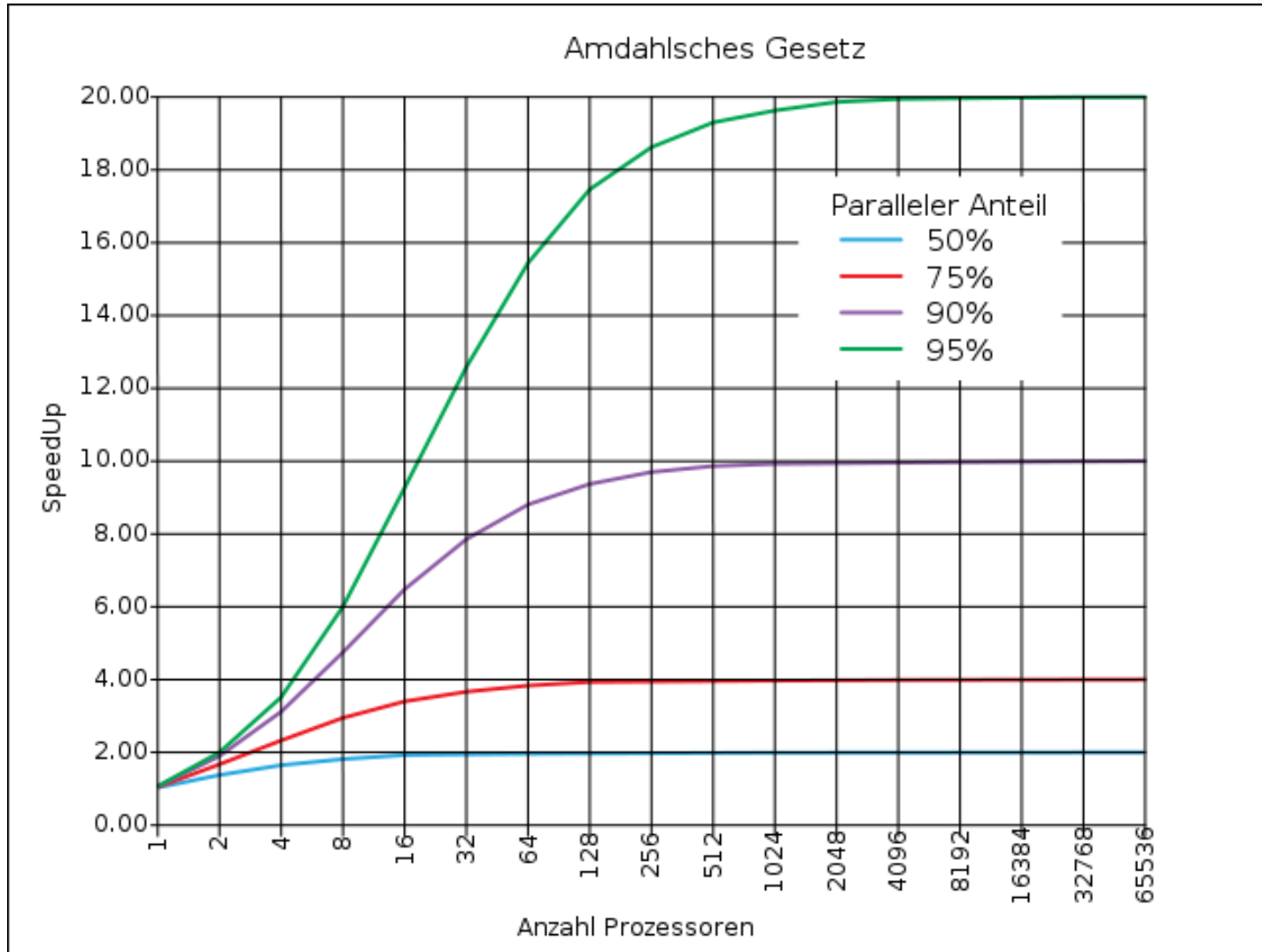


Multi Core



Multi Node
(Cluster, Grid, Cloud)

Die Grenzen der Performanz-Steigerung über Nebenläufigkeit: Das Amdahlsche Gesetz.



P = Paralleler Anteil

S = Sequenzieller Anteil

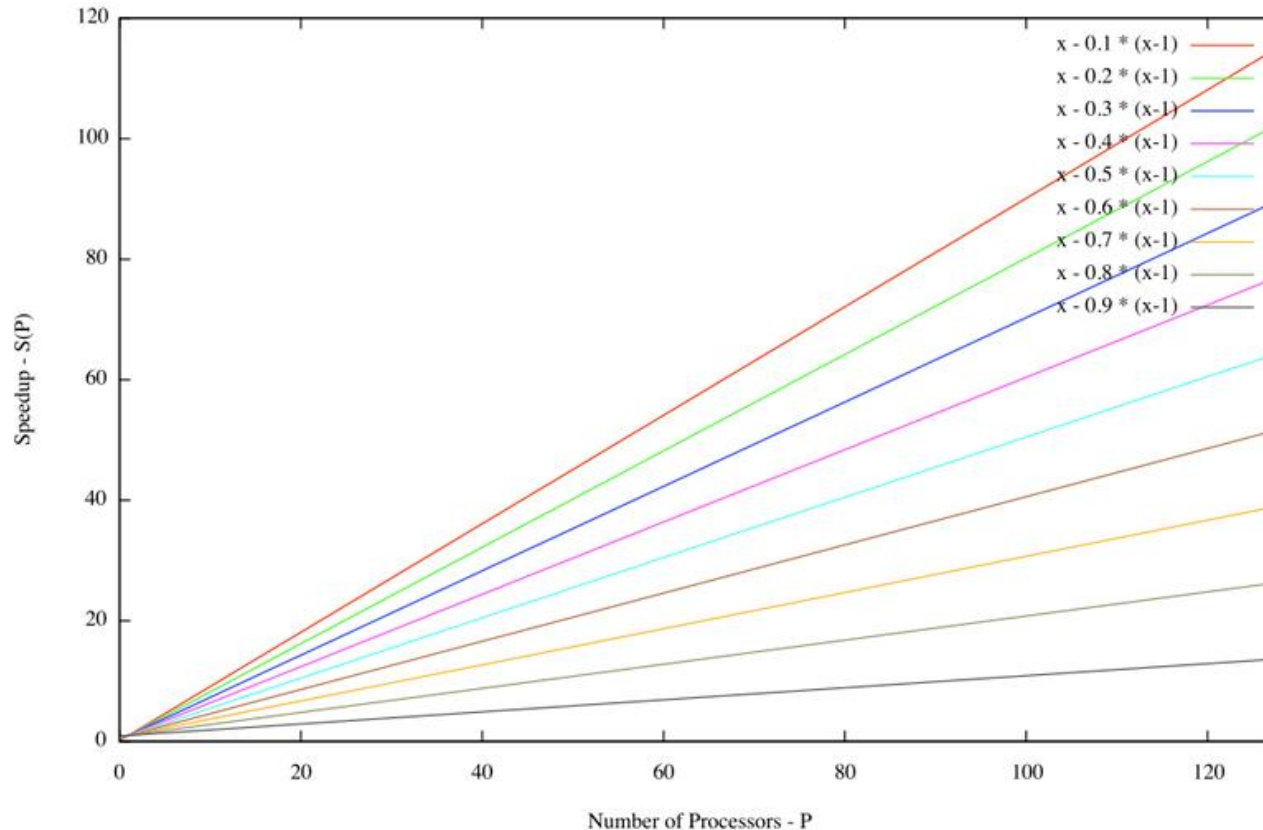
N = Anzahl der Prozessoren

Speedup = Maximale Beschleunigung

$$Speedup = \frac{1}{1 - P} \quad \text{für } N = \infty$$

$$Speedup = \frac{1}{\frac{P}{N} + S}$$

Bei großen Datenmengen ist Gustafsons Gesetz jedoch oft passender.



$$Speedup = \frac{1}{\frac{P}{N} + 1}$$

- Annahme: Der parallele Anteil P ist linear abhängig von der Problemgröße (i.W. der Datenmenge), der sequenzielle Anteil nicht.
- Beispiel: Mehr Bilder → Mehr parallele Konvertierung
- Gesetz: Steigt der parallele Anteil P linear (oder mehr) mit der Problemgröße, so wächst auch der Speedup linear

Das Reactive Manifesto

React to load

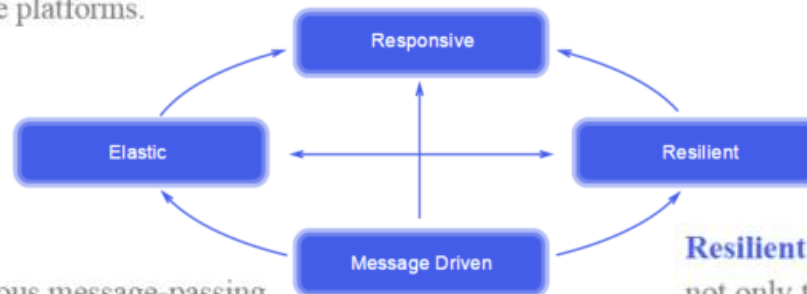
Elastic: The system stays responsive under varying workload. Reactive Systems can react to changes in the input rate by increasing or decreasing the resources allocated to service these inputs. This implies designs that have no contention points or central bottlenecks, resulting in the ability to shard or replicate components and distribute inputs among them. Reactive Systems support predictive, as well as Reactive, scaling algorithms by providing relevant live performance measures. They achieve elasticity in a cost-effective way on commodity hardware and software platforms.

React to events / messages

Message Driven: Reactive Systems rely on asynchronous message-passing to establish a boundary between components that ensures loose coupling, isolation, location transparency, and provides the means to delegate errors as messages. Employing explicit message-passing enables load management, elasticity, and flow control by shaping and monitoring the message queues in the system and applying back-pressure when necessary. Location transparent messaging as a means of communication makes it possible for the management of failure to work with the same constructs and semantics across a cluster or within a single host. Non-blocking communication allows recipients to only consume resources while active, leading to less system overhead.

React to users

Responsive: The system responds in a timely manner if at all possible. Responsiveness is the cornerstone of usability and utility, but more than that, responsiveness means that problems may be detected quickly and dealt with effectively. Responsive systems focus on providing rapid and consistent response times, establishing reliable upper bounds so they deliver a consistent quality of service. This consistent behaviour in turn simplifies error handling, builds end user confidence, and encourages further interaction.



Resilient: The system stays responsive in the face of failure. This applies not only to highly-available, mission critical systems — any system that is not resilient will be unresponsive after a failure. Resilience is achieved by replication, containment, isolation and delegation. Failures are contained within each component, isolating components from each other and thereby ensuring that parts of the system can fail and recover without compromising the system as a whole. Recovery of each component is delegated to another (external) component and high-availability is ensured by replication where necessary. The client of a component is not burdened with handling its failures.

React to failures

Functional Reactive Programming (FRP): Das Programmiermodell mit dem das Reactive Manifesto umgesetzt werden kann.

■ Dekomposition in Funktionen (auch Aktoren)

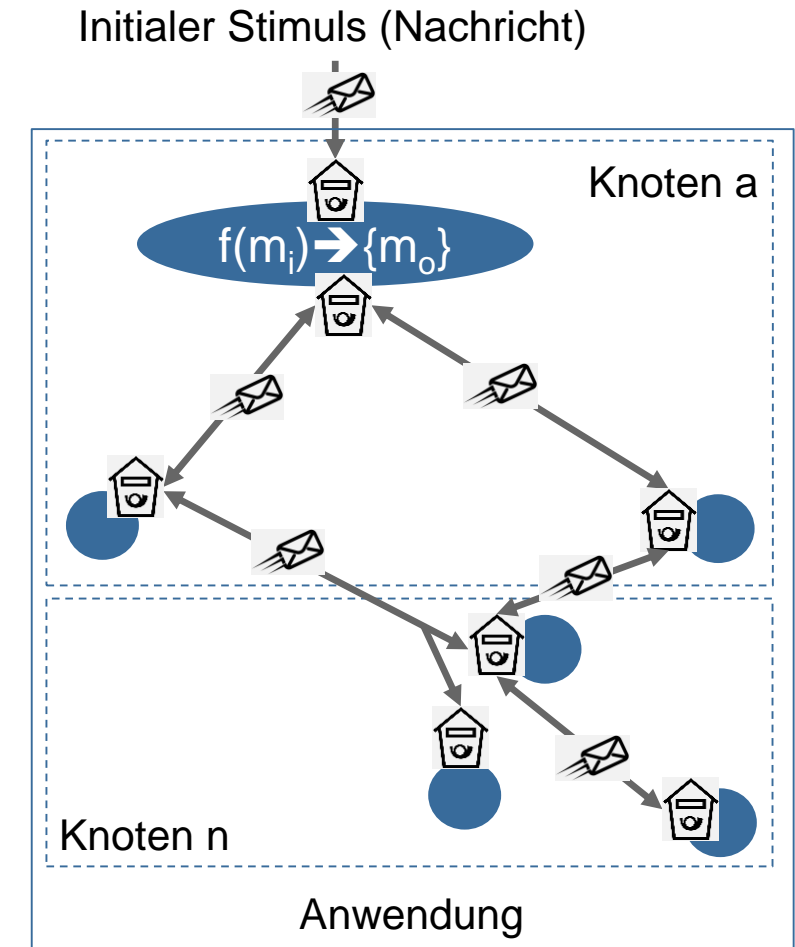
- funktionale Bausteine ohne gemeinsamen Zustand. Jede Funktion ändert nur ihren eigenen Zustand.
- mit wiederaufsetzbarer / idempotenter Logik und abgetrennter Fehlerbehandlung (Supervisor)

■ Kommunikation zwischen den Funktionen über Nachrichten

- asynchron und nicht blockierend. Ein Funktion reagiert auf eine Antwort, wartet aber nicht auf sie.
- Mailboxen vor jeder Funktion puffern Nachrichten (Queue mit n Producern und 1 Consumer)
- Nachrichten sind das einzige Synchronisationsmittel / Mittel zum Austausch von Zustandsinformationen und sind unveränderbar

■ Elastischer Kommunikationskanal

- Effizient: Kanalportabilität (lokal, remote) und geringer Kanal-Overhead
- Load Balancing möglich
- Nachrichten werden (mehr oder minder) zuverlässig zugestellt
- Circuit-Breaker-Logik am Ausgangspunkt (Fail Fast & Reject)



Gegenüber synchronen Systemen bietet FRP einige kontextsensitive Vorteile.

- **Vorteil: Höhere Prozessorauslastung.** Der Prozessor befindet sich deutlich weniger Zeit in Wartezuständen (IO-Wait, Lock-Wait, ...). Diese Zeit wird für Berechnungen frei.
Für den Fall, dass die Anwendung auch genügend Berechnungen durchführen kann.
- **Vorteil: Höherer Parallelisierungsgrad** möglich und damit höherer möglicher Speedup.
Für den Fall, dass die Logik und die Datenmenge sich entsprechend partitionieren lässt.

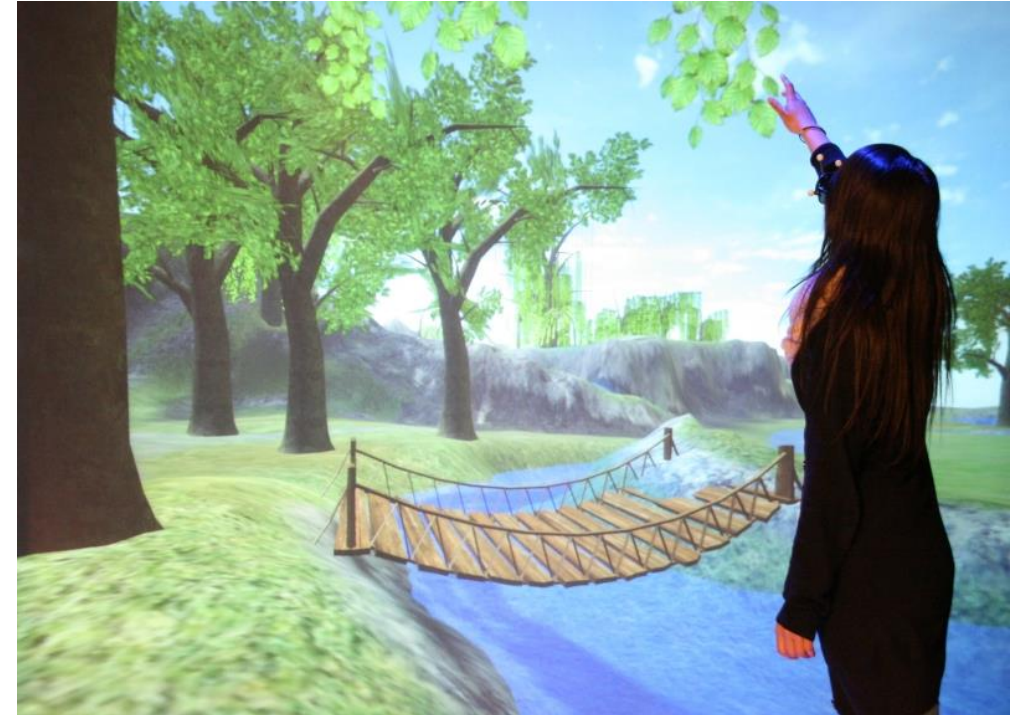
Mögliche Klausurfragen:

- Was sind die vier wesentlichen Forderungen des Reactive Manifesto?
- Welche Vorteile bietet FRP gegenüber synchronen Systemen?
- Stellen sie ein Aktorensystem grafisch dar, das folgende Funktion erfüllt
 - Ein Aufrufer übergibt eine Zeichenkette nach der er suchen will
 - Das System stößt parallel zueinander zwei Service-Aufrufe an. Einen an System A den anderen an System B. Die Systeme können zu einer Zeichenkette eine Liste an Ergebnissen liefern.
 - Die Liste der Ergebnisse wird zusammengefasst und an den Aufrufer übergeben.

Kapitel 3: Virtualisierung

Virtualisierung

- **Virtualisierung:** die Erzeugung von virtuellen Realitäten und deren Abbildung auf die physikalische Realität.
- Zweck:
 - **Multiplizität** → Erzeugung mehrerer virtueller Realitäten innerhalb einer physikalischen Realität
 - **Entkopplung** → Bindung und Abhängigkeit zur Realität auflösen
 - **Isolation** → Physikalische Seiteneffekte zwischen den virtuellen Realitäten vermeiden



<http://www.techfak.uni-bielefeld.de>

Was wird virtualisiert?

■ Prozessor

- Virtuelle Rechenkerne
- Dispatching von Prozessor-Befehlen auf echte Rechenkerne

■ Hauptspeicher

- Virtuelle Hauptspeicher-Partition
- Management der realen Repräsentation (im RAM, auf Festplatte, Ballooning)

■ Netzwerk

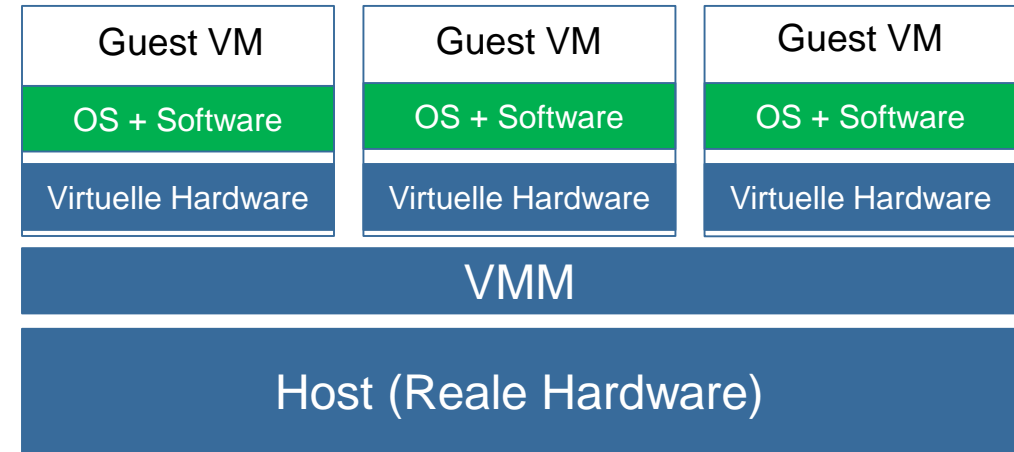
- Virtuelle Netzwerkschnittstellen und virtuelle Netzwerk-Infrastrukturen (VLAN)
- Brücken zwischen virtuellen und realen Netzwerken

■ Storage

- Virtuelle Festplatten-Laufwerke. Abbildung auf Dateien im realen Dateisystem. Volumen entweder vor-allokiert oder dynamisch wachsend.
- Virtuelle SANs (Storage Area Networks) über Aufteilung der Daten eines virtuellen Laufwerks auf viele Storage-Einheiten.

Hardware-Virtualisierung

- Durch Hardware-Virtualisierung werden die Ressourcen eines Rechnersystems aufgeteilt und von mehreren unabhängigen Betriebssystem-Instanzen genutzt.
- Anforderungen der Betriebssystem-Instanzen werden von der Virtualisierungssoftware (Virtual Machine Monitor, VMM) abgefangen und auf die real vorhandene Hardware umgesetzt.



Host

- Der Rechner der eine oder mehrere virtuelle Maschinen ausführt und die dafür notwendigen Hardware-Ressourcen zur Verfügung stellt.

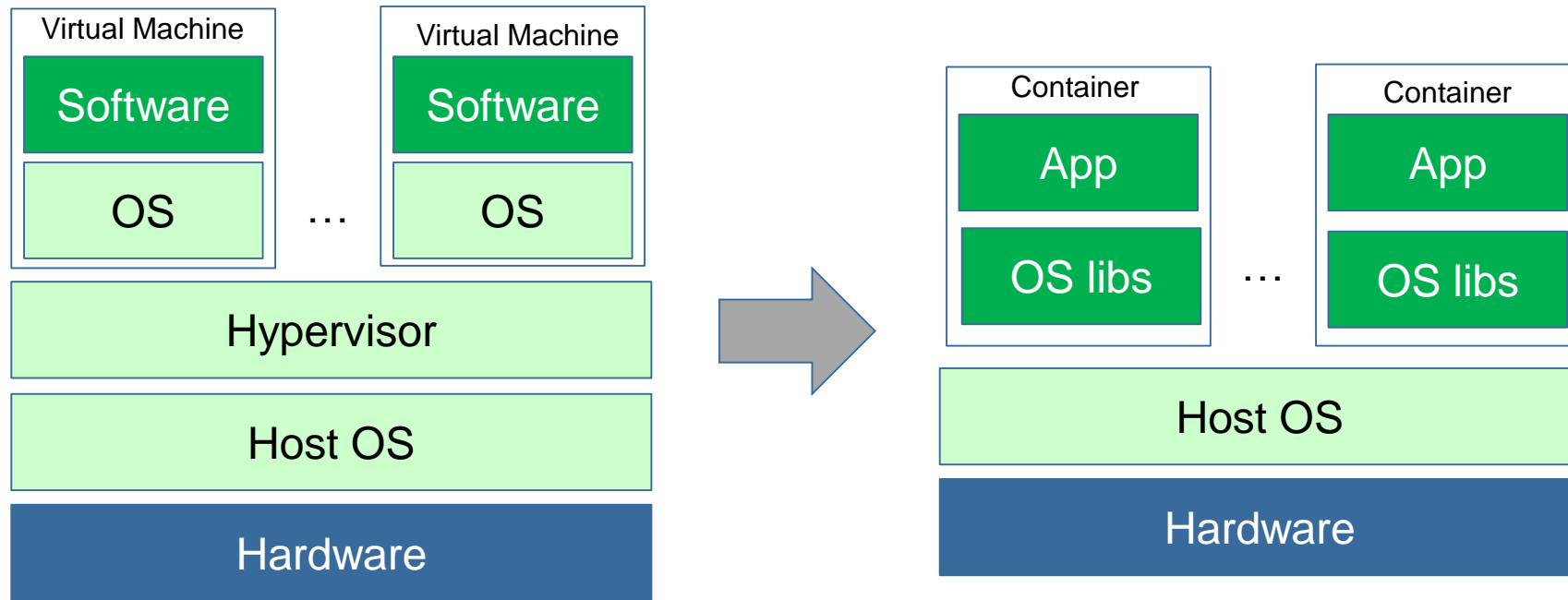
Guest

- Eine lauffähige / laufende virtuelle Maschine

VMM (Virtual Machine Monitor)

- Die Steuerungssoftware zur Verwaltung der Guests und der Host-Ressourcen

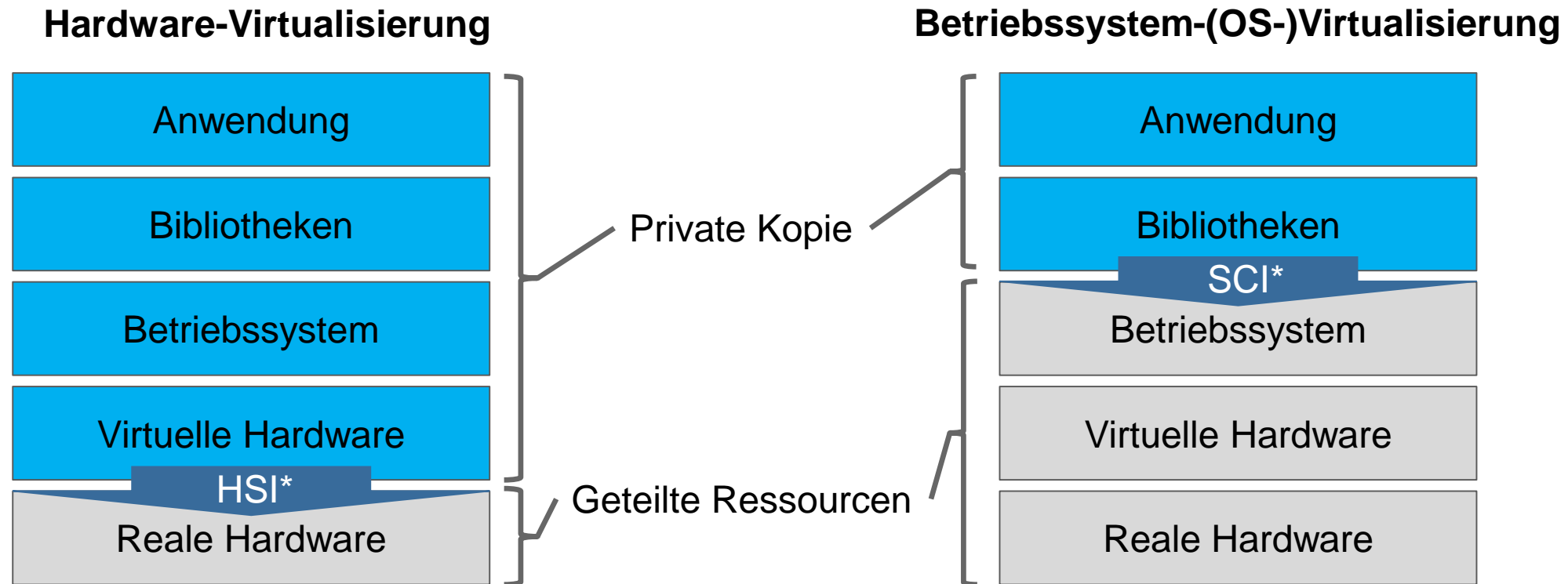
Betriebssystem-Virtualisierung



- Leichtgewichtiger Virtualisierungsansatz: Es gibt keinen Hypervisor. Jede App läuft direkt als Prozess im Host-Betriebssystem. Dieser ist jedoch maximal durch entsprechende OS-Mechanismen isoliert (z.B. Linux LXC).
 - Isolation des Prozesses durch Kernel Namespaces (bzgl. CPU, RAM und Disk I/O) und Containments
 - Isoliertes Dateisystem
 - Eigene Netzwerk-Schnittstelle
- CPU- / RAM-Overhead in der Regel nicht messbar (~ 0%)
- Startup-Zeit = Startdauer für den ersten Prozess

Hardware- vs. Betriebssystem-Virtualisierung

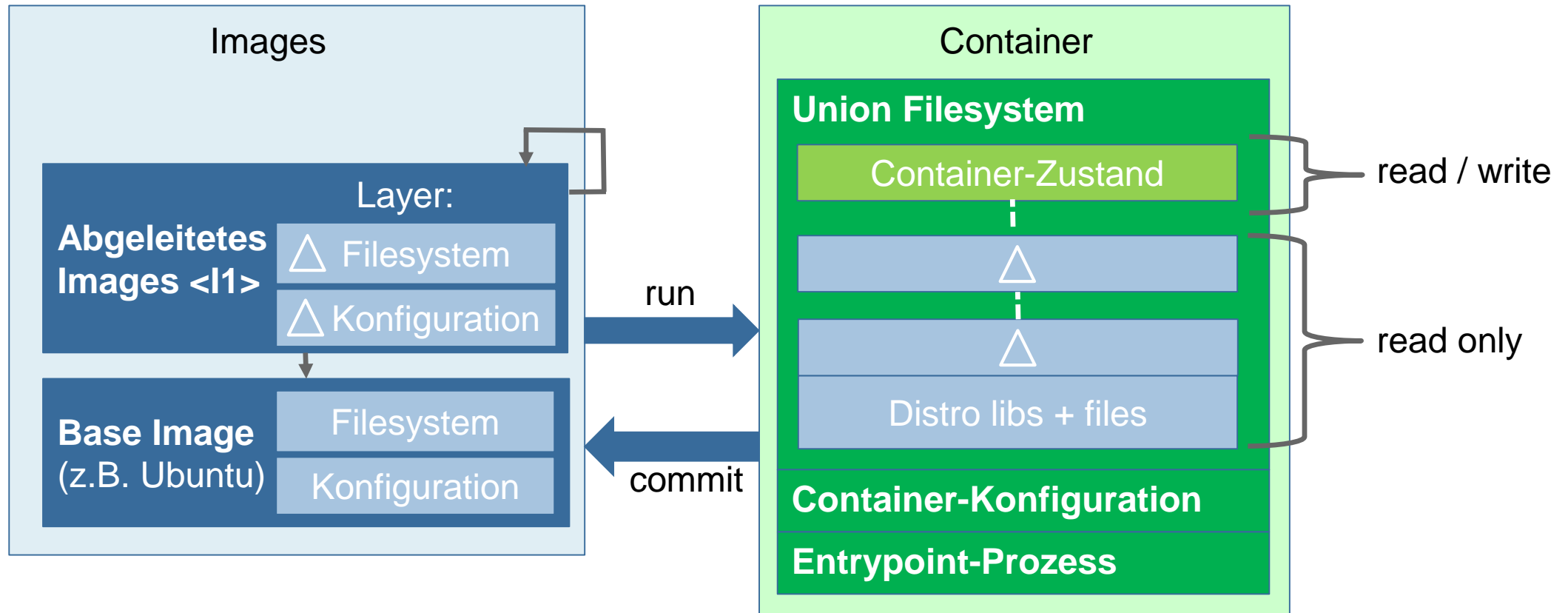
*) HSI = Hardware Software Interface
SCI = System Call Interface



- Stärkere Isolation
- Höhere Sicherheit

- Geringeres Volumen der privaten Kopie
- Geringerer Overhead

Im Zentrum von Docker stehen Images und Container.

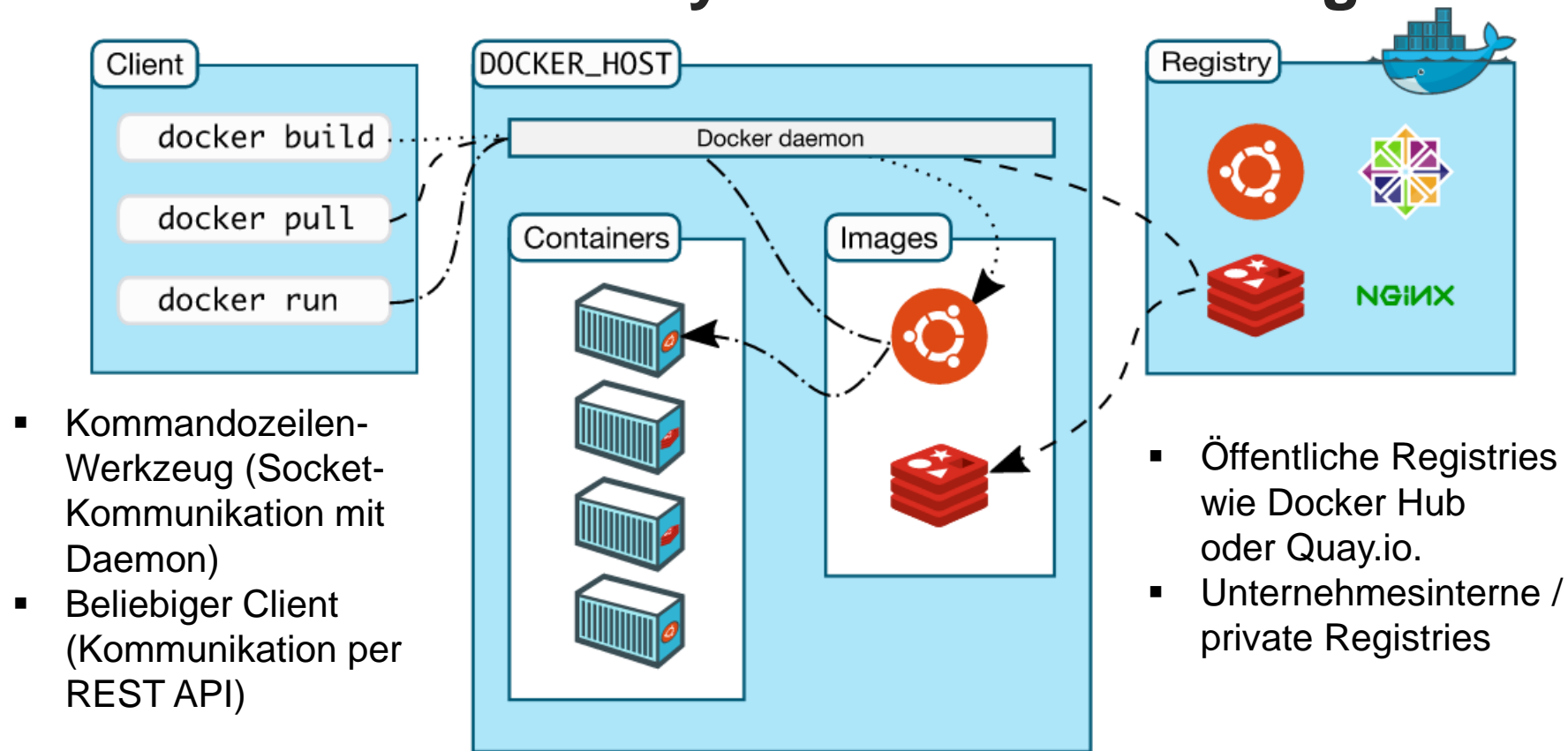


Ruhender und transportierbarer Zustand

Laufender Zustand

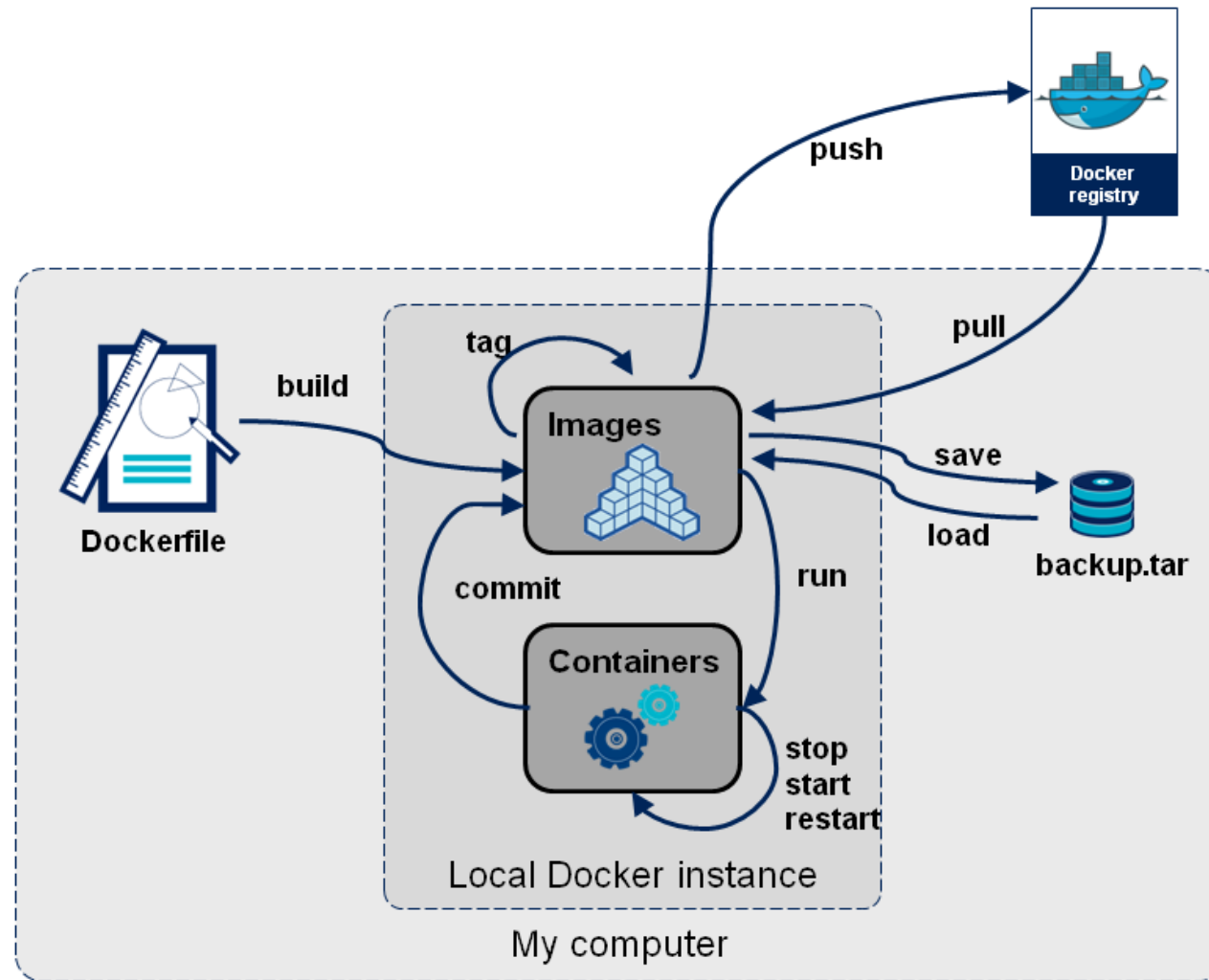
Ein Container läuft so lange wie sein Entrypoint-Prozess im Vordergrund läuft. Docker merkt sich den Container-Zustand.

Docker ist eine Automationsumgebung für Anwendungs-Container auf Basis Betriebssystem-Virtualisierung.



Der Docker Daemon ist die zentrale Steuerungseinheit und läuft direkt als Prozess im Host-Betriebssystem. Er verwaltet alle lokalen Container und Images auf dem Host.

Das Big Picture von Docker.

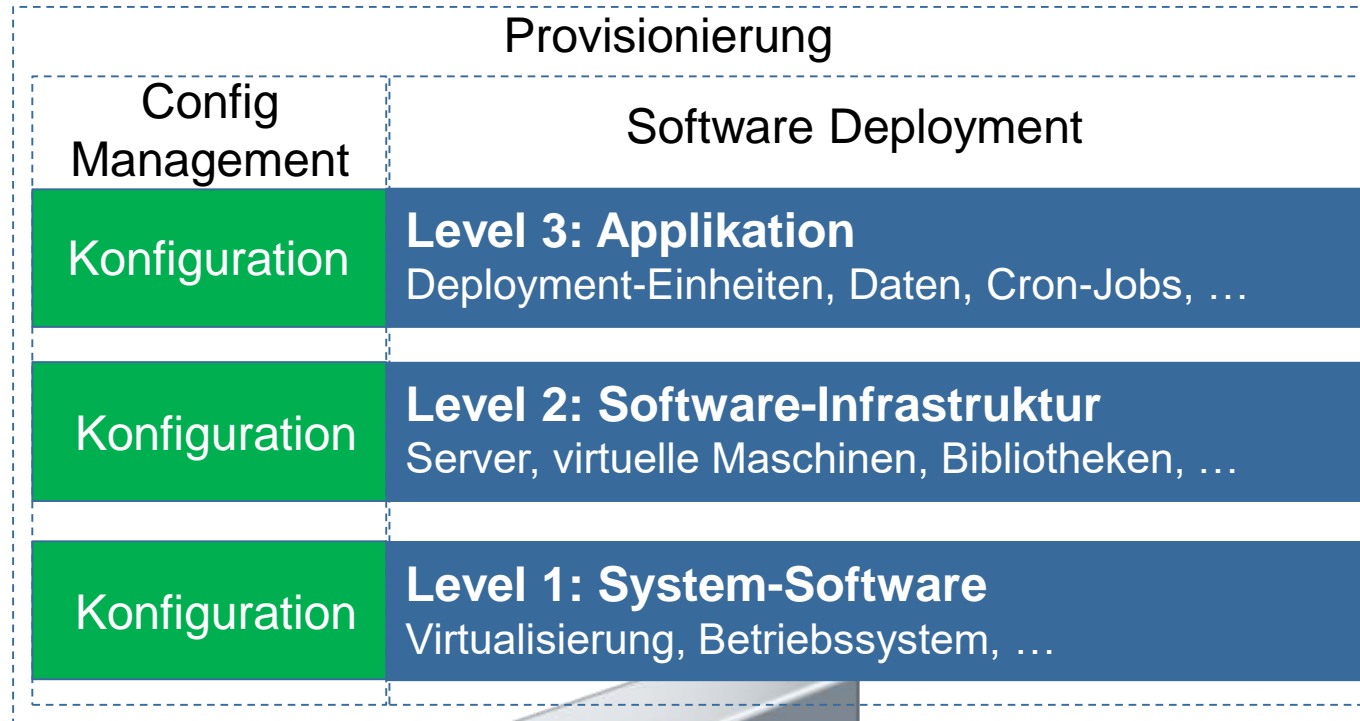


Mögliche Klausurfragen:

- Was ist der allgemeine Zweck von Virtualisierung? Wie kann dieser Zweck in Bezug auf die Hardware Virtualisierung interpretiert werden?
- Welche vier Ressourcen-Arten werden mindestens virtualisiert?
- Was ist bei Docker der Unterschied zwischen Images und Containern?
- Was bewirkt der Docker Befehl „run“?

Kapitel 4: Provisionierung

Provisierung erfolgt auf drei verschiedenen Ebenen und in vier Stufen.



Hardware

- Rechner
- Speicher
- Netzwerk-Equipment
- ...

Laufende Software!



Application Provisioning



Server Provisioning

Bereitstellung der notwendigen Software-Infrastruktur für die Applikation.



Bootstrapping

Bereitstellung der Betriebsumgebung für die Software-Infrastruktur.



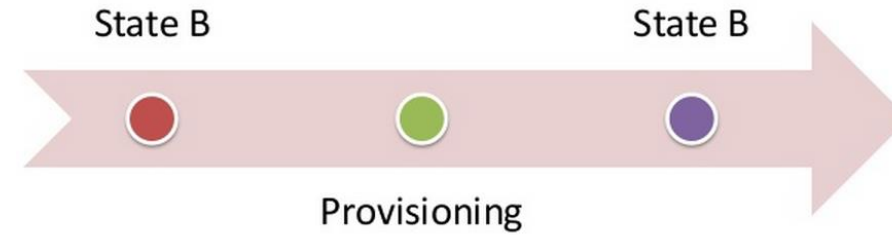
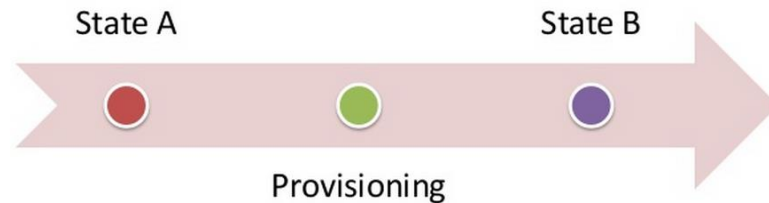
Bare Metal Provisioning

Intialisierung einer physikalischen Hardware für den Betrieb.

Konzeptionelle Überlegungen zur Provisionierung.

Systemzustand := Gesamtheit der Software, Daten und Konfigurationen auf einem System.

Provisionierung := Überführung von einem System in seinem aktuellen Zustand auf einen Ziel-Zustand.



■ Was ein Provisionierungsmechanismus leisten muss:

1. Ausgangszustand feststellen
2. Vorbedingungen prüfen
3. Zustandsverändernde Aktionen ermitteln
4. Zustandsverändernde Aktionen durchführen
5. Nachbedingungen prüfen und ggf. Zustand zurücksetzen

Zusicherungen

Idempotenz: Die Fähigkeit eine Aktion durchzuführen und sie das selbe Ergebnis erzeugt, egal ob sie einmal oder mehrfach ausgeführt wird.

Konsistenz: Nach Ausführung der Aktionen herrscht ein konsistenter Systemzustand. Egal ob einzelne, mehrere oder alle Aktionen gescheitert sind.

Die neue Leichtigkeit des Seins.

Old Style

Beliebiger
Zustand



1. Ausgangszustand feststellen
2. Vorbedingungen prüfen
3. Zustandsverändernde Aktionen ermitteln
4. Zustandsverändernde Aktionen durchführen
5. Nachbedingungen prüfen und ggF. Zustand zurücksetzen



Ziel-Zustand

New Style „Immutable Infrastructure“

Basis-
Zustand



- ~~1. Ausgangszustand feststellen~~
- ~~2. Vorbedingungen prüfen~~
- ~~3. Zustandsverändernde Aktionen ermitteln~~
4. Zustandsverändernde Aktionen durchführen
- ~~5. Nachbedingungen prüfen und ggF. Zustand zurücksetzen~~



Ziel-Zustand

Mögliche Klausurfragen:

- Was versteht man unter dem Begriff Provisionierung?
- Welche Zusicherungen muss ein Provisionierungsmechanismus machen?
Erläutern sie diese Zusicherungen. Welchen Zweck verfolgen diese Zusicherungen aus ihrer Sicht?

Kapitel 5: Infrastructure-as-a-Service

Definition IaaS

Unter *IaaS* versteht man ein Geschäftsmodell, das entgegen dem klassischen Kaufen von Rechnerinfrastruktur vorsieht, diese je nach Bedarf anzumieten und freizugeben.

■ Eigenschaften einer IaaS-Cloud:

- **Ressourcen-Pools:** Verfügbarkeit von scheinbar unbegrenzten Ressourcen, die Anfragen verteilt verarbeiten.
- **Elastizität:** Dynamische Zuweisung von zusätzlichen Ressourcen bei Bedarf.
- **Pay-as-you-go Modell:** Abgerechnet werden nur verbrauchte Ressourcen.

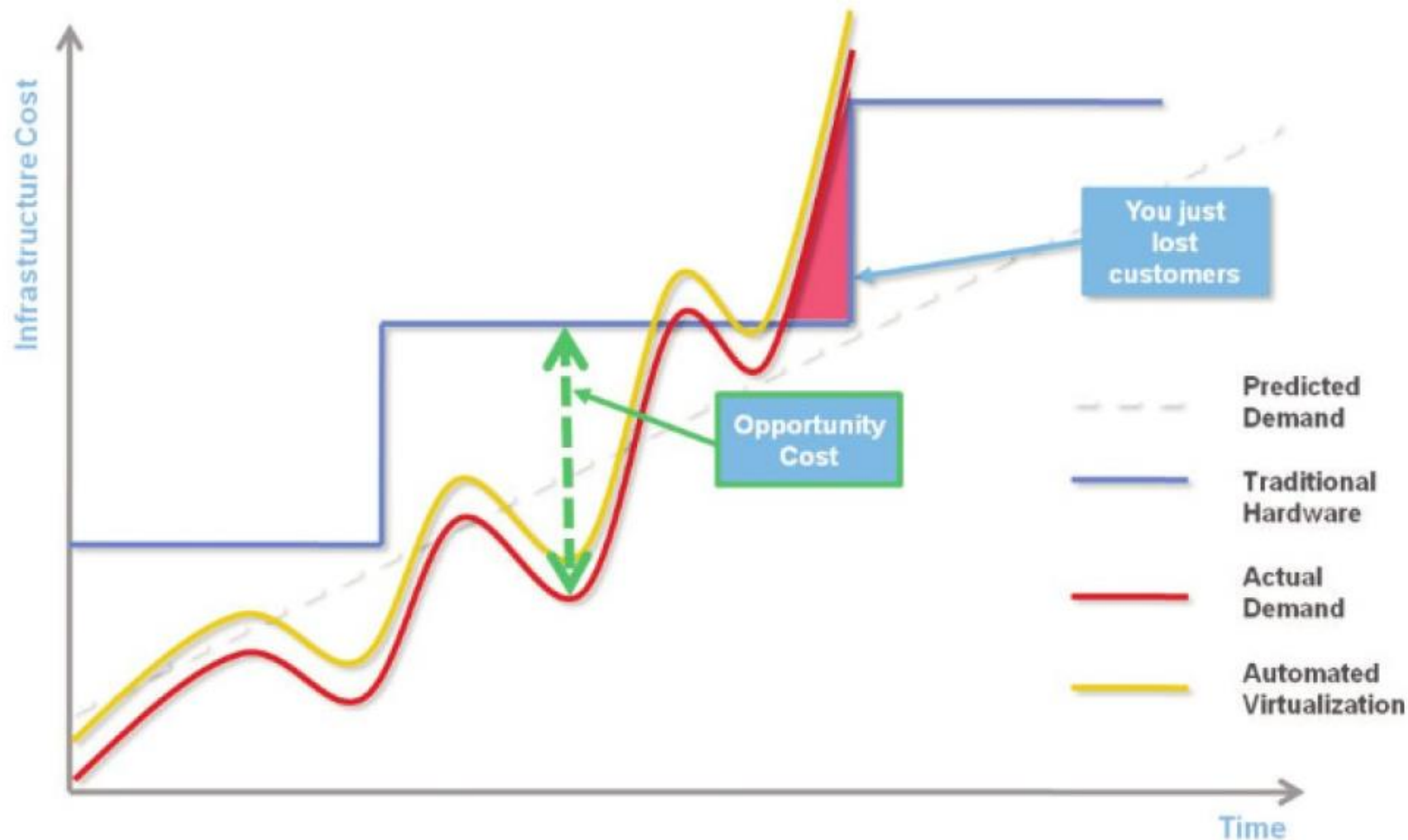
■ Ressourcen-Typen in einer IaaS-Cloud:

- **Rechenleistung:** Rechner-Knoten mit CPU, RAM und HD-Speicher.
- **Speicher:** Storage-Kapazitäten als Dateisystem-Mounts oder Datenbanken.
- **Netzwerk:** Netzwerk und Netzwerk-Dienste wie DNS, DHCP, VPN, CDN und Load Balancer.

■ Infrastruktur-Dienste einer IaaS-Cloud:

- **Monitoring**
- **Ressourcen-Management**

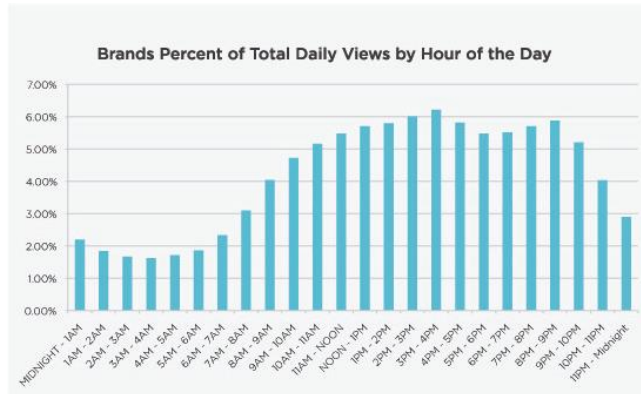
Klassische Betriebsszenarien werden bei dynamischer Nachfrage teuer. Hohe Opportunitätskosten.



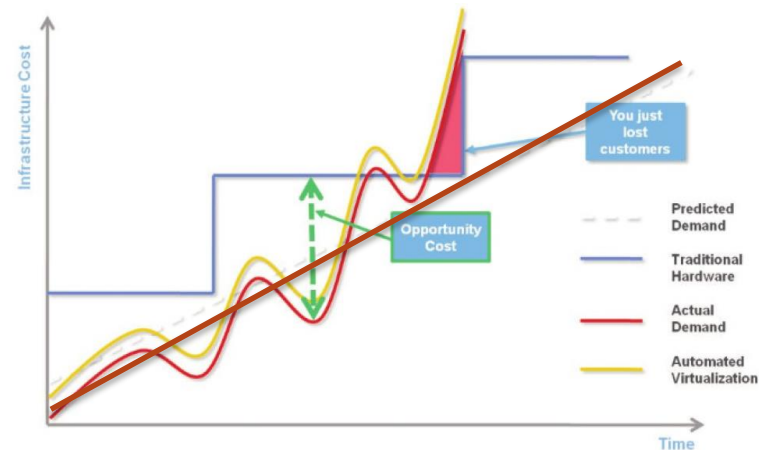
Source: Amazon Web Services

Skalierbarkeit: Effekte

- **Tageszeitliche und saisonale Effekte:** Mittags-Peak, Prime-Time-Peak, Wochenend-Peak, Weihnachten, Valentinstag, Muttertag, ... (vorhersehbare Belastungsspitzen)

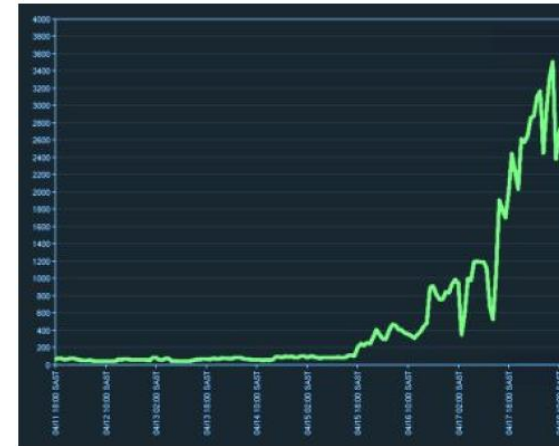


- **Kontinuierliches Wachstum**

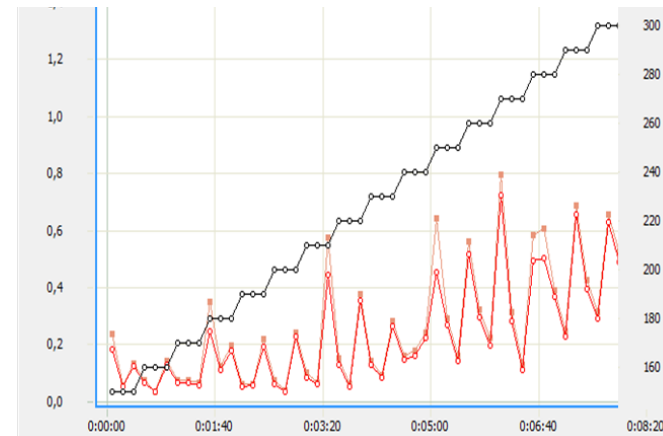


Source: Amazon Web Services

- **Sondereffekte:** z.B. Slashdot-Effekt (unvorhersehbare Belastungsspitzen)



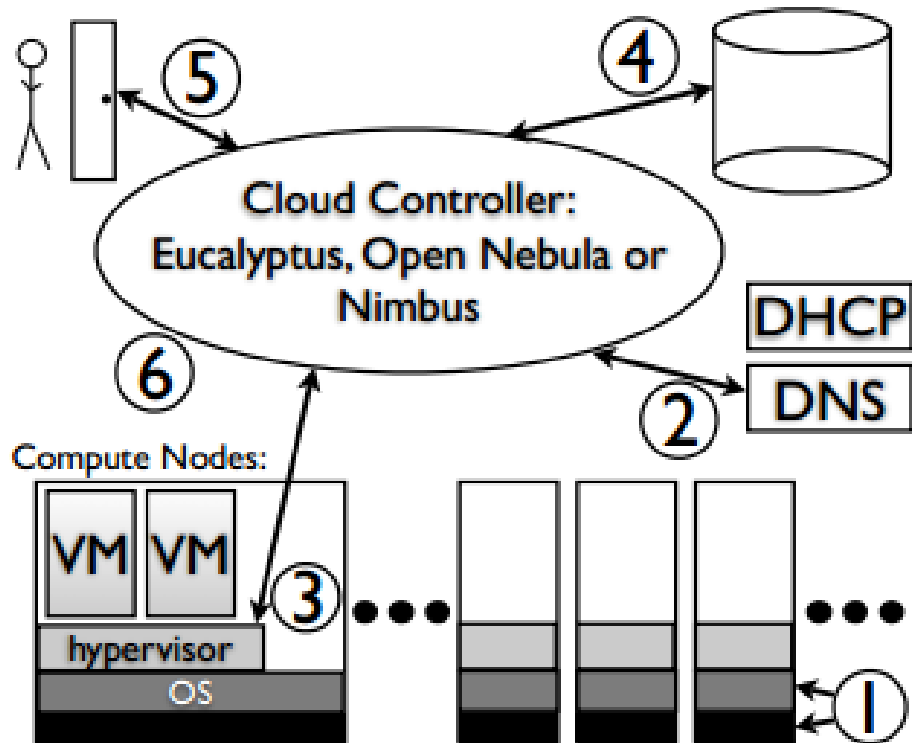
- **Temporäre Plattformen: Projekte, Tests, ...**



Elastizitätsarten

- **Nachfrageelastizität:** Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit der Nachfrage.
 - Pseudo-Elastizität: Schneller Aufbau. Kurze Kündigungsfrist.
 - Echtzeit-Elastizität: Allokation und Freigabe von Ressourcen innerhalb von Sekunden. Automatisierter Prozess mit manuellen Triggern oder nach Zeitplan.
 - Selbstadaptive Elastizität: Automatische Allokation und Freigabe von Ressourcen in Echtzeit auf Basis von Regeln und Metriken.
- **Angebotselastizität:** Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit dem Angebot.
 - Dies ist das typische Verhalten eines Grids: Alle verfügbaren Rechner werden allokiert.
 - Es sind auch Varianten verfügbar, bei denen man für freie Ressourcen bieten kann.
- **Einkommenselastizität:** Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit dem Einkommen bzw. dem Budget.

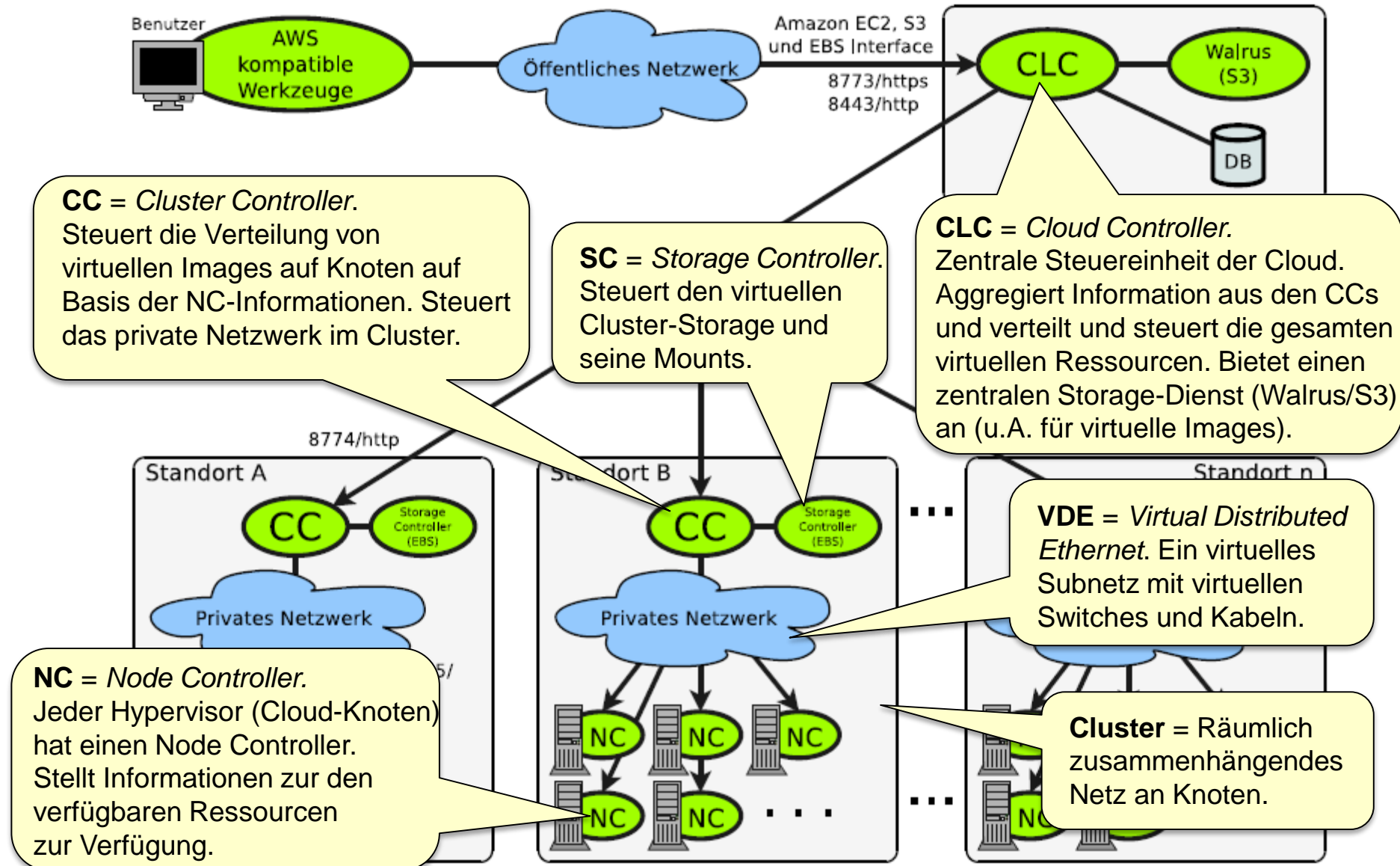
Eine IaaS-Referenzarchitektur



1. Hardware und Betriebssystem
2. Virtuelles Netzwerk und Netzwerkdienste
3. Virtualisierung
4. Datenspeicher und Image-Verwaltung
5. Managementschnittstelle für Administratoren und Benutzer
6. Cloud Controller für das mandantenspezifische Management der Cloud-Ressourcen

Peter Sempolinski and Douglas Thain,
"A Comparison and Critique of Eucalyptus, OpenNebula and Nimbus",
IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 2010.

Der interne Aufbau einer IaaS-Cloud am Beispiel Eucalyptus.

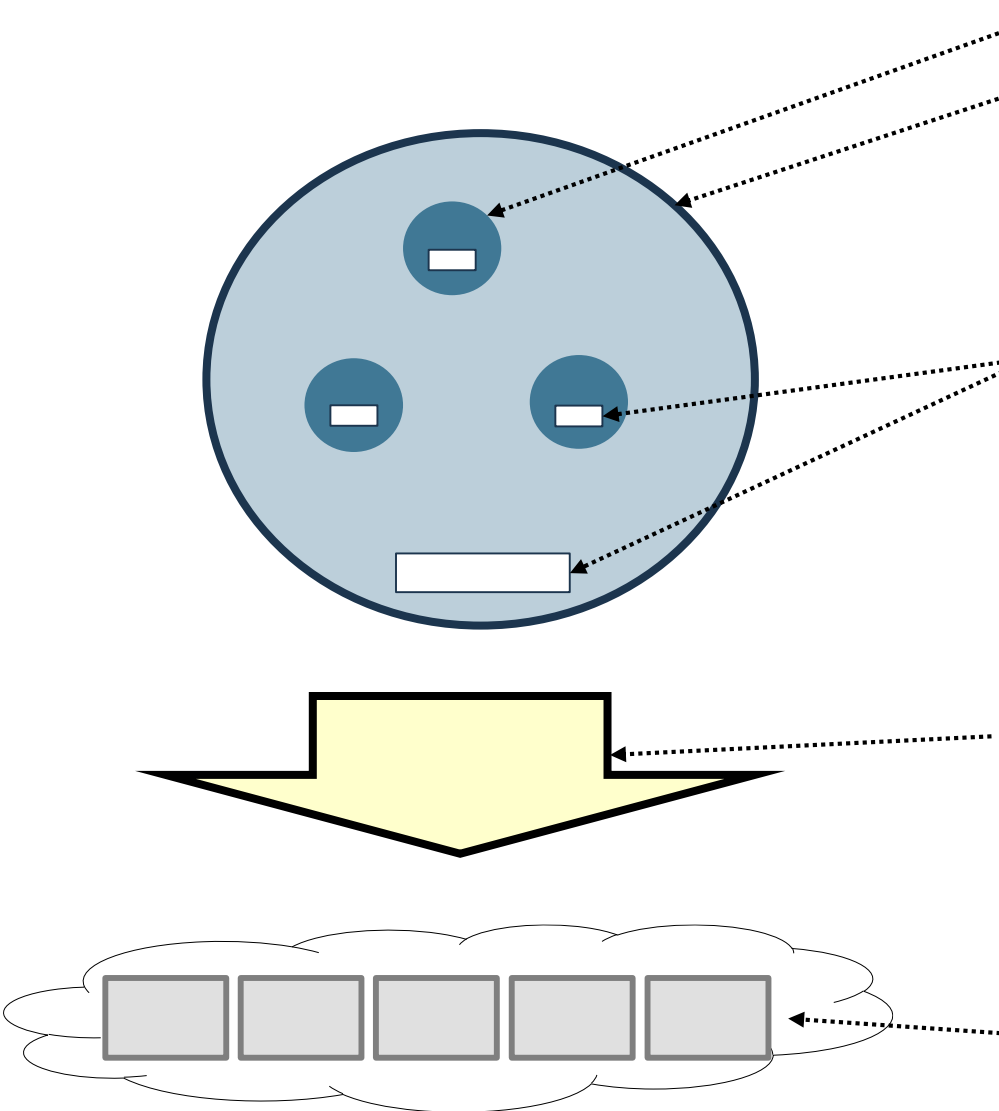


Mögliche Klausurfragen:

- Was versteht man unter Opportunitätskosten in Bezug auf die Betriebskosten von Hardware?
- Gegeben sei eine IaaS-Architektur entsprechend dem Beispiel von Eucalyptus: Was passiert, wenn der Cluster Controller vollständig ausfällt? Was ist weiterhin in der IaaS Cloud noch möglich?

Kapitel 6: Cluster-Scheduling

Terminologie



Task: Atomare Rechenaufgabe inklusive Ausführungsvorschrift.

Job: Menge an Tasks mit gemeinsamen Ausführungsziel. Die Menge an Tasks ist i.d.R. als DAG mit Tasks als Knoten und Ausführungsabhängigkeiten als Kanten repräsentiert.

Properties: Ausführungsrelevante Eigenschaften der Tasks und Jobs, wie z.B.:

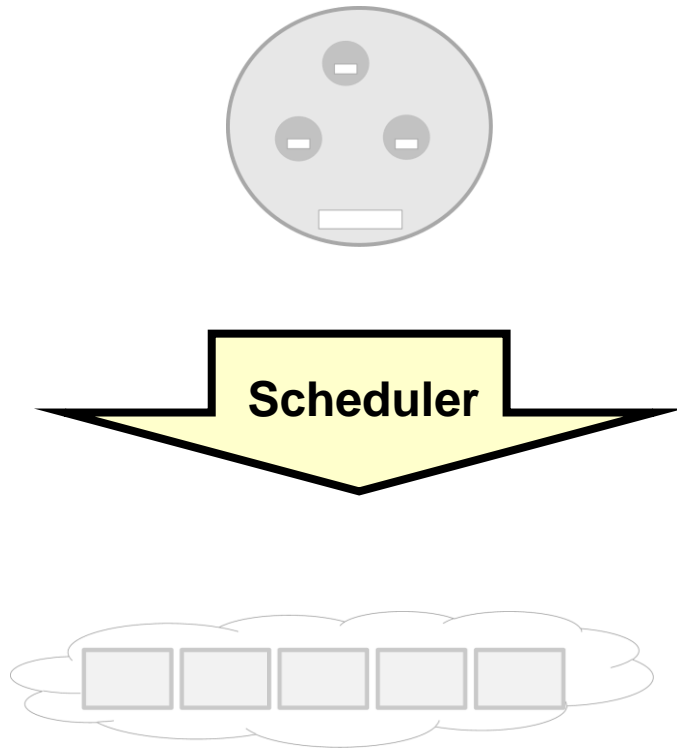
- Task: Ausführungsdauer, Priorität, Ressourcenverbrauch
- Job: Abhängigkeiten der Tasks, Ausführungszeitpunkt

Scheduler: Ausführung von Tasks auf den verfügbaren Resources unter Berücksichtigung der Properties und gegebener

Scheduling-Ziele (z.B. Fairness, Durchsatz, Ressourcenauslastung). Ein Scheduler kann **präemptiv** sein, also die Ausführung von Tasks unterbrechen und neu aufsetzen können.

Resources: Cluster an Rechnern mit CPU-, RAM-, HDD-, Netzwerk-Ressourcen. Ein Rechner stellt seine Ressourcen temporär zur Ausführung eines oder mehrerer Tasks zur Verfügung (**Slot**). Die parallele Ausführung von Tasks ist isoliert zueinander.

Aufgaben eines Cluster-Schedulers:



- **Cluster Awareness:** Die aktuell verfügbaren Ressourcen im Cluster kennen (Knoten inkl. verfügbare CPUs, verfügbarer RAM und Festplattenspeicher sowie Netzwerkbandbreite). Dabei auch auf Elastizität reagieren.
- **Job Allocation:** Zur Ausführung eines Services die passende Menge an Ressourcen für einen bestimmten Zeitraum bestimmen und allokkieren.
- **Job Execution:** Einen Service zuverlässig ausführen und dabei isolieren und überwachen.

Die einfachste Form des Scheduling: Statische Partitionierung



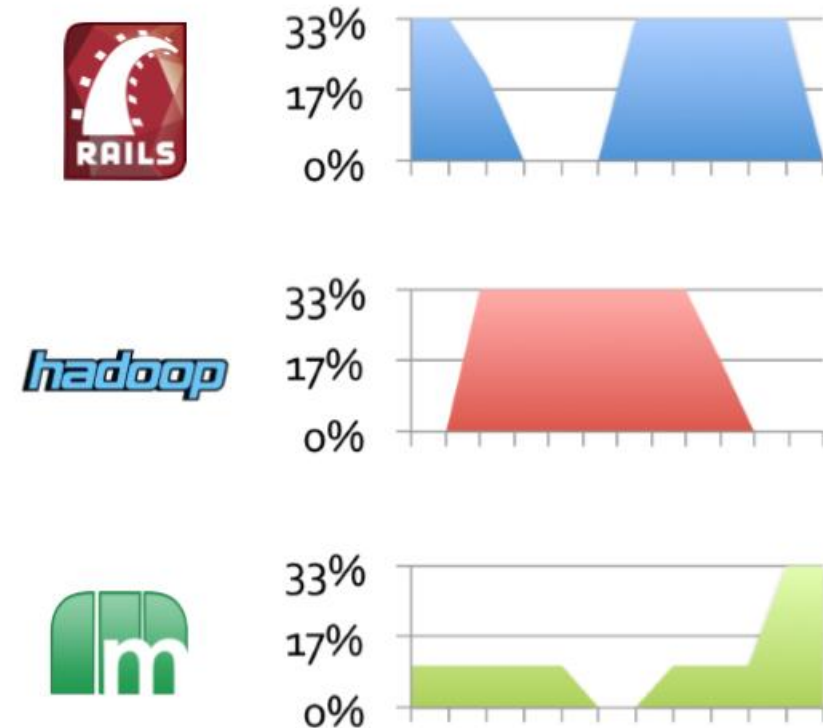
Vorteil:

- Einfach zu realisieren

Nachteile:

- Nicht flexibel bei geänderten Bedürfnissen
- Geringere Auslastung → hohe Opportunitätskosten

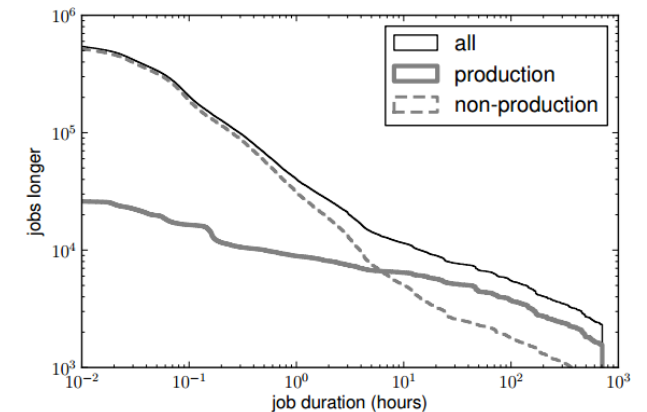
Auslastung pro Knoten



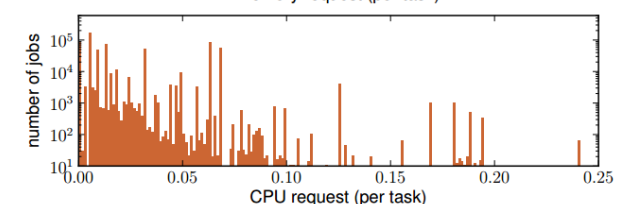
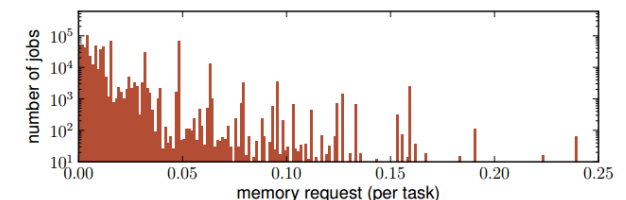
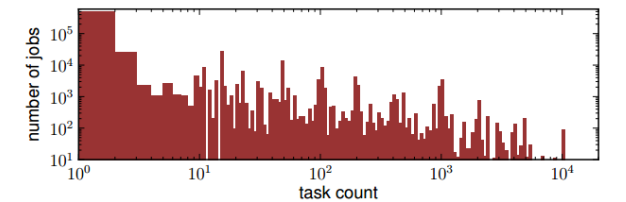
Bildquelle: Practical Considerations for Multi-Level Schedulers, Benjamin Hindman, 19th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP) 2015

Heterogenität im Scheduling

- In typischen Clustern ist die Workload an Jobs sehr heterogen.
- Charakteristische Unterschiede sind:
 - Ausführungsdauer: *min, h, d, INF*.
 - Ausführungszeit: sofort, später, zu einem Zeitpunkt.
 - Ausführungszweck: Datenverarbeitung, Request-Handling.
 - Ressourcenverbrauch: CPU-, RAM-, HDD-, NW-dominant.
 - Zustand: zustandsbehaftet, zustandslos.
- Zu unterscheiden sind mindestens:
 - **Batch-Jobs**: Ausführungszeit im Minuten- bis Stundenbereich. Eher niedrige Priorität und gut unterbrechbar. Müssen i.d.R. bis zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeschlossen sein. Zustandsbehaftet.
 - **Service-Jobs**: Sollen auf unbestimmte Zeit unterbrechungsfrei laufen. Haben hohe Priorität und sollten nicht unterbrochen werden. Sind teilweise auch zustandslos.

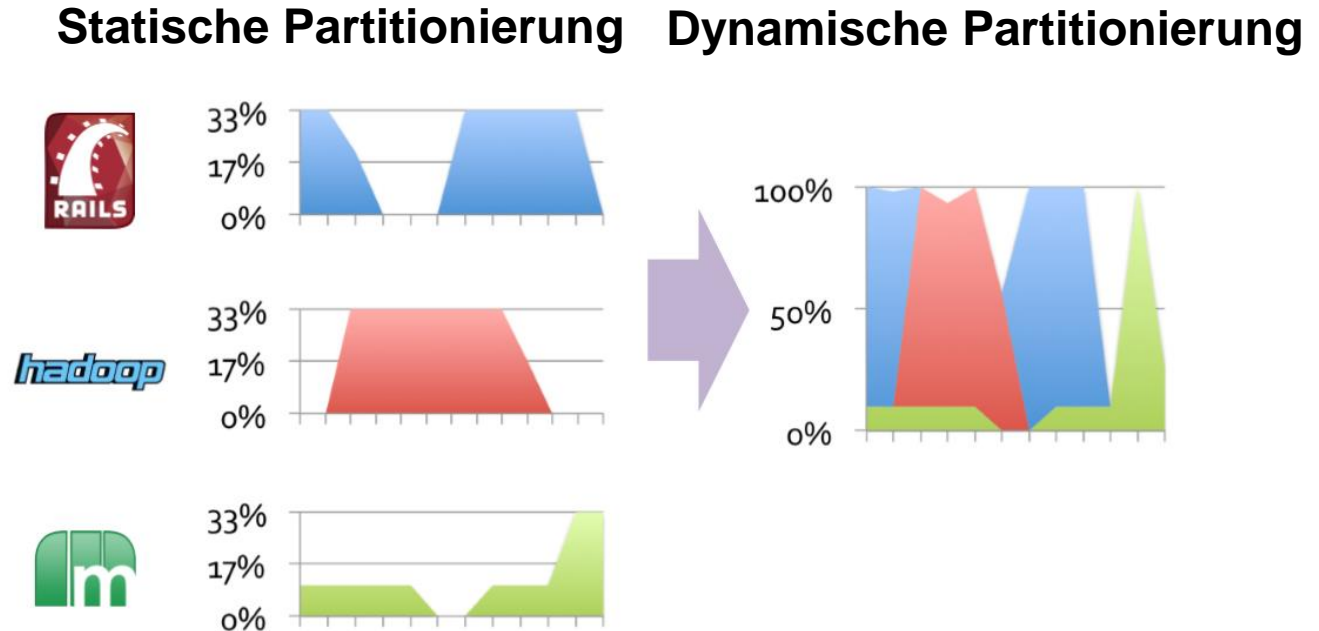
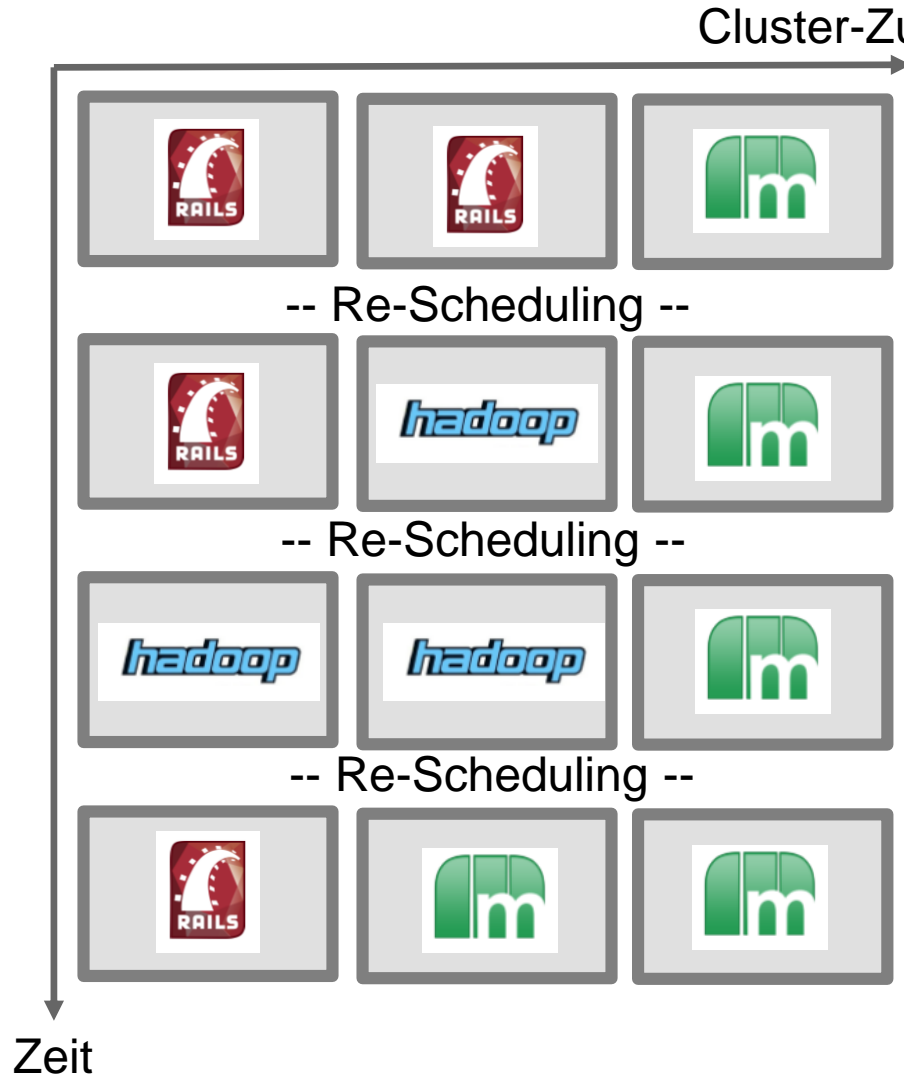


Ausführungsdauer



Ressourcenverbrauch

Bestehende Ressourcen einer Cloud können durch dynamische Partitionierung wesentlich effizienter genutzt werden.



Vorteile der dynamischen Partitionierung:

- Höhere Auslastung der Ressourcen → weniger Ressourcen notwendig → geringere Betriebskosten
- Potenziell schnellere Ausführung einzelner Tasks, da Ressource opportun genutzt werden können.

Scheduling ist eine Optimierungsaufgabe, die NP-vollständig ist.

- ... und ist NP-vollständig. Die Optimierungsaufgabe lässt sich auf das Travelling Salesman Problem zurückführen.
- Das bedeutet:
 - Es ist kein Algorithmus bekannt, der eine optimale Lösung garantiert in Polynomialzeit erzeugt.
 - Algorithmus muss für tausende Jobs und tausende Ressourcen skalieren. Optimale Algorithmen, die den Lösungsraum komplett durchsuchen sind nicht praktikabel, da deren Entscheidungszeit zu lange ist für große Eingabemengen ($|Jobs| \times |Ressourcen|$).
 - Praktikable Scheduling-Algorithmen sind somit Algorithmen zur näherungsweisen Lösung des Optimierungsproblems (Heuristiken, Meta-Heuristiken).
- Darüber hinaus kommen Job-Anfragen kontinuierlich an, so dass selbst bei optimalem Algorithmus der Re-Organisationsaufwand pro Job unverhältnismäßig hoch werden kann.

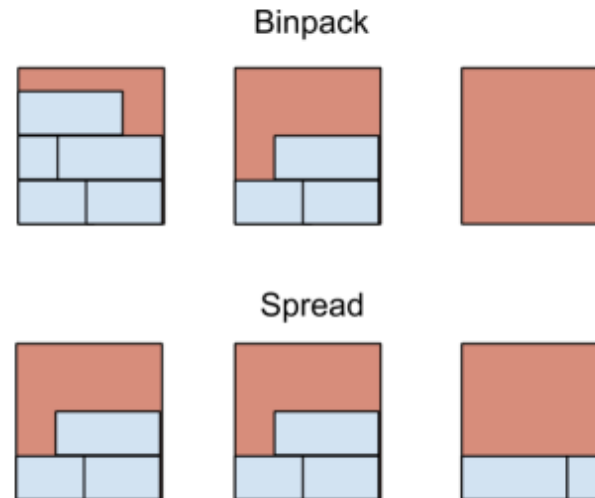
Einfache Scheduling-Algorithmen

- Optimieren das Scheduling von Tasks oft in genau einer Dimension (z.B. CPU-Auslastung) bzw. wenigen Dimensionen (CPU-Auslastung und RAM).

- Populäre Algorithmen:

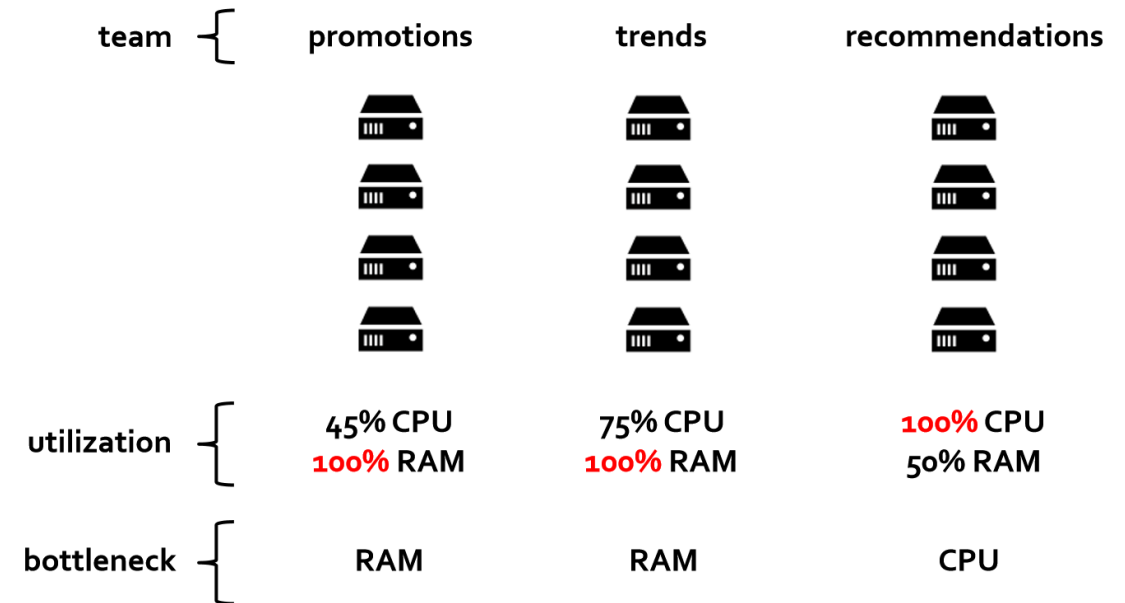
- Binpack

- Spread (Round Robin)



Multidimensionaler Scheduling-Algorithmus mit Fokus auf Fairness: Dominant Resource Fairness (DRF).

- Aufteilung der Ressourcen an verschiedene „Teams“ (Applikationen, Jobs).
- Ausgangslage: Würden die Ressourcen gleichteilig statisch an die Teams verteilt, so hat jedes Team eine dominante Ressource, die besonders intensiv genutzt wird. Diese dominante Ressource kann durch Beobachtung ermittelt werden und balanciert sich über alle Teams hinweg aus.
- Fairness-Auffassung: Jedes Team bekommt mindestens $1/N$ aller Ressourcen der dominanten Ressourcen. Der Scheduling-Algorithmus ist darauf ausgelegt, die minimal verfügbaren dominanten Ressourcen pro Team zu maximieren.
- Die Fairness kann justiert werden. Jedem Team kann ein gewichteter Anteil der Ressourcen in der statischen Ausgangslage zugesprochen werden. Die Fairness-Auffassung ist dann entsprechend gewichtet.

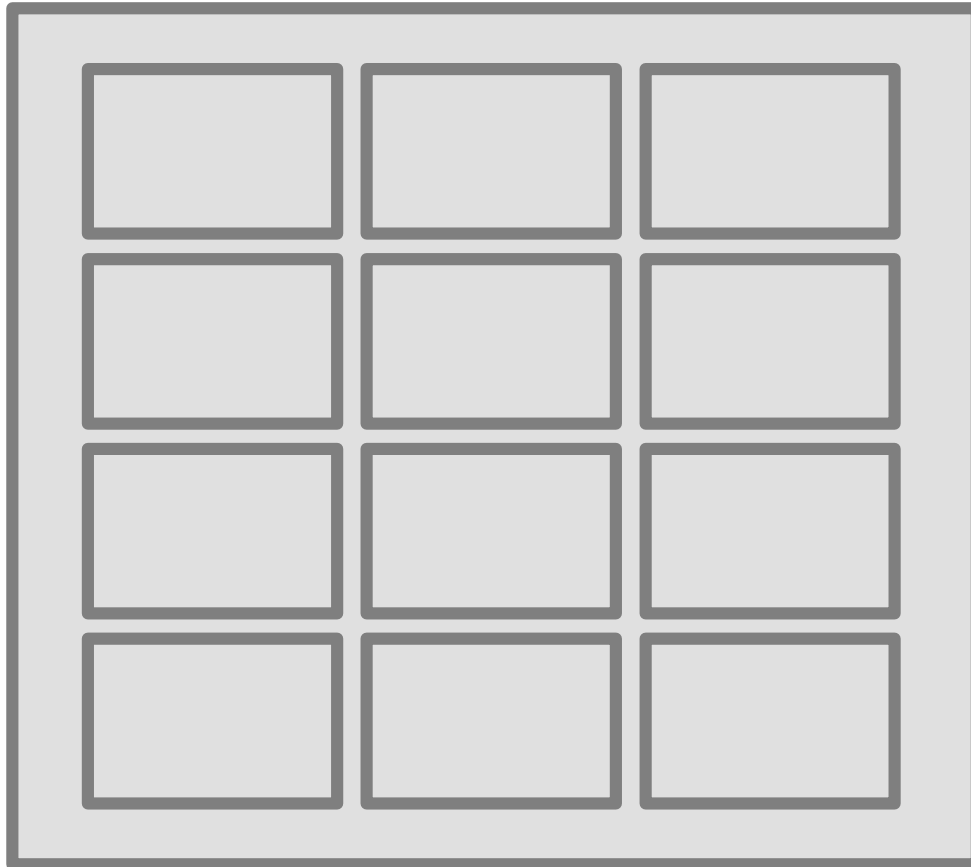


- Bildquelle: Practical Considerations for Multi-Level Schedulers, Benjamin Hindman, 19th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP) 2015
- Dominant Resource Fairness: Fair Allocation of Multiple Resource Types, Ghodsi et al., 2011
- DRF ist eine Generalisierung des Min-Max Algorithmus für mehrere Ressourcen:
<http://www.ece.rutgers.edu/~marsic/Teaching/CCN/minmax-fairsh.html>

Scheduling-Algorithmus mit Fokus auf Fairness: Capacity Scheduler (CS).

- Es werden Job Queues definiert und zu jeder Queue eine Kapazitätsszusage in Ressourcenanteil vom Cluster definiert.
- Fairness-Auffassung: Diese Kapazitätsszusage wird stets eingehalten. Der Scheduling-Algorithmus stellt sicher, dass diese Fairness stets sichergestellt wird.
- Damit das Cluster dafür nicht statisch partitioniert werden muss, ist ein sog. Over-Commitment von Ressourcen erlaubt.
- Wird durch ein Over-Commitment aber eine Kapazitätsszusage gefährdet, werden die over-committeten Ressourcen entzogen. Hierfür ist also ein präemptiver Scheduler notwendig.

The Datacenter as a Computer



Idee: Ein Cluster sieht von Außen aus wie ein großer Computer.

Konsequenz: Es müssen als Fundament viele Konzepte klassischer Betriebssysteme übertragen werden (ein Cluster-Betriebssystem). Das gilt insbesondere auch für das Scheduling.

Buch: The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines, 2009, Luiz André Barroso und Urs Hölzle

Eine konzeptionelle Architektur für Cluster-Scheduler.

Job Queue:

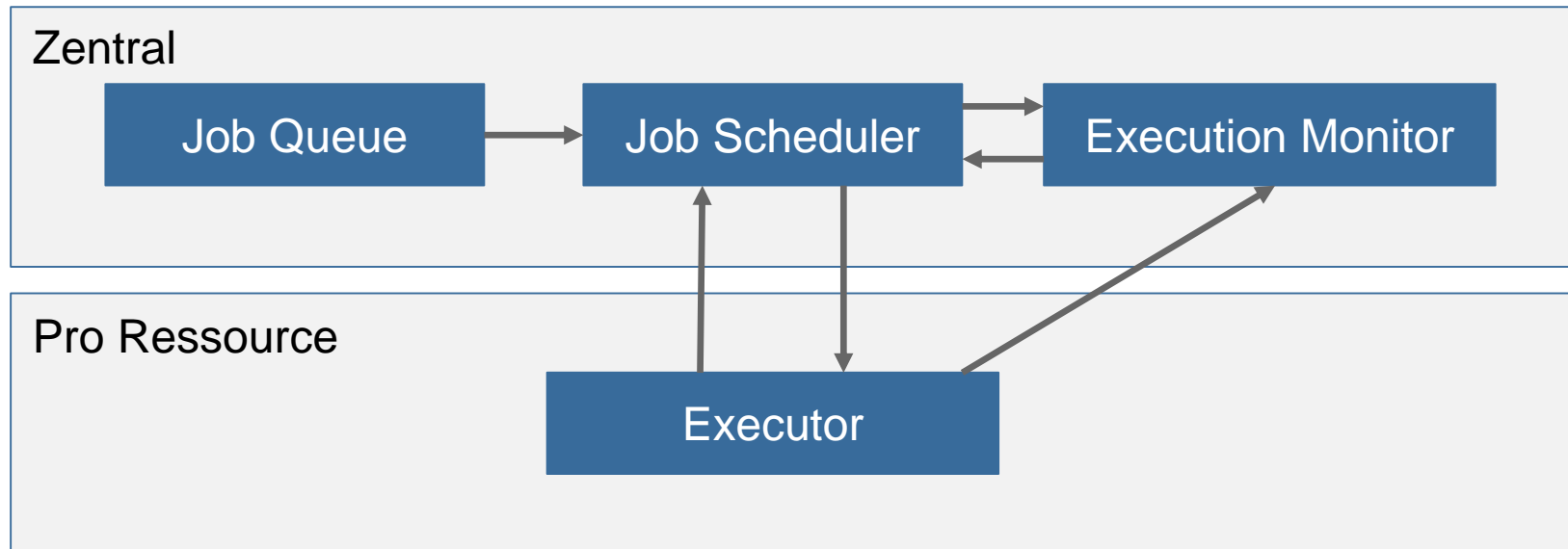
- Eingehende Jobs zur Ausführung
- Events zu eingegangenen Jobs

Job Scheduler:

- Jobs einplanen
- Taskausführung steuern

Execution Monitor:

- Task-Ausführung überwachen
- Ressourcen überwachen



Anforderungen:

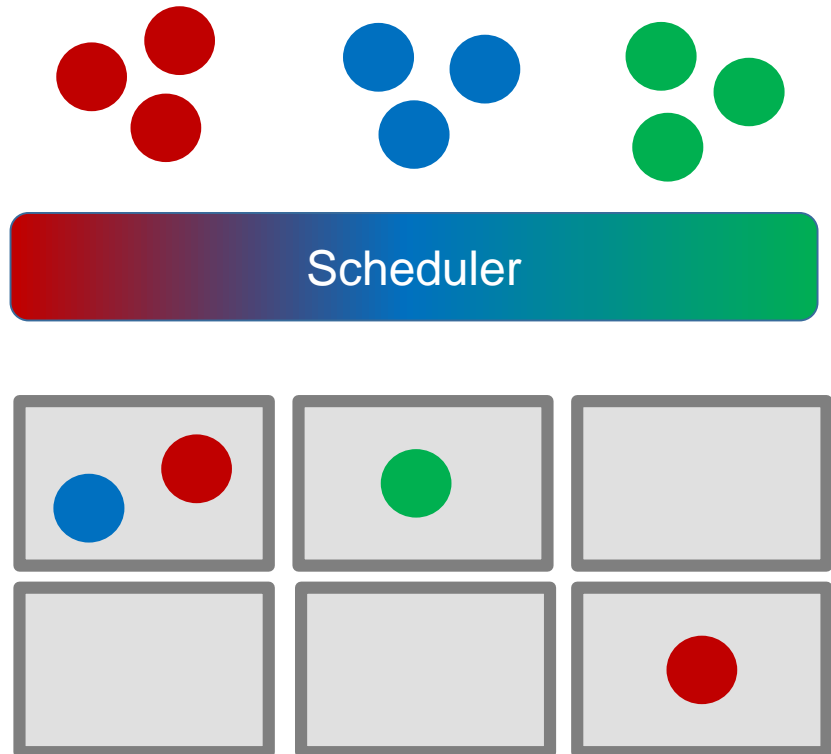
- Performance
 - Geringe Queing-Time
 - Geringe Decision-Time
 - Geringe Ausführungslatenz
- Hoch-Verfügbarkeit und Fehlertoleranz
- Skalierbarkeit bzgl. Anzahl an Jobs und verfügbaren Ressourcen.

Executor:

- Task ausführen
- Informationen zur Ressource bereitstellen

Scheduler-Architektur.

Variante 2: Monolithischer Scheduler.



▪ **Google Borg**
Large-scale cluster management at Google with Borg, Verma et al., 2015

▪ **Hadoop YARN**

▪ **Kubernetes**

▪ **Docker Swarm**

Vorteile:

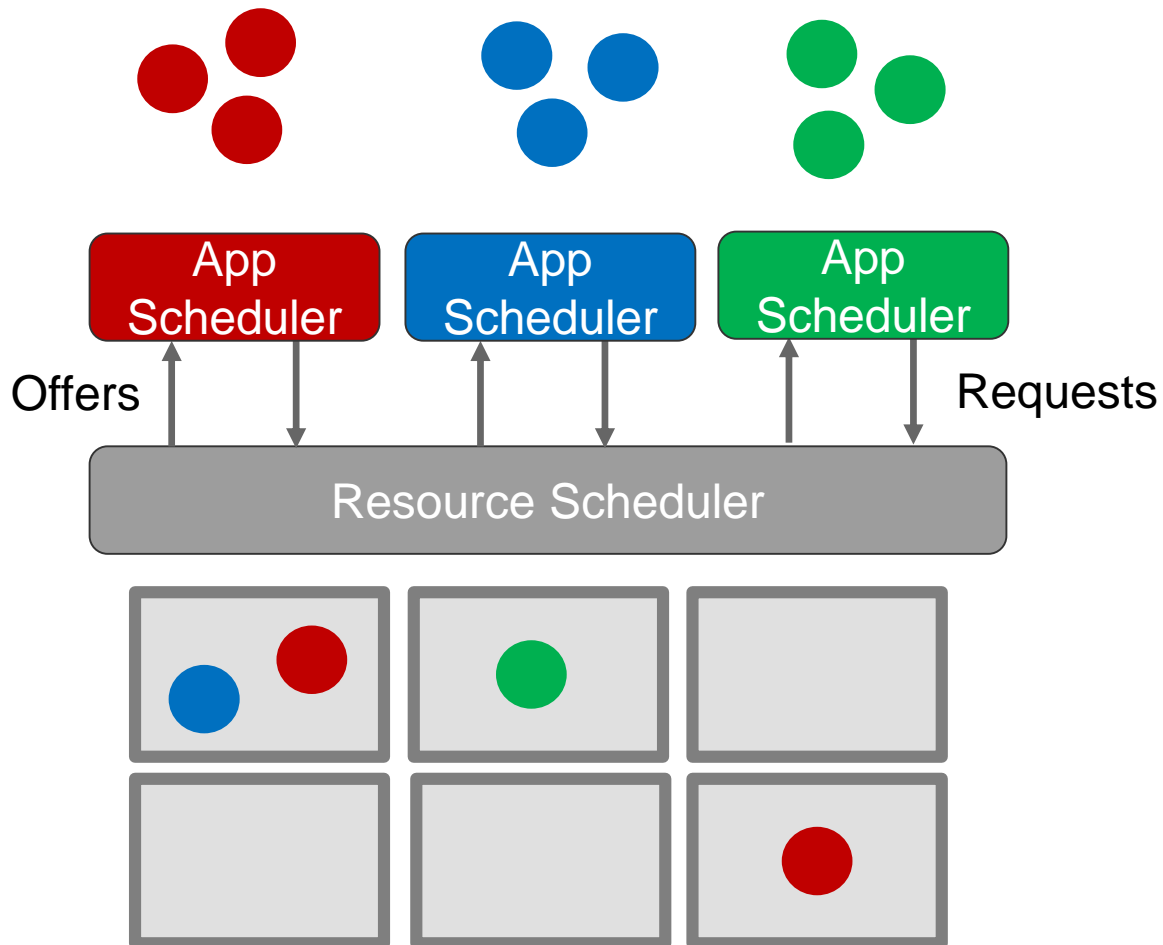
- Globale Optimierungsstrategien einfach möglich.

Nachteile:

- Heterogenes Scheduling für heterogene Jobs schwierig:
 - Komplexe und umfangreiche Implementierung notwendig
 - ... oder homogenes Scheduling von geringerer Effizienz.
- Potenzielles Skalierbarkeits-Bottleneck.

Scheduler-Architektur.

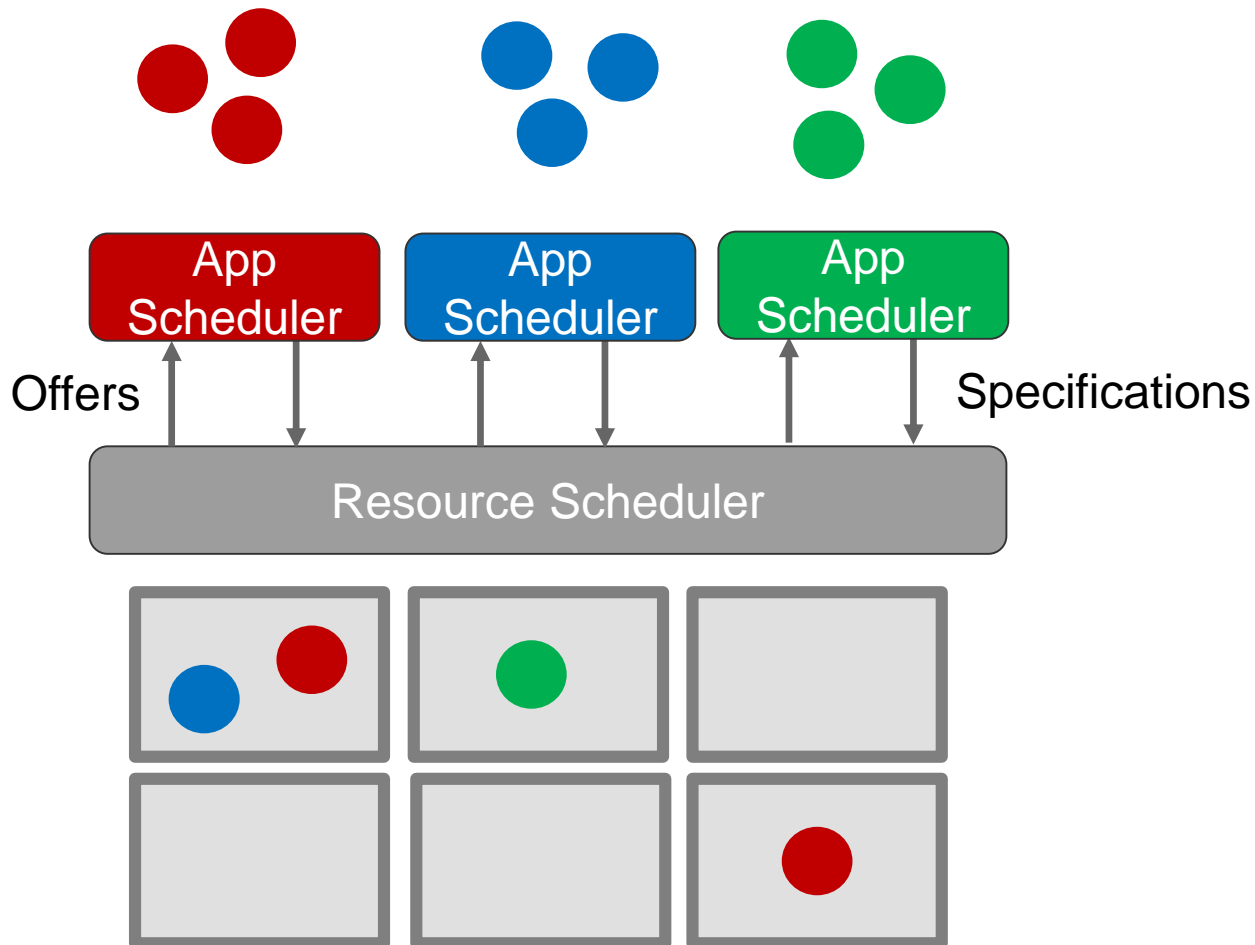
Variante 3: 2-Level-Scheduler.



- Auftrennung der Scheduling-Logik in einen Resource Scheduler und einen App Scheduler.
- Der **Resource Scheduler** kennt alle verfügbaren Ressourcen und darf diese allokalieren. Er nimmt Ressourcen-Anfragen (Requests) entgegen und unterbreitet entsprechend einer Scheduling-Policy (definierte Scheduling-Ziele) Ressourcen-Angebote (Offers).
- Der **App Scheduler** nimmt Jobs entgegen und „übersetzt“ diese in Ressourcen-Anfragen und wählt applikationsspezifisch die passenden Ressourcen-Angebote aus.
- Offers sind eine zeitlich beschränkte Allokation von Ressourcen, die explizit angenommen werden muss.
- Grundsätzlich **pessimistische Strategie**: Disjunkte Offers. I.d.R. sind aber auch optimistische Offers verfügbar, bei denen eine gewisse Überschneidung erlaubt ist.
- Im Sinne der Fairness kann ein prozentualer Anteil der Ressourcen für einen App Scheduler garantiert werden.

Scheduler-Architektur.

Variante 3: 2-Level-Scheduler.



Apache Mesos
Mesos: A Platform for Fine-Grained Resource Sharing in the
Data Center, Hindman et al., 2010

■ Vorteile:

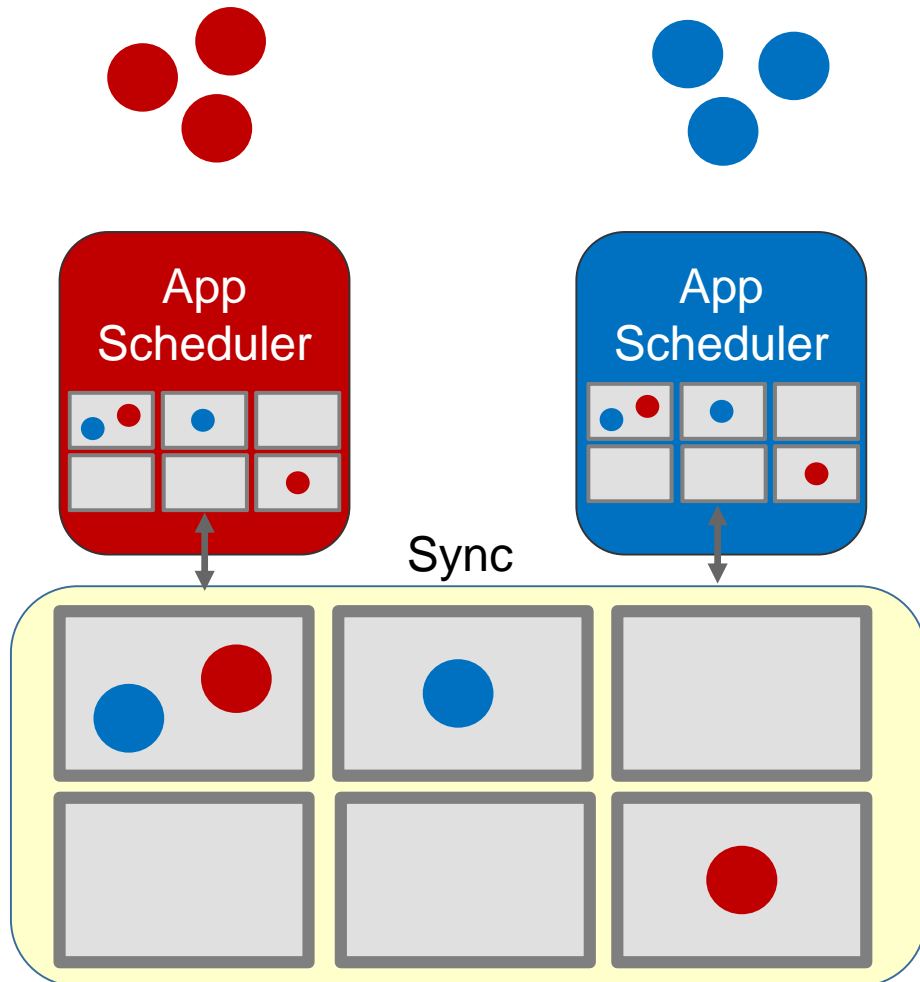
- Nachgewiesene Skalierbarkeit auf tausende von Knoten (z.B. Twitter, Airbnb, Apple Siri).
- Flexible Architektur für heterogene Scheduling-Logiken.

■ Nachteile:

- App-Scheduler übergreifende Logiken nur schwer zu realisieren (z.B. globaler Ausführungsverzicht oder Gang-Scheduling)

Scheduler-Architektur.

Variante 4: Shared-State-Scheduler.

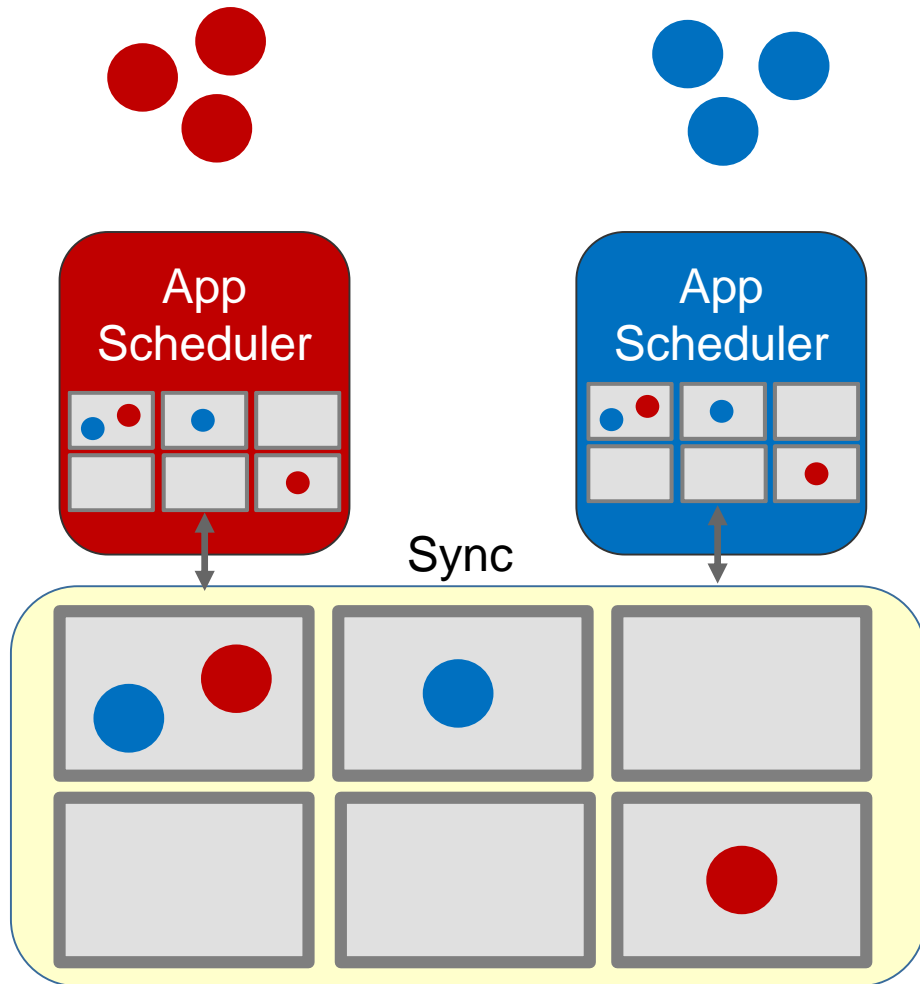


- Es gibt ausschließlich applikationsspezifische Scheduler.
- Die **App Scheduler** synchronisieren kontinuierlich den aktuellen Zustand des Clusters (**Cluster-Zustand**: Job-Allokationen und verfügbare Ressourcen).
- Jeder App Scheduler entscheidet die Platzierung von Tasks auf Basis seines aktuellen Cluster-Zustands.
- **Optimistische Strategie**: Ein zentraler Koordinationsdienst erkennt Konflikte im Scheduling und löst diese auf, indem er Zustands-Änderungen nur für einen der beteiligten App Scheduler erlaubt und für die anderen App Scheduler einen Fehler meldet.

Scheduler-Architektur.

Variante 4: Shared-State-Scheduler.

Google Omega
Omega: flexible, scalable schedulers for large
compute clusters, Schwarzkopf et al., 2013



■ Vorteile:

- Tendenziell geringerer Kommunikations-Overhead.

■ Nachteile:

- Komplettes Scheduling muss pro App Scheduler entwickelt werden.
- Keine globalen Scheduling-Ziele (z.B. Fairness) möglich.
- Skalierbarkeit in großen Clustern unklar, da noch nicht in der Praxis erprobt und insbesondere Auswirkung bei hoher Anzahl an Konflikten ungeklärt.

Mögliche Klausurfragen:

- Was ist der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Partitionierung im Scheduling?
- Erläutern sie die beiden mindestens zu unterscheidenden Job-Arten im Cluster-Scheduling.
- Was versteht man unter einer dominanten Ressource beim DRF-Scheduling-Algorithmus?

Kapitel 7: Orchestrierung

Cluster-Orchestrierung

- Eine Anwendung, die in mehrere Betriebskomponenten (Container) aufgeteilt ist, auf mehreren Knoten laufen lassen.
„Running Containers on Multiple Hosts“.
DockerCon SF 2015: Orchestration for Sysadmins
- Führt Abstraktionen zur Ausführung von Anwendungen mit ihren Services in einem großen Cluster ein.
- Orchestrierung ist keine statische, einmalige Aktivität wie die Provisionierung sondern eine dynamische, kontinuierliche Aktivität.
- Orchestrierung hat den Anspruch, alle Standard-Betriebsprozeduren einer Anwendung zu automatisieren.

Blaupause der Anwendung, die den gewünschten Betriebszustand der Anwendung beschreibt: Betriebskomponenten (Container), deren Betriebsanforderungen sowie die angebotenen und benötigten Schnittstellen.



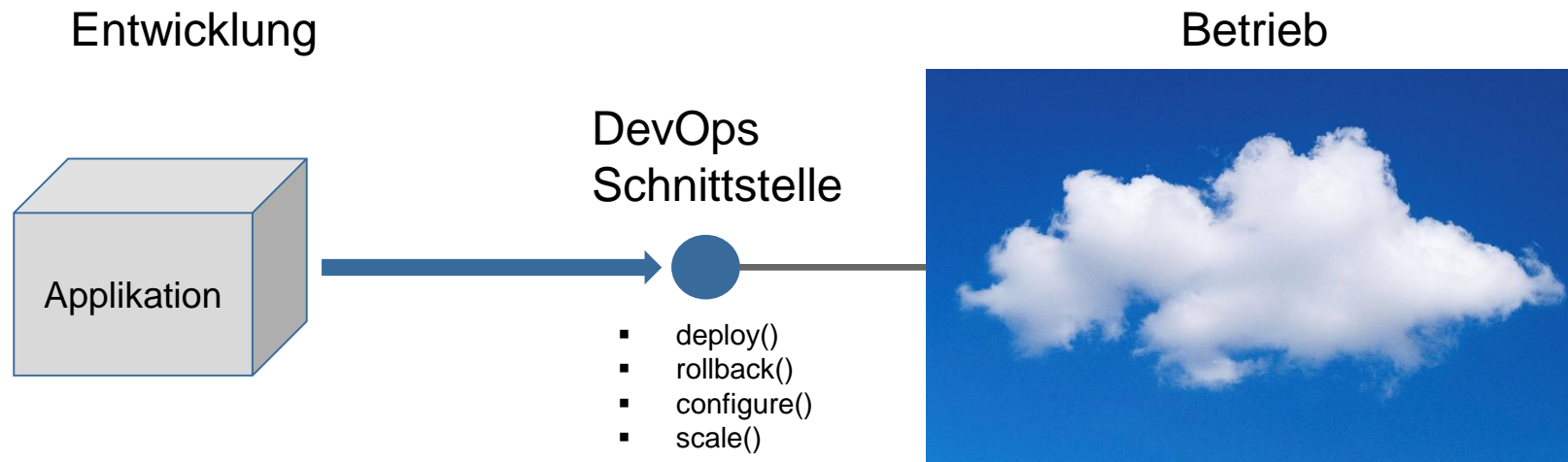
Cluster-Orchestrierer



Steuerungsaktivitäten im Cluster:

- Start von Containern auf Knoten (→ Scheduler)
- Verknüpfung von Containern
- ...

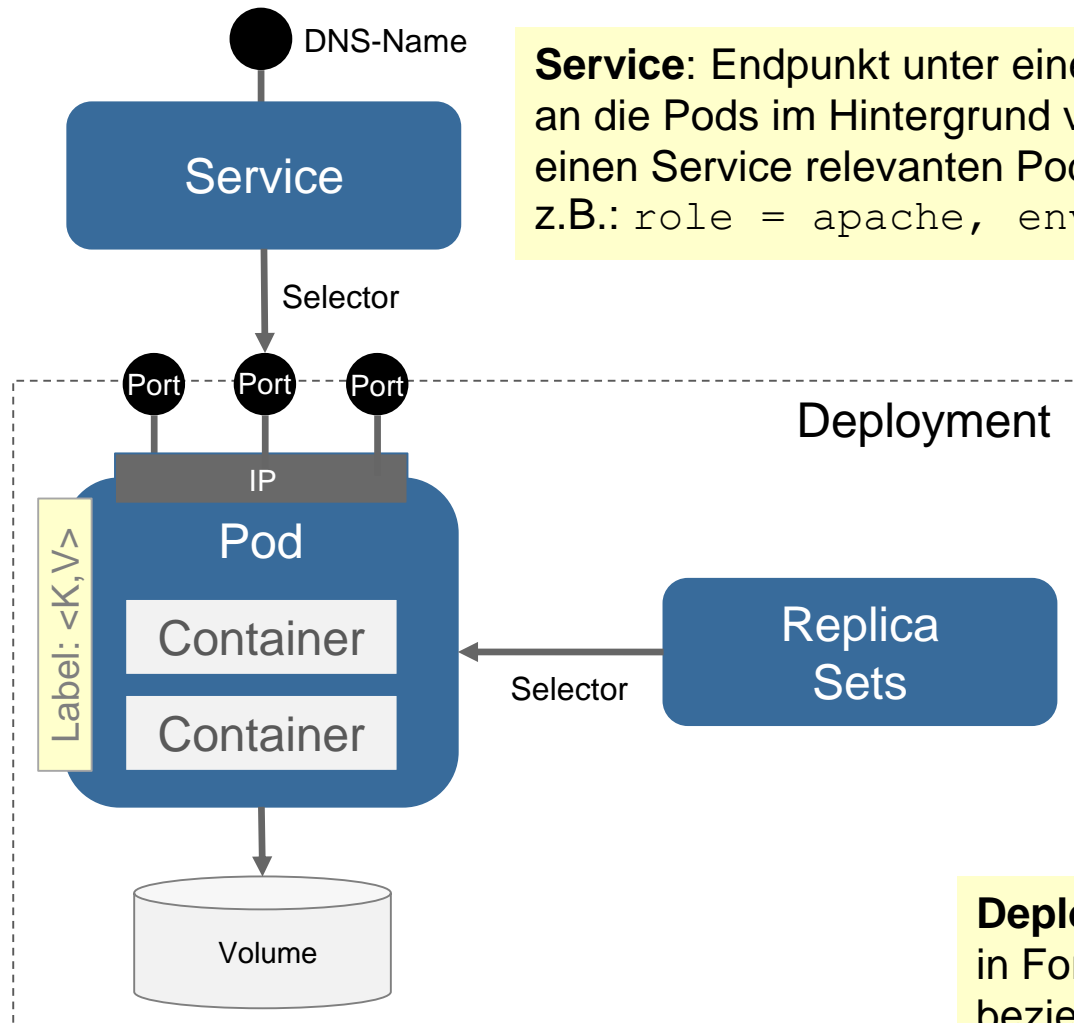
Ein Cluster-Orchestrierer bietet eine Schnittstelle zwischen Betrieb und Entwicklung für ein Cluster an.



Ein Cluster-Orchestrierer automatisiert vielerlei Betriebsaufgaben für Anwendung auf einem Cluster.

- Scheduling von Containern mit applikationsspezifischen Constraints (z.B. Deployment- und Start-Reihenfolgen, Gruppierung, ...)
- Aufbau von notwendigen Netzwerk-Verbindungen zwischen Containern.
- Bereitstellung von persistenten Speichern für zustandsbehaftete Container.
- (Auto-) Skalierung von Containern.
- Re-Scheduling von Containern im Fehlerfall (Auto-Healing) oder zur Performance-Optimierung.
- Container-Logistik: Verwaltung und Bereitstellung von Containern. Package-Management: Verwaltung und Bereitstellung von Applikationen.
- Bereitstellung von Administrationsschnittstellen (Remote-API, Kommandozeile).
- Management von Services: Service Discovery, Naming, Load Balancing.
- Automatismen für Rollout-Workflows wie z.B. Canary Rollout.
- Monitoring und Diagnose von Containern und Services.

Der Kern-Abstraktionen von Kubernetes.



Service: Endpunkt unter einem definierten DNS-Namen, der Aufrufe an die Pods im Hintergrund verteilt (Load Balancing, Failover). Die für einen Service relevanten Pods werden über ihre Labels selektiert, z.B.: `role = apache, env != test, tier in (web, app)`

Pod: Gruppe an Containern, die auf dem selben Knoten laufen und sich eine Netzwerk-Schnittstelle inklusive einer dedizierten IP, persistente Volumes und Umgebungsvariablen teilen. Ein Pod ist die atomare Scheduling-Einheit in K8s. Ein Pod kann über sog. *Labels* markiert werden, das sind frei definierbare Schlüssel-Wert-Paare.

Replica Sets / Replication Controller: stellen sicher, dass eine spezifizierte Anzahl an Instanzen pro Pod ständig läuft. Ist für Reaktionen im Fehlerfall (Re-Scheduling), Skalierung und Rollouts (Canary Rollouts, Rollout Tracks, ..) zuständig.

Deployment: Klammer um einen gewünschten Zielzustand im Cluster in Form eines Pods mit dazugehörigem ReplicaSet. Ein Deployment bezieht sich nicht auf Services, da diese in der K8s-Philosophie einen von Deployments unabhängigen Lebenszyklus haben.

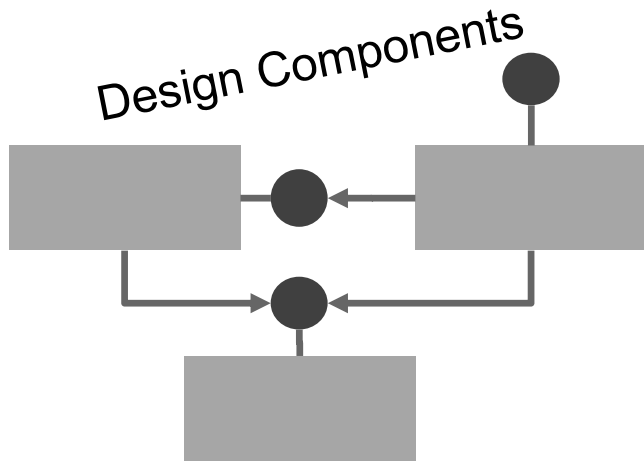
Mögliche Klausurfragen:

- In welchen typischen Fällen führt ein Orchestrierer ein Re-Scheduling von Containern durch?
- Erläutern sie das Konzept eines Replica Sets in Kubernetes.
- Was versteht man unter Auto-Skalierung?

Kapitel 8: Cloud-fähige Softwarearchitekturen

Cloud Native Applications Means: Components All Along the Software Lifecycle

DESIGN



1:1

BUILD

Dev Components



n:1

RUN

Ops Components

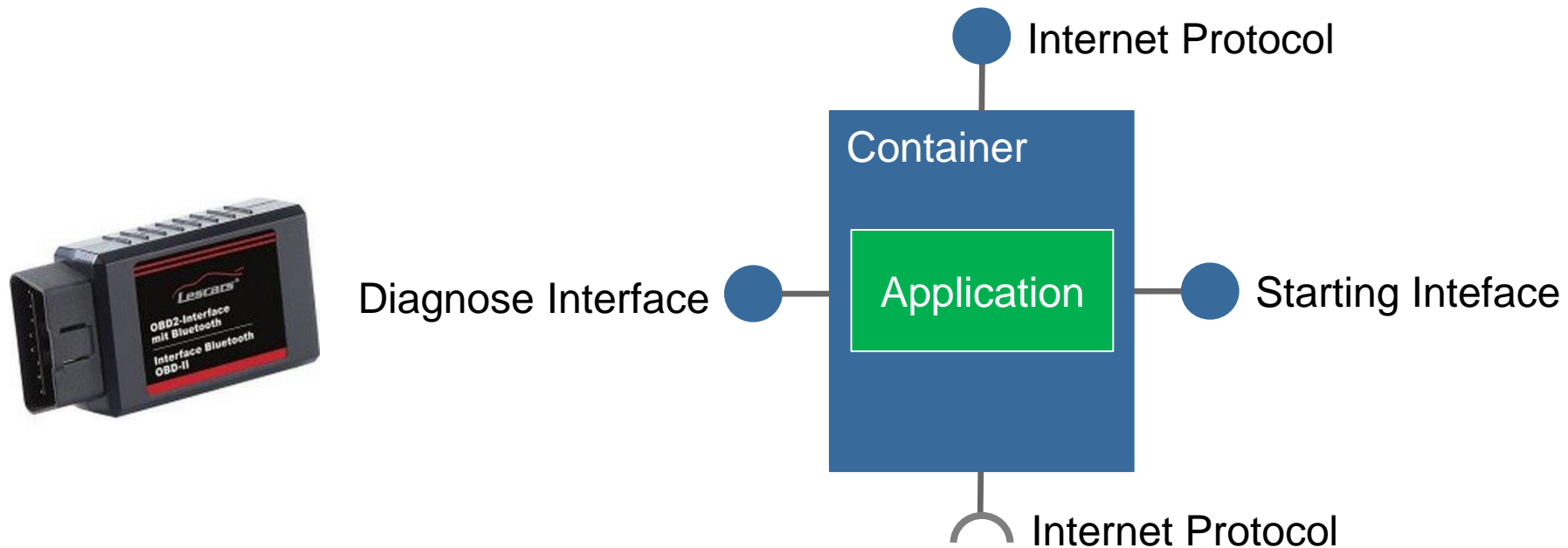


- Complexity unit
- Data integrity unit
- Coherent and cohesive features unit
- Decoupled unit

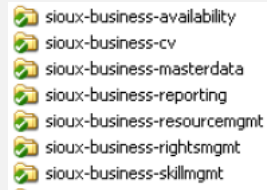
- Planning unit
- Team assignment unit
- Knowledge unit
- Development unit
- Integration unit

- Release unit
- Deployment unit
- Runtime unit (crash, slow-down, local access)
- Scaling unit

The Anatomy of an Ops Component



Dev Components



?:1

Ops Components



Good starting point

System

Subsystems

Components

Services

Monolith

Microservices

Microservices

Nanoservices

Decomposition trade-off

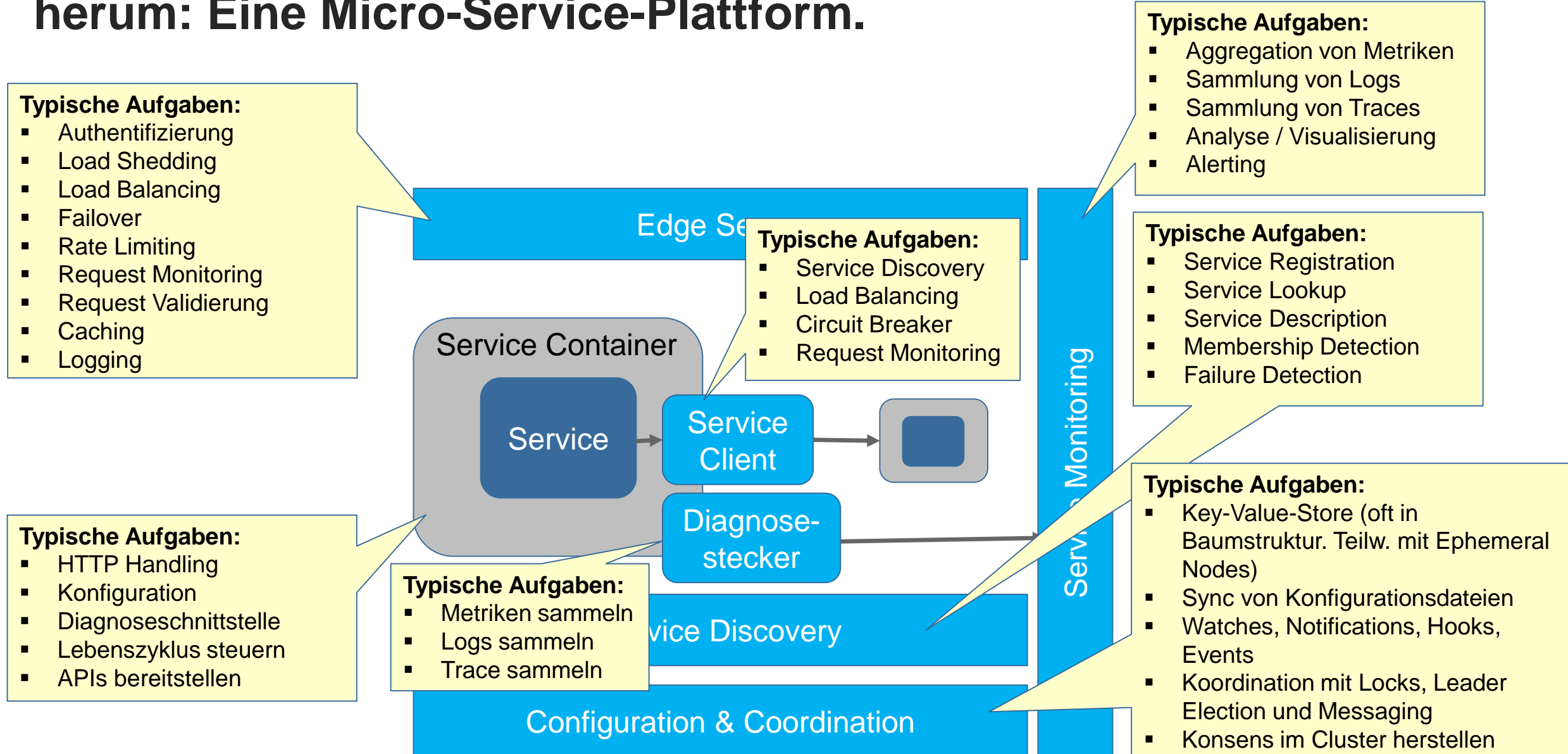
+

- More flexible to scale
- Runtime isolation (crash, slow-down, ...)
- Independent releases, deployments, teams
- Higher utilization possible

-

- Distribution debt: Latency
- Increasing infrastructure complexity
- Increasing troubleshooting complexity
- Increasing integration complexity

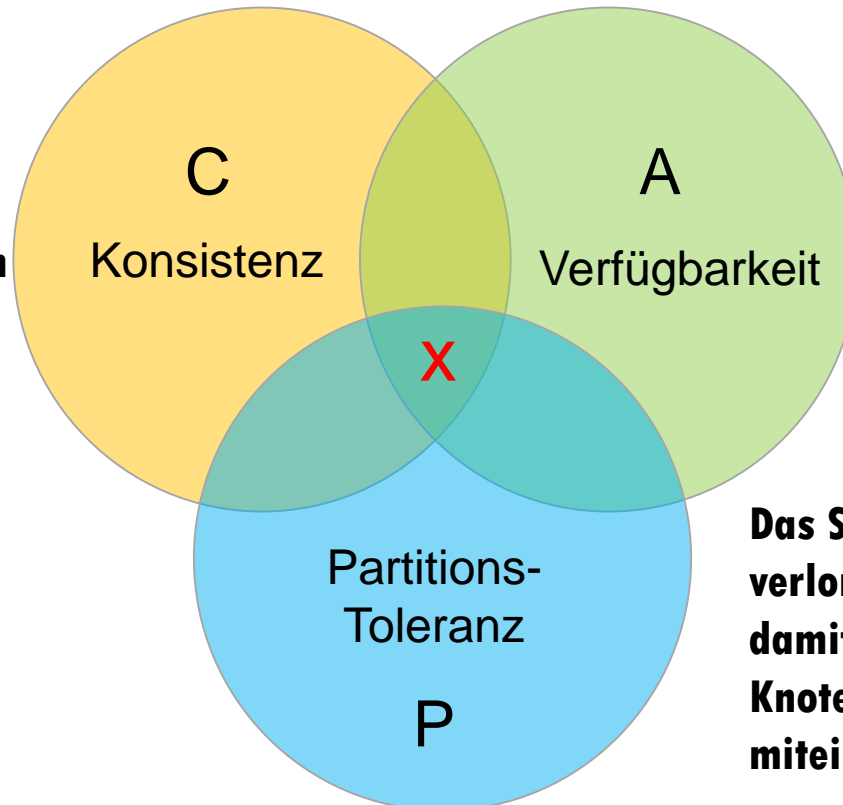
Betriebskomponenten benötigen eine Infrastruktur um sie herum: Eine Micro-Service-Plattform.



Das CAP Theorem

- Theorem von Brewer für Eigenschaften von zustandsbehafteten verteilten Systemen – mittlerweile auch formal bewiesen.
Brewer, Eric A. "Towards robust distributed systems." *PODC*. 2000.
- Es gibt drei wesentliche Eigenschaften, von denen ein verteiltes System nur zwei gleichzeitig haben kann:

Alle Knoten sehen die selben Daten zur selben Zeit. Alle Kopien sind stets gleich.

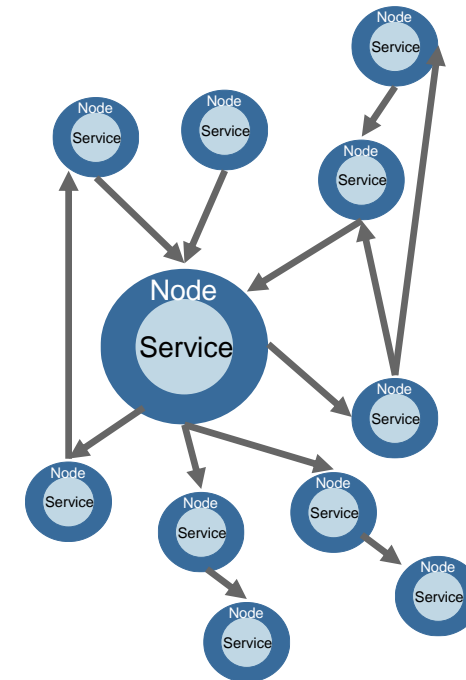


Das System läuft auch, wenn einzelne Knoten ausfallen. Ausfälle von Knoten und Kanälen halten die überlebenden Knoten nicht von ihrer Funktion ab.

Das System funktioniert auch im Fall von verlorenen Nachrichten. Das System kann dabei damit umgehen, dass sich das Netzwerk an Knoten in mehrere Partitionen aufteilt, die nicht miteinander kommunizieren.

Gossip Protokolle: Inspiriert von der Verbreitung von Tratsch in sozialen Netzwerken.

- Grundlage: Ein Netzwerk an Agenten mit eigenem Zustand
- Agenten verteilen einen Gossip-Strom
 - Nachricht: Quelle, Inhalt / Zustand, Zeitstempel
 - Nachrichten werden in einem festen Takt periodisch versendet an eine bestimmte Anzahl anderer Knoten (Fanout)
- Virale Verbreitung des Gossip-Stroms
 - Knoten, die mit mir in einer Gruppe sind, bekommen auf jeden Fall eine Nachricht
 - Die Top x% an Knoten, die mir Nachrichten schicken bekommen eine Nachricht
- Nachrichten, denen vertraut wird, werden in den lokalen Zustand übernommen
 - Die gleiche Nachricht wurde von mehreren Seiten gehört
 - Die Nachricht stammt von Knoten, denen der Agent vertraut
 - Es ist keine aktuellere Nachricht vorhanden



Vorteile:

- Keine zentralen Einheiten notwendig.
- Fehlerhafte Partitionen im Netzwerk werden umschifft. Die Kommunikation muss nicht verlässlich sein.

Nachteile:

- Der Zustand ist potenziell inkonsistent verteilt (konvergiert aber mit der Zeit)
- Overhead durch redundante Nachrichten.

Protokolle für verteilten Konsens sind im Gegensatz zu Gossip-Protokollen konsistent aber nicht hoch-verfügbar.

- Grundlage: Netzwerk an Agenten
- Prinzip: Es reicht, wenn der Zustand auf einer einfachen Mehrheit der Knoten konsistent ist und die restlichen Knoten ihre Inkonsistenz erkennen.
- Verfahren:
 - Das Netzwerk einigt sich per einfacher Mehrheit auf einen Leader-Agenten – initial und falls der Leader-Agent nicht erreichbar ist. Eine Partition in der Minderheit kann keinen Leader-Agenten wählen.
 - Alle Änderungen laufen über den Leader-Agenten. Dieser verteilt per Multicast Änderungsnachrichten periodisch im festen Takt an alle weiteren Agenten.
 - Quittiert die einfache Mehrheit an Agenten die Änderungsnachricht, so wird die Änderung im Leader und (per Nachricht) auch in den Agenten aktiv, die quittiert haben. Ansonsten wird der Zustand als inkonsistent angenommen.
- Konkrete Konsens-Protokolle: Raft, Paxos

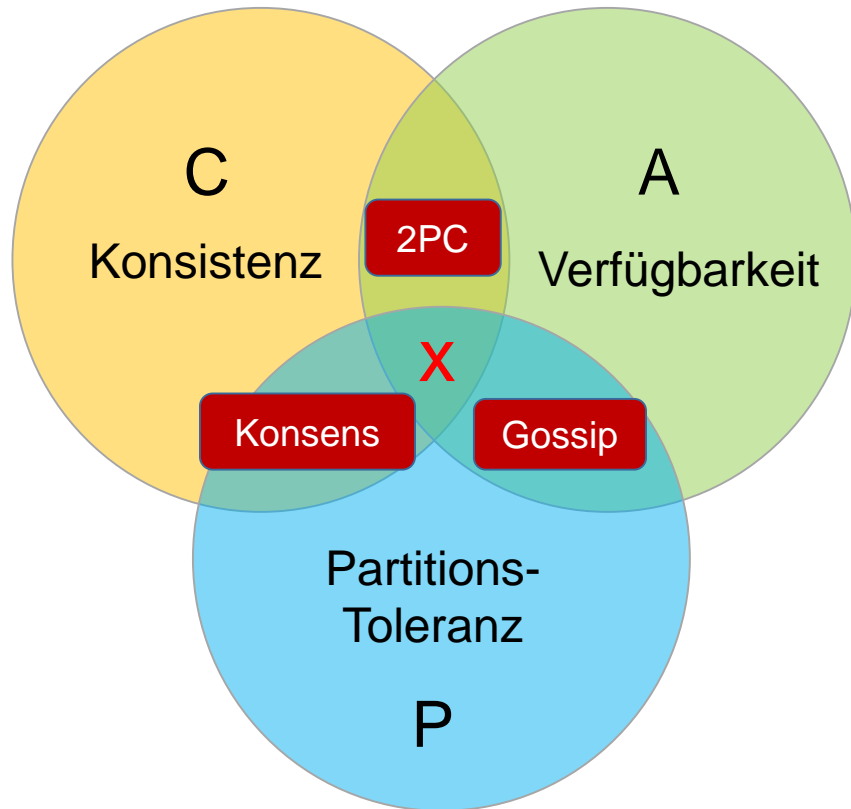
Vorteile:

- Fehlerhafte Partitionen im Netzwerk werden toleriert und nach Behebung des Fehlers wieder automatisch konsistent.
- Streng konsistente Daten.

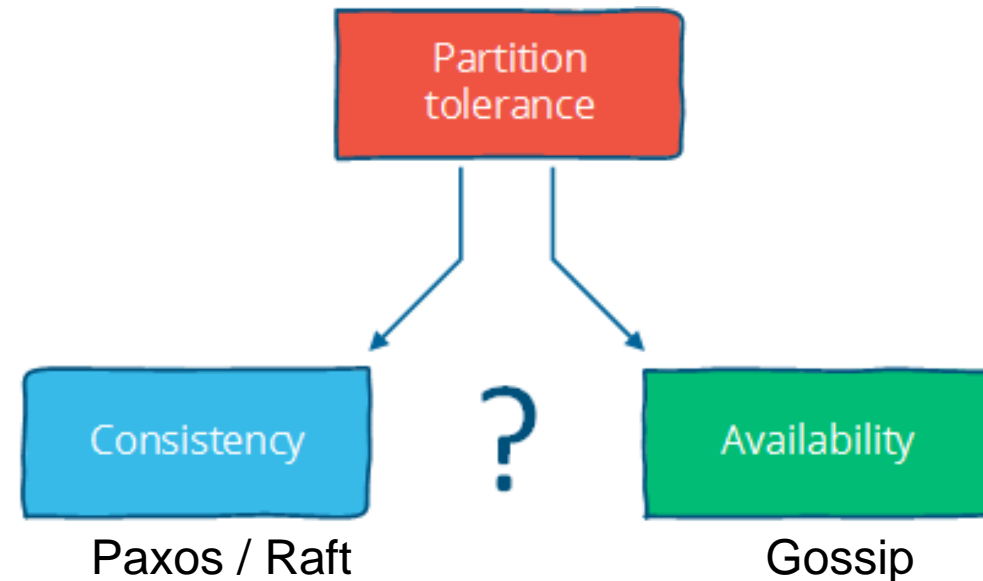
Nachteile:

- Der zentrale Leader-Agent limitiert den Durchsatz an Änderungen.
- Nicht hoch-verfügbar: Bei einer Netzwerk-Partition kann die kleinere Partition nicht weiterarbeiten. Ist die Mehrheit in keiner Partition, so kann insgesamt nicht weiter gearbeitet werden.

Die vorgestellten Protokolle und das CAP Theorem.



In der Cloud müssen Partitionen angenommen werden. Damit ist die Entscheidung binär zwischen Konsistenz und Verfügbarkeit.



Mögliche Klausurfragen:

- Welche typischen Aufgaben übernimmt ein Edge Server in einer Cloud Architektur? Nennen sie mindestens 3 Aufgaben.
- Was besagt das CAP-Theorem?
- Nennen sie die Protokollart für einen verteilten Konfigurationsspeicher, die sowohl konsistent als auch partitions-tolerant ist.

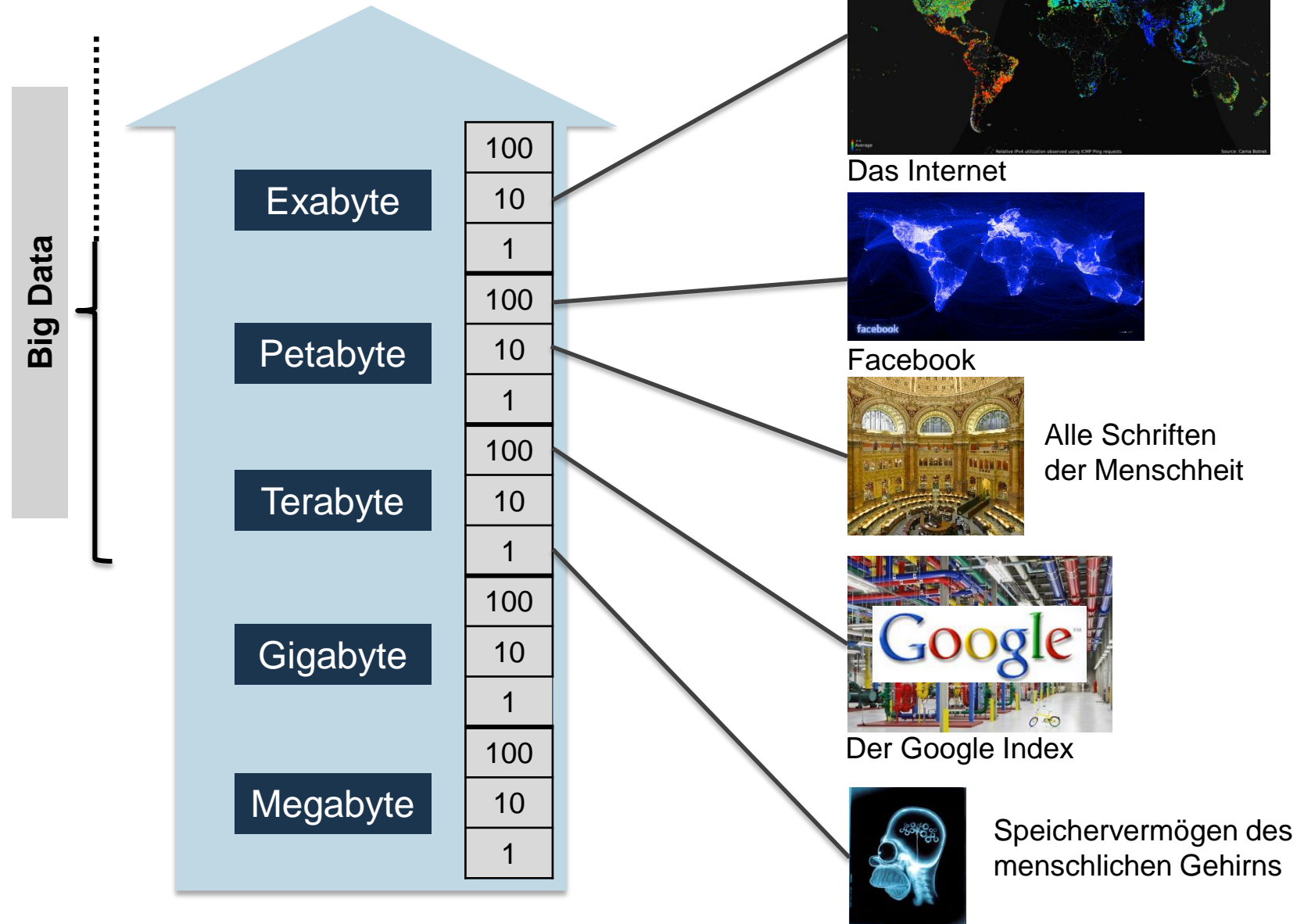
Kapitel 9: Big Data

Big Data

Big Data

Verarbeitung großer
Datenmengen durch:

- verteilte und hochgradig
parallelisierte Verarbeitung.
(diese Vorlesung)
- verteilte und effizient
organisierte Datenablagen.
(nächste Vorlesung)



Große Datenmengen können effizient nur von parallelen Algorithmen verarbeitet werden.

Ein Algorithmus ist genau dann parallelisierbar, wenn er in einzelne Teile zerlegt werden kann, die keine Seiteneffekte zueinander haben.

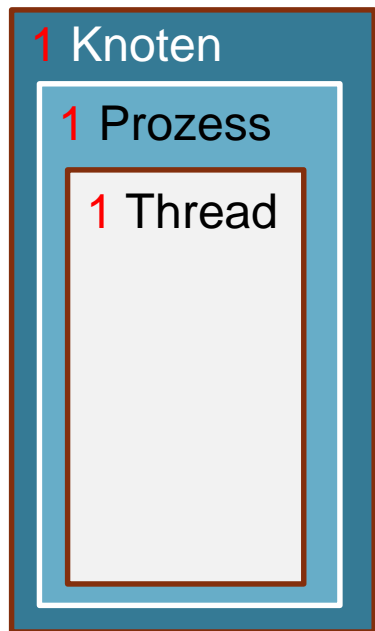
■ Funktioniert gut: Quicksort. Aufwand: $O(n \log n) \rightarrow O(\log n)$

```
private void QuicksortParallel<T>(T[] arr, int left, int right)
where T : IComparable<T>
{
    if (right > left)
    {
        int pivot = Partition(arr, left, right);
        Parallel.Do(
            () => QuicksortParallel(arr, left, pivot - 1),
            () => QuicksortParallel(arr, pivot + 1, right));
    }
}
```

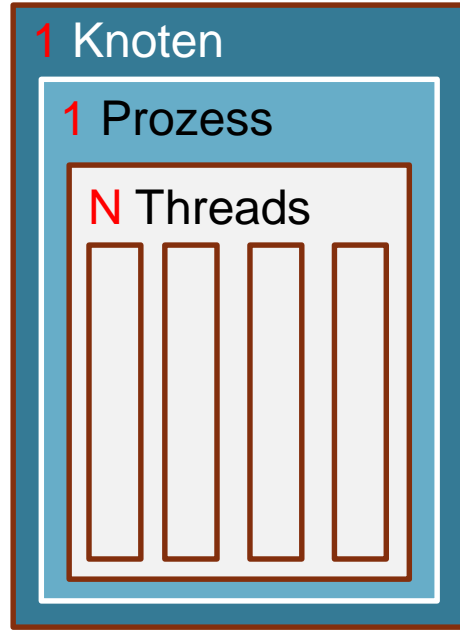
■ Funktioniert nicht: Berechnung der Fibonacci-Folge ($F_{k+2} = F_k + F_{k+1}$). Berechnung ist nicht parallelisierbar.

Ein paralleler Algorithmus (**Job**) ist aufgeteilt in sequenzielle Berechnungsschritte (**Tasks**), die parallel zueinander abgearbeitet werden können. Der Entwurf von parallelen Algorithmen folgt oft dem Teile-und-Herrsche Prinzip.

Parallele Programmierung kann sowohl im Kleinen als auch im Großen betrieben werden.



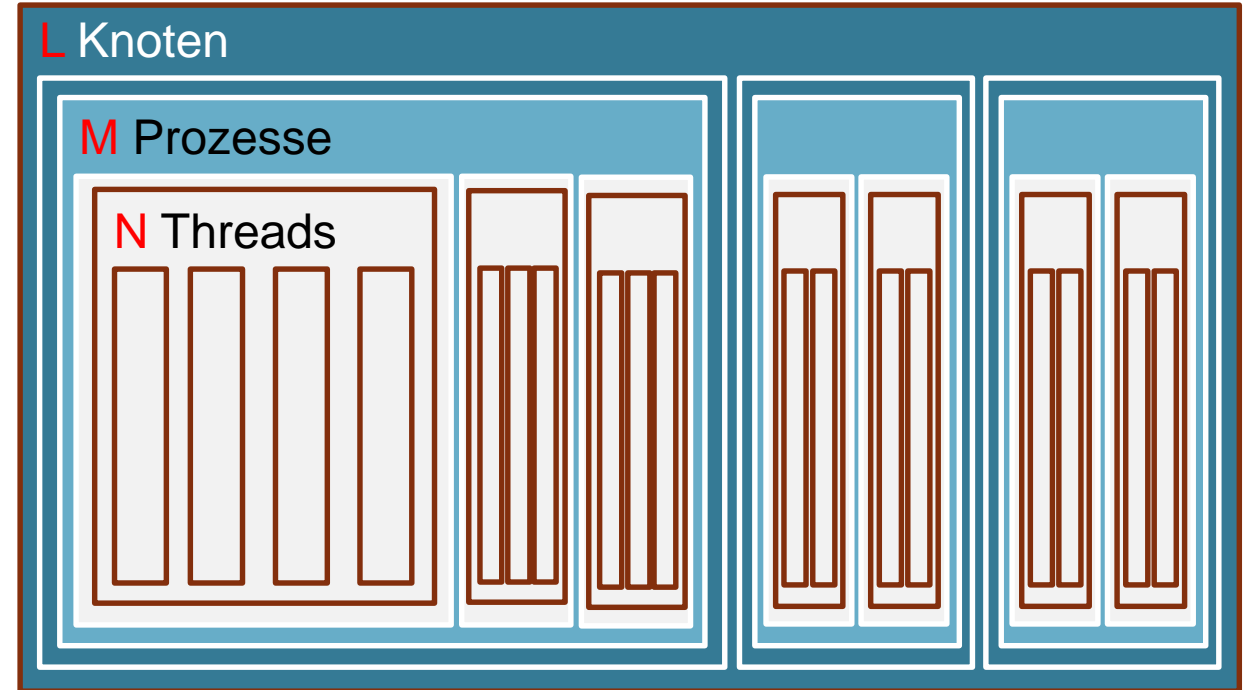
**Keine
Parallelität**



Parallelität im Kleinen

Vorteile im Vergleich:

- Höherer Durchsatz
- Bessere Auslastung der Hardware
- Vertikale Skalierung möglich



Parallelität im Großen

Vorteile im Vergleich:

- Höherer Durchsatz
- Horizontale Skalierung möglich (Scale Out).
- Keine hardwarebedingte Limitierung des Datenvolumens (→ Big Data ready).

Big Data erfordert Parallelität im Großen. Die vier Paradigmen der Parallelität im Großen:



Folgt aus Datenmenge
im Vergleich zur
Programmgröße

Das Grundprinzip von
paralleler Verarbeitung.

Folgt aus Praxisanforderung:
Viele Knoten
bedeutet
viele Ausfallmöglichkeiten

Folgt aus potenziell großer
Datenmenge und
Verarbeitungs-
geschwindigkeit

1. Die Logik folgt den Daten.
2. Falls Datentransfer notwendig, dann so schnell wie möglich: In-Memory vor lokaler Festplatte vor Remote-Transfer.
3. Parallelisierung über *Tasks* (seiteneffektfreie Funktionen) und *Jobs* (Ausführungsvorschrift für Tasks) sowie entsprechend partitionierter Daten (*Shards*).
4. Design for Failure: Ausführungsfehler als Standardfall ansehen und verzeihend und kompensierend sein.

Eine RDD ist in der Außensicht ein klassischer Collection-Typ mit Transformations- und Aktionsmethoden.

RDD → RDD

Transformations

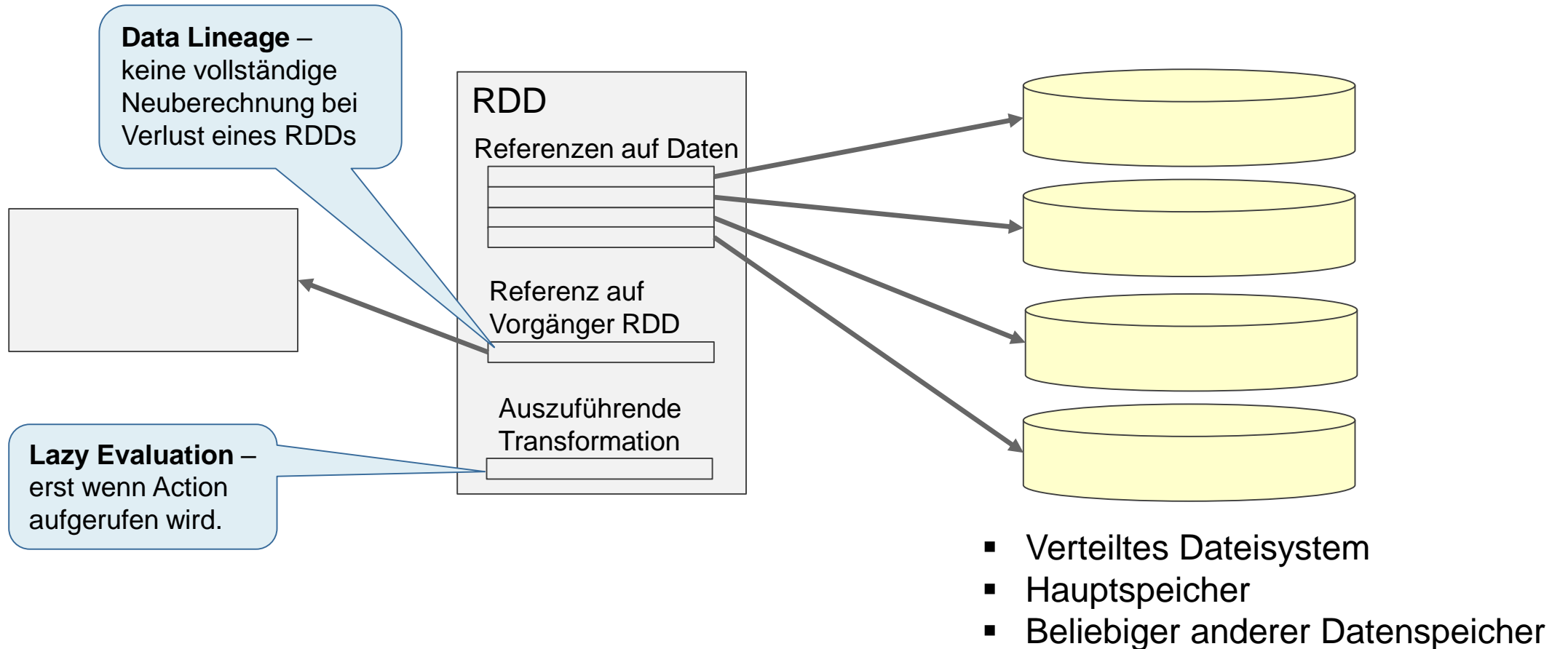
```
map(func)
flatMap(func)
filter(func)
groupByKey()
reduceByKey(func)
mapValues(func)
...
```

RDD → skalarer Typ, Collection, Storage

Actions

```
take(N)
count()
collect()
reduce(func)
takeOrdered(N)
top(N)
...
```

Die Anatomie eines RDDs.



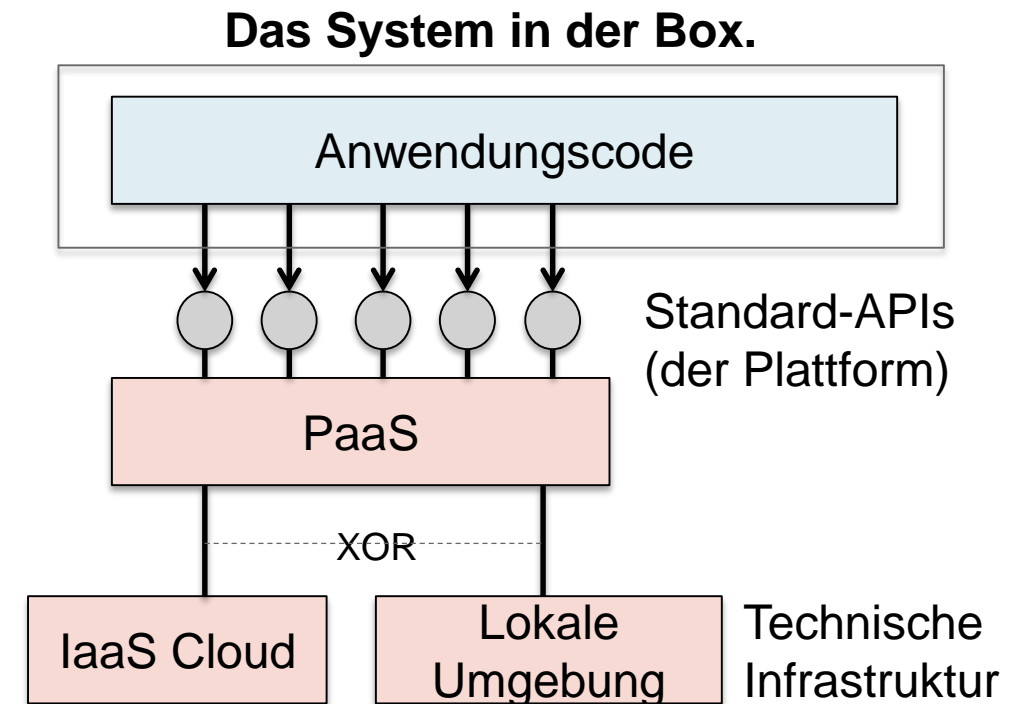
Mögliche Klausurfragen:

- Ab welcher Datenmenge spricht man in der Regel von Big Data?
- Welche Vorteile bietet die Parallelität im Großen im Vergleich zur Parallelität im Kleinen?
- Was ist der Unterschied zwischen einer Action- und einer Transformation-Methode bei einem RDD?

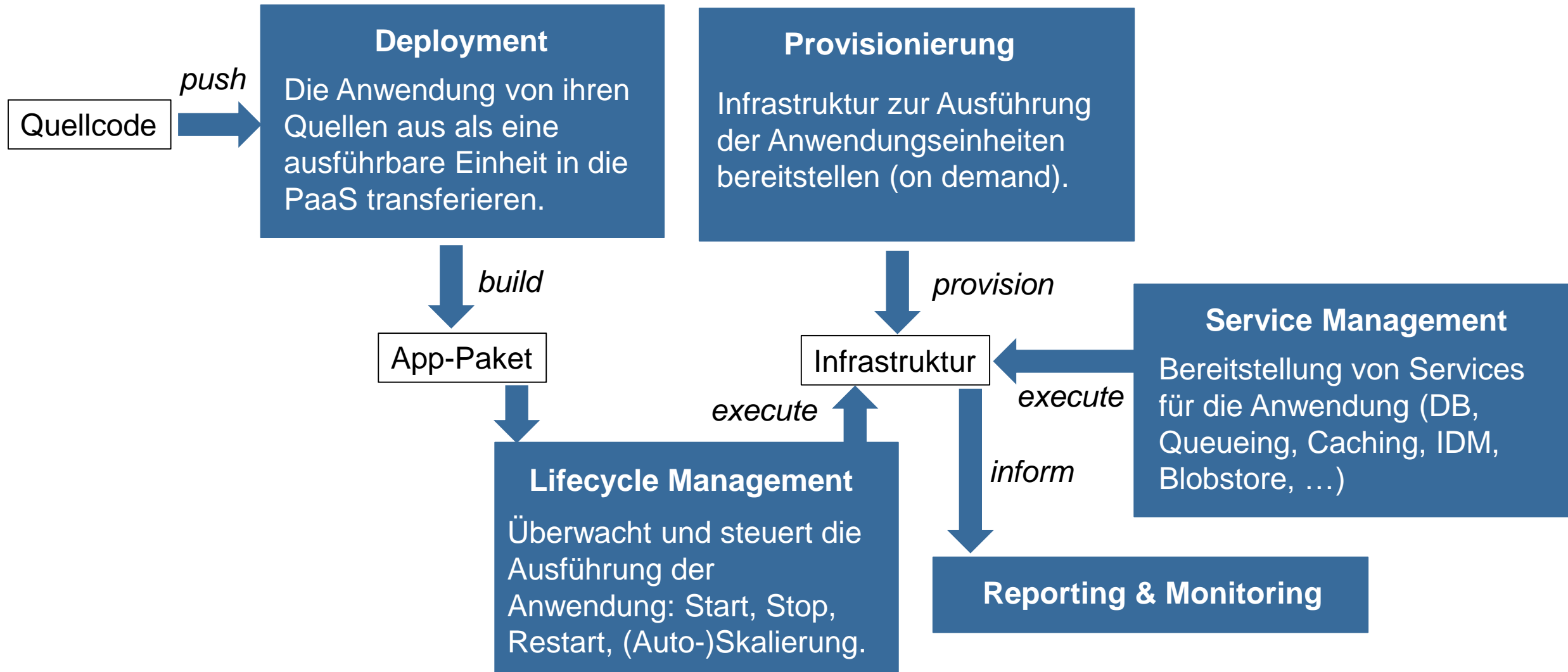
Kapitel 10: Plattform-as-a-Service

Die Lösung: Plattform-as-a-Service bietet eine ad-hoc Entwicklungs- und Betriebsplattform.

- Die Anwendung wird per Applikationspaket oder als Quellcode deployed. Es ist kein Image mit Technischer Infrastruktur notwendig.
- Die Anwendung sieht nur Programmier- oder Zugriffsschnittstellen seiner Laufzeitumgebung. „Engine and Operating System should not matter....“.
- Es erfolgt eine automatische Skalierung der Anwendung.
- Entwicklungswerkzeuge (insb. Plugins für IDEs und Buildsysteme sowie eine lokale Testumgebung) stehen zur Verfügung: „deploy to cloud“.
- Die Plattform bietet eine Schnittstelle zur Administration und zum Monitoring der Anwendungen.



Die funktionalen Building Blocks einer PaaS Cloud.

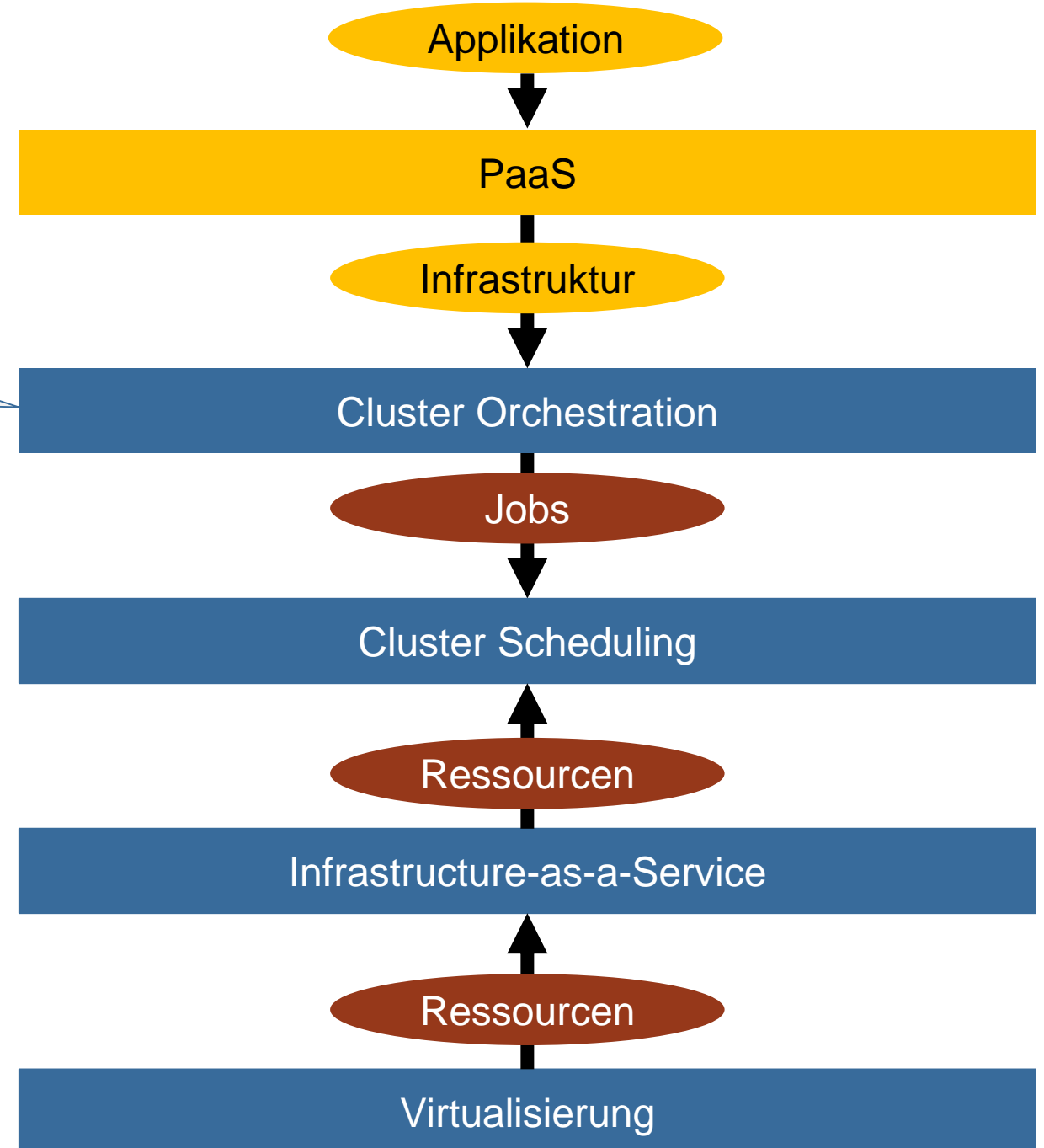


← = Datenfluss

Das Big Picture

Hier ist man bereits bei 80% einer PaaS. Was noch fehlt:

- Wiederverwendung von Infrastruktur / APIs
- Komfort-Dienste für Entwickler



Mögliche Klausurfragen:

- Wie wird eine Anwendung auf einer PaaS deployed?
- Wie sind die Begriffe *Deployment* und *Provisionierung* in Bezug auf die Building Blocks einer PaaS Cloud zu unterscheiden?

Die Klausur

Die Klausur

- Prüfungszeit: 19.01.2017 in der 4. Stunde (13:45-15:15 Uhr)
- Raum A2.06 (60 Plätze)
- 90-minütige schriftliche Prüfung.
Daumenregel: Bewertungspunkt einer Frage = 1 Minute Bearbeitungszeit.
- Es sind keine Hilfsmittel zugelassen.
- Bitte rechtzeitig erscheinen. Die Prüfung startet pünktlich.
- Bitte Studentenausweis und Personalausweis mitbringen.