

Cloud Computing

Kapitel 8: Cloud-fähige Softwarearchitekturen

Dr. Josef Adersberger

2002

WAL*MART® [Help](#) | [Your Account](#) | [Cart & Checkout](#)

[Electronics](#) [Photo](#) [Movies](#) [Music](#) [Books](#) [Toys](#) [Home](#) [Garden & Hardware](#) [Sporting Goods](#) [Gifts](#) [Jewelry & Watches](#) [See All Departments](#)

Search Entire Site for:

Roses on Rollback! One Dozen Fresh-Cut, Long-Stem Roses Only \$24.88

Home Page

- Electronics**
 - [Computers & Printers](#)
 - [Internet Service](#)
 - [TV, DVD & Video](#)
 - [More...](#)
- Photo**
 - [Digital Cameras](#)
 - [Camcorders](#)
 - [Photo Center](#)
 - [More...](#)
- Movies** *12,000 Movies!*
- Music** *80,000 CDs!*
- Books** *500,000 Titles!*
- Video Games**
 - [PS2](#)
 - [Xbox](#)
 - [More...](#)
- Toys**
 - [Outdoor Play](#)
 - [Bikes & Scooters](#)
 - [More...](#)
- Baby & Baby Registry**
 - [Shop by Age or Stage](#)
- Home**
 - [Furniture](#)
 - [Appliances](#)
 - [Bed & Bath](#)
 - [More...](#)
- Garden & Hardware**
 - [Patio & Grilling](#)
 - [Lawn Equipment](#)
 - [Home Improvement](#)
 - [More...](#)
- Tires**
- Sporting Goods**
 - [Exercise & Hot Tubs](#)
 - [Camping & Hiking](#)
 - [More...](#)
- Gifts**

Find 300,000 Textbooks
Every Day Low Prices

Find it by [ISBN](#) or [category](#).

- [Business](#)
- [Education](#)
- [Test Prep](#)
- [Medical](#)
- [Engineering](#)
- [Computer](#)

[See all textbooks.](#)

Furnish the Dorm

Find the desk that fits your living space and study habits. [See all desks.](#)

Sleep well with our low prices on bedding. [See all college bedding.](#)

Make dorm life easier with refrigerators, dishwashers and more. [See all small appliances.](#)

Back To College

- [Portable Electronics](#)
- [Cameras](#)
- [Shopping Cards](#)
- [See More](#)

K-12

- [Clothing](#)
- [School Supplies](#)
- [See More](#)

WAL*MART Services

- [Upload Digital Photos](#)
- [Find a Gift Registry](#)
- [Find and Order Tires](#)
- [Refill Prescriptions](#)

Kaufprozess

Artikel

2008

[See All Departments](#)

Search

[FIND](#) [Help](#)

[Cart](#)

[Apparel & Jewelry](#) ▸

[Baby](#) ▸

[Books, DVDs & MP3s](#) ▸

[Electronics](#) ▸

[For the Home](#) ▸

[Gifts & Registries](#) ▸

[Grocery](#) BETA ▸

[Health & Beauty](#) BETA ▸

[Outdoor Living](#) ▸

[Pharmacy](#) ▸

[Photo](#) ▸

[Sports & Fitness](#) ▸

[Toys & Video Games](#) ▸

[In Stores Now](#) ▸

[See All Departments](#)

Savings Add Up

[Clearance](#)

[Rollbacks](#)

[\\$4 Prescriptions](#)

[Video Games Under \\$20](#)

[Clearance on Baby Items](#)

What's New

[Classifieds](#) BETA

[Halloween](#)

[Elevenmoms](#)

[Better Homes](#)

GREAT VALUE, NEW PRODUCTS

Download Flash Player version 7 or later for the ultimate Walmart.com shopping experience.



Blu-ray Price Drop



★★★★★ [Magnavox](#) **from \$258**
[Sony](#)
[Samsung](#)

See all:
[Blu-ray Players](#)

50% Off Top 50 Books



The 50 top sellers are 50% off — get great reads for the whole family, **from \$4.**

Shop:
[50% Off Top 50 Books](#)

ADVERTISEMENT



INTERNET ARCHIVE
Wayback Machine

http://ad.yieldmanager.com/st?ad_type

[Logout](#)

Save on Top-Brand Electronics



Zusätzliche
Dienste

2011

See All Departments

- Electronics & Office >
- Movies, Music & Books >
- Home, Furniture & Outdoor >
- Apparel, Shoes & Jewelry >
- Baby & Kids >
- Toys & Video Games >
- Sports & Fitness >
- Auto & Home Improvement >
- Photo >
- Crafts & Party Supplies >
- Pharmacy, Health & Beauty >
- Grocery & Pets >
- College 2011**

Save Big Now

- Amazing Xbox 360 Savings
- Best-Selling Bikes from \$79
- Fragrances from \$5
- Furniture Rollbacks
- Save 10¢ per Gallon on Gas

What's New

- Captain America Is Here
- HP Dandelion Breeze Laptop
- Summer Fun

In the Spotlight

Search All Departments Search Go

My Cart

Choose My Store

Must-Have College Essentials at Can't-Miss Prices

COLLEGE 2011

Bedding
from
\$35



Futons & Sofas
from
\$99



Storage
from
\$19



Desks
from
\$39



Laptops & Netbooks
from
\$278



Appliances
from
\$57



TVs
from
\$149



iPods
from
\$49

Shop for College 2011

ADVERTISEMENT

ADVERTISEMENT



Back to School Essentials

From uniforms to supplies, find everything for school at Every Day Low Prices.

School Supplies
Uniforms



Have Your Fun in the Sun

Enjoy hot summer savings on everything you'll need for some outdoor family fun.

Pools & Waterslides
Swing Sets
Trampolines



Zusätzliche Dienste (z.T. personalisiert)

CHALLENGE

Four years ago, the Walmart Global eCommerce system was a monolithic application, deployed once every 2 months. This represented an unsustainable rate of innovation given the competitive climate. Walmart recognized the need to fundamentally transform technology delivery to compete in the Digital Economy.

Walmart auf <http://www.oneops.com>

- “The company decided to replatform its old legacy system in 2012 since it was unable to scale for 6 million pageviews per minute and was down for most of the day during peak events.”
- “This is the multi-million dollar question which the IT Department of Walmart Canada had to address after they were failing to provide to their users on Black Fridays for two years in a row.”
- “It couldn’t handle 6 million pageviews per minute and made it impossible to keep any kind of positive user experience anymore.”

<https://blog.risingstack.com/how-enterprises-benefit-from-microservices-architectures>

Lange Change-to-
Production

Mangelnde
Skalierbarkeit

Mangelnde Elastizität

Betriebsmonolithen





Knoten

Deployment-Einheit



2016

Walmart  All Search 

Gift Cards Registry Lists Weekly Ads Store Finder Track Order Credit Card Help


[All Departments](#)
[Daily Savings Center](#)
[My Local Store](#)
[Pick it up TODAY](#)
[Tips & Ideas](#)
[FREE Returns](#)

FREE store pickup
as soon as today!







Rollbacks on iPad Air
\$100 off 16GB & 32GB WiFi

[Shop Now](#)

*On eligible items at select stores.






 **Don't miss a single chance to save**
Get the Walmart Browser App! [Download now](#)

Featured products

 \$299.00 Was \$330.00 Save \$31.00 HP Flyer Red 15.6" 15-f272wm Laptop... ★★★★★ 98	 \$35.00 Google Chromecast ★★★★★ 101	 \$331.76 LG Black Chromebase All-in-One... ★★★★★ 24	 \$194.24 Lenovo Black 11.6" N21 Chromebook PC... ★★★★★ 0	 \$276.45 List price \$315.00 Save \$38.55 ASUS Black 15.6" X551 MAV-EB01-B(S)... ★★★★★ 8	 \$386.73 Was \$442.27 Save \$55.54 HP Black 15.6" 15-f272wm Laptop PC... ★★★★★ 40
--	---	---	--	--	---


GAME TIME
Bracket-busting SAVINGS
Save big with our best values.

[Shop Now](#)

 \$49.96 List price \$59.99 Save \$10.03 George Foreman 144-sq in 5 Serving... ★★★★★ 104	 \$199.97 List price \$279.00 Save \$79.03 Better Homes and Gardens 84-sq in 5 Serving... ★★★★★ 204	 \$199.00 ULTIMA 13.3" Touchscreen... ★★★★★ 85	 \$119.00 Kebo Futon Sofa Bed... ★★★★★ 720	 \$189.00 Spalding NBA 54... ★★★★★ 120
---	--	---	---	---

Zusätzliche Dienste (z.T. personalisiert)

★★★★★ 270 reviews Q&A By: George Foreman... Walmart #: 551059983



\$49.96
List price \$59.99 **Save \$10.03**
FREE shipping on orders \$50 +

Care plan (optional): None
☒ None ☐ 2 year(s) (+\$3.00)

Quantity: 1 [Add to Cart](#)

[Add to Registry](#) [Add to List](#)

Sold by Walmart.com








Shipping See delivery options **FREE pickup** Not available

Want to pick up your package for free?
 Walmart offers free pickup for most orders placed online - for many items as soon as today! Tell us where you are and we'll show you which Walmart stores and partner locations near you are available for package pickup.

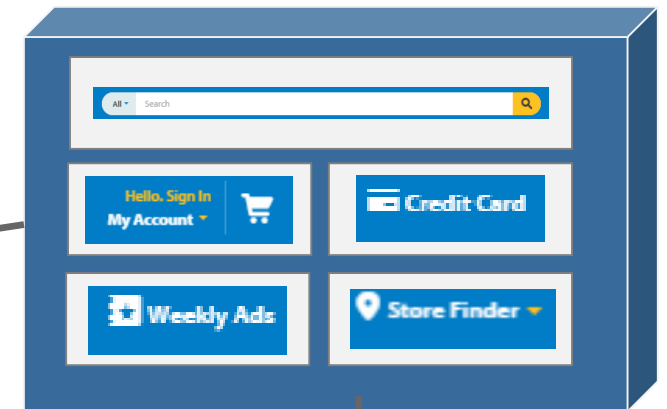
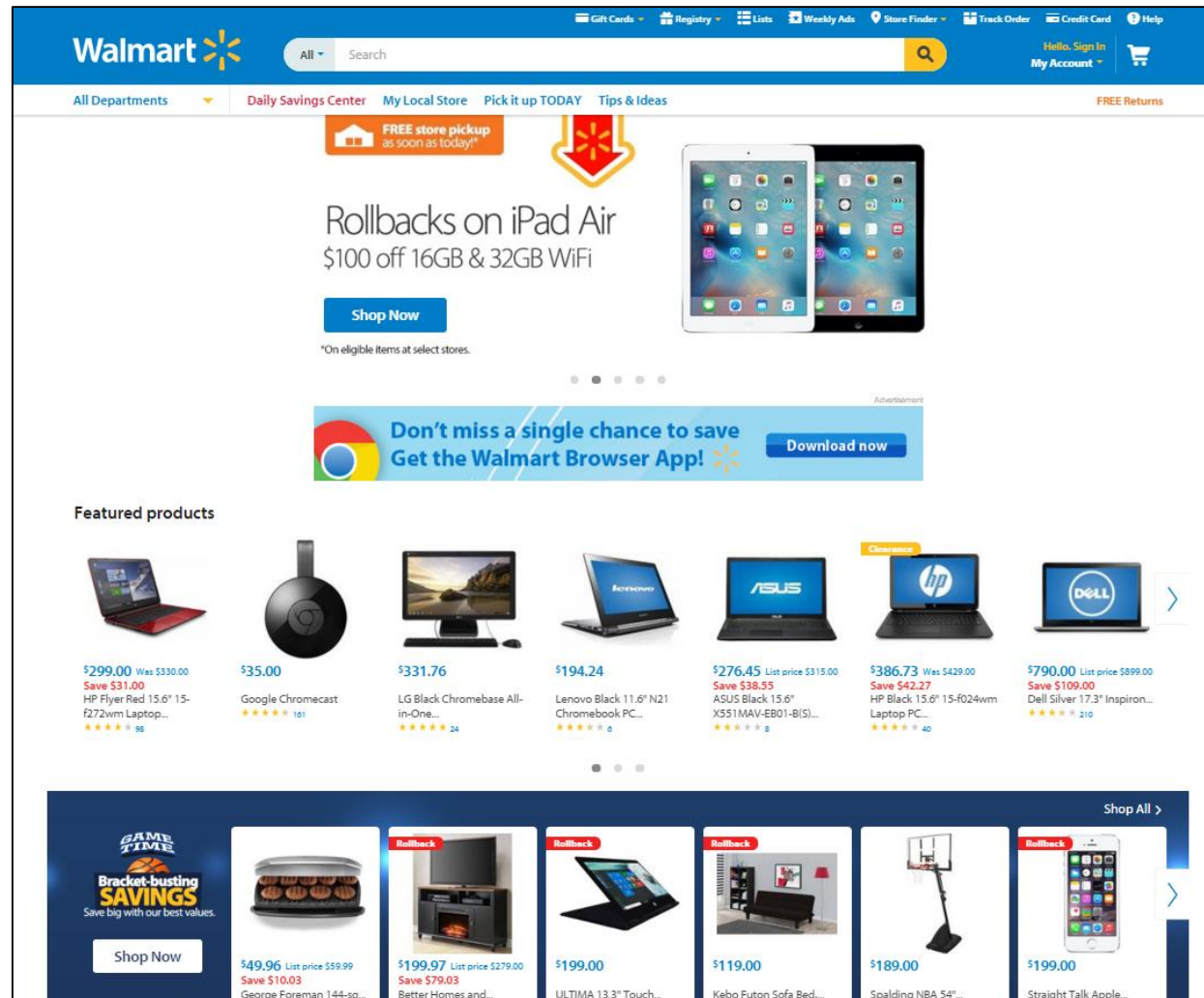
Search for:
 Enter ZIP Code [Find](#)

[More about this item...](#)

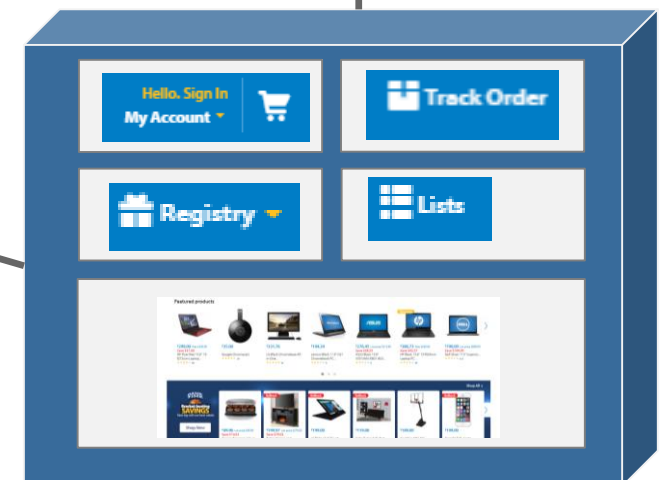
Customers also viewed these products

 \$59.97 List price \$79.99 Save \$20.02 George Foreman 84-sq in 5 Serving... ★★★★★ 104	 \$29.92 List price \$49.99 Save \$20.07 George Foreman Removable Plate Grill... ★★★★★ 204	 \$54.99 Hamilton Beach Indoor Grill with Removable... ★★★★★ 85	 from \$87.29 George Foreman 240" Indoor/Outdoor Grill... ★★★★★ 720	 \$105.44 George Foreman 6-Serving Digital Timer Grill... ★★★★★ 120	 \$39.92 List price \$59.99 Save \$20.07 George Foreman 80-sq in 5 Serving Classic-Plate... ★★★★★ 19	 \$17.92 List price \$29.99 Save \$12.07 George Foreman 36-sq in 2 Serving Classic-Plate... ★★★★★ 109
--	---	--	---	--	---	--

Betriebskomponenten



Skalieren durch
Verteilung und Klone



RESULTS

Today the Walmart eCommerce platform is hosted in some of the largest OpenStack clouds and is managed exclusively via OneOps. On a typical day there are now over 1,000 deployments, executed on-demand by development teams, each taking only minutes on average to complete.

Walmart auf <http://www.oneops.com>

“They wanted to prepare for the world by 2020, with 4 billion people connected, 25+ million apps available, and 5.200 GB of data for each person on Earth. Walmart replatformed [...] with the intention of achieving close to 100% availability with reasonable costs.”

<https://blog.risingstack.com/how-enterprises-benefit-from-microservices-architectures>

- “In fact, the organization reports that some 3,000 engineers [...] drive 30,000 changes per month to Walmart software.”
- “Those new applications, which span everything from mobile devices to the Internet of things (IoT), are crucial weapons in a global e-commerce contest that pits Walmart against the likes of Amazon and Alibaba, as well as a host of other rivals that are emerging as the cost of entry into the online retail sector continues to decline in the age of the API economy.”

<http://www.baselinemag.com/enterprise-apps/walmart-embraces-microservices-to-get-more-agile.html>

- “The Walmart [...] servers [...] were able to handle all mobile Black Friday traffic with about 10 CPU cores and 28Gb RAM.”
- “On Thanksgiving weekend, Walmart servers processed 1.5 billion requests per day. 70 percent of which were delivered through mobile.”

<http://techcrunch.com/2014/12/02/walmart-com-reports-biggest-cyber-monday-in-history-mobile-traffic-at-70-over-the-holidays>

Change-to-Production
im Tagesbereich

~100% Verfügbarkeit

Hohe Anzahl an
Changes

Ressourcen-
Sparsamkeit

Elastische
Skalierbarkeit

Softwarearchitektur = Komponenten + Schnittstellen

Zweck:

- **Beherrschbarkeit & Parallelisierbarkeit:** Divide & Conquer
- **Isolation:** Problem- / Complexity-Hiding

Entwurf



De-Kompositionseinheiten

- Datenhoheit
- Hohe Kohäsion
- Lose Kopplung

Programmierung

Modul: Ausleihe

```
pom.xml  
de.qaware.bib.ausleihe.IAusleihe  
de.qaware.bib.ausleihe.impl.Ausleihe
```

- Entwicklungseinheiten
- Planungseinheiten

Betrieb



?

- Release-Einheiten
- Deployment-Einheiten
- Laufzeit-Einheiten
(Risikogemeinschaften,
Einheiten der Isolation)
- Skalierungs-Einheiten
- Transport-Einheiten

Die passende Granularitätsebene von Betriebskomponenten muss klug gewählt werden.

■ Der Tradeoff:



- Flexible Skalierungsmöglichkeiten
- Isolation zur Laufzeit
- Komponentenorientierung bis in den Betrieb
- Unabhängige Release und Deployments möglich



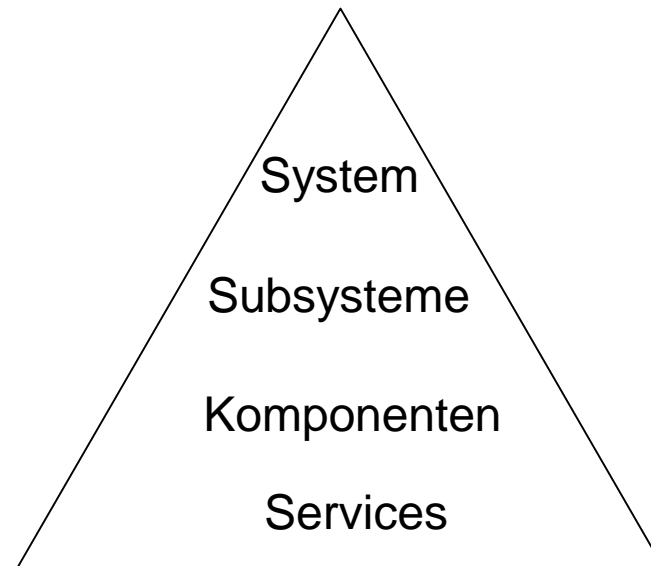
- Komplexere Betriebsumgebung
- „Verteilungs-Schulden“
- Schwierigere Diagnostizierbarkeit
- Komplexere Skalierbarkeit
- Komplexere Integration

Monolith

Macroservices

Microservices

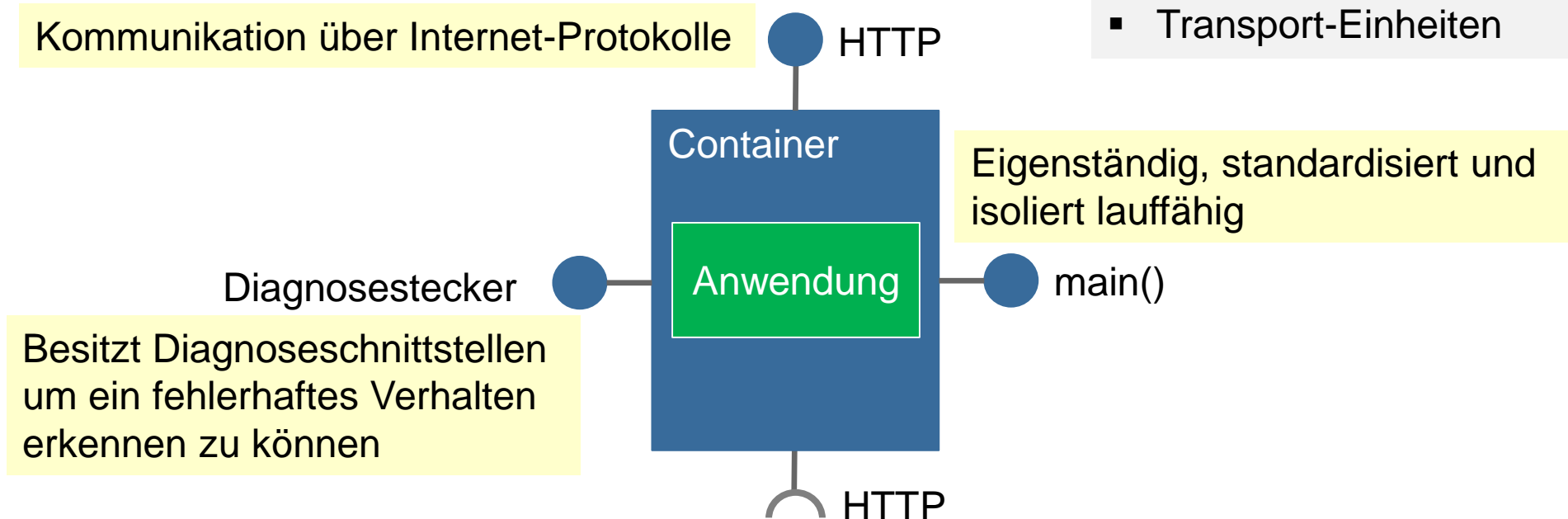
Nanoservices



Die Anatomie von Betriebskomponenten

Die Betriebskomponenten sind:

- Release-Einheiten
- Deployment-Einheiten
- Laufzeit-Einheiten
- Skalierungs-Einheiten
- Transport-Einheiten



Regel 1 für den Betrieb in der Cloud.

“Everything fails all the time.”

— Werner Vogels, CTO of Amazon



Regel 2 für den Betrieb in der Cloud.

Soll nur der Himmel die Grenze sein, dann funktioniert nur horizontale Skalierung.



Regel 3 für den Betrieb in der Cloud.

Wer in die Cloud will, der sollte Cloud sprechen.

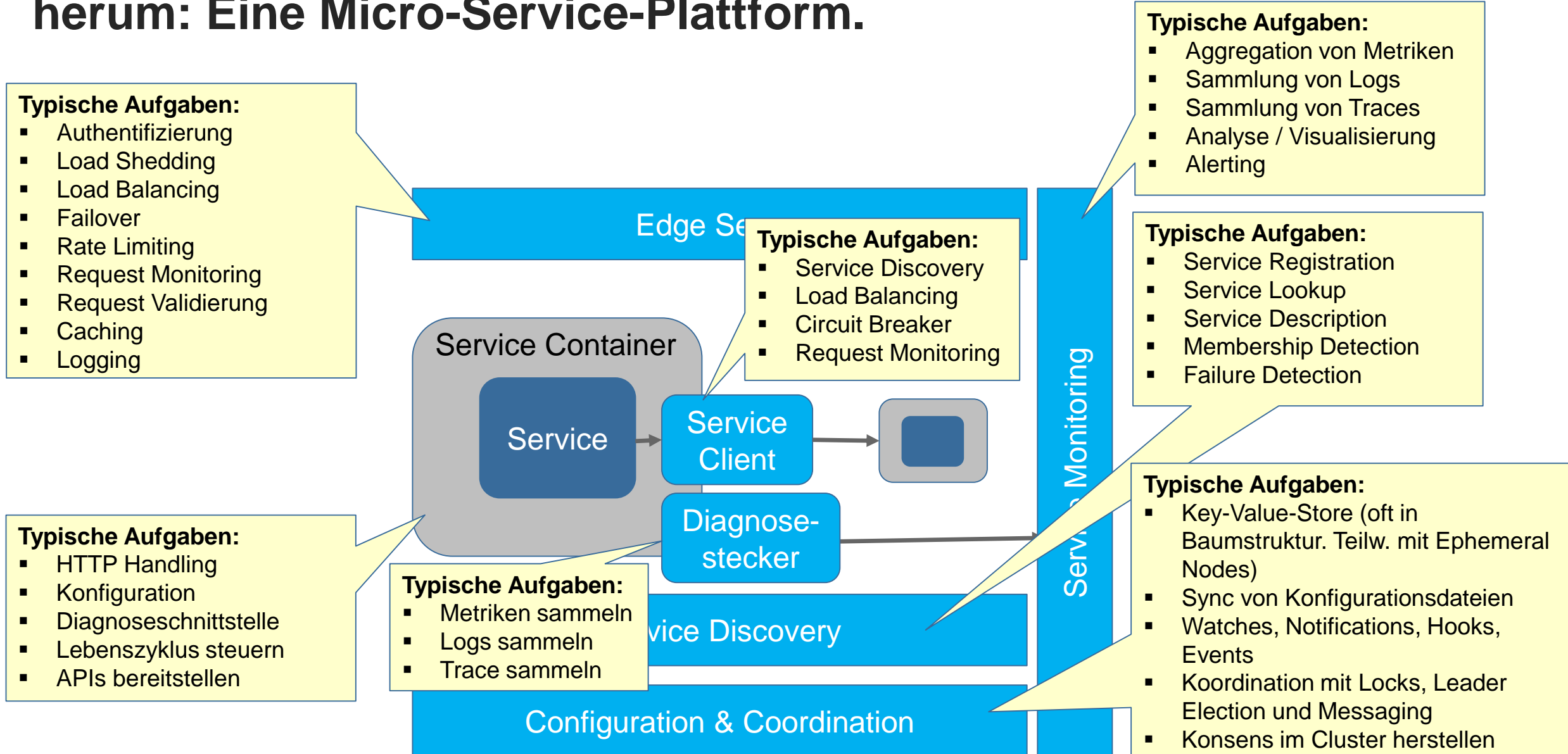
TCP

HTTP

DHCP

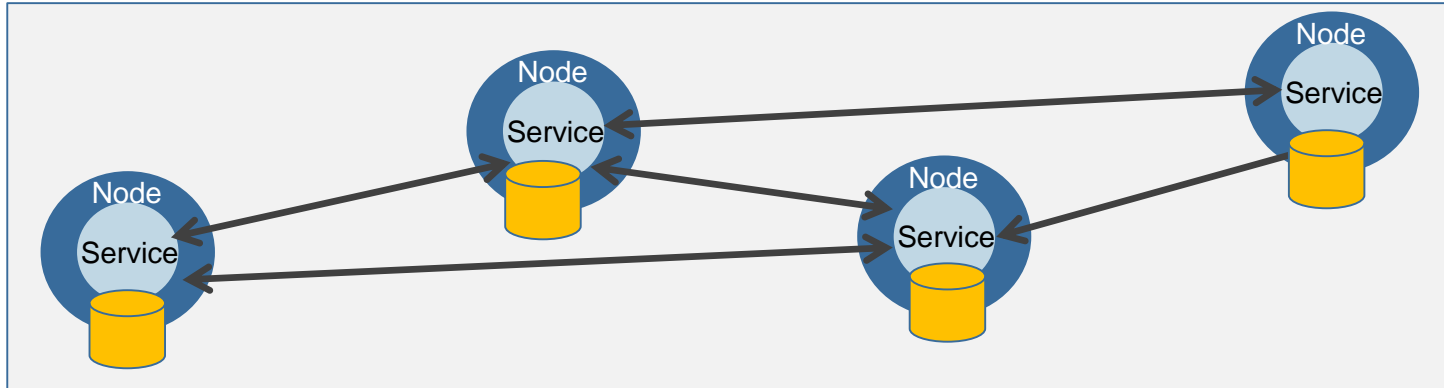
DNS

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



Configuration & Coordination: Verteilter Zustand & Konsens

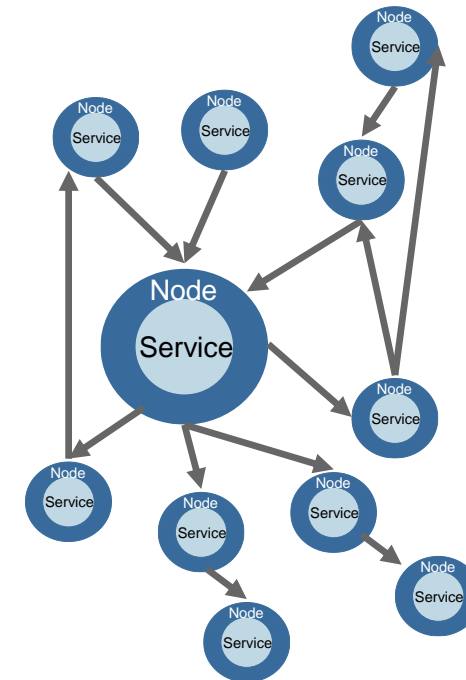
Ein verteilter Konfigurationsspeicher.



Wie wird der Zustand des Konfigurationsspeichers im Cluster synchronisiert?

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 mit gleichem Inhalt vorhanden



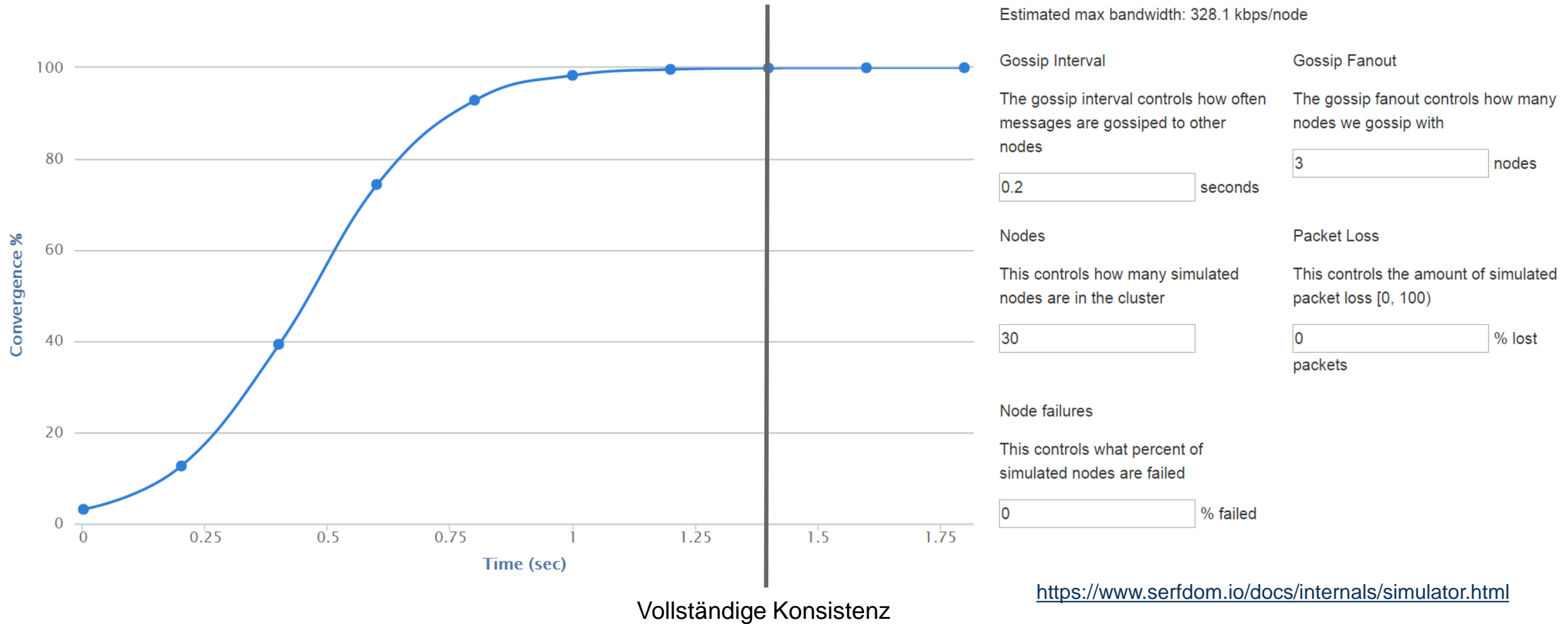
Vorteile:

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

Nachteile:

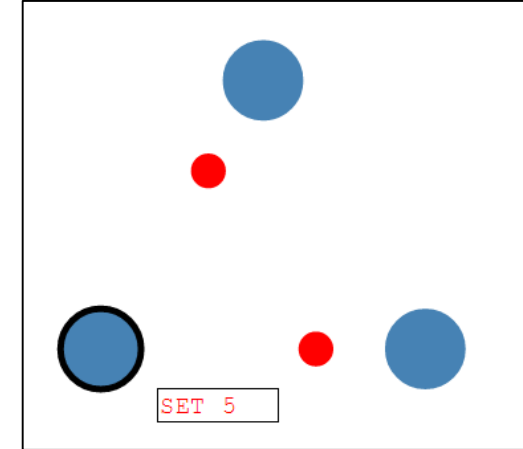
- Der Zustand ist potenziell inkonsistent verteilt (konvergiert aber mit der Zeit)
- Overhead durch redundante Nachrichten.

Die Konvergenz der Daten und damit der Zeitpunkt der vollständigen Konsistenz ist berechenbar.



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.
 - 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:

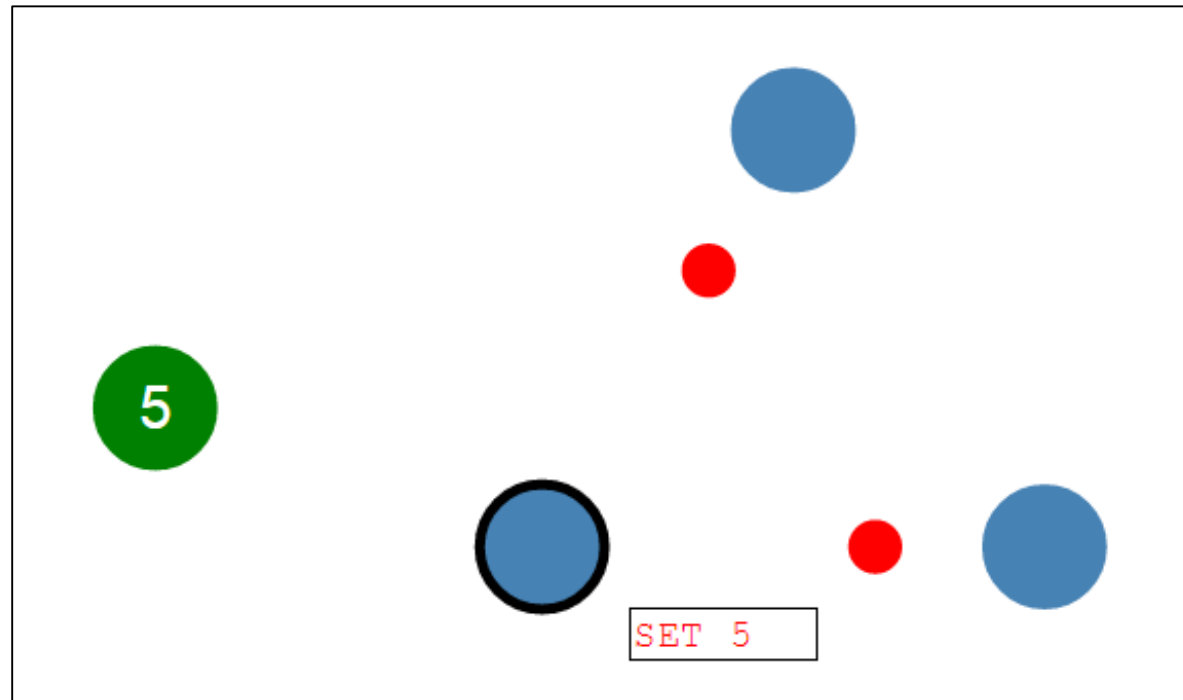
- Fehlerhafte Partitionen im Netzwerk werden toleriert und nach Behebung des Fehlers wieder automatisch konsistent.
- Streng konsistente Daten.

Nachteile:

- Der zentrale Leader-Agent limitiert den Durchsatz an Änderungen.
- Nicht hoch-verfügbar: Bei einer Netzwerk-Partition kann die kleinere Partition nicht weiterarbeiten.

Das Raft Konsens-Protokoll

- Ongaro, Diego; Ousterhout, John (2013). ["In Search of an Understandable Consensus Algorithm"](#).



<http://thesecretlivesofdata.com/raft>

Paxos als Alternative zu Raft

- Erstmalig 1989 beschrieben von Leslie Lamport zur Replikation von Zustandsautomaten in verteilten Systemen auf Basis (s)einer logischen Uhr.
- Unterschied zu Raft: Komplexer.
Aber funktional gleichwertig zu Raft.
- Quellen:
 - <http://the-paper-trail.org/blog/consensus-protocols-paxos/>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=JEpsBg0AO6o>
 - [http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF5040/h08/group/The Paxos Algorithm.pdf](http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF5040/h08/group/The_Paxos_Algorithm.pdf)
 - <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/lamport/pubs/paxos-simple.pdf>

Implementing Replicated Logs with Paxos

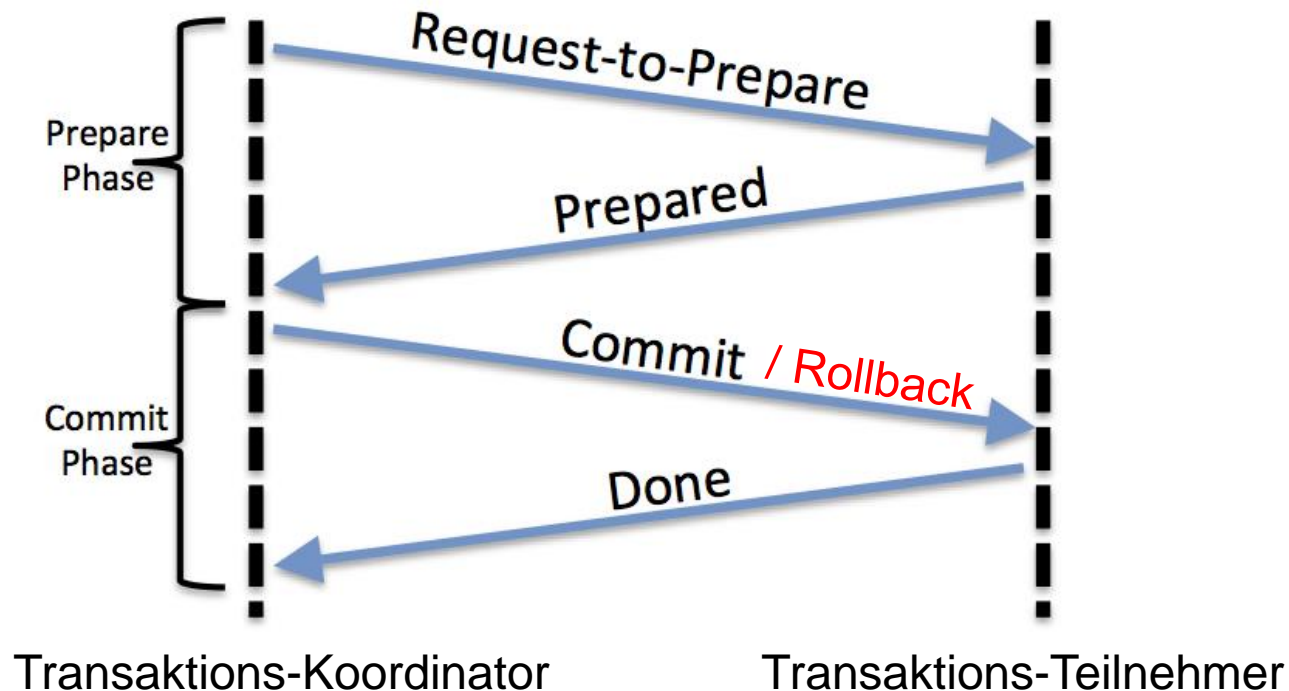
John Ousterhout and Diego Ongaro
Stanford University



Note: this material borrows heavily from slides by Lorenzo Alvisi, Ali Ghodsi, and David Mazières

Ist strenge Konsistenz über alle Knoten notwendig, so verbleibt das 2-Phase-Commit Protokoll (2PC)

- Ein Transaktionskoordinator verteilt die Änderungen und aktiviert diese erst bei Zustimmung aller. Ansonsten werden die Änderungen rückgängig gemacht.



Vorteil:

- Alle Knoten sind konsistent zueinander.

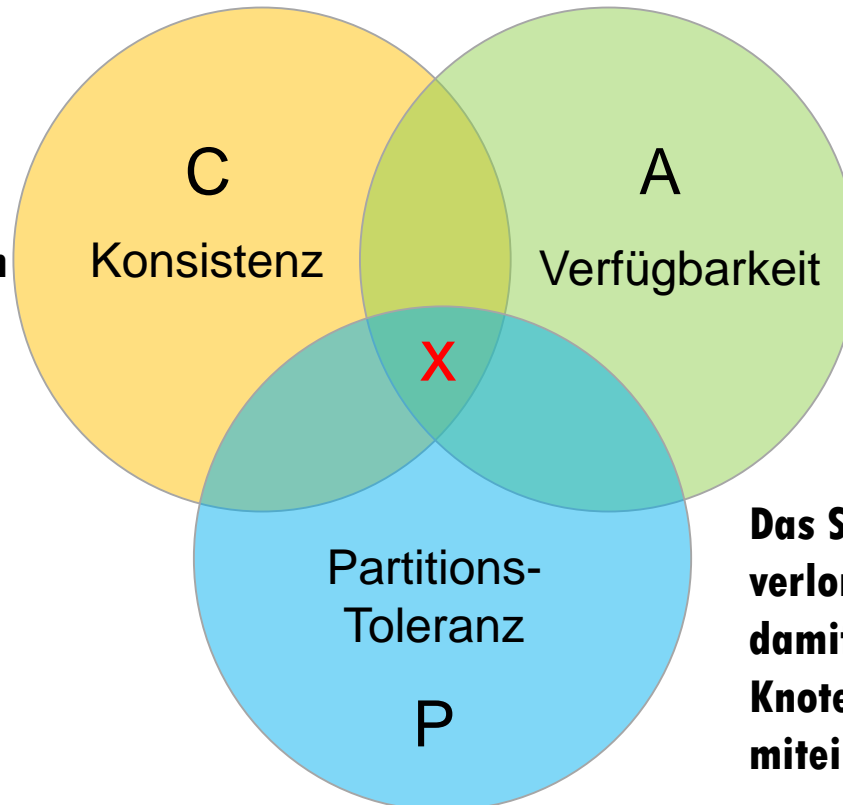
Nachteile:

- Zeitintensiv, da stets alle Knoten zustimmen müssen.
- Das System funktioniert nicht mehr, sobald das Netzwerk partitioniert ist.

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:

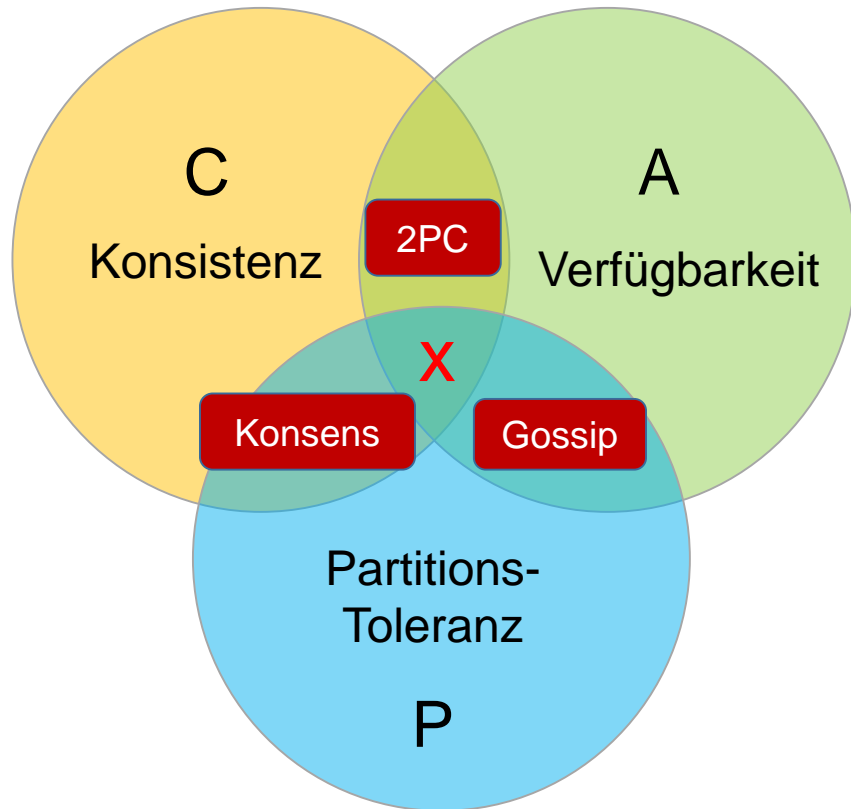
Alle Knoten sehen die selben Daten zur selben Zeit. Alle Kopien sind stets gleich.



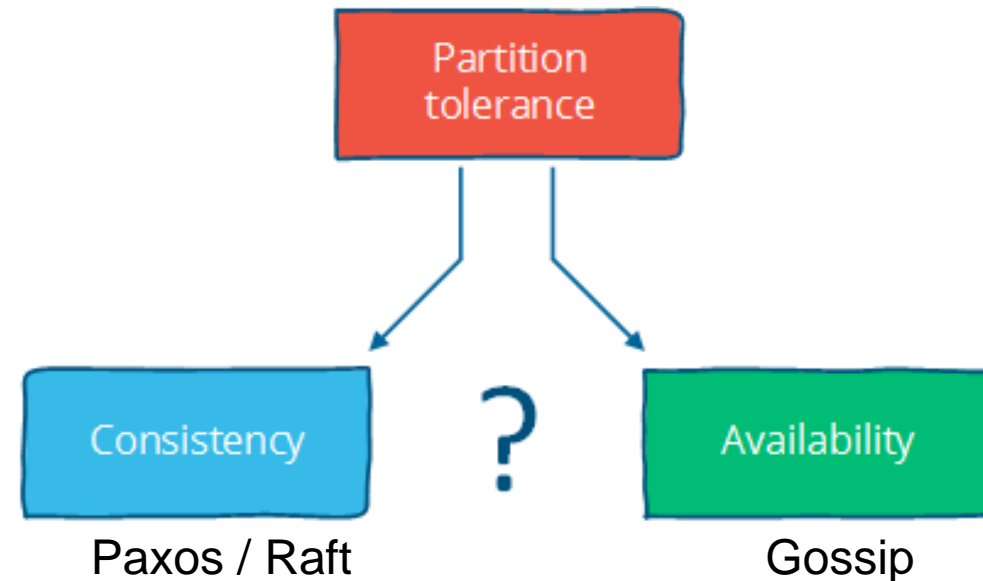
Das System läuft auch, wenn einzelne Knoten ausfallen. Ausfälle von Knoten und Kanälen halten die überlebenden Knoten nicht von ihrer Funktion ab.

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.

Die vorgestellten Protokolle und das CAP Theorem.



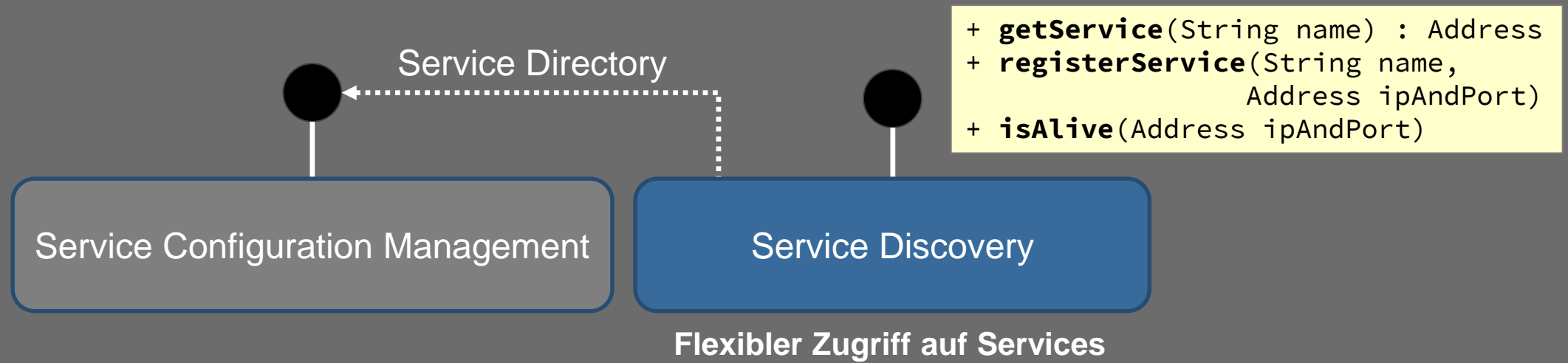
In der Cloud müssen Partitionen angenommen werden. Damit ist die Entscheidung binär zwischen Konsistenz und Verfügbarkeit.



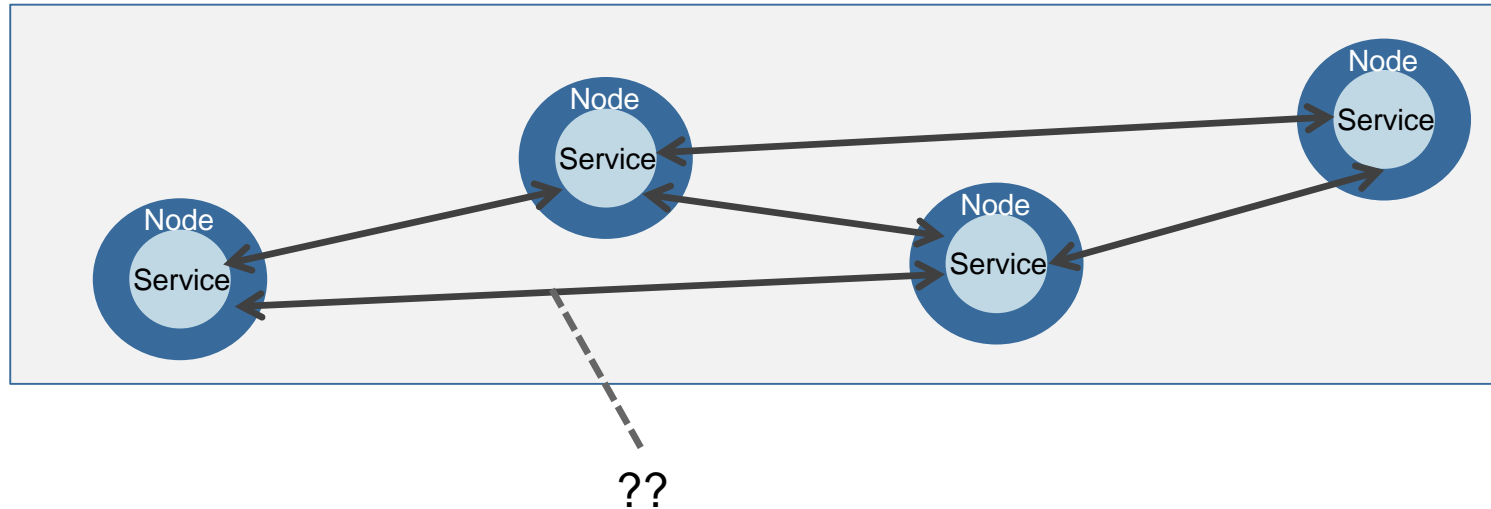
Lösungen

Komponente	Synchronisations-Konzepte	Lösungen
Service Configuration Management	Konsens	<p>Raft-basiert:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ etcd (https://github.com/coreos/etcd)▪ Consul (http://www.consul.io) <p>Paxos-basiert:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Doozerd (https://github.com/ha/doozerd)▪ Zookeeper (https://zookeeper.apache.org)
	Gossip	<ul style="list-style-type: none">▪ Consul (http://www.consul.io) – für Membership▪ Copycat (https://github.com/kuujo/copycat)
	2PC	<ul style="list-style-type: none">▪ Klassische Datenbanken

Service Discovery



Die Probleme einer klassischen Verknüpfung von Services in der Cloud.



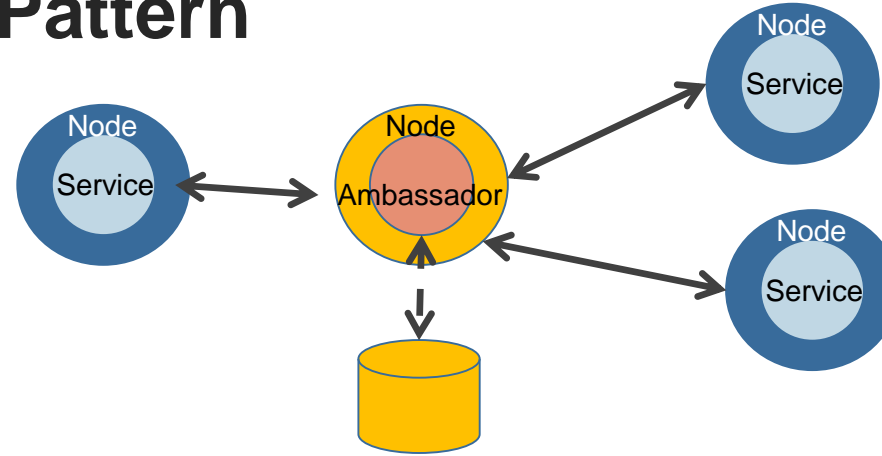
Probleme:

- Mangelnde Redundanz: Jeder Service wird direkt genutzt. Er kann nicht unmittelbar in mehreren Instanzen laufen, die Redundanz schaffen.
- Mangelnde Flexibilität: Die Services können nicht ohne Seiteneffekt neu gestartet oder auf einem anderen Knoten in Betrieb genommen werden – oder sogar durch eine andere Service-Implementierung ausgetauscht werden.

Lösungen:

- Dynamischer DNS
- Ambassador
- Dynamischer Konfigurationsdateien und Umgebungsvariablen

Das Ambassador Pattern



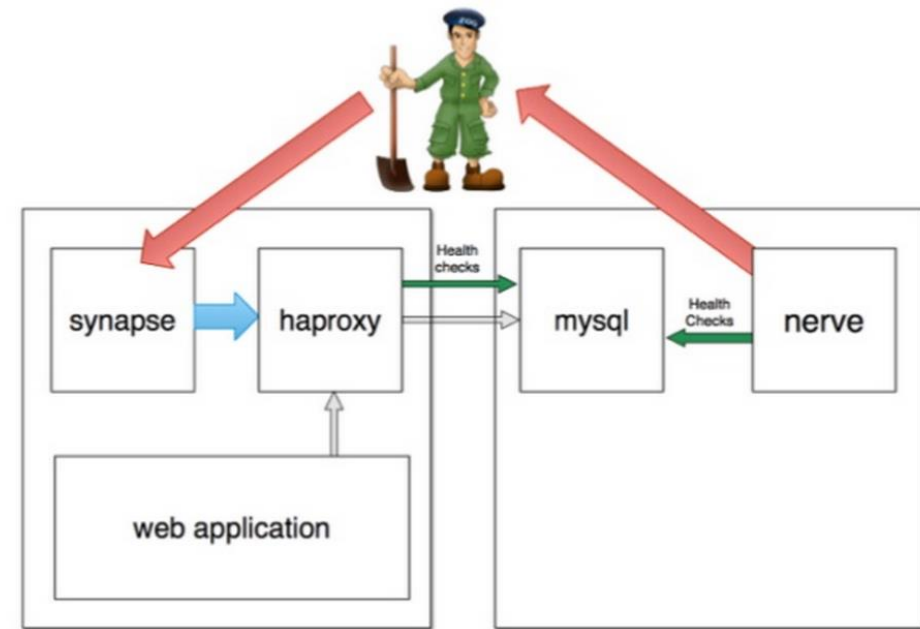
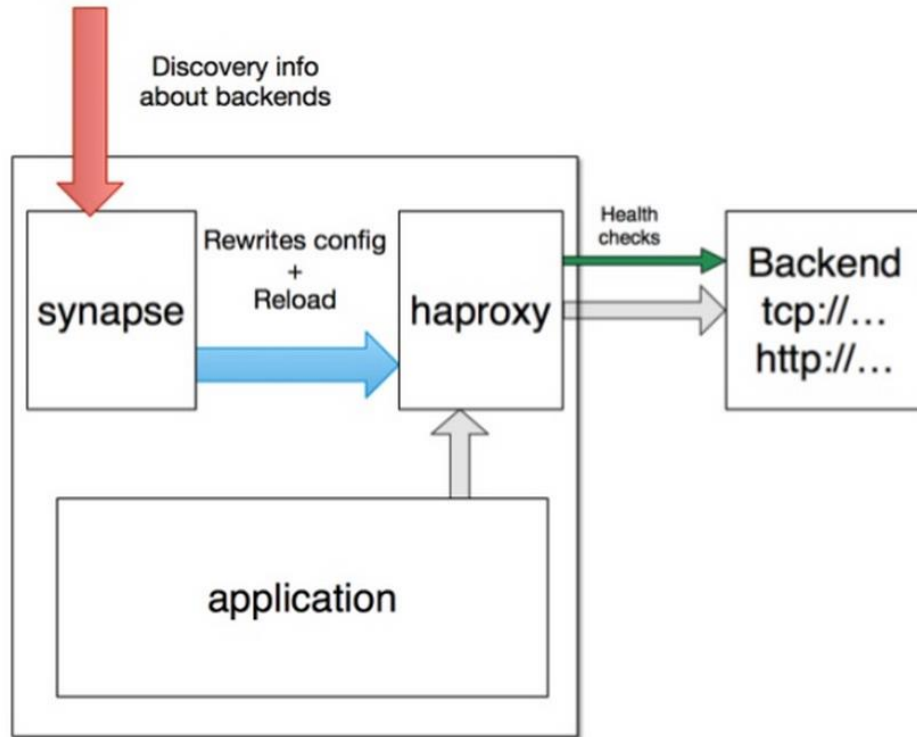
Ein Ambassador-Knoten für jede Knoten-Art (z.B. NGINX-Webserver)

- **Service Registration:**
 - Beobachtet das Cluster und erkennt neue und kranke/tote Knoten in seiner Gruppe.
 - Hinterlegt die aktuell aktiven Knoten im Konfigurationsspeicher.
- **Service Discovery:** Der Client kommuniziert mit dem Ambassador-Knoten, der die Anfragen aber möglichst effizient an einen Knoten der Gruppe weiterreicht.

Der Ambassador-Knoten kann dabei eine Reihe an Zusatzdienste erweisen bei der Verbindung zum Service (**Service Binding**):

- Load Balancing inklusive Failover
- Service Monitoring
- Circuit Breaker Pattern
- Throttling

Service Discovery am Beispiel Smartstack



Lösungen

Konzept	Teil-Konzepte	Lösungen
Service Discovery	<ul style="list-style-type: none">• Dynamische Konfigurationsdateien / Umgebungsvariablen• Dynamischer DNS / Namensdienst• Ambassador / LB / Service-Router• API und Registratur• Failure Detection (Heartbeats, Gossip-Protokolle, stehende Verbindungen)• Membership Detection (Gossip-Protokolle, Broadcasts, Discovery-Protokolle)	<ul style="list-style-type: none">• Consul (http://www.consul.io)• Skydock (https://github.com/crosbymichael/skydock)• Vulcand (http://de.slideshare.net/sttts/beyond-static-configuration)• SkyDNS (https://github.com/skynetservices/skydns)• Libswarm (https://github.com/docker/libswarm)• Eureka (https://github.com/Netflix/eureka)• Smartstack (http://nerds.airbnb.com/smartstack-service-discovery-cloud)