

Einführung in verteilte Systeme

Ein weitgefasster Überblick über verteilte Systeme.

Dozent: Prof. Dr. Michael Eichberg
Kontakt: michael.eichberg@dhbw-mannheim.de, Raum 149B
Version: 2024-02-12

seit Okt. 2023: Professor an der DHBW Mannheim
4 Jahre: Bundeskriminalamt
12 Jahre: Postdoc am Fachgebiet Softwaretechnik der TU Darmstadt
2007: Promotion zum Dr. Ing. am Fachgebiet Softwaretechnik der TU Darmstadt

Dieser Foliensatz basiert auf Folien von:

- a. Maarten van Steen (Veröffentlicht zum Buch *Distributed Systems*)
- b. Henning Pagnia (basierend auf seiner Vorlesung *Verteilte Systeme*).

Alle Fehler sind meine eigenen.



Verteilte Systeme - W3WI_110.2

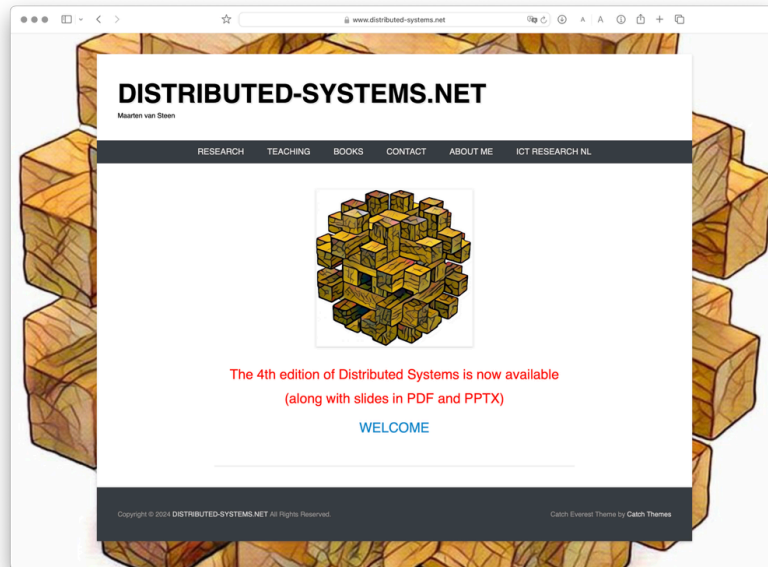
Modul: Entwicklung verteilter Systeme (W3WI_110)
Umfang: 22 Vorlesungsstunden und 38 Stunden Selbststudium
Prüfungsleistung: Portfolio

Kerninhalte gem. MHB

- Terminologie, Konzepte, Architekturen, Anforderungsprofile und Architekturmodelle für verteilte Systeme
- Entwurfs- und Implementierungsansätze
- Vergleich unterschiedlicher Middleware-Konzepte
- Synchrone und asynchrone Kommunikation, entfernter Methodenaufruf
- Asynchrone Kommunikation und Messaging-Systeme
- Sicherheitsaspekte in verteilten Systemen

[illegible]

Empfohlene Literatur



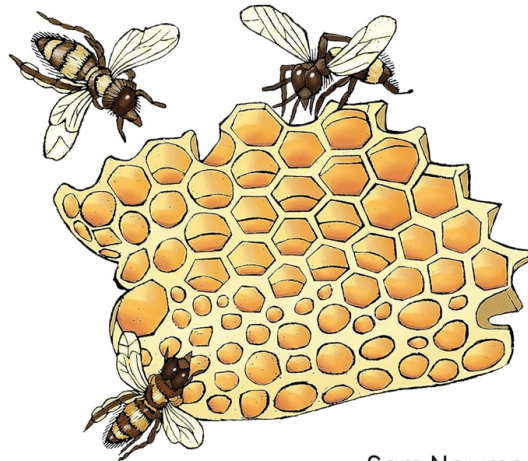
Ergänzend bzw. für interessierte Studierende:

O'REILLY®

Building Microservices

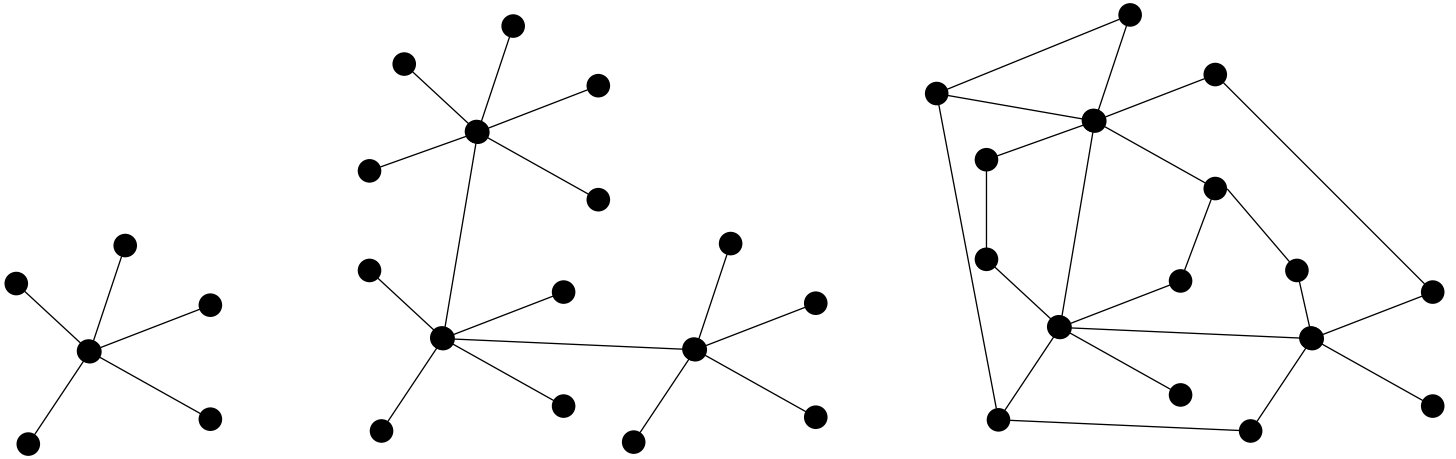
Designing Fine-Grained Systems

Second
Edition



Sam Newman

Verteilt vs. Dezentralisiert (🇺🇸 *Distributed vs Decentralized*)



Wann wird ein dezentralisiertes System zu einem verteilten System?

Verteilte Systeme

Zwei Ansichten zur Realisierung verteilter Systeme

- **Integrative Sichtweise:** Verbindung bestehender vernetzter Computersysteme zu einem größeren System.
- **Expansive Sichtweise:** ein bestehendes vernetztes Computersystem wird um zusätzliche Computer erweitert

Zwei Definitionen

- Ein dezentrales System ist ein vernetztes Computersystem, in dem Prozesse und Ressourcen *notwendigerweise* über mehrere Computer verteilt sind.
- Ein verteiltes System ist ein vernetztes Computersystem, bei dem Prozesse und Ressourcen *hinreichend* über mehrere Computer verteilt sind.

Häufige Missverständnisse bzgl. zentralisierter Systeme

1. Zentralisierte Lösungen lassen sich nicht skalieren

Es gilt zwischen logischer und physischer Zentralisierung zu unterscheiden. Zum Beispiel ist das Domain Name Systems:

- logisch zentralisiert
- physisch (massiv) verteilt
- dezentralisiert über mehrere Organisationen

2. Zentralisierte Lösungen haben einen Single Point of Failure

Im Allgemeinen nicht zutreffend (z.B. DNS).

Ein einzelner Fehlerpunkt ist weiterhin oft:


- leichter zu verwalten
- einfacher robuster zu machen

Warnung

Es gibt viele, schlecht begründete Missverständnisse in Bezug auf, z.B. Skalierbarkeit, Fehlertoleranz oder Sicherheit. Wir müssen Fähigkeiten entwickeln, mit denen verteilte Systeme leicht verstanden werden können, um solche Missverständnisse zu vermeiden.

Sichtweisen auf verteilte Systeme

Verteilte Systeme sind komplex.

- Welche Architekturen und Architekturellen Stile ( *architectural styles*) gibt es?
- Prozesse: Welche Art von Prozessen gibt es und wie sind deren Beziehungen?
- Kommunikation: Welche Möglichkeiten zum Austausch von Daten gibt es?
- Koordinierung: Wie erfolgt die Koordinierung der beteiligten Systeme?
- Benennung: Wie identifiziert man Ressourcen?
- Konsistenz und Replikation: Welcher Tradeoffs müssen in Hinblick auf die Konsistenz der Daten, der Replikation der Selbigen und der Performance getroffen werden?
- Fehlertoleranz: Wie kann eine Aufrechterhaltung des Betriebs auch bei Teilausfällen gewährleistet werden?
- Sicherheit: Wie kann der autorisierte Zugriff auf Ressourcen gewährleistet werden?

Entwurfsziele verteilter Systeme

- Unterstützung der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen
- Verteilungstransparenz (🚩 *Distribution Transparency*)
- Offenheit
- Skalierbarkeit

Gemeinsame Nutzung von Ressourcen

Kanonische Beispiele:

- Cloud-basierter gemeinsamer Speicher und Dateien
- Peer-to-Peer-unterstütztes Multimedia-Streaming
- Gemeinsame E-Mail-Dienste (z. B. ausgelagerte E-Mail-Systeme)
- Gemeinsames Webhosting (z.B. *Content Distribution Networks*)

Verteilungstransparenz (*Distribution Transparency*)

Definition

Transparenz beschreibt die Eigenschaft, dass ein verteiltes System versucht, die Tatsache zu verbergen, dass seine Prozesse und Ressourcen physisch auf mehrere Computer verteilt sind, die möglicherweise durch große Entfernungen voneinander getrennt sind.

Die Verteilungstransparenz wird durch viele verschiedene Techniken von der so genannten Middleware realisiert - einer Schicht zwischen Anwendungen und Betriebssystemen.

Aspekte der Verteilungstransparenz (*Distribution Transparency*)

Datenzugriff	Verbergen von Unterschieden in der Datendarstellung und der Art des Zugriffs auf ein lokales bzw. entferntes Objekt
Ort der Datenhaltung	Verbergen, wo sich ein Objekt befindet
Verschieben	Verbergen, dass ein Objekt während der Verwendung an einen anderen Ort verschoben werden kann
Migration	Verbergen, dass ein Objekt an einen anderen Ort verschoben werden kann
Replikation	Verbergen, dass ein Objekt repliziert wird
Nebenläufigkeit	Verbergen, dass ein Objekt von mehreren unabhängigen Benutzern gemeinsam genutzt werden kann
Fehlertransparenz	Verbergen des Ausfalls und der Wiederherstellung eines Objekts.

Grad der erreichbaren Verteilungstransparenz


Eine vollständigen Verteilungstransparenz ist nicht erreichbar.

Jedoch kann auch eine sehr hohe Verteilungstransparenz bereits hohe Kosten nach sich ziehen.

- Es gibt Kommunikationslatenzen, die nicht verborgen werden können.
- Es ist (theoretisch und praktisch) unmöglich, Ausfälle von Netzen und Knoten vollständig zu verbergen.
- Man kann einen langsamen Computer nicht von einem ausgefallenen Computer unterscheiden.
- Man kann nie sicher sein, dass ein Server tatsächlich eine Operation durchgeführt hat bevor er abgestürzt ist.
- Vollständige Transparenz kostet Performance und legt die Verteilung des Systems offen.
 - Die Replikate exakt auf dem Stand des Masters zu halten, kostet Zeit
 - Schreibvorgänge werden zur Fehlertoleranz sofort auf die Festplatte übertragen

Die Verteilung offen zu legen kann Vorteile bringen

- Nutzung von standortbezogenen Diensten (Auffinden von Freunden in der Nähe)
- Beim Umgang mit Benutzern in verschiedenen Zeitzonen
- Wenn es für einen Benutzer einfacher ist, zu verstehen, was vor sich geht (wenn z. B. ein Server lange Zeit nicht antwortet kann er als ausgefallen gemeldet werden).

Verteilungstransparenz ( *Distribution Transparency*) ist ein heres Ziel, aber oft schwer zu erreichen, und häufig auch nicht erstrebenswert.

Offene verteilte Systeme

Definition

Ein offenes verteiltes System bietet Komponenten an, die leicht von anderen Systemen verwendet oder in andere Systeme integriert werden können. Ein offenes verteiltes System besteht selbst oft aus Komponenten, die von anderswoher stammen.

Offene verteilte Systeme müssen in der Lage sein, mit Diensten anderer (offener) Systeme zu interagieren, unabhängig von der zugrunde liegenden Umgebung:

- Systeme sollten wohl-definierte Schnittstellen korrekt realisieren
- Systeme sollten leicht mit anderen Systemen interagieren können
- Systeme sollten die Portabilität von Anwendungen unterstützen
- Systeme sollten leicht erweiterbar sein

Vorgaben/Richtlinien vs. Umsetzungen (*Policies vs. Mechanisms*)

Richtlinien für die Umsetzung von Offenheit

- Welchen Grad an Konsistenz benötigen wir für Daten im Client-Cache?
- Welche Operationen erlauben wir heruntergeladenem Code?
- Welche QoS-Anforderungen passen wir angesichts schwankender Bandbreiten an?
- Welchen Grad an Geheimhaltung benötigen wir für die Kommunikation?

Mechanismen bzgl. der Umsetzung von Offenheit


- Ermöglichung der (dynamischen) Einstellung von Caching-Richtlinien
- Unterstützung verschiedener Vertrauensstufen für mobilen Code
- Bereitstellung einstellbarer QoS-Parameter pro Datenstrom
- Angebot verschiedener Verschlüsselungsalgorithmen

16

Die harte Kodierung von Richtlinien vereinfacht oft die Verwaltung und reduziert die Komplexität des Systems. Hat jedoch den Preis geringerer Flexibilität.

Verlässlichkeit verteilter Systeme (*Dependability*)

Abhängigkeiten

Eine **Komponente**^[1] stellt seinen **Clients Dienste** zur Verfügung. Dafür kann die Komponente jedoch wiederum Dienste von anderen Komponenten benötigen und somit ist eine Komponente von einer anderen Komponente abhängig ( *depend*).

Eine Komponente C hängt von C^* ab, wenn die Korrektheit des Verhaltens von C von der Korrektheit des Verhaltens von C^* abhängt.

[1] Komponenten sein Prozesse oder Kanäle.

Anforderungen an die Verlässlichkeit verteilter Systeme

Anforderung	Beschreibung
Verfügbarkeit	Das System ist nutzbar.
Zuverlässigkeit	Kontinuität der korrekten Leistungserbringung
Sicherheit (🇺🇸 <i>Safety</i> ^[2])	Niedrige Wahrscheinlichkeit für ein katastrophales Ereignis
Wartbarkeit	Wie leicht kann ein fehlgeschlagenes System wiederhergestellt werden?

[2] 🇺🇸 *Safety* und 🇩🇪 *Security* werden beide im Deutschen gleich mit Sicherheit übersetzt und sind daher leicht zu verwechseln. 🇺🇸 *Safety* bezieht sich auf die Sicherheit von Personen und Sachen, während 🇩🇪 *Security* sich auf die Sicherheit von Daten und Informationen bezieht.

Zuverlässigkeit (🇺🇸 *Reliability*) vs. Verfügbarkeit (🇺🇸 *Availability*) in verteilten Systemen

Verlässlichkeit $R(t)$ der Komponente C

Bedingte Wahrscheinlichkeit, dass C während $[0, t)$ korrekt funktioniert hat, wenn C zum Zeitpunkt $T = 0$ korrekt funktionierte.

Traditionelle Metriken

- Mittlere Zeit bis zum Versagen (🇺🇸 *Mean Time to Failure* (MTTF)): Die durchschnittliche Zeit bis zum Ausfall einer Komponente.
- Mittlere Zeit bis zur Reparatur (🇺🇸 *Mean Time to Repair* (MTTR)): Die durchschnittliche Zeit, die für die Reparatur einer Komponente benötigt wird.
- Mittlere Zeit zwischen Ausfällen (🇺🇸 *Mean Time Between Failures* (MTBF)): $MTTF + MTTR$.

19

-
- Zuverlässigkeit: Wie wahrscheinlich ist es, dass ein System korrekt arbeitet?
 - Verfügbarkeit: Wie wahrscheinlich ist es, dass ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügbar ist?

Sicherheit in verteilten Systemen

Ein verteiltes System, das nicht sicher ist, ist nicht verlässlich.

Grundlegende Schutzziele:

Vertraulichkeit: Informationen werden nur an autorisierte Parteien weitergegeben.

Integrität: Änderungen an den Werten eines Systems dürfen nur auf autorisierte Weise vorgenommen werden können.

Autorisierung, Authentifizierung, Vertrauen

- Authentifizierung (🚩 *Authentication*): Überprüfung der Korrektheit einer behaupteten Identität
- Autorisierung (🚩 *Authorization*): Verfügt eine identifizierte Einheit über die richtigen Zugriffsrechte?
- Vertrauen (🚩 *Trust*): Eine Komponente kann sich sicher sein, dass eine andere Komponente bestimmte Handlungen gemäß den Erwartungen ausführt.

Sicherheit - Verschlüsselung und Signaturen

Es geht im Wesentlichen um das Ver- und Entschlüsseln von Daten (X) mit Hilfe von Schlüsseln.

$E(K, X)$ bedeutet, dass wir die Nachricht X mit dem Schlüssel K verschlüsseln (🚩 *encryption*).

$D(K, X)$ bezeichnet die Umkehrfunktion, die die Daten wieder entschlüsselt (🚩 *decryption*).

1

Symmetrische Verschlüsselung

Der Schlüssel zur Verschlüsselung ist identisch mit dem Schlüssel zur Entschlüsselung (🚩 *decryption* (D)).

$$X = D(K, E(K, X))$$

2

21

Sicherheit - Sicheres Hashing (*Secure Hashing*)

Eine sichere Hash-Funktionen: $Digest(X)$ gibt eine Zeichenkette fester Länge zurück (H). - Jede Änderung - noch so klein - der Eingabedaten führt zu einer völlig anderen Zeichenkette. - Bei einem Hash-Wert ist es rechnerisch unmöglich die ursprüngliche Nachricht X basierend auf $Digest(X)$ zu finden.

Signieren von Nachrichten

Alice signiert eine Nachricht mit ihrem privaten Schlüssel.

$$Alice : [E(PR_{Alice}, H = Digest(X)), X]$$

Bob prüft die Nachricht X auf Authentizität:

$$Bob : D(PU_{Alice}, H) \stackrel{?}{=} Digest(X)$$

Skalierbarkeit in verteilten Systemen

Wir können mind. drei Arten von Skalierbarkeit unterscheiden:

- Anzahl der Benutzer oder Prozesse (Skalierbarkeit der Größe)
- Maximale Entfernung zwischen den Knoten (geografische Skalierbarkeit)
- Anzahl der administrativen Domänen (administrative Skalierbarkeit)

Ursachen für Skalierbarkeitsprobleme bei zentralisierten Lösungen:

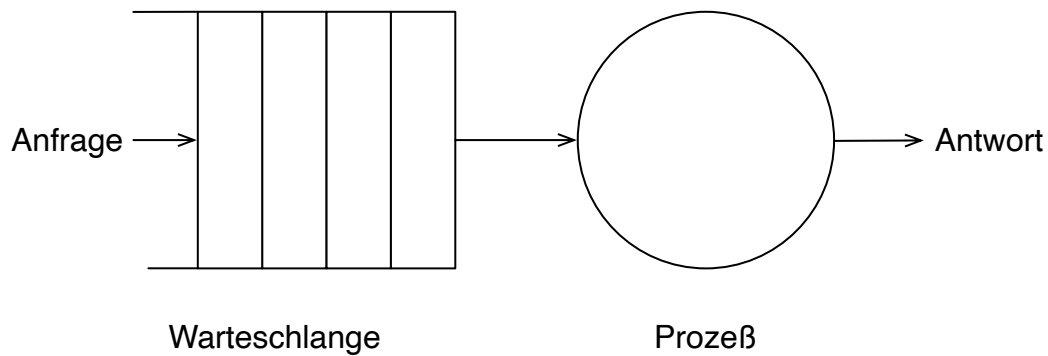
- Die Rechenkapazität, da diese begrenzt ist durch die CPUs
- Die Speicherkapazität, einschließlich der Übertragungsrate zwischen CPUs und Festplatten
- Das Netzwerk zwischen dem Benutzer und dem zentralisierten Dienst

Die Skalierbarkeit bzgl. der Größe kann oft durch den Einsatz von mehr und leistungstärkeren Servern, die parallel betrieben werden, erreicht werden.

Die geografische und administrative Skalierbarkeit ist häufig eine größere Herausforderung.

Formale Analyse der Skalierbarkeit zentralisierter Systeme

Ein zentralisierter Dienst kann als einfaches Warteschlangensystem modelliert werden:



Annahmen:

Die Warteschlange hat eine unendliche Kapazität; d.h. die Ankunftsrate der Anfragen wird nicht durch die aktuelle Länge der Warteschlange oder durch das, was gerade bearbeitet wird, beeinflusst.

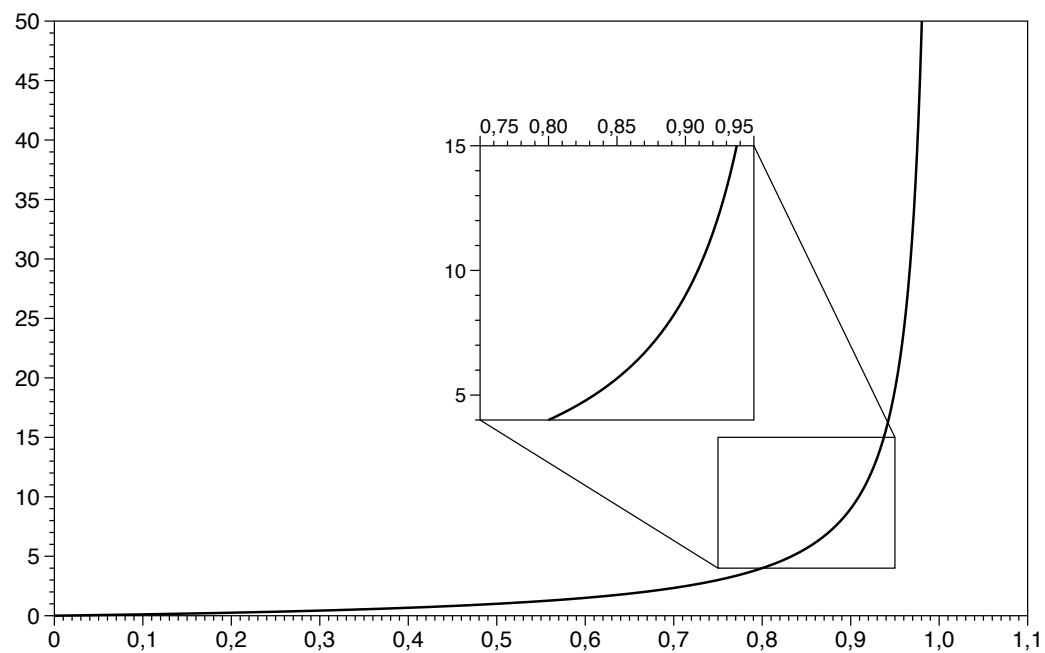
1

25

Für eine **unendliche geometrische Reihe** mit dem Quotienten U gilt:

$$\sum_{k \geq 0} k \cdot U^k = \frac{U}{(1 - U)^2}$$

Visualisierung der durchschnittlichen Anzahl der Anfragen im System in Abhängigkeit von der Auslastung U :



Probleme der geografischen Skalierbarkeit

- Viele verteilte Systeme gehen von synchronen Client-Server-Interaktionen aus und dies verhindert einen Übergang vom LAN zum WAN. Die Latenzzeiten können prohibitiv sein, wenn der Client auf eine Anfrage lange auf die Antwort warten muss.
- WAN-Verbindungen sind oft von Natur aus unzuverlässig.

Probleme der administrativen Skalierbarkeit

Widersprüchliche Richtlinien in Bezug auf Nutzung (und damit Bezahlung), Verwaltung und Sicherheit


Beispiele

- Gridcomputing: gemeinsame Nutzung teurer Ressourcen über verschiedene Domänen hinweg.
- Gemeinsam genutzte Geräte: Wie kontrolliert, verwaltet und nutzt man ein gemeinsam genutztes Radioteleskop, das als groß angelegtes gemeinsames Sensornetz konstruiert wurde?

Ausnahme

Verschiedene Peer-to-Peer-Netze [3] bei denen Endnutzer zusammenarbeiten und nicht Verwaltungseinheiten:

- File-Sharing-Systeme (z. B. auf der Grundlage von BitTorrent)
- Peer-to-Peer-Telefonie (frühe Versionen von Skype)

[3]  *Peer* ist im hier im Sinne von „Gleichgestellter“ zu verstehen. D.h. wir haben ein Netz von gleichgestellten Rechnern.

Ansätze, um Skalierung zu erreichen

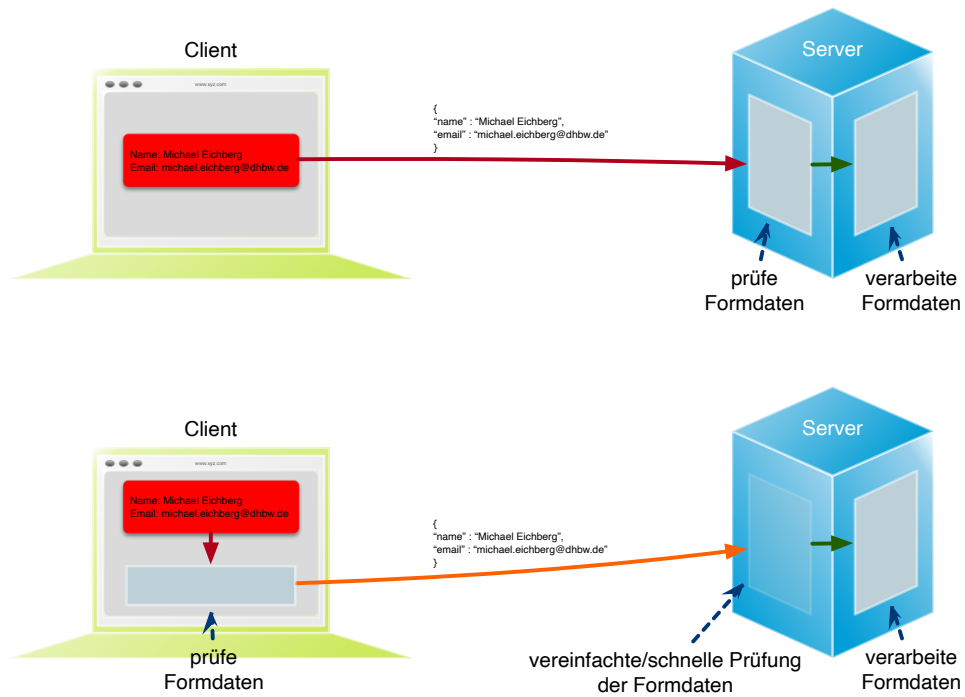
Verbergen von Kommunikationslatenzen durch: - Nutzung asynchroner Kommunikation - Verwendung separater *Handler* für eingehende Antworten

Dieses Modell ist jedoch nicht immer anwendbar.

Partitionierung von Daten und Berechnungen über mehrere Rechner.

- Verlagerung von Berechnungen auf Clients
- Dezentrale Namensgebungsdienste (DNS)
- Dezentralisierte Informationssysteme (WWW)

Verlagerung von Berechnungen auf Clients



Ansätze, um Skalierung zu erreichen

Einsatz von Replikation und Caching, um Kopien von Daten auf verschiedenen Rechnern verfügbar zu machen.

- Replizierte Dateiserver und Datenbanken
- gespiegelte Websites
- Web-Caches (in Browsern und Proxies)
- Datei-Caching (auf Server und Client)

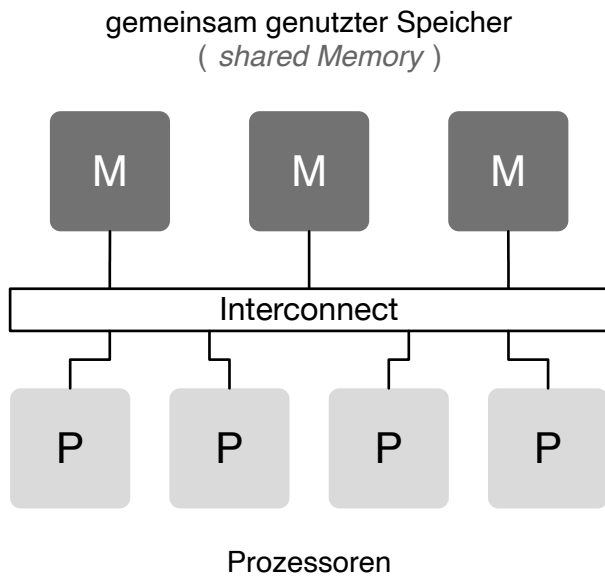
Herausforderungen bei der Replikation

- Mehrere Kopien (zwischengespeichert (📄 *cached*) oder repliziert) führen zwangsläufig zu Inkonsistenzen. Die Änderung einer Kopie führt dazu, dass sich diese Kopie von den anderen unterscheidet.
- Zur Erreichung von Konsistenz ist bei jeder Änderung eine globale Synchronisierung erforderlich.
- Die globale Synchronisierung schließt Lösungen im großen Maßstab aus.

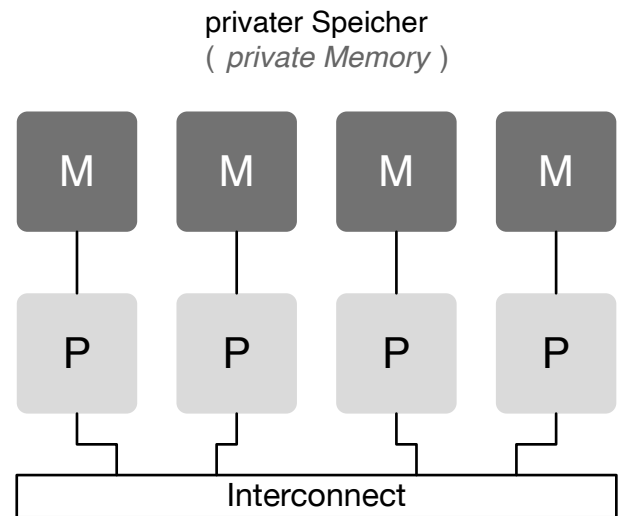
Inwieweit Inkonsistenzen toleriert werden können ist anwendungsspezifisch. Können diese jedoch toleriert werden, dann kann der Bedarf an globaler Synchronisation verringert werden.

Paralleles Rechnen (🇺🇸 *Parallel Computing*)

Multiprozessor



Multicomputer



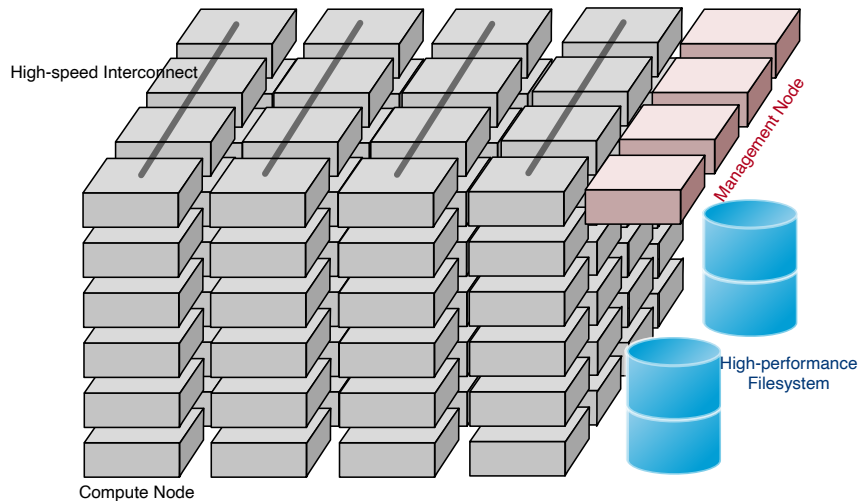
32

Das verteilte Hochleistungsrechnen begann mit dem parallelen Rechnen

Verteilte Systeme mit gemeinsamem Speicher (🇺🇸 *Multicomputer with shared memory*) als alternative Architektur haben die Erwartungen nicht erfüllt und sind daher nicht mehr relevant.

Cluster Computing

Eine Gruppe von „High-End-Systemen“, die über ein LAN verbunden sind.



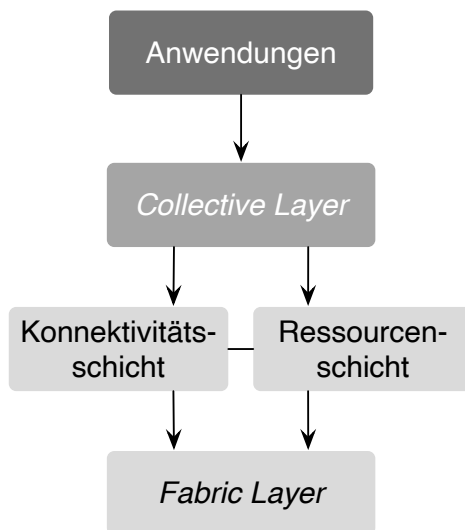
Grid Computing

Weiterführung des Cluster Computing. Viele heterogene, weit und über mehrere Organisationen verstreute Knotenpunkte. Die Knotenpunkte sind über das WAN verbunden. Die Zusammenarbeit erfolgt im Rahmen einer virtuellen Organisation.

33

Die einzelnen Rechner/Compute Nodes sind oft identisch (Hardware und Software) und werden von einem Verwaltungsknotenpunkt (🏢 *management node*) verwaltet.

Grundlegende Architektur für Grid-Computing



Fabric Layer: Bietet Schnittstellen zu lokalen Ressourcen (zur Abfrage von Status und Fähigkeiten, Sperren usw.)

Konnektivitätsschicht: Kommunikations- / Transaktions- / Authentifizierungsprotokolle, z. B. für die Übertragung von Daten zwischen Ressourcen.

Ressourcenschicht: Verwaltet eine einzelne Ressource, z. B. das Erstellen von Prozessen oder das Lesen von Daten.

Collective Layer: Verwaltet den Zugriff auf mehrere Ressourcen: Auffindung (📁 *Discovery*), Einplanung (📅 *Scheduling*) und Replikation.

Anwendungen: Enthält tatsächliche Grid-Anwendungen in einer einzelnen Organisation.

Peer-to-Peer-Systeme

- Vision:** „Das Netzwerk ist der Computer.“ Es gibt einen Datenbestand, der immer weltweit erreichbar ist.
- Idee:** Keine dedizierten Clients und Server, jeder Teilnehmer (Peer) ist gleichzeitig Anbieter und Kunde.
- Selbstorganisierend, ohne zentrale Infrastruktur (Koordinator, Datenbestand, Teilnehmerverzeichnis).
- Jeder Peer ist autonom und kann jederzeit off-line sein, Netzwerkadressen können sich beliebig ändern.
- Hauptanwendung:** File-Sharing-Systeme (insbesondere BitTorrent)

Die große Zeit der klassischen Peer-to-Peer-Systeme war in den 2000er Jahren.

Vorteile von P2P Systemen: billig, fehlertolerant, dynamisch, selbstkonfigurierend, immens hohe Speicherkapazität, hohe Datenzugriffsgeschwindigkeit

Probleme von P2P Systemen: Start-Up, schlecht angebundene, leistungsschwache Peers; *Free-Riders*; Copyright-Probleme

Cloud-Computing

Weiterentwicklung des Grid-Computing. Ziel ist die Bereitstellung von Rechenleistung, Speicher und Anwendungen als Dienstleistung.

Varianten:

- Public Cloud (⇒ Amazon EC2, Google Apps, Microsoft Azure, ...)
- Private Cloud
- Hybrid Cloud (Private Cloud wird bei Bedarf durch Public Cloud ergänzt)

Vorteile des Cloud-Computings: Kosten, Aktualität von Daten und Diensten, keine eigene Infrastruktur notwendig, Unterstützung von mobilen Teilnehmern

Probleme des Cloud-Computings: Sicherheit und Vertrauen, Verlust von eigenem Know-How, Umgang mit klassifizierten Daten

Integration von Anwendungen

Die Standardanwendungen in Unternehmen sind vernetzte Anwendungen und die Herstellung der Interoperabilität zwischen diesen Anwendungen ist eine große Herausforderung.

Grundlegender Ansatz

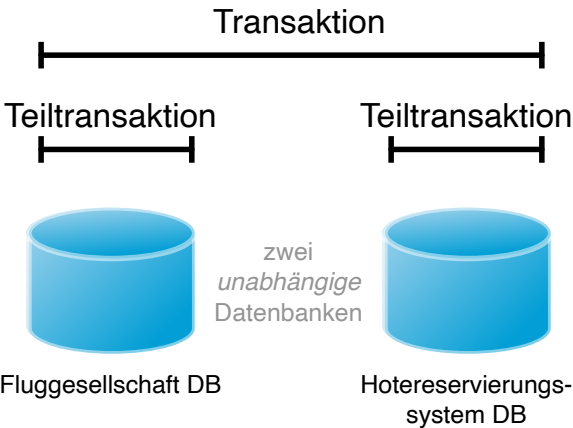
Clients kombinieren Anfragen für (verschiedene) Anwendungen, senden diese, sammeln die Antworten und präsentieren dem Benutzer ein kohärentes Ergebnis.

Weiterentwicklung


Die direkte Kommunikation zwischen den Anwendung führt zur Integration von Unternehmensanwendungen (🇺🇸 *Enterprise Application Integration (EAI)*).

Eine vernetzte Anwendung ist eine Anwendung, die auf einem Server läuft und ihre Dienste für entfernte Clients verfügbar macht.

Transaktionen



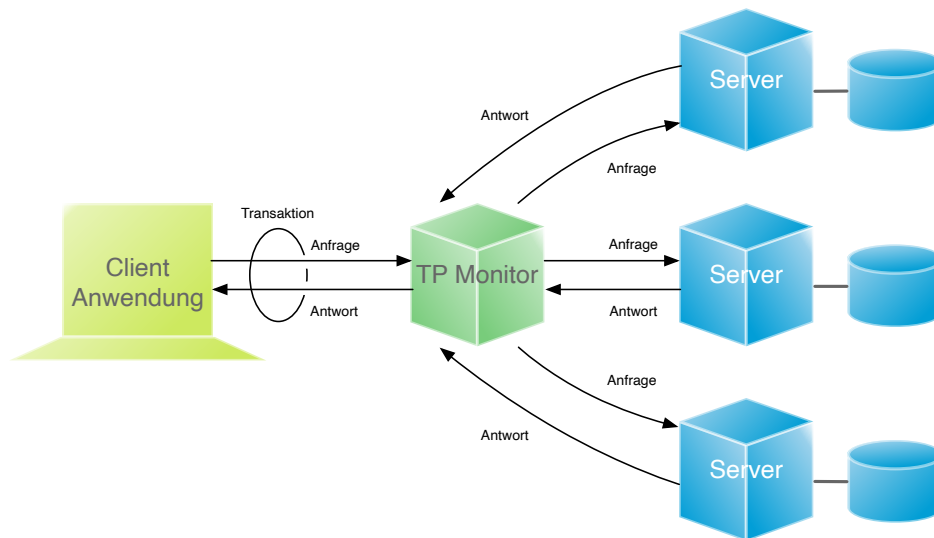
Primitiv	Beschreibung
BEGINN DER TRANSAKTION	Zeigt den Beginn einer Transaktion an.
ENDE DER TRANSAKTION	Beendigung der Transaktion mit dem Versuch eines COMMIT.
ABBRUCH DER TRANSAKTION	Beenden der Transaktion und Wiederherstellung des alten Zustands.
LESEN	Lesen von Daten aus (z.B.) einer Datei oder einer Tabelle.
SCHREIBEN	Schreiben von Daten (z.B.) in eine Datei oder eine Tabelle.

Atomar  **Atomic:** geschieht untrennbar (scheinbar)

Konsistent  **Consistent:**

Transaction Processing Monitor (TPM)

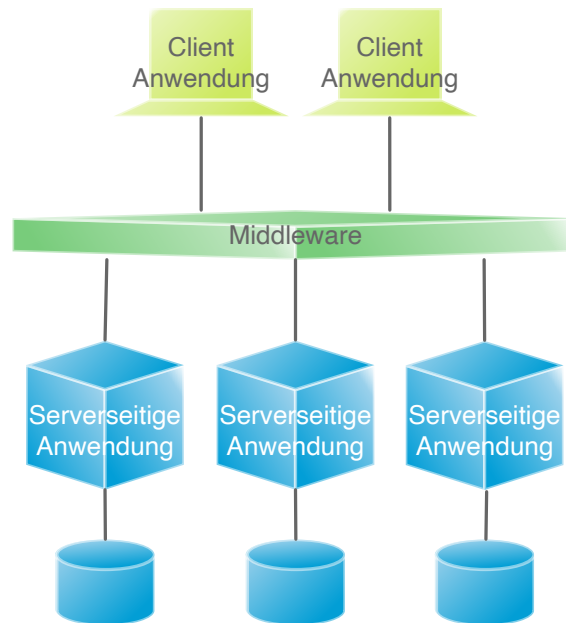
Daten, die im Rahmen einer Transaktion benötigt werden, sind verteilt über mehrere Server.



Ein TPM ist für die Koordination der Ausführung einer Transaktion verantwortlich.

Middleware und Enterprise Application Integration (EAI)

Middleware ermöglicht Kommunikation zwischen den Anwendungen.



40

Remote Procedure Call (RPC):

Anfragen werden über einen lokalen Prozeduraufruf gesendet, als Nachricht verpackt, verarbeitet, von einer Nachricht beantwortet und das Ergebnis ist dann der Rückgabewert des Prozeduraufrufs.

Nachrichtenorientierte Middleware Message Oriented Middleware (MOM):

Nachrichten werden an einen logischen Kontaktpunkt gesendet (d.h. veröffentlicht) und Anwendungen weitergeleitet, die diese Nachrichten abonnieren.

Wie kann die Anwendungsintegration erreicht werden?

Dateiübertragung: Technisch einfach, aber nicht flexibel:

- Dateiformat und Layout herausfinden
- Dateiverwaltung regeln
- Weitergabe von Aktualisierungen und Aktualisierungsbenachrichtigungen.

Gemeinsame Datenbank:

Sehr viel flexibler, erfordert aber immer noch ein gemeinsames Datenschema neben dem Risiko eines Engpasses.

Entfernter Prozeduraufruf 🚩 ***Remote Procedure Call (RPC):***

Wirksam, wenn die Ausführung einer Reihe von Aktionen erforderlich ist.

Nachrichtenübermittlung 🚩 ***Messaging:***

Ermöglicht eine zeitliche und räumliche Entkopplung im Vergleich zu RPCs.

Distributed Pervasive/Ubiquitous Systems (🇩🇪)

verteilte, allgegenwärtige/durchdringende Systeme

Moderne verteilte Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass die Knoten klein, mobil und oft in ein größeres System eingebettet sind. Das System bettet sich auf natürliche Weise in die Umgebung des Benutzers ein. Die Vernetzung ist drahtlos.

Drei (sich überschneidende) Untertypen

Ubiquitous Computing:

allgegenwärtig und ständig präsent, d. h., es besteht eine ständige Interaktion zwischen System und Benutzer.

Mobile Computing:

allgegenwärtig; der Schwerpunkt liegt auf der Tatsache, dass Geräte von Natur aus mobil sind.

Sensor-/Actuator Networks:

allgegenwärtig; Schwerpunkt liegt auf der tatsächlichen (kollaborativen) Erfassung (🇩🇪 *sensing*) und Betätigung (🇩🇪 *actuation*).

Ubiquitous Systems - Kernbestandteile

1. 🇺🇸 *Distribution*: Die Geräte sind vernetzt, verteilt und ohne Hürde zugänglich.
2. 🇺🇸 *Interaction*: Die Interaktion zwischen Benutzern und Geräten ist in hohem Maße unaufdringlich
3. 🇺🇸 *Context Awareness*: Das System kennt den Kontext eines Benutzers, um die Interaktion zu optimieren.
4. 🇺🇸 *Autonomy*: Die Geräte arbeiten autonom, ohne menschliches Eingreifen, und verwalten sich in hohem Maße selber.
5. 🇺🇸 *Intelligence*: Das System als Ganzes kann ein breites Spektrum dynamischer Aktionen und Interaktionen bewältigen.

Mobile Computing - Auszeichnende Merkmale

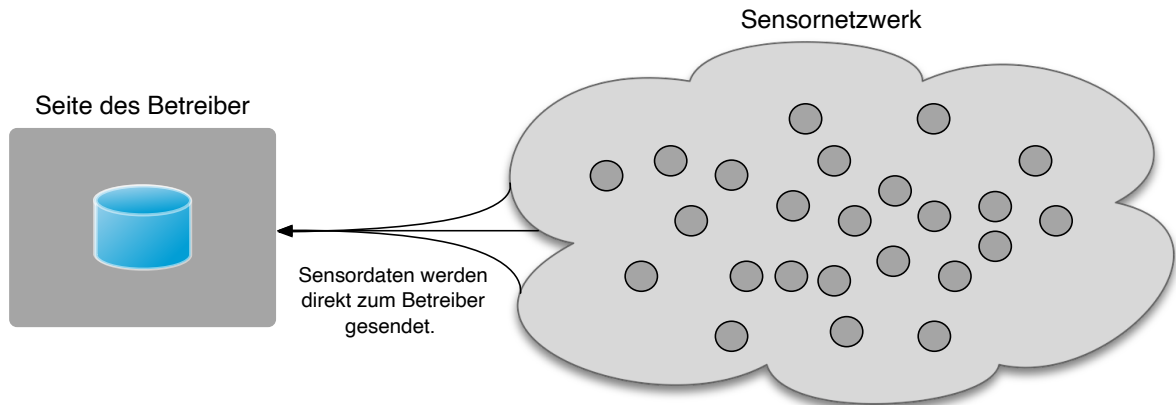
- Eine Vielzahl unterschiedlicher mobiler Geräte (Smartphones, Tablets, GPS-Geräte, Fernbedienungen, aktive Ausweise).
- Mobil bedeutet, dass sich der Standort eines Geräts im Laufe der Zeit ändern kann mit Auswirkung, z.B., auf die lokalen Dienste oder die Erreichbarkeit.
- Die Aufrechterhaltung einer stabilen Kommunikation kann zu ernsthaften Problemen führen.

Aktueller stand ist, dass mobile Geräte Verbindungen zu stationären Servern herstellen, wodurch diese im Prinzip *Clients* von Cloud-basierten Diensten sind.

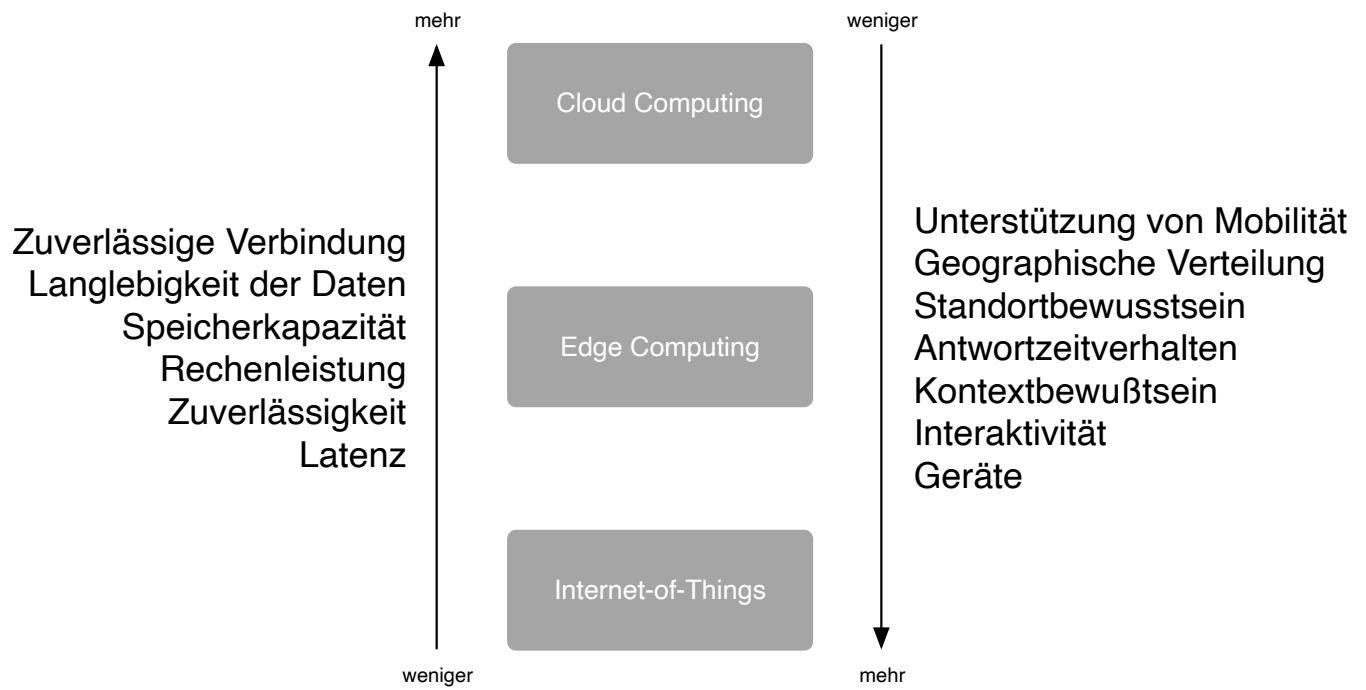
Sensor Networks als verteilte Datenbanken

Die Knoten, an denen Sensoren angebracht sind:

- „Viele“
- Einfach (geringe Speicher- / Rechen- / Kommunikationskapazität)
- oft batteriebetrieben (oder sogar batterieless)



Das *Cloud-Edge Continuum*



Fallstricke bei der Entwicklung verteilter Systeme

Viele verteilte Systeme sind unnötig komplex aufgrund fehlerhafter Annahmen sowie von Architektur- und Design Fehlern, die später nachgebessert werden müssen.

Falsche (und oft versteckte) Annahmen

- Das Netzwerk ist zuverlässig
- Das Netzwerk ist sicher
- Das Netz ist homogen
- Die Topologie ändert sich nicht
- Die Latenz ist gleich Null
- Die Bandbreite ist unendlich
- Die Transportkosten sind gleich Null
- Es gibt nur einen Administrator

Übung: MTBF

Wenn die MTTF einer Komponente 100 Stunden beträgt und die MTTR 10 Stunden beträgt, wie hoch ist dann die MTBF?