



Leseprobe

Daniel Takai

Architektur für Websysteme

Serviceorientierte Architektur, Microservices, Domänengetriebener  
Entwurf

ISBN (Buch): 978-3-446-45056-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-45248-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45056-1>

sowie im Buchhandel.

# Inhalt

<b>Teil I Geschäftssysteme</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Buchmodell.....	3
1.2 Architektur und Entwurf.....	7
1.3 Serviceorientierte Architektur.....	11
1.4 Microservice-Architektur.....	17
1.5 Domänengetriebener Entwurf.....	23
1.6 Organisation und Kultur.....	30
<b>2 Servicemanagement</b> .....	<b>37</b>
2.1 Service Governance.....	37
2.2 Servicekatalog.....	39
2.3 Entwurfsstandard des Service.....	44
2.4 Entwurfsstandard des Open Host.....	51
2.5 Entwurfsstandard des Service Bus.....	56
<b>3 Systemqualität</b> .....	<b>65</b>
3.1 Qualitätsmodelle.....	65
3.2 Qualitätsszenarien.....	73
<b>Teil II Wartbarkeit</b> .....	<b>77</b>
<b>4 Einleitung</b> .....	<b>79</b>
4.1 Einführung in die Wartbarkeit.....	79
<b>5 Konzeptionelle Integrität</b> .....	<b>85</b>
5.1 Einführung in die Konzeptionelle Integrität.....	85

5.2	Qualitätsszenarien .....	89
5.3	Von der Allgemeinsprache .....	90
5.4	Systemkontext erforschen .....	93
5.5	Stakeholder Management .....	96
5.6	Systemziele bestimmen .....	99
5.7	Anforderungen erheben .....	101
5.8	Anwendungsfälle .....	105
5.9	Geschäftsmodelle implementieren .....	110
5.10	Handshaking mit Implementation Proposals .....	112
5.11	Das Conway-Manöver .....	114
5.12	Prototyping .....	116
<b>6</b>	<b>Konsistenz .....</b>	<b>119</b>
6.1	Einführung in die Konsistenz .....	119
6.2	Qualitätsszenarien .....	121
6.3	Frameworks wählen .....	122
6.4	Programmieren können .....	125
6.5	Ergebnisse kontrollieren .....	127
<b>7</b>	<b>Testbarkeit .....</b>	<b>131</b>
7.1	Einführung in die Testbarkeit .....	131
7.2	Qualitätsszenarien .....	135
7.3	Testmanagement .....	137
7.4	Sandboxing und Teststufen .....	142
7.5	Test Harness entwickeln .....	146
7.6	Test Doubles und Integration planen .....	148
7.7	Testdaten im Griff haben .....	151
7.8	Browsertests durchführen .....	153
<b>8</b>	<b>Analysierbarkeit .....</b>	<b>155</b>
8.1	Einführung in die Analysierbarkeit .....	155
8.2	Qualitätsszenarien .....	158
8.3	Dokumentation erstellen .....	159
8.4	Diagramme zeichnen .....	163
8.5	Statische Analyse .....	166
<b>9</b>	<b>Änderbarkeit .....</b>	<b>171</b>
9.1	Einführung in die Änderbarkeit .....	171
9.2	Qualitätsszenarien .....	175

9.3	Funktionspunkte analysieren .....	176
9.4	Continuous Deployment .....	180
9.5	Regeln für die Versionskontrolle .....	184
9.6	Regeln für das Build-Management .....	185
9.7	Regeln für das Release-Management .....	187
9.8	Regeln für das Lizenzmanagement .....	188
<b>Teil III Performance .....</b>		<b>191</b>
<b>10</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>193</b>
10.1	Einführung in die Performance .....	193
10.2	Qualitätsszenarien .....	197
<b>11</b>	<b>Latenz .....</b>	<b>199</b>
11.1	Einführung in die Latenz .....	199
11.2	Latenz messen .....	202
11.3	Für HTTP/2 planen .....	204
11.4	Content-Delivery-Netzwerke .....	209
11.5	Latenzdiagramme zeichnen .....	212
11.6	HTTP-Cache einsetzen .....	214
<b>12</b>	<b>Service-Performance .....</b>	<b>217</b>
12.1	Einführung in die Service-Performance .....	217
12.2	Metriken definieren .....	219
12.3	Culling .....	226
12.4	Tuning .....	227
12.5	Service-Cache abwägen .....	230
<b>13</b>	<b>Kapazität .....</b>	<b>233</b>
13.1	Einführung in die Kapazität .....	233
13.2	Lastsimulation .....	235
13.3	Speicherkapazität .....	240
13.4	Bottlenecks aufspüren .....	244
<b>14</b>	<b>Skalierbarkeit .....</b>	<b>247</b>
14.1	Einführung in die Skalierbarkeit .....	247
14.2	Geografische Skalierung .....	250
14.3	Storage skalieren .....	251
14.4	Asynchroner Entwurf .....	256
14.5	Cookie Cutter und Microservices .....	260

<b>Teil IV Zuverlässigkeit</b> .....	<b>261</b>
<b>15 Einleitung</b> .....	<b>263</b>
15.1 Einführung in die Zuverlässigkeit .....	263
15.2 Fehlerquellen.....	267
15.3 Qualitätsszenarien.....	271
<b>16 Verfügbarkeit</b> .....	<b>273</b>
16.1 Einführung in die Verfügbarkeit .....	273
16.2 Berechnung der Verfügbarkeit .....	277
16.3 Verfügbarkeit verbessern .....	279
16.4 N+M-Kapazität.....	280
16.5 Lastverteilung .....	281
<b>17 Herstellbarkeit</b> .....	<b>283</b>
17.1 Einführung in die Herstellbarkeit .....	283
17.2 Automation-Service .....	286
17.3 Bootstrapping- und Configuration-Service .....	288
17.4 Backup und Restore .....	291
<b>18 Prüfbarkeit</b> .....	<b>297</b>
18.1 Einführung in Prüfbarkeit und Monitoring .....	297
18.2 Architektur für Prüfbarkeit .....	299
18.3 Architektur für Monitoring .....	302
18.4 Alarm und Eskalation .....	306
<b>19 Resilienz</b> .....	<b>309</b>
19.1 Einführung in die Resilienz.....	309
19.2 Throttling .....	316
19.3 Vor DDoS schützen .....	317
19.4 Canary Deployments .....	319
19.5 Canary Requests .....	320
19.6 Circuit Breaker .....	322
19.7 Graceful Degradation .....	324
<b>Teil V Informationssicherheit</b> .....	<b>327</b>
<b>20 Einleitung</b> .....	<b>329</b>
20.1 Einführung in die Informationssicherheit .....	329

<b>21 Identifizierung</b> .....	<b>331</b>
21.1 Einführung in die Identifizierung .....	331
21.2 Cost per Identity .....	333
21.3 Faktoren der Sicherheit .....	334
21.4 Prozesse der Identifizierung.....	335
21.5 Timer .....	336
21.6 Ablauf der Identifizierung .....	337
21.7 Protokolle .....	338
21.8 Protokoll: Basic Auth .....	340
21.9 Protokoll: Kerberos .....	341
21.10 Protokoll: SAML .....	342
21.11 Protokoll: OAuth .....	346
21.12 Protokoll: OpenID .....	347
<b>22 Authentifizierung als Service</b> .....	<b>349</b>
22.1 Authentifizierung als Service beziehen .....	349
22.2 Service: Azure Active Directory .....	352
22.3 Service: SafeNet Authentication .....	353
22.4 Service: Mobile ID .....	354
<b>23 Autorisierung</b> .....	<b>357</b>
23.1 Einleitung .....	357
23.2 RBAC.....	358
23.3 ABAC.....	362
23.4 RBAC oder ABAC?.....	364
23.5 RABAC und Microservices .....	365
<b>Literatur</b> .....	<b>367</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>377</b>

# 1

## Einleitung

### ■ 1.1 Buchmodell

*If you want to build a ship, don't drum up people together to collect wood and don't assign them tasks and work, but rather teach them to long for the endless immensity of the sea. – Antoine de Saint Exupéry*

#### Die Sprache als Werkzeug

Softwaresysteme sind komplex und schwierig zu begreifen. Die Fehler unsichtbarer Laufzeitumgebungen geben uns bei der Analyse Rätsel auf. Wenn wir verstehen möchten, was ein System tut, müssen wir sein Umfeld und die Arbeit verstehen, die mit dem System verrichtet wird. Dieses Verständnis ist schwer aufzubauen, wenn uns die gemeinsame Sprache der Konzepte des Systems fehlt. Haben wir jedoch ein gemeinsames, fachliches Verständnis der Domäne und sind Technik und Geschäft kohärent, so können wir unsere natürlichen linguistischen Fähigkeiten für die Analyse und Synthese eines Systems nutzen.

Aus diesem Grund habe ich für dieses Buch ein eigenes Modell entwickelt, eine Art von Allgemeinsprache (5.3), in der jeder verwendete Fachbegriff genau beschrieben ist. Was im Entwurf eines Systems funktioniert, das sollte für ein Buch lange reichen.

Jeweils zu Beginn eines Abschnitts habe ich die im Text folgenden Beschreibungen und Definitionen der besseren Übersichtlichkeit halber als *TL;DR* aufgeführt. Der ganz eilige Leser kann nur diese Textboxen lesen, um die Inhalte dieses Buches zu erfassen.

#### Für wen ist dieses Buch geschrieben?

Dieses Buch enthält das Wissen um die Architektur von Web- bzw. Geschäftssystemen, also Systemen, die über das Internet funktionieren und für die Arbeit mit Menschen entworfen werden. Das Buch richtet sich an Softwarearchitekten oder jene, die Softwarearchitekt werden möchten. Ebenfalls interessant ist das Buch für Personen, die im Anforderungsmanagement arbeiten. Durch die durchgängige Illustration mit Qualitätsszenarien soll das Buch helfen, Anforderungen besser zu spezifizieren.

Nicht geeignet ist das Buch zum Erlernen spezifischer Technologien oder Programmiersprachen. Zwar sind immer mal wieder konkrete Beispiele für Technologien angegeben, aber dieses Buch konzentriert sich auf Entwurfsmuster und Methoden.

## Aufbau des Buches

Im ersten Teil dieses Buches werden verschiedene Architekturstile und Entwurfsmuster für Geschäftssysteme beschrieben: Was bedeutet Architektur und wie wird sie angewendet? Die vorgestellten Möglichkeiten werden in den Teilen danach über die Qualitätsmerkmale beschrieben, die für ein Geschäftssystem heute relevant sind. Jedes Qualitätsmerkmal ist dabei in Submerkmale untergliedert, welche wiederum durch verschiedene Techniken und Methoden im Detail erläutert werden.

Somit eignet sich der Aufbau des Buches auch als Checkliste für Systembewertungen oder als Grundlage für die Planung des Entwurfs. Ich selber nutze in meiner Praxis genau diesen Aufbau, um effizient Expertisen zu schreiben und Beratungsleistungen zu erbringen.

## Geschäftssysteme

In diesem Buch geht es um den Entwurf, die Bewertung, Implementierung und Wartung von Geschäftssystemen (1.3), also Systemen, die die Arbeit mit Menschen in Organisationen über das Internet unterstützen. Geschäftssysteme reagieren auf Geschäftsereignisse mit Geschäftsfällen, deren Geschäftstätigkeiten durch Geschäftsregeln bestimmt werden. Das Geschäft steht in diesem Buch für die Arbeit einer Organisation und kann jeden erdenklichen fachlichen Hintergrund haben. Allgegenwärtig ist dabei die *unverzichtbare Komplexität*, die ein Geschäftssystem abbilden muss und die nicht reduziert werden kann. Eine Hauptaufgabe des Architekten ist neben der Möglichkeit, diese Komplexität zu bewältigen, vor allem die Kontrolle und Eliminierung unnötiger Komplexität. Hierfür bietet dieses Buch eine Dokumentation verschiedener Architekturstile, Entwurfsstandards, Qualitätsmodelle sowie Qualitätsmerkmale, die für Geschäftssysteme relevant sind.

## Architekturstile

In diesem Buch werden drei Architekturstile vorgestellt, die aufeinander aufbauen und komplementär zueinander stehen. Zum besseren Verständnis gehe ich auf die Geschichte und Hintergründe der Stile ein. Zudem gibt es hier und dort Vergleiche mit dem Architekturstil des Monolithen.



Sammlungen von Entwurfsprinzipien heißen *Architekturstile*. In diesem Buch sind drei verschiedene Stile beschrieben, die zueinander passen und gemischt werden dürfen.

- Serviceorientierte Architektur (1.3)
- Microservice-Architektur (1.4)
- Domänengetriebener Entwurf (1.5)



## Entwurfsstandards

Für Microservices, sonstige Services, Monolithen, Service-Bus-Systeme und Öffentliche APIs haben sich in den letzten Jahren Entwurfsmuster gebildet, die ich in diesem Buch festhalten möchte.



Der Entwurfsstandard ist eine Vorschrift der Governance für den Systementwurf. In diesem Buch sind drei Standards zur Vorgabe enthalten.

- Entwurfsstandard des Service (2.3)
- Entwurfsstandard des Open Host (2.4)
- Entwurfsstandard des Service Bus (2.5)

## Qualitätsmodelle für Geschäftssysteme

Ich habe es oft erlebt, dass die für den Entwurf eines Systems notwendigen Grundlagen in Form von Qualitätsanforderungen nicht vorhanden waren. Zwar gibt es immer den einen oder anderen Satz, dass das System superschnell und sehr sicher sein soll, aber diese Beschreibungen sind meistens unzulänglich. Ich denke, dass der Grund hierfür in mangelndem Wissen um die möglichen Qualitäten und ihre Beschreibung ist. Es ist mir also ein Anliegen, die für ein Geschäftssystem notwendigen Qualitäten zu beschreiben, damit diese als Bewertungsgrundlage dienen kann: Welche Eigenschaften muss ein Service haben, damit er im Kontext erfolgreich sein kann?

Ein Qualitätsmodell beschreibt, bewertet und sagt Qualität voraus. Das Modell bildet damit die Basis des Entwurfs, der bewertet werden soll. In diesem Buch sind drei Qualitätsmodelle für Geschäftssysteme enthalten.

- Cloud-Native Systeme (3.1)
- Reaktive Systeme (3.1)
- Geschäftssysteme (3.1)

Es gibt heute viele verschiedene Methoden und Techniken in der Softwareentwicklung wie Eskalationsmanagement, Open Auth Connect, Mehrfaktorauthentifizierung oder Sandboxing. Aber es ist nicht in jedem Fall klar, welche Qualitäten des Produkts diese Methoden beeinflussen, und dies erschwert die Investitionsplanung. Wird ein wartbarer Service benötigt, aber nicht in Methoden investiert, die Wartbarkeit schaffen, so ist das ein Problem. Ein System kann funktional fehlerfrei sein und doch maßlos enttäuschen, weil stillschweigende Erwartungen nicht erfüllt wurden. Dem Architekten kommt die schwierige Rolle zu, diese Erwartungen im Rahmen des vorhandenen Budgets über die Qualitätsmerkmale zu verhandeln.

## Qualitätsmerkmale von Geschäftssystemen



Qualitätsmerkmale sind Eigenschaften eines Systems. In diesem Buch sind 19 Qualitätsmerkmale beschrieben. Zu jedem Qualitätsmerkmal gibt es eine Herleitung, Qualitätsszenarien, Entwurfsmuster und Methoden für den praktischen Einsatz.

- Wartbarkeit (II)
  - Konzeptionelle Integrität (5)
  - Konsistenz (6)
  - Testbarkeit (7)
  - Analysierbarkeit (8)
  - Änderbarkeit (9)
- Performance (III)
  - Latenz (11)
  - Service-Performance (12)
  - Kapazität (13)
  - Skalierbarkeit (14)
- Zuverlässigkeit (IV)
  - Verfügbarkeit (16)
  - Herstellbarkeit (17)
  - Prüfbarkeit (18)
  - Resilienz (19)
- Informationssicherheit (V)
  - Identifizierung (21)
  - Autorisierung (23)

## Danksagung

Ohne die Hilfe meiner hochgeschätzten Kollegen wäre dieses Buch niemals entstanden. Besonderen Dank möchte ich jenen aussprechen, die mit mir gemeinsam die Diskussion gesucht haben. Viele der Inhalte und Aussagen dieses Buches sind aus dem gemeinsamen Schreiben von Artikeln für Fachmagazine entstanden. Mein ausdrücklicher und großer Dank gilt Christoph Huber, Olaf Otto, Nicolas Bär, Christian Wittwer, Thomas Jaggi, Gion Manetsch, Verena Linder, Urs Siegenthaler, Carlo Bonati, Christoph Camenisch, Marcel Wiedemeier, Karsten Petersen, Stefan Zörner und Thomas Walser. Besonderen Dank gebührt Daniel Rey, ohne dessen exakte und fundierte Kritik mir die abschließende Korrektur des Werks sehr viel schwerer gefallen wäre.

Ich möchte mich außerdem bei all denjenigen Architekten und Autoren bedanken, die das Wissen um die Serviceentwicklung im Web vorantreiben und aktiv teilen. Dazu gehören insbesondere auch Organisationen, die ihr Wissen durch das Führen von Engineering Blogs und die Veröffentlichung von Open Source teilen.

## ■ 1.2 Architektur und Entwurf



TL;DR

- Architektur ist der Schlüssel zum Verständnis eines Systems [CKK02].
- *Softwarearchitektur* ist die systematische Beschreibung der Services (2.3) und Qualität (3) eines Systems in der Allgemeinsprache (5.3).
- Der *Entwurf* ist die schöpferische Leistung, die zur Softwarearchitektur führt.
- Die Eingaben des Entwurfs sind Rahmenbedingungen, Annahmen, Anforderungen (5.7) und Qualitätsmerkmale (3).
- Die Ausgaben des Entwurfs sind die Architektur, eine Planung, Risiken und Kosten.
- Ein *Entwurfssprinzip* ist eine verallgemeinerte, akzeptierte Industriepraxis.
- Eine Sammlung von Entwurfssprinzipien heißt *Architekturstil*. In diesem Buch sind drei Architekturstile beschrieben: Die serviceorientierte Architektur (1.3), die Microservice-Architektur (1.4) und der domänengetriebene Entwurf (1.5).
- Eine konkrete Entwurfsvorlage, die ein verbreitetes und wiederkehrendes Problem löst, heißt *Entwurfsmuster*. In diesem Buch werden verschiedenste Entwurfsmuster zur Unterstützung von Qualitätsmerkmalen angegeben.
- Vorgaben für den Entwurf eines Systems heißen *Entwurfsstandards*. Entwurfsstandards spiegeln die Rahmenbedingungen einer Organisation. In diesem Buch sind drei Entwurfsstandards beschrieben: Service (2.3), Open Host (2.4) und Service Bus (2.5).

### Was ist Softwarearchitektur?

In fast jedem Buch über Softwarearchitektur steht zu Beginn die Frage, was Softwarearchitektur eigentlich ist. Die Frage ist in der Literatur so offen wie ungeklärt. Tatsächlich bietet das Software Engineering Institute der Carnegie Mellon Universität sogar eine Sammlung vieler verschiedener Definitionen von Softwarearchitektur an [sei]. Es folgen verschiedene Definitionen und Erläuterungen über Softwarearchitektur:

- *Software architecture is the set of design decisions which, if made incorrectly, may cause your project to be cancelled.* - Eoin Woods [sei]

In dieser Definition tritt weder das Wort Komponente, Microservice oder Schnittstelle auf, beschreibt einen wesentlichen Teil von Architektur aber sehr gut: In der Architektur geht es um *Entscheidungen*, die hohe Kosten verursachen können und sich später schwer rückgängig machen lassen.

- *The set of structures needed to reason about the system, which comprises software elements, relations among them, and properties of both.* - Paul Clements [CBB<sup>+</sup>10]

In dieser Definition geht es um Strukturen von Software und deren Eigenschaften. Zweifellos ist es wichtig zu wissen, aus welchen Bausteinen ein System besteht und welche Eigenschaften, auch Qualitätsmerkmale (3.1) genannt, diese Bausteine haben sollen. Es

ist vor allem die Dokumentation des Systems, die in dieser Definition eine tragende Rolle spielt, auch wenn sie nur implizit genannt ist.

- *Architecture is first and foremost key to achieving system understanding. As a vehicle for communication among stakeholders, it enables high-bandwidth, informed communication among developers, managers, customers, users, and others who otherwise would not have a shared language.* Paul Clements [CKK02]

Dies ist meine Lieblingsdefinition von Softwarearchitektur, weil sie die Bedeutung der gemeinsamen Sprache in der täglichen Kommunikation mit den Stakeholdern so schön hervorhebt. Für mich ist die Sprache ein subtiles, aber wertvolles Werkzeug der Entwicklung, dem ich in diesem Buch viel Platz gelassen habe. So bezieht sich dann auch die letzte Definition von Softwarearchitektur, die zu meinem Buchmodell passt, auf die Allgemeinsprache (5.3):

- *Softwarearchitektur ist die systematische Beschreibung der Services und Qualität eines Systems in der Allgemeinsprache.* Daniel Takai

Dies ist die Definition von Architektur, die also für den Rest dieses Buches gelten soll.

Das gesamte Gebiet der Informatik unterliegt einer zunehmenden Spezialisierung von Wissen und Rollen, und so auch die Architektur. Die Unterschiede zwischen Softwarearchitektur, Unternehmensarchitektur, Geschäftsarchitektur oder Technologiearchitektur sind in diesem Buch jedoch nicht beschrieben, weil der Prozess der Standardisierung noch im Gange ist und es schlicht zu früh wäre, trennscharf zu unterscheiden.

## Architekturstile mischen

Beginnt man mit der Analyse oder Synthese eines Systems, so können bekannte Entwurfsformen eine Hilfe sein. Eine verallgemeinerte, akzeptierte Industriepraxis ist ein *Entwurfsprinzip*, vergleichbar mit einer Best Practice. Im Rahmen der Softwarearchitektur führt die konsistente Anwendung von Entwurfsprinzipien zur Erreichung bestimmter Qualitätsmerkmale. Beispielsweise führt die Anwendung des Prinzips der Zustandslosigkeit einer Schnittstelle zu einem skalierbaren Service (14).

Eine Sammlung von Entwurfsprinzipien heißt *Architekturstil*. Da die Anwendung der Prinzipien gewisse Qualitätsmerkmale fördert, führen diese zu einer homogeneren IT-Landschaft, weil sich die Services ähnlich verhalten. In der Praxis findet man häufig Mischformen der Architekturstile: eine serviceorientierte Architektur, die aus Monolithen besteht, oder eine Microservice-Architektur, die domänengetrieben entworfen wurde. Architekturstile dürfen also gemischt werden.



Sammlungen von Entwurfsprinzipien heißen *Architekturstile*. In diesem Buch sind drei verschiedene Stile beschrieben, die zueinander passen und gemischt werden dürfen:

- Serviceorientierte Architektur (1.3)
- Microservice-Architektur (1.4)
- Domänengetriebener Entwurf (1.5)

## Entwurfsstandard

Ein *Entwurfsmuster* ist eine konkrete Entwurfsvorlage, die ein verbreitetes Problem löst, beispielsweise der Entwurf eines Test Harness (7.5) für automatische Tests.

Ein *Entwurfsstandard* ist eine verbindliche Vorgabe für den Entwurf eines Systems, die die konkrete Umwelt einer Organisation als Standard spiegeln. Solch ein Standard ist ein Architekturstil in Kombination mit einer Sammlung von Entwurfsmustern, die auf die Organisation zugeschnitten sind. So kann beispielsweise im Rahmen einer IT-Strategie eine bestimmte Datenbanktechnologie vorgegeben werden. Die Kontrolle der Umsetzung von Entwurfsstandards heißt *Compliance*, die unter anderem über das Test Management (7.3) sichergestellt werden kann.



Der Entwurfsstandard ist eine Vorschrift der Governance für den Systementwurf. In diesem Buch sind drei Standards zur Vorgabe enthalten.

- Entwurfsstandard des Service (2.3)
- Entwurfsstandard des Open Host (2.4)
- Entwurfsstandard des Service Bus (2.5)

## Architektur und Programmierung

Die Softwareentwicklung beschäftigt sich mit der *Programmierung* eines Service und einem konkreten Bezug zur Implementierung. Die Softwarearchitektur hingegen definiert die Kommunikationswege zwischen den Services und beschäftigt sich mit ihren Schnittstellen. Aus verschiedenen Services komponiert die Architektur ein System. Das bedeutet aber nicht, dass Architektur und Programmierung nicht von derselben Person ausgeführt werden können, es sind nur andere Aufgaben.

Die Programmierung ist die Aufgabe des Entwicklers. Durch *Software Craftsmanship*, *Clean Code* und den Dialog mit dem Team stellt er eine bestmögliche Performance des Service sicher. Da er für den Service die Verantwortung übernimmt, sollte er auch bestimmen, mit welchen Technologien gearbeitet wird. Der Entwickler sollte anhand der eigenen Kompetenzen und Erfahrungen die Entscheidungen in Bezug auf die Programmierung fällen dürfen. Für mich gehört dazu auch die Wahl der Programmiersprache und der verwendeten Frameworks (6.3). Es ist aber auch verständlich, dass in vielen Organisationen aus Compliance-Gründen Vorgaben für einsetzbare Technologien gemacht werden. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn damit zu rechnen ist, dass viele verschiedene Entwickler im Laufe der Zeit an dem Service arbeiten werden. In diesem Fall wählt man eine *Plattform*, die populär ist und für die es auch in zehn Jahren noch genügend Personal geben wird.

Interessanterweise wird die Qualität eines Systems nicht nur durch die Qualität eines Service bestimmt, sondern mehrheitlich durch die Architektur, also die Komposition der Dienste [KKB<sup>+</sup>98]. Somit teilen sich also die Architektur und die Arbeit des Entwicklers die Aufgabe der Qualitätserreichung und sollten deswegen Hand in Hand arbeiten.

## Der Entwurfsprozess

Um zur Architektur zu kommen, durchläuft der Architekt einen *Entwurfsprozess*, bei dem viele *Entscheidungen* getroffen werden. Viele Entscheidungen haben eine lange Lebensdauer und lassen sich so gut wie nicht mehr revidieren. Denken Sie nur an die Wahl eines Frameworks oder die Auswahl eines Cloud Providers: Können solche Entscheidungen noch rückgängig gemacht werden, wenn die Anwendungen auf dieser Basis ein paar Wochen später produktiv laufen? Die wesentlichen Entscheidungen zu identifizieren und teilweise auch zu treffen, ist die Arbeit des Architekten. Im *Entwurfsprozess*, der in Bild 1.1 visualisiert ist, sammelt der Architekt die folgenden Informationen:

- Informationen, die noch nicht vorliegen, müssen durch *Annahmen* ersetzt werden. Die Annahmen sollte der Architekt dokumentieren, auch damit man sie verfolgen kann. Bei Werksverträgen können solche Annahmen wertvoll sein, um nachzuweisen, dass es eine andere Ausgangslage gab als *angenommen*. Durch die Dokumentation der Annahmen, beispielsweise in einem Angebot, werden diese zum Vertragsbestandteil.
- Rahmenbedingungen (5.7) sind Anforderungen, die nicht verändert werden können. Beispiele für Rahmenbedingungen sind das verfügbare Budget, die Ausbildung der Projektmitarbeiter oder regulatorische Vorgaben, denen das Geschäft unterliegt. Rahmenbedingungen sind nicht veränderbar, aber sie müssen nicht notwendigerweise statisch sein. So kann es sein, dass sich die Gesetzgebung im Laufe des Projekts verändert. Die Dokumentation der Rahmenbedingungen kann wichtig sein, um Entscheidungen später nachvollziehen zu können.
- Die geplante Qualität (3) eines Systems zu verhandeln und im Entwurf zu berücksichtigen, ist eine Kernkompetenz des Architekten. Hierfür werden Qualitätsszenarien (3.2) für die relevanten *Qualitätsmerkmale* erhoben, die diese Qualität möglichst vollständig beschreiben.
- Neben den Qualitätsmerkmalen und Rahmenbedingungen werden auch Informationen über die funktionalen Anforderungen (5.7) benötigt. Vom *Requirements Engineer* bekommen Sie eine Zusammenfassung der Geschäftsziele, Epics und Features des Systems,

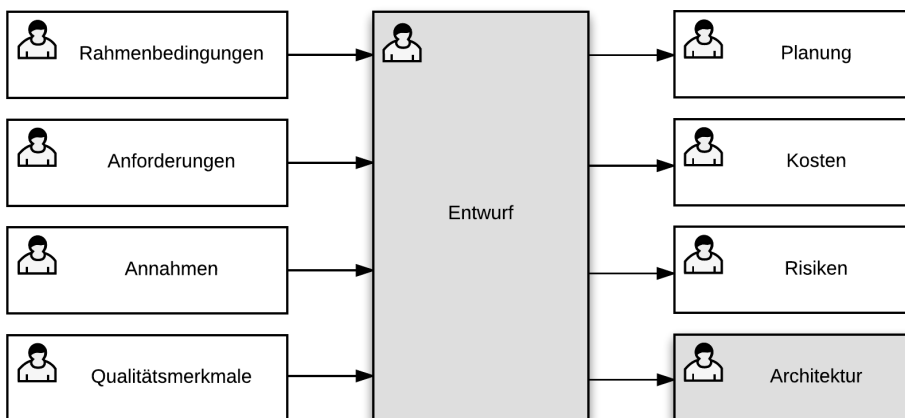


Bild 1.1 Entwurf der Architektur

die die funktionalen Anforderungen auf einer hohen Abstraktionsebene bündeln. So haben Sie eine Chance zu verstehen, was mit dem System erreicht werden soll, und kommen mit der Architektur weiter. Meiden Sie Detaildiskussionen zu funktionalen Anforderungen, denn diese sind für die Architektur selten relevant.

Die Analyse der Eingaben dient dem Architekten als Grundlage für den *Entwurf*. Der Architekt muss diesen Syntheseprozess nicht alleine durchlaufen, er kann den Entwurf auch gemeinsam mit dem Team oder anderen Stakeholdern durchführen. Da beim Entwurf sehr viele Dinge bedacht werden müssen, ist es sogar angeraten, Ergebnisse gemeinsam zu besprechen. Ich lasse mich immer wieder gerne von kreativen Ideen aus unerwarteten Richtungen überraschen. Gleichzeitig erhöht der Dialog über die Lösung den Buy-In der Stakeholder. Der Entwurfsprozess erzeugt vier Ausgaben:

- Die *Planung* des Systems wird anhand der definierten Services und Anwendungen sowie ihrer räumlichen Verteilung möglich. Die Planung wird durch das Engineering Management (9.1) begleitet. Ein Hilfsmittel der Kommunikation ist die Dokumentation (8.3) des geplanten Systems.
- Im Tandem mit der Planung lassen sich auch die *Kosten* für das System abschätzen. Kosten entstehen vor allem durch die Allokation von Personal, den Aufbau und Betrieb von Produktionstechnologien wie Continuous Deployment oder Versionskontrolle, die Definition von Produktionsprozessen, den Betrieb der verschiedenen benötigten Umgebungen (7.4) sowie möglicherweise Lizenzen, wenn Standardprodukte eingekauft werden. Hinzu kommen laufende Mittel für IaaS- oder PaaS-Produkte sowie die verdeckten Kosten, die entstehen, wenn der Architekt eine falsche Entscheidung trifft. Diese Kosten sind allerdings nicht finanzieller Natur, sondern nagen eher am Renommee: Architekten werden daran gemessen, wie gut ihre Entscheidungen sind.
- Der Architekt weist *Risiken* aus, die im Zusammenhang mit der Entwicklung und dem Betrieb des Systems stehen. Risiken entstehen immer dann, wenn gewünschte und geplante Qualität nicht übereinstimmen, weil dies bedeutet, dass Anforderungen der Stakeholder nicht erfüllt werden können. Stellen Sie sich vor, Ihr System muss von Hunderten Fachkräften eingesetzt werden, und es wird kein Budget für Usability-Tests reserviert. Es besteht dann das begründete Risiko, dass die Anwendung von den Benutzern nicht akzeptiert wird. Ähnliches gilt für die Wartbarkeit (II), Performance (III), Zuverlässigkeit (IV) oder Sicherheit (V).

## ■ 1.3 Serviceorientierte Architektur

*Services, not packaged software.* Tim O'Reilly [wha]



TL;DR

- Ein *Service* ist eine Laufzeiteinheit, die unabhängig installiert werden kann.
- Ein *Service* kann durch seinen Quelltext (9.5), seine Anforderungen (5.7), seine Schnittstellen (2.3) sowie seine Qualitätsmerkmale (3) beschrieben werden.

- *Geschäftssysteme* sind soziotechnische Feedbacksysteme zur Unterstützung der Arbeit von Menschen und folgen einem ähnlichen Qualitätsmodell (3.1).
- Eine *Serviceorientierte Architektur (SOA)* ist ein Architekturstil, der auf die Erhöhung von Effizienz, Agilität und Produktivität einer Organisation zielt. Dies wird erreicht durch die Positionierung von Services als primäre Quelle von Geschäftslogik [Erl08].

## Das Geschäftssystem

Zu Beginn dieses Abschnitts steht die Definition des Geschäftssystems, da die meisten Geschäftssysteme Teil einer serviceorientierten Architektur sind.

Ein Geschäftssystem ist verteiltes Softwaresystem, das heute de facto über den Browser, eine mobile App oder eine Web API mit seinen Benutzern kommuniziert. Geschäftssysteme sind *soziotechnische Feedbacksysteme*, also Systeme, die von Menschen genutzt werden. Ihnen ist zu eigen, dass sie sich durch Feedback ihrer Stakeholder sowie durch Änderungen in der Umwelt stetig verändern [Leh80].

Ein Geschäftssystem ist genau dann erfolgreich, wenn es die *Bedürfnisse* seiner Stakeholder erfüllt. Man sagt auch, dass die Stakeholder den *Anforderungsraum* aufspannen. Die möglichen Einflüsse auf ein Geschäftssystem durch seine Stakeholder und die Umwelt werden im Detail im Abschnitt über die Wartbarkeit (Teil II) besprochen.

## Serviceorientierte Architektur

In einer serviceorientierten Architektur (SOA) stellt ein Service die primäre Quelle von Geschäftslogik dar. Diese Architektur besteht aus Services (2.3), die nach den Regeln eines Vertrags (2.4) miteinander kommunizieren. In welcher Technologie ein Service gefertigt ist, spielt für die Kollaboration keine Rolle. Die SOA ist ein Architekturstil (1.2).

SOA kam im Jahr 2000 auf und wurde durch das Platzen der Dotcom-Blase in 2001 beflügelt, als man feststellte, dass die Serviceorientierung Marktvorteile bietet ... wenn man sie richtig einsetzt.

Die serviceorientierte Architektur erwuchs aus zwei Strömungen: Die objektorientierte Analyse und Design hatte die Architekten geschult, auf Erweiterbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Flexibilität, Robustheit und die Erfüllung von Geschäftszielen zu achten.

Die andere Strömung waren Webservices. Die Interoperabilität und Unabhängigkeit von einer konkreten Technologie bei der Servicekommunikation war ein fehlender Faktor bei der Verbindung von bisher getrennten Systemen. Plötzlich war es möglich, dass Systeme miteinander kommunizieren konnten, obwohl sie nicht in derselben Programmiersprache oder vom selben Hersteller stammten. Über APIs konnten die Systeme nun auch ferngesteuert werden. Webservices machten vor allem auch die Kommunikation zwischen Geschäftspartnern leichter und in vielen Fällen dadurch erst möglich. Schon bald sprach man nur noch von *Services, not packaged software* [wha].



## Entwurfsprinzipien der SOA

Da Services bzw. deren Anbindung für ein Geschäftssystem so bedeutend sind, lohnt es sich die Eigenschaften einer SOA im Detail anzuschauen. Hier kann man etwas lernen und auf eine Microservice-Architektur übertragen. Nach Thomas Erl gibt es acht Entwurfsprinzipien, die für eine SOA gelten sollten [Erl08]:

- *Servicevertrag*: Verträge formen die Basis der Kommunikation zwischen Services und bilden damit das Fundament der Architektur. Ein Servicevertrag besteht aus einer Sammlung von Dokumenten, die den Service und seine Nutzung beschreiben. Welche Dokumente das sind, hängt vom Service ab. Bei einem Microservice kann dies beispielsweise eine Swagger-Definition[swa] sowie eine Kontextkarte mit Domänenmodell sein. Der in diesem Buch beschriebene Entwurfsstandard sieht einen technischen Vertrag (2.3) in Kombination mit Nutzungsbedingungen (2.4) vor.
- *Loose-Kopplung*: Je enger zwei Services aneinander gekoppelt sind, desto abhängiger sind sie voneinander. In einer SOA sollten Services möglichst loose gekoppelt sein, damit sie austauschbarer und unabhängiger werden. Allerdings ist ein gewisser Grad an Kopplung unvermeidbar. Ein Team sollte die Abhängigkeiten seines Service von anderen Services kennen. In einem späteren Kapitel werden die verschiedenen Beziehungsformen (1.6) zwischen Entwicklungsteams besprochen.
- *Serviceabstraktion*: Dieses Entwurfsprinzip sucht die Funktion eines Services zu kapseln, sodass nur die für die Schnittstelle wesentlichen Konzepte nach außen sichtbar sind. Beim domänengetriebenen Entwurf wird über die Kontextgrenze das Äußere vom Inneren eines Service getrennt.
- *Servicewiederverwendbarkeit*: Aus der objektorientierten Entwicklung stammt das Prinzip der Wiederverwendbarkeit, das sich auch auf eine SOA übertragen lässt. Die Idee ist einfach: Ein und derselbe Service kann von verschiedenen Akteuren genutzt werden. Mittel zum Zweck ist ein Servicekatalog (2.2), in dem die in einer Organisation verfügbaren Services verzeichnet sind. Services sollten kooperativ sein, damit sie gut von Dritten genutzt werden können.

Adam Jacob fügt dem hinzu, dass ein Service hierfür so entwickelt werden sollte, dass er keine Annahmen über seine Umwelt oder seine Nutzung machen sollte [JA10]. Damit meint Jacob, dass ein Service beispielsweise keine Dateien nach c:

*temp* schreiben sollte. Natürlich darf ein Service zum Beispiel Annahmen über seine Persistenzschicht treffen.

- *Serviceautonomie*: Die Autonomie meint die Vorgaben und Kontrolle in der Entwicklung eines Services sowie die Kontrolle des Service über seine Laufzeitumgebung. Je mehr Autonomie ein Service in der Entwicklung genießt, desto höher kann die Kontrolle über die Laufzeitumgebung sein, so die Theorie.
- *Servicezustandslosigkeit*: Ist ein Service zustandslos, so muss ein Akteur nichts über seine Geschichte wissen, um eine Anfrage platzieren zu können. Das bedeutet, dass ein Service gut skalierbar ist, denn wir können mehrere Instanzen des Service unabhängig voneinander anfragen. Aus diesem Grund sind die Zustandslosigkeit und die Idempotenz wichtige Prinzipien im Serviceentwurf.
- *Service Discoverability*: Dieses Prinzip besagt, dass Services (automatisch) entdeckt werden sollten. So sollte ein Service etwa einen Storage-Dienst automatisch entdecken kön-

nen, der dann von Umgebung zu Umgebung verschieden konfiguriert wird. Zudem können bestehende Dienste manuell über einen Servicekatalog im Unternehmen kommuniziert werden. Die automatische Entdeckung von Services skaliert besser als eine manuelle Konfiguration.

- *Service Composability*: Ebenfalls ein altes Prinzip der Softwareentwicklung ist die Komposition von Programmen aus verschiedenen Modulen. Dieses Prinzip lässt sich auch auf eine SOA übertragen, bei der eine Anwendung aus verschiedenen Diensten besteht. Aus einzelnen Geschäftsprimitiven kann eine anspruchsvolle Geschäftsanwendung geschaffen werden. Wenn die Infrastrukturdienste wie Lastverteilung, Bootstrapping, Konfiguration, Artefakt Repository und Automation eine saubere API haben, kann ich darüber einen Continuous Deployment (9.4)-Prozess bauen.

## Emergente Eigenschaften

Irgendwann hat die Organisation den Punkt erreicht, an dem die Services als kleine, modulare Einheiten vorliegen, die wunderbar funktionieren. Nun zählt sich die Architektur aus, denn neue Anwendungen können auf Basis der bestehenden Dienste komponiert werden, ohne dass Services dafür umgeschrieben werden müssen.

An diesem Punkt kann man dann feststellen, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Diese Eigenschaft von Informationssystemen ist bekannt als *Emerging Properties* oder *emergente Eigenschaften*. Bei der Suche nach einer guten Definition für Emerging Properties bin ich auf folgendes Zitat gestoßen, das von einem Chemiker stammt, aber dennoch einen interessanten Bezug zur Dekomposition von Services aufweist:

*An emergent property is a property which a collection or complex system has, but which the individual members do not have. A failure to realize that a property is emergent [...] leads to the fallacy of division. - Issam Sinjab*

In der Physik gibt es einfache Beispiele für solche Eigenschaften: Mischt man rot und gelb, so erhält man grün! Auf eine Servicearchitektur übertragen bedeutet dies, dass sobald Geschäftsfunktionen modularisiert sind und neu „gemischt“ werden können, kann das Fach neue und innovative Möglichkeiten der Komposition zur Verbesserung des Geschäfts entdecken. Beispielsweise kann ein gut dokumentierter *Lagerdienst*, der für den Online-Shop entwickelt wurde, auch leicht in die App für die Filialmitarbeiter integriert werden, damit diese dem Kunden sofort Auskunft geben können. Dies steigert den Geschäftsnutzen und bedeutet einen Wettbewerbsvorteil.

Damit diese emergenten Eigenschaften genutzt werden können, ist die Herstellung der Kommunikation zwischen den Stakeholdern im Rahmen der Service Governance von größter Bedeutung.

## Qualitäten der SOA

Nach Thomas Erl führt die rigorose Anwendung der genannten acht Entwurfsprinzipien zu den folgenden Eigenschaften des Gesamtsystems:

- Es entsteht eine erhöhte Konsistenz, wie Funktionalität und Daten in der Organisation repräsentiert werden.
- Es gibt weniger Abhängigkeiten zwischen den Services.
- Anwendungen benötigen weniger Wissen über die Funktionsweise von Services, die sie konsumieren.
- Es gibt mehr Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Services für unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten.
- Es entstehen mehr Möglichkeiten bei der Aggregation und Komposition von Services in verschiedensten Konfigurationen.
- Die Vorhersagbarkeit von Verhalten erhöht sich.
- Die Verfügbarkeit und Skalierbarkeit der Services und Anwendungen erhöht sich.
- Die Wahrnehmung von bereits existenten Dienste steigt, was wiederum die Wiederverwendung begünstigt.

## Typisierung von Services

Hat man eine Vielzahl von verschiedenen Diensten und möchte diese kategorisieren, beispielsweise um Entwurfsstandards anzuwenden, so stellt sich die Frage, ob sich verschiedene Typen von Services definieren lassen. Wiederum war es Thomas Erl, der eine solche Typisierung nach Entity Service, Task Service oder Utility Service vorschlug:

- *Entity Service*: Ein Entity Service fokussiert sich auf Daten und bildet Teile des Domänenmodells auf die Persistenzschicht ab. Wenn das Domänenmodell stimmt, dann ist so ein Service gut wiederverwendbar, da ihn viele Geschäftsprozesse nutzen können.

Allerdings bietet solch ein Service keine Funktionalität. Reine Datendienste gelten aber als anämisch [New15]. In einer Microservice-Architektur werden auch Entitäten manipuliert, allerdings sowohl ihr Verhalten als auch ihre Daten, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden.

- *Task Service*: Ein Task Service erfüllt eine spezifische Aufgabe in einem konkreten Geschäftsprozess und ist aus diesem Grund wenig wiederverwendbar [Erl08]. Interessanterweise werden Microservices nur wenige Jahre später nicht mehr nach diesem Prinzip entworfen. Hier achtet man darauf, dass der Service seine Domäne besonders gut beherrscht. Er trifft so wenig Annahmen wie möglich über seine Verwendung und ist dadurch wiederverwendbar. Task Services sind also ein veraltetes Konzept.
- *Utility Service*: Der Utility Service ist ein Dienst, der von vielen anderen Services benötigt wird. Gute Beispiele sind Logging, Notifications oder die Autorisierung. Man nennt solche Dienste auch *vertikale Services* oder *Infrastrukturdienste*.

Die Unterteilung in Infrastrukturdienste und Geschäftsdienste, die sowohl Task Service als auch Entity Service sind, macht für mich Sinn. Was die beiden unterscheidet, ist die rein technische Aufgabe in der Infrastruktur (zum Beispiel ein HTTP Cache), im Gegensatz zur geschäftlichen Aufgabe eines Geschäftsdiensts.

## Kritik an der SOA

Die Einführung serviceorientierter Architekturen zu Beginn des Jahrtausends hat die Unternehmen viel Geld gekostet, und in vielen Fällen sind die Einführungen gescheitert. Als 2009 die IT-Budgets aufgrund der Finanzkrise weltweit zusammengestrichen wurden, waren Programme rund um SOA ganz oben auf den roten Streichlisten. Und das trotz der vielen Vorteile, die eine SOA einer Organisation bringen kann. Wie konnte es also sein, dass das Akronym SOA für viele Entscheider in der IT heute immer noch ein rotes Tuch ist? Hierfür gibt es viele verschiedene Gründe:

- In einer serviceorientierten Architektur steigt die Komplexität der Unternehmensarchitektur. Services, die früher nur von einer Abteilung verwendet wurden, werden plötzlich von allen konsumiert. Dies führt beispielsweise zu höheren Anforderungen an die Performance und die Skalierbarkeit und im täglichen Betrieb zu langsamen Diensten.

Die reibungslose Kommunikation der Dienste war noch nicht erlernt und Ausfälle und Unterbrechungen die Folge. Es war schlicht ein neues Paradigma, das erst erlernt werden wollte. Fortschrittliche Mechanismen der Resilienz wie beispielsweise der Circuit Breaker kamen erst Jahre später.

- Es wurde damals viel über technische Standards gesprochen, aber wenig über das Geschäft. Wie auch? Es waren ja zwei getrennte Abteilungen: das Business und die IT. So war es wichtiger, schwergewichtige Standards wie SOAP zu etablieren, beispielsweise um Services vermeintlich sicherer zu machen, als sich über den eigentlichen Geschäftsnutzen der Dienste zu unterhalten. Auch hier fehlten die Methoden und das Wissen zur fachlichen Dekomposition der Unternehmensdienste. Eric Evans schrieb sein Buch über domänengetriebenes Design erst 2003. Es dauerte viele Jahre, bis dieses Denken in der Praxis angenommen wurde. Bis vor kurzem waren der Monolith und seine inhärente Komplexität immer noch ein Standard in der Architektur.
- Eine SOA wurde damals in vielen Fällen zum Anlass genommen, die Datenarchitektur einer ganzen Organisation zu harmonisieren. Heute weiß man, dass dieses Unterfangen zu komplex ist, um beherrscht werden zu können. Möchte man erreichen, dass verschiedene Systeme ein- und dasselbe Datenmodell verwenden, so koppelt man diese aneinander und behindert ihre individuelle Entwicklung.
- Damals war Hardware noch ein Investitionsgut. Neue Maschinen mussten erst bewilligt und bestellt werden, bevor auf ihnen ein neuer Dienst laufen konnte. Keinesfalls konnten Maschinen ad hoc provisioniert werden, so wie wir es heute in virtualisierten Umgebungen gewöhnt sind. Viele der Vorteile einer SOA konnten also gar nicht genutzt werden.
- Die Reife in der Softwareentwicklung ist seit Anfang des Jahrtausends enorm gestiegen. Seit der allmählichen Einführung von Continuous Integration hat sich seit 2006 die Anzahl funktionaler Fehler drastisch reduziert. Funktionale Fehler in Services sind aufgrund automatischer Testfälle selten geworden. Als es noch keine automatischen Testfälle gab, waren diese Fehlerraten höher und die Systeme entsprechend unzuverlässiger. Auch dies trug zum Misserfolg der Servicekompositionen bei.

## Fazit

Die Wiederverwendbarkeit von Geschäftsdiensten gewährt Unternehmen Vorteile, weil sich die Architektur besser anpassen lässt. Das Versprechen möglicher emergenter Eigenschaften ist darüber hinaus ein verlockender Punkt. Der Zusammenschluss der Services eröffnet Organisationen in jedem Fall neue Möglichkeiten.

Jedoch fehlte es bei der serviceorientierten Architektur heute noch oft an einer geschäftlichen Vision zum Wohle des Unternehmens. Viel zu oft wird Technologie heute noch mit unklaren Geschäftszielen und keiner übergeordneten, inhaltlichen Architektur versehen. Wie ich im nächsten Kapitel zeigen werde, kann der domänengetriebene Entwurf diese Lücke zwischen Geschäft und Technik schließen.

## ■ 1.4 Microservice-Architektur

*SOA is dead; Long Live Services.* - Anne Thomas Manes

*By focusing each service in a narrow band, the services become easier to manage, develop, and test.* - Adam Jacob



TL;DR

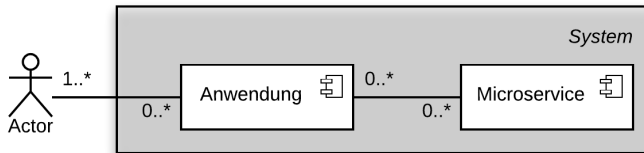
- Ein *Microservice* ist isolierter, kooperativer und autonomer Service (2.3), der nur eine Aufgabe hat.
- Eine *Microservice-Architektur* ist ein Architekturstil (1.2), bei dem Services zur Laufzeit komponiert werden.
- Eine *Anwendung* ist in diesem Buch ein Microservice mit einer Benutzerschnittstelle. Anwendungen sind *Kompositionen* von *Services*.
- Ein *Monolith* ist ein einschichtiges, untrennbares und technologisch homogenes System, das verschiedene Services in sich vereint.
- Ein Microservice ist leichter testbar, analysierbar, änderbar, schätzbar, skalierbar und prüfbar als ein Monolith.
- Ein wenig diplomatisches Synonym für Monolith ist *Big Ball of Mud* [mud].
- Die Komposition über das Netzwerk erzeugt Komplikationen, die bei einer monolithischen Architektur nicht gegeben sind.
- Eine Microservice-Architektur hat eine höhere Latenz (11) als ein Monolith.

## Was ist ein Microservice?

Ein Microservice ist ein isolierter Dienst mit eigener Laufzeitumgebung und Non-Shared Storage State (13.3). Er hat nur eine einzige Geschäftsaufgabe, aber erledigt diese besonders

gut. Zusammen mit anderen Diensten lässt sich ein Microservice zu einer Microservice-Architektur *komponieren*. In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile einer solchen Architektur besprochen und mit der serviceorientierten Architektur verglichen.

Eine *Anwendung* ist eine Komposition von Microservices mit einer Benutzerschnittstelle. Bild 1.2 zeigt die Komposition eines Systems aus Anwendungen und Microservices.



**Bild 1.2** Ein Geschäftssystem als Komposition von Anwendung und Microservices

## Single-Responsibility-Prinzip

Das *Single-Responsibility-Prinzip* ist eines der SOLID-Prinzipien der objektorientierten Entwicklung. Das Prinzip besagt, dass jede Klasse nur eine einzige Aufgabe haben sollte und sich auch nur aus diesem Grund verändern darf. Diese Aufgabe soll die Klasse kapseln und damit gleichzeitig eine hohe Kohäsion erzeugen. Dieses Prinzip lässt sich auch auf einen Service anwenden, um diesen besser zu kapseln und kohärenter zu machen. Tatsächlich ist das Single-Responsibility-Prinzip das wichtigste Prinzip eines Microservice und gibt ihm auch seinen Namen: Ein Microservice darf nur eine einzige Aufgabe haben, aber diese soll er besonders gut beherrschen. Deswegen hat der Microservice eine hohe Kohärenz und ändert sich nur, wenn sich auch seine geschäftliche Funktion verändert.

Wie diese Geschäftsfunktionalität identifiziert werden kann, ist nicht Teil des Microservice-Architekturstils, der nur die technische Dekomposition eines Systems umfasst. Wie man das Geschäft zerlegt, ist Aufgabe des domänengetriebenen Entwurfs, den ich im nächsten Kapitel bespreche.

## Komplexität bewusst machen

Die konsequente Anwendung des Single-Responsibility-Prinzips führt zu einer optimierten *Komplexität* des Microservice. Das bedeutet aber nicht, dass die Geschäftslogik trivial sein muss, denn die Geschäftswelt ist komplex.

Diese inhärente Komplexität, die auch von Brooks besprochen wird [Bro75], heißt *unverzichtbare Komplexität*. Man nennt sie unverzichtbar, weil man sie nicht reduzieren kann, ohne gleichzeitig das Geschäft zu reduzieren und sich dadurch selber Marktvorteile zu nehmen. Das Ziel der Softwareentwicklung ist nicht, dem Geschäft seine Eigenarten zu rauben, sondern dieses zu unterstützen.

In einem Monolithen müssen viele verschiedene Domänen Platz finden, was zu einer größeren Komplexität des Service führt. Der Service kann dann zu einem verworrenen Haufen Spaghetti-Code werden, der sich nur noch schwer ändern lässt. Man kann auch sagen: Die

Software ist hässlich, weil das Problem hässlich ist oder zumindest nicht gut verstanden wurde [mud].

Häufig werden monolithische Entwicklungsprojekte auch ohne Veränderung an der Organisationsstruktur vorgenommen, sodass in ein und derselben Software unterschiedliche Interpretationen des Geschäfts durch verschiedene Abteilungen Platz finden müssen. Nach Melvin Conway ist das eine schlechte Idee, denn die Organisation sollte das System reflektieren und umgekehrt [Con68]. Im domänengetriebenen Entwurf, der im kommenden Kapitel besprochen wird, werden die Domänen häufig nach Abteilungsgrenzen geschnitten.

Das Streben nach optimaler Komplexität ist eine wesentliche Aufgabe des Architekten und *Keep it simple* eine zentrale Designphilosophie. Tatsächlich sollte ein Architekt stets danach streben, unnötige und vor allem unkontrollierte Komplexität zu vermeiden. Die Ethikrichtlinien der Schweizer Informatik Gesellschaft weisen dies explizit aus [sig].

Sie können die Komplexität dadurch reduzieren, dass Sie entscheiden, welche Teile der unverzichtbaren Komplexität abgebildet werden sollen.

Mit optimaler Komplexität steigt die Änderbarkeit und Flexibilität, weil es leichter ist, einen solchen Service zu formen. Wenn wir den Service sogar zur Laufzeit verstehen können, dann können wir ihn auch gut diagnostizieren und kommen Fehlern schneller auf die Spur.

## Isolation

Die zweite Charakteristik eines Microservice ist die Isolation, wodurch sich der Dienst ohne Einfluss auf andere Dienste ändern lässt. Dies beginnt bei der Entwicklung, denn ein Microservice kann in einem eigenen Repository versioniert werden, verfügt über eigene Build-Pläne und kann unabhängig von anderen Services installiert werden. Mehr Informationen dazu finden Sie im Kapitel über die Änderbarkeit (9). Die Verwaltung der Quelltexte in einem eigenen Repository ist meiner Meinung nach wichtig, und zwar aus Gründen des Lifecycle Managements. Viele Teams speichern jedoch alle Quelltexte in einem einzigen Repository, und das Thema ist umstritten [sin].

Eine Microservice-Architektur wird zuverlässig (Teil IV) ausgelegt, sodass Störungen lokal begrenzt bleiben und keine anderen Dienste stören. Dies ist in einer monolithischen Architektur nicht machbar, denn die klassische Endlosschleife führt hier zum Versagen aller Dienste. Auf der anderen Seite kann ein Microservice-System durch Schneeballeffekte beim Versagen einzelner Instanzen abstürzen.

Des Weiteren ist ein Microservice auch beim Storage auf sich alleine gestellt. Jeder Service hat sein eigenes Schema bzw. unter Umständen sogar sein eigenes Storage-System, auf das kein anderer Service Zugriff hat. Integrationen auf der Datenbankebene (ein verbreitetes Anti-Pattern, auch *Distributed Monolith* genannt) können so effektiv verhindert werden. Zudem ist die Größe der Daten für den Service optimiert und ihre Pflege deswegen besonders einfach.

Ein Downstream-Service kann den Zustand eines Microservice nur über seine API abfragen. Durch diese Kapselung kann die Entwicklung durch Refactorings im Rahmen der Kontextgrenze besser gepflegt werden.

## Unterschiede zur SOA

Eine serviceorientierte und eine Microservice-Architektur unterscheiden sich in einigen wenigen, aber bedeutsamen Punkten. In beiden Fällen dienen die Services als primäre Quelle der Geschäftslogik.

Der kleine große Unterschied zwischen den beiden ist, dass ein Microservice nur eine einzige Aufgabe wahrnimmt, in einer SOA darf ein Dienst jedoch beliebig viele Aufgaben haben. De facto verbindet man mit einer Microservice-Architektur außerdem die Verwendung von REST (2.3) zur Kommunikation zwischen den Diensten.

In einer SOA ist SOAP prädominant, aber es gibt daneben in der Regel noch viele andere Protokolle, sodass man es mit einem babylonischen Wirrwarr von Dialekten zu tun hat. Ein Mittel zur Integration dieser unterschiedlichen Sprachen für ältere Systeme ist der Einsatz eines Service Bus (2.5).

SOAP steht auch in der Kritik, weil es ein schwergewichtiges Protokoll ist, das von Menschen schlecht lesbar ist. Eine WSDL ist ein komplexes Artefakt mit erstaunlich wenig Aussagekraft. Entsprechend sind auch die SOAP-Implementierungen nicht einfach zu handhaben.

## Komposition der Microservice-Architektur

In der klassischen, monolithischen Entwicklung unterscheidet man zwischen *Modul* und *Komponente*. Noch im Jahr 2012 definierte Len Bass den Unterschied folgendermaßen [BKC13]:

- Ein *Modul* ist eine gekapselte Implementierungseinheit. Wenn wir über ein Modul sprechen, so haben wir immer einen konkreten Bezug zur Implementierung.
- Eines oder mehrere Module können bei einer *Komponente* zusammengestellt werden. Eine Komponente ist eine Laufzeiteinheit, die unabhängig deployed werden kann. Eine Komponente besteht aus verschiedenen Modulen, wobei die Abbildung surjektiv, aber nicht injektiv ist.

Interessanterweise ist ein Microservice sowohl Modul als auch Komponente, denn ein Microservice wird isoliert entwickelt und ist gleichzeitig eine Laufzeiteinheit, die unabhängig deployed werden kann. Der wesentliche Unterschied zur klassischen Definition ist, dass Microservices zur *Laufzeit* komponiert werden können. D.h. ich muss meine Software nicht neu bauen, wenn sich an einer Funktion etwas ändert, sondern kann zur Laufzeit beispielsweise einen neuen Service hinzufügen. Dies eröffnet dem Team im Umgang mit einem System fundamental neue Möglichkeiten. Die gewonnene Flexibilität sorgt vor allem für mehr Geschwindigkeit in der Entwicklung.

Die Isolation auf den Ebenen Entwicklung, Fehlerpropagierung und Datenbank ist im Zusammenspiel mit der Komponierbarkeit zur Laufzeit förderlich für Continuous Deployment (9.4).



## Vorteile einer Microservice-Architektur

Zusammenfassend kann man die folgenden Vorteile einer Microservice-Architektur anrechnen:

- *Programmierung*: Die Microservice-Architektur begünstigt Software Craftsmanship, denn ein Microservice zeichnet die Grenzen des Geschäfts nach, das er abbilden soll [New15].
- *Technische Heterogenität und Flexibilität*: Wenn unser System aus diskreten Diensten besteht, dann dürfen diese aus verschiedenen Technologien bestehen, ohne dass sich die Qualität des Systems ändert. Generell rate ich aus Gründen der Konsistenz (6) von zu viel Verschiedenheit ab und empfehle, immer dieselben Technologien einzusetzen. Aber in einer Microservice-Architektur ist die Möglichkeit der Inkonsistenz ein Vorteil, wenn bereits bestehende Systeme oder externe Systeme, die nicht kontrolliert werden können, integriert werden sollen. Dann ist die Architektur flexibel genug, diesen Rahmenbedingungen genüge zu tun.
- *Innovation*: Eine Microservice-Architektur vereinfacht die Einführung neuer Technologien, denn neue Services können in anderen Programmiersprachen geschrieben werden oder andere Frameworks (6.3) verwenden, ohne dass dies die Qualität der Architektur beeinflusst. Wenn eine neue Technologie vielversprechend, aber riskant erscheint, kann bei einer Microservice-Architektur ein wenig kritischer Dienst zur Probe gewählt werden.
- *Zuverlässigkeit*: In einer Microservice-Architektur sind viele verschiedene Dienste an einem Anwendungsfall beschäftigt. Der Ausfall eines Service kann durch einen guten Entwurf kompensiert werden, beispielsweise durch einen Wechsel von synchronem zu asynchronem Messaging. Dies steigert die Widerstandsfähigkeit gegen Fehler und erhöht die Zuverlässigkeit (IV) [New15].
- *Skalierbarkeit*: In einem Monolithen müssen alle Services zusammen skaliert werden, aber bei einer Microservice-Architektur können nur die Services skaliert werden, bei denen das auch nötig ist [New15]. Dies erhöht die Ressourceneffizienz und dient auch der Kostenoptimierung.
- *Leichte Deployments*: Eines der größten Probleme monolithischer Architekturen sind die Deployments, da das System immer als Ganzes veröffentlicht werden muss. Hierfür haben sich in der Vergangenheit elaborate Prozesse in der Versionskontrolle (9.5) etabliert, die sicherstellen sollen, dass nur funktionierende Commits ihren Weg in den Release Branch finden. Bei Microservices stellt sich dieses Problem nicht mehr, da jeder Service unabhängig von anderen Diensten deployed werden kann. Das schafft viel organisatorische Flexibilität und ist ein echter Vorteil, weil neuer Geschäftswert schneller in Produktion gebracht werden kann.
- *Gesetz von Conway*: Bei einer Microservice-Architektur kann das Team leichter an die Architektur des Systems und der Organisation angepasst werden, da die Wartung einer spezifischen Codebase weniger Personal benötigt. Dies schafft vor allem Flexibilität und eine verbesserte Abstimmung durch optimierte Kommunikationswege, wenn man es richtig macht. Mehr zu Conway's Law finden Sie in Abschnitt 5.11.

- Der Service ist einfach zu benutzen, da seine API so primitiv ist, dass sie jeder versteht. Tatsächlich lädt dieses Vorgehen andere ein, die API zu benutzen, anstatt ähnliche Funktionalität zu entwickeln, was auch die Wiederverwendung fördert [JA10].
- Der Service ist einfach zu entwickeln, da nur wenige Anforderungen erfüllt werden müssen. Dies zieht kurze Turnaround-Zeiten nach sich, d.h. der Geschäftswert kann früher erzeugt werden. [JA10]
- Der Service ist einfach zu testen, und somit lassen sich automatische Tests günstig entwickeln. Eine gute Testabdeckung führt wiederum zu höherer Qualität und steigert das Vertrauen der Benutzer, was auch die Wiederverwendung steigert. [JA10]
- Der Service ist einfach zu betreiben, und in Kombination mit einer funktionierenden Virtualisierung (oder Containerisierung) erlaubt dies eine schlanke und vorhersagbare Budgetierbarkeit. [JA10]
- Der Service hat eine hohe Konzeptionelle Integrität (5).

Damit dies funktionieren kann, benötigt es einige Anforderungen an den Service, die erfüllt sein müssen, damit sich der Service nahtlos in die Dienstlandschaft einer Organisation integrieren kann. Der hierfür benötigte Entwurfsstandard des Service (2.3) ist in einem kommenden Kapitel beschrieben.

## Nachteile einer Microservice-Architektur

Wo Licht ist, ist auch Schatten, und so haben Microservice-Architekturen gegenüber Monolithen auch einige Nachteile:

- *Latenz:* Durch die Komposition verschiedener Dienste in eigenen Laufzeitumgebungen entsteht mehr Verkehr im Netzwerk, der langsamer ist als Aufrufe innerhalb derselben Maschine. Die Latenz (11) der Aufrufe steigt, und das System ist langsamer. Insbesondere bei Systemen mit viel Traffic, kann dies deutliche Auswirkungen auf das Benutzererlebnis haben.
- *Netzwerkkomplikationen:* Ein verteiltes System ohne Fehler ist nicht möglich, und Störungen und Ausfälle können gravierende Konsequenzen für die Funktion eines Systems haben. Ein Monolith ist nicht auf ein funktionierendes Netzwerk angewiesen, weswegen die Fehlerbehandlung hier einfacher ist. Die möglichen Fehlersituationen sind in Abschnitt 15.2 diskutiert.
- *Referenzielle Integrität:* Dadurch, dass die Geschäftslogik auf verschiedene Dienste mit jeweils eigener Persistenzschicht verteilt ist, können keine Datenbankmechanismen zur Wahrung der referenziellen Integrität genutzt werden. Dies kann bei komplexen Domänen Auswirkungen auf die Komplexität im Code und die notwendigen Transaktionen sowie die Performance haben.
- *Neues Paradigma:* In einer Microservice-Architektur kapseln die Dienste ihre Geschäftslogik, und dadurch werden diese in sich weniger komplex. Die Komplexität des Geschäfts verschwindet dadurch aber nicht, sondern verlagert sich hin zur Komposition der Dienste zu einem funktionierenden Ganzen. Dies ist für viele Teams heute Neuland und benötigt auch Kompetenzen im Bereich System und Reliability Engineering, vor allem aber in der Domänenanalyse.

## Fazit

Viele Organisationen sind heute auf Monolithen zur Durchführung ihres Geschäfts angewiesen. Diese *Systems of Record* bilden in vielen Branchen das Rückgrat der Geschäftsfähigkeit und sind das Ergebnis hoher Investitionen, die geschützt werden müssen. Die Idee, dass kleine, agile und flexible Microservices zur Erbringung von Geschäftsdiensten eingesetzt werden können, ist neu. Ebenfalls neu ist aber auch, dass Unternehmen Vorteile haben, wenn ihre Informationssysteme klein, agil und flexibel sind, weil sie so schneller neue Dienstleistungen am Markt anbieten können. Der Trend hin zu diesen Architekturen darf also nicht ignoriert werden. Da Microservice-Architekturen auch Mischformen von Monolithen und Microservices erlauben, können Unternehmen Mischformen adaptieren und so iterativ wettbewerbsfähig bleiben.

## ■ 1.5 Domänengetriebener Entwurf

*Cells can exist because their membranes define what is in and out and determine what can pass.* - Eric Evans



TL;DR

- Die *Domäne* ist die Arbeit einer Organisation in ihrer Umwelt.
- Ein *Domänenmodell* repräsentiert den Teil der Domäne, der durch Software unterstützt werden soll, und ist in der Allgemeinsprache (5.3) beschrieben.
- Ein Domänenmodell kann in *Subdomänen* zerlegt werden.
- In einer Domäne repräsentieren *Aggregate* die Daten und das Verhalten von Objekten.
- Das *Aggregat* ist eine Transaktionsgrenze, die kohärent zur Arbeit der Organisation ist.
- Ein Domänenmodell hat eine *Kontextgrenze*, die den Gültigkeitsbereich seiner Konzepte bestimmt.
- Der *domänengetriebene Entwurf* zerlegt die Arbeit der Organisation in Domänenmodelle und komponiert diese im *strategischen Entwurf* zu einem System.
- Ein Microservice (1.4) implementiert entweder ein Domänenmodell, ein Aggregat oder einen Domänendienst.
- Eine domänengetriebene Microservice-Architektur bietet Wettbewerbsvorteile.

## Was ist der domänengetriebene Entwurf?

Im Kapitel über Microservices haben wir gesehen, dass die technische Trennung von Services eine gute Idee ist, um die *unverzichtbare Komplexität* [Bro75] eines Systems in der

Entwicklung beherrschen zu können. Die Gretchenfrage lautet nun, wie diese Teilung vorzunehmen ist, um das Geschäft optimal zu unterstützen. Hier kommt der domänengetriebene Entwurf ins Spiel, der uns eine *fachliche Dekompositionstechnik* an die Hand gibt, die sich gut mit der technischen und physischen Dekomposition einer Microservice-Architektur verbinden lässt. In diesem Abschnitt gehe ich auf die wichtigsten Punkte des domänengetriebenen Entwurfs ein.

## Die Allgemeinsprache

Die Allgemeinsprache (5.3) ist ein Werkzeug des domänengetriebenen Entwurfs. Die Begriffe dieser Sprache bilden die konzeptionelle Grundlage für die Arbeit des Teams. Durch den rigorosen Einsatz einer gemeinsamen Sprache kann das Team seine natürlichen linguistischen Fähigkeiten bei der Entwicklung des Systems nutzen.

## Event Storming

Grundlage des domänengetriebenen Entwurfs ist die Identifikation der wirkenden Geschäftsereignisse. Im Anforderungsmanagement wird schon seit vielen Jahren die Erstellung eines Systemkontexts (5.4) gelehrt [PR15]. Der Systemkontext umfasst solche Geschäftsereignisse, auf die das System eine Antwort haben sollte. Die Geschäftsereignisse sind ein Synonym für Domänenereignisse und Ausgangspunkt für die Analyse der Arbeit der Organisation.

Domänenereignisse sind nicht technisch, obwohl sie später auch auf die technische Architektur abgebildet werden müssen. Stattdessen repräsentieren sie fachliche Ereignisse und werden deswegen von den Stakeholdern gut verstanden. Die Formulierung der Ereignisse durch Nomen und Verben der Allgemeinsprache fördert eine informative Kommunikation über die Domäne. Dies vertieft und schärft das Verständnis des Systems im Team.

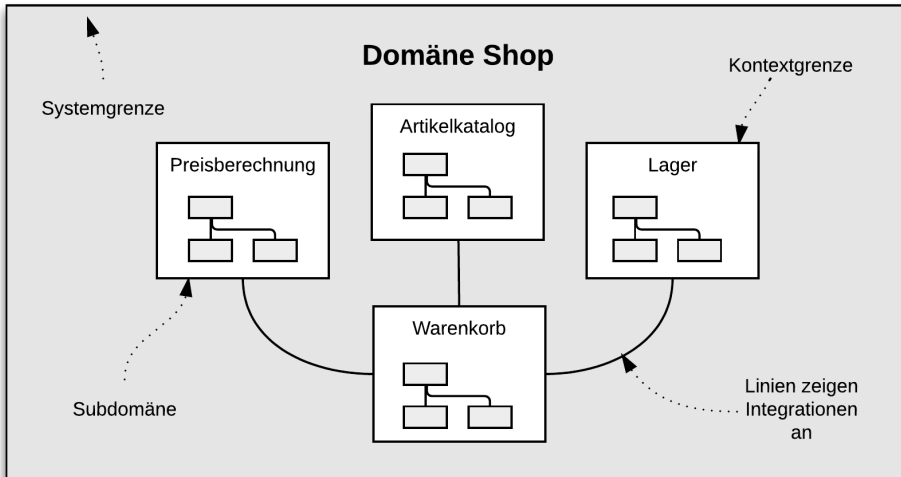
Im Anforderungsmanagement (5.7) ist für die Beantwortung eines Geschäftsereignisses ein Anwendungsfall (5.8) vorgesehen, anhand dessen sich Verhalten und Daten der Domäne ableiten lassen. Die Erkundung des Ereignisraums einer Domäne geschieht im *Event Storming*. Das ist ein Workshop, zu dem die fachlichen Stakeholder, das Management, Benutzer, aber auch Entwickler und Architekten eingeladen werden – kurzerhand alle Personen mit einem potenziellen Einfluss auf das System. In einem gemeinsamen Workshop leitet ein Moderator die Gruppe an, gemeinsam die Domänenereignisse zu identifizieren. Dabei entstehen auch die ersten Domänenmodelle und Aggregate, die die Ereignisse verarbeiten und die im Folgenden beschrieben werden. Weitere Informationen über die Durchführung von Workshops finden Sie in [Unt15].

## Domänenmodelle schneiden

Um das System zu zerlegen, verwenden wir Domänenmodelle. Ein *Domänenmodell* ist ein konzeptionelles Modell der Domäne, das sowohl Daten als auch Verhalten enthält. Das heißt, die Domäne modelliert die Arbeit einer Organisation in ihrer Umwelt. Eine Domäne

kann in *Subdomänen* zerlegt werden, die durch eine *Kontextgrenze* (engl. *bounded context*) voneinander getrennt sind. Hierbei wird der also fachliche Kontext in disjunkte Modelle zerlegt, die jeweils einen Teil der Arbeit des Geschäfts repräsentieren.

Bild 1.3 zeigt ein vereinfachtes Beispiel für einen Online-Shop, bei dem Preisberechnung, Artikelkatalog, Lager und der Warenkorb jeweils als eigene Subdomänen modelliert sind. Alle Konzepte der Domänenmodelle sind Teil der *Allgemeinsprache* (5.3) unseres Systems.



**Bild 1.3** Beispiel für eine Dekomposition der Domäne am Beispiel Shop

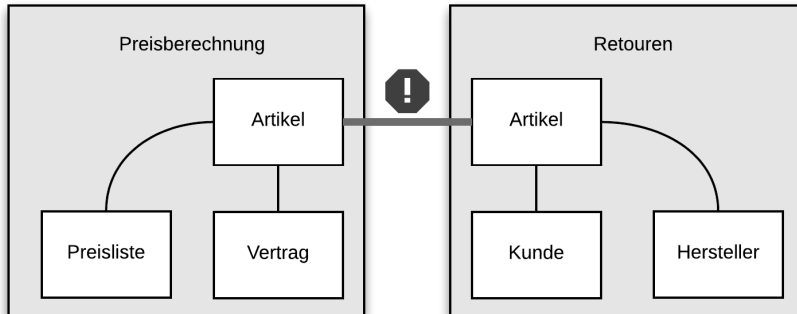
Domänenmodelle bilden zusammen mit ihren Entitäten, Wertobjekten und anderen Basisbegriffen die *Bausteine* des domänengetriebenen Entwurfs. Die aus den Bausteinen konstruierten Modelle können dann im *strategischen Entwurf* zu einem System komponiert werden.

Die Etablierung der Kontextgrenze ist beim domänenorientierten Entwurf eine Schlüsseltechnik, denn die Grenze steckt den Bereich ab, in dem ein Konzept, seien es Daten oder Verhalten, seine Bedeutung hat. Dieser Punkt ist zentral: Ein Konzept muss außerhalb seines Kontexts keine Bedeutung haben. Dies macht das Modell unabhängig und verschafft dem Team Freiraum bei der Modellierung. Und nur, wenn es Freiraum hat, ist es handlungsfähig und kann Geschwindigkeit entwickeln.

Möchte man mehrere Modelle zusammenlegen, so wird das Gesamtmodell unweigerlich komplexer. Tatsächlich ist solch ein Abgleich verschiedener Modelle weder praktikabel noch kosteneffektiv [Eva03]. Ein Beispiel hierfür ist das sogenannte *Master Data Management*, das alle möglichen Daten querschnittlich durch eine Organisation modellieren möchte. Hier hat man es automatisch mit vielen verschiedenen Teams zu tun, die auf die Daten angewiesen sind, weil es die IT-Strategie nun so verlangt. Ein Abgleich der Modelle wird dadurch kompliziert, schwerfällig, langsam und teuer. Darüber hinaus müssen die Teams Kompromisse eingehen und können ihre eigene Domäne also nicht vollständig abbilden.

Trotzdem müssen Domänenmodelle aber in vielen Fällen zusammenarbeiten. In Bild 1.3 zeigen die Linien zwischen den Subdomänen Integrationspfade der Domänen an. So ist

im Beispiel der Warenkorb abhängig vom Artikelkatalog, um Artikel im Warenkorb anzeigen zu können, vom Lager, um die Verfügbarkeit von Artikeln darzustellen, sowie von der Preisberechnung. Wie genau das funktioniert, werden wir später sehen. Wir halten an dieser Stelle fest, dass trotz der Integration die Modelle nicht zwingend etwas miteinander zu tun haben müssen.



**Bild 1.4** Beispiel für zwei Domänenmodelle, die nicht gemischt werden müssen

Jedes Konzept des Modells sollte unmissverständlich sein. Ein Konzept wie der *Artikel* taucht aber in vielen Subdomänen auf, bedeutet aber jeweils etwas anderes. Bild 1.4 zeigt ein vereinfachtes Beispiel für zwei Domänen, die beide das Konzept *Artikel* enthalten. In einem Monolithen sehe ich häufig, dass für beide Modelle ein und dieselbe Klasse genutzt wird. Tatsächlich hat der *Artikel* bei der Preisberechnung und bei den Retouren jeweils andere Bedeutungen und deswegen auch andere Eigenschaften. Die beiden Konzepte zu vermischen, wäre ein Fehler, weil damit das *Single-Responsibility-Prinzip* verletzt wird: Eine solche Artikelklasse muss sich dann sowohl um Retouren als auch die Preisberechnung kümmern.

Die Modelle können wir mithilfe der UML (8.4) oder auch freihändig modellieren, um so die in der Sprache definierten Konzepte und ihre Relationen untereinander aufzuzeigen. Die Diskussion der Modelle mit dem Fach schafft in der Regel interessante Erkenntnisse für das gesamte Team. Die Fachexperten sollten sich dabei gegen Begriffe wehren, die das Wissen über die Domäne nicht gut transportieren. Entwickler sollten auf mögliche Fallstricke in der Implementierung achten.

## Konzepte des domänengetriebenen Entwurfs



Zum domänengetriebenen Entwurf gehören die folgenden Konzepte:

- Zum Domänenmodell gehören Entitäten, Wertobjekte, Aggregate, Repositories, Factories sowie Domänendienste.
- Ein Konzept wird als *Entität* (engl. *entity*) modelliert, wenn seine Einzigartigkeit, also die Unterscheidbarkeit von allen anderen Konzepten, wichtig ist.
- Ein *Wertobjekt* (engl. *value object*) beschreibt oder misst ein Konzept der Allgemeinsprache, das keine eigene Identität besitzt.

- Ein *Aggregat* fasst Wertobjekte und Entitäten innerhalb einer Kontextgrenze zusammen. Ein Aggregat hat eine als *Aggregatwurzel* definierte Entität über die der Zugriff auf alle anderen Entitäten und Wertobjekte des Aggregats erfolgt.

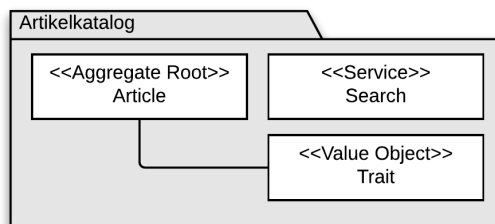
## Entitäten und Wertobjekte

Innerhalb eines Domänenmodells können wir die Konzepte auf verschiedene Weise modellieren, je nachdem um was es sich handelt. Im domänengetriebenen Design gibt es hierfür zwei wesentliche Möglichkeiten: die Entität und das Wertobjekt. Ein Konzept wird als *Entität* modelliert, wenn seine Einzigartigkeit, also die Unterscheidbarkeit von allen anderen Konzepten, wichtig ist [Ver13]. Eine Entität ist einzigartig und hat einen Lebenszyklus. Oft möchte man Änderungen an einer Entität während seines Lebenszyklus beobachten können. Änderungen an Entitäten können Nebenwirkungen haben. Da Entitäten langlebig sind und eine Identität haben, müssen sie gespeichert werden und sind deswegen also teure Konzepte.

Die andere Möglichkeit ist die Modellierung als *Wertobjekt* (engl. *value object*), das keine eigene Identität besitzt. Wertobjekte beziehen ihre Identität durch ihren Wert und sind leichter zu erzeugen, testen, benutzen, optimieren oder zu warten als Entitäten. Änderungen an einem Wertobjekt haben keine Nebenwirkungen [Eva03]. Wertobjekte sind aus diesen Gründen Entitäten vorzuziehen, wenn dies möglich ist.

## Aggregate bilden

Häufig machen Objekte nur in Kombination mit anderen Objekten Sinn und werden auch zusammen gespeichert. Eine Bestellung enthält mehrere Artikel, ein Menü mehrere Gerichte und ein Buch viele Kapitel (ich spreche aus Erfahrung). Im domänengetriebenen Entwurf heißen diese Objektgraphen *Aggregate* (engl. *aggregates*). In einem Graphen darf jeweils nur eine Entität nach außen sichtbar sein, und diese Entität heißt *Wurzelentität* (engl. *root entity*). Bild 1.5 zeigt ein Beispiel für das Domänenmodell eines Artikelkatalogs. Der Artikel ist eine Wurzelentität mit verschiedenen Eigenschaften (engl. *traits*), die über eine Suchfunktion gefunden werden können.



**Bild 1.5** Beispiel für das Domänenmodell eines Produktkatalogs

Die Aggregate und die Wurzelentität bilden die *Transaktionsgrenze* unseres Modells. Da unsere Entitäten und Wertobjekte das Geschäft modellieren, ist diese Transaktionsgrenze konsistent mit der Geschäftspraxis der Organisationseinheit. Die Erzeugung und Löschung eines Aggregats und seiner Attribute sind miteinander verbunden, während die Erzeugung und Löschung ihrer Bestandteile unabhängig voneinander ist [Eva03].

Diese Art der Modellierung erzeugt eine konzeptionelle Integrität zwischen System und Geschäft des Unternehmens und macht es möglich, die unverzichtbare Komplexität beherrschbar zu machen, weil andere Modelle keinen Einfluss auf die Konzepte der Domäne haben.

## Factories, Repositories und Services

Im domänengetriebenen Entwurf gibt es noch ein paar weitere Konzepte, auf die ich an dieser Stelle kurz eingehen möchte:

- Wenn die Erzeugung von Aggregaten zu kompliziert wird, sollte eine *Factory* eingesetzt werden, um das Softwaredesign zu vereinfachen und den Prozess der Erzeugung zu vereinfachen.
- Alle Operationen zum Speichern von Daten sollten an ein *Repository* delegiert werden. Achten Sie darauf, dass Ihr Service dabei crash-konsistent (17.4) bleibt.
- Manchmal macht es keinen Sinn, eine Methode an ein Aggregat, eine Entität oder ein Wertobjekt zu hängen. In diesem Fall gibt es das Konzept des *Service*, der die Geschäftslogik implementiert, die auf mehreren Objekten basiert.

## Modelle im Kontext sichtbar machen: Die Kontextkarte

Wie wir schon gesehen haben, stehen unsere Domänenmodelle in Beziehung zueinander. Beispielsweise müssen für den Warenkorb die Preise berechnet und Lieferzeiten angezeigt werden. Wir möchten diese Abhängigkeiten zu anderen Modellen gerne explizit machen, aber wir möchten unsere Freiheit behalten. Gleichzeitig stellt sich nun das erste Mal die Frage nach der physischen Verteilung von Modellen auf Laufzeiteinheiten. Ein Diagramm, das Kontextgrenzen sichtbar macht, heißt *Context Map* oder *Kontextkarte*. Diese Kontextkarte ist ein Werkzeug des *strategischen Entwurfs* und wird aus der Perspektive des Teams gezeichnet, das für ein bestimmtes Modell verantwortlich ist.

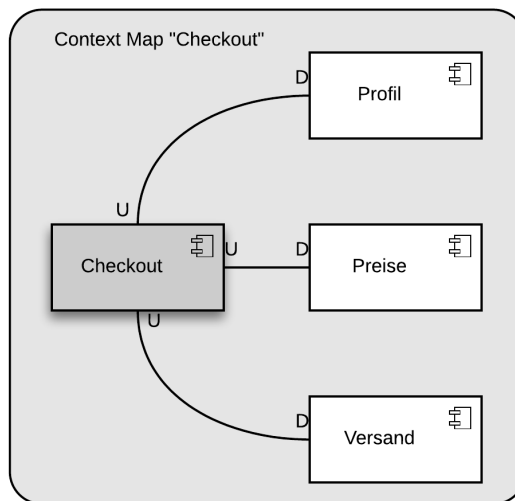
Das Hauptziel der Kontextkarte ist es aufzuzeigen, welche Abhängigkeiten zwischen Domänenmodellen bestehen, und ob es Konzepte gibt, die nicht zueinander passen und deswegen übersetzt werden müssen. Die Kontextkarte nimmt deswegen die tatsächliche Situation auf und identifiziert die Kontaktpunkte zwischen den Modellen.

In einer serviceorientierten Architektur ist nicht jeder Service ein Microservice. Ist eine integrierte Domäne durch ein *System of Record* oder *Legacy System* implementiert, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass die Konzepte nicht gut passen und übersetzt werden müssen. Mittel zum Zweck ist hierfür der Anti-Corruption Layer, der im folgenden Abschnitt beschrieben wird. Häufig werden ältere Systeme gekapselt mit dem Ziel, sie besser integrieren zu können. Dieses Thema beschreibe ich im Kapitel über den Service Bus (2.5).



## Domänengetriebene Microservices

In einer Microservice-Architektur bilden wir jeweils ein Aggregat oder ein Domänenmodell auf einen Service ab. Ich nutze für die Notation UML-Komponenten, um anzuzeigen, dass es sich tatsächlich um eine physische Laufzeiteinheit handelt. Bild 1.6 zeigt eine sogenannte *Kontextkarte* für einen Checkout-Service. Je nachdem, wie die Abhängigkeiten gerichtet sind, stehen Microservices in einer Upstream- oder Downstream-Beziehung zueinander: Derjenige Service, der eine API aufruft, ist der Upstream-Service. Im Diagramm werden die Assoziationen zwischen den Services mit U für Upstream und D für Downstream beschriftet. Über diese Kontextkarte kann das Team eindeutig kommunizieren, von welchen anderen Diensten es abhängig ist. Weitere Informationen zur Dokumentation mit Kontextkarten finden Sie in einem Artikel von Alberto Brandolini [bra].



**Bild 1.6** Beispiel für Upstream- und Downstream-Beziehungen von Services

Microservices und domänengetriebener Entwurf ergänzen sich aus den folgenden Gründen gut zur Unterstützung des Geschäfts:

- Es bietet sich an, einzelne Domänenmodelle oder Aggregate auf einen Microservice abzubilden. Das muss nicht so sein, aber da unser System am Ende des Tages aus Microservices besteht, die auch von verschiedenen Teams entwickelt und gewartet werden, macht diese Dekomposition Sinn, weil die Dienste dann die geschäftliche Dekomposition nachbilden. Mehr zur Organisation von Teams im kommenden Kapitel.
- Werden Domänenmodelle auf Microservices abgebildet, so lassen sich diese auch über erhobene Metriken (12.2) im Rahmen der Service Governance (2.1) zur Laufzeit aufzeichnen und beobachten. Die Auswertung der Metriken zugunsten strategischer Entscheidungen ist ein Wettbewerbsvorteil [PF13]. Da bei einer domänengetriebenen Architektur die aufgezeichneten Geschäftsereignisse besonders informativ sind, können Vorteile allenfalls besser genutzt werden.
- Die durch Geschäftsereignisse ausgelöste Modellierung passt gut zum asynchronen Entwurf (14.4), der die Skalierbarkeit begünstigt.

## Fazit

Das Domänenmodell ist eine Vereinfachung. Es handelt sich um eine Interpretation der Wirklichkeit, die die für das System relevanten Aspekte abstrahiert und überflüssige Details ignoriert. Zusammenfassend hat das Domänenmodell drei Verwendungszwecke, die alle die konzeptionelle Integrität beeinflussen:

1. Das Modell und der Entwurf beeinflussen einander, was dazu führt, dass das Modell für die Architektur und die Softwareentwicklung relevant wird. Das gut recherchierte Modell spiegelt sich im fertigen Produkt. Im Laufe der Entwicklung können Quelltexte durch das Modell leichter interpretiert werden.
2. Das Modell bildet die Grundlage für das gemeinsame Verständnis im Team. Die Entwickler können mit dem Fach über die definierte Allgemeinsprache (5.3) kommunizieren. Unsere natürlichen linguistischen Fähigkeiten können dazu genutzt werden, das Modell zu verbessern.
3. Das Modell ist das destillierte Wissen des Teams über das System und die Domäne gleichermaßen.

Weitere Informationen zum Thema des domänengetriebenen Entwurfs finden Sie in den Büchern von Eric Evans [Eva03] und Vaughn Vernon [Ver13].

## ■ 1.6 Organisation und Kultur

*We must ruthlessly scope requirements. Two sets of functionality with no indispensable relationship can be cut loose from each other.* - Eric Evans

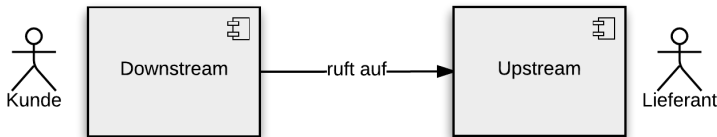


TL;DR

- In einem System können Services (2.3) von unterschiedlichen Akteuren in verschiedenen Domänen (1.5) stammen.
- Die Kosten der Entwicklung steigen mit der Anzahl der Kommunikationswege.
- Die Kultur des Teams beeinflusst seine Effizienz.
- Teams können sich Teile ihrer Domänenmodelle als *Shared Kernel* teilen.
- Ein Service, der konsumiert wird, heißt *Upstream-Service* und der konsumierende Service heißt *Downstream-Service*.
- Das Upstream-Serviceteam heißt *Lieferant*, das Downstream-Serviceteam heißt *Kunde*. Lieferant und Kunde werden als Synonym für Upstream und Downstream-Service verwendet.
- Wenn der Kunde keinen Einfluss auf den Lieferanten nehmen kann, spricht man von *Konformismus*.
- Um das Domänenmodell eines Lieferanten zu übersetzen, verwendet man einen *Anti-Corruption Layer*.
- Das Schnittstellenmodell eines Service heißt *Shared Language*.
- Die günstigste Integration ist der Verzicht auf eine Zusammenarbeit und heißt *Separate Ways*.

## Die Organisation beeinflusst den Entwurf

Die Art und Weise, wie eine Organisation aufgestellt ist, beeinflusst die Zusammenarbeit und nach Melvin Conway (5.11) sogar den Entwurf. Entwickelt ein Team ein neues System und verwendet dabei Services von anderen Teams, so schadet es nicht, die Beziehung zu den anderen zu analysieren. Aus dem domänengetriebenen Entwurf gibt es hierfür eine Liste von Beziehungstypen, die in diesem Kapitel beschrieben werden. Außerdem spielt die Kultur der Zusammenarbeit sowie die Anzahl der beteiligten Personen eine Rolle, weswegen diese Themen auch besprochen werden.



**Bild 1.7** Der Downstream-Service des Kunden konsumiert den Upstream-Service des Lieferanten.

## Zusammenarbeit definieren

Die folgenden Arten von Beziehungen gibt es zwischen den Teams in einer serviceorientierten Architektur:

### Shared Kernel

Wenn sich zwei Teams auf die gemeinsame Nutzung von Konzepten einigen, nennt man dies einen *Shared Kernel*. Der geteilte Code kann als Quelltext oder Bibliothek vorliegen; in jedem Fall entsteht aber eine enge Kopplung der Teams, die für die Effizienz gut oder schlecht sein kann und deswegen wohl überlegt sein will. Um Abhängigkeiten zu reduzieren, sollte der gemeinsame Kern möglichst klein sein. Man sollte ihn nicht ohne Rücksprache mit dem anderen Team ändern. Wenn es sich um Verhalten handelt, besteht die Option zur Auslagerung in einen dedizierten Service.

### Customer-Supplier

Ein Upstream-Team heißt auch *Lieferant* (engl. *supplier*) und ein Downstream-Team *Kunde* (engl. *customer*). Bedürfnisse des Kunden sollten beim Lieferanten Gehör finden dürfen, damit dieser eine möglichst nützliche API schaffen kann. In großen Organisationen ist es unter Umständen schwierig, diese Kommunikation herzustellen, beispielsweise weil die Teams an unterschiedlichen Standorten arbeiten oder deren Manager verschiedene Ziele verfolgen. Es kann auch sein, dass der Lieferant Angst hat, dem Kunden etwas kaputt zu machen, und deswegen bei der Evolution seines Service behindert wird. Deswegen sollte eine klare Kommunikation zwischen den Teams hergestellt werden, damit eine reibungslose Zusammenarbeit möglich wird.

## Konformismus

Wenn ein Kunde seine Bedürfnisse aus Gründen der Organisation nicht einbringen kann, so entsteht eine konformistische Beziehung, bei der gegessen wird, was auf den Tisch kommt. Beim *Konformismus* kann der Kunde keinen Einfluss nehmen, und das Modell des Lieferanten schwappt in das eigene Modell. Damit das funktionieren kann, muss das Modell des Lieferanten übersetzt werden. Da die Übersetzung nicht in jedem Fall möglich ist, kann das Kundenteam auch nicht den besten Service entwickeln. Das hört sich fürchterlich an, ist aber die De-facto-Beziehung vieler Teams zu APIs, die sie konsumieren.

## Anti-Corruption Layer

Die Übersetzung des Domänenmodells eines Lieferanten in das Domänenmodell des Kunden heißt *Anti-Corruption Layer* (ACL). Die Kapselung des Lieferanten durch einen eigenen Microservice, der die Übersetzung übernimmt, ist ein Entwurfsmuster. Dieser Service besteht aus Fassaden, Adaptern und Übersetzern. Ein ACL wird für jeden externen Dienst benötigt, und hierzu zählen auch Legacy-Systeme bzw. Systems of Record der eigenen Organisation. Häufig wird die Übersetzung durch einen Service Bus (2.5) übernommen.

## Open-Host-Service

Eine Variante der Kunden-Lieferanten-Beziehung ist ein Service, der innerhalb einer Organisation für alle nutzbar ist. Solch ein Service heißt *Open-Host-Service* und ist immer dann nützlich, wenn mehrere Teams ein und denselben Service konsumieren möchten. Anstatt für jedes Team eine eigene Schnittstelle anzubieten, wird nur noch eine gepflegt, und die Kunden müssen die Übersetzung selber vornehmen. Es gibt verschiedene Abstufungen des Open-Host-Service. Spätestens, wenn er einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird, gilt sein Modell für die Kunden als verbindlich. Die Veröffentlichung und Dokumentation seines Modells heißt dann *Published Language*. In diesem Buch ist ein Entwurfsstandard des Open Host (2.4) beschrieben.

## Separate Ways

Wenn ein Domänenmodell nichts mit den Anforderungen und dem Modell eines anderen Teams zu tun hat, so sollte man sich nicht davor scheuen, hieraus ein eigenständiges System zu machen. Jede Integration kostet, und wenn sich die Möglichkeit bietet, etwas zu entfernen, dann sollte man sie nutzen.

## Teamgröße kalkulieren

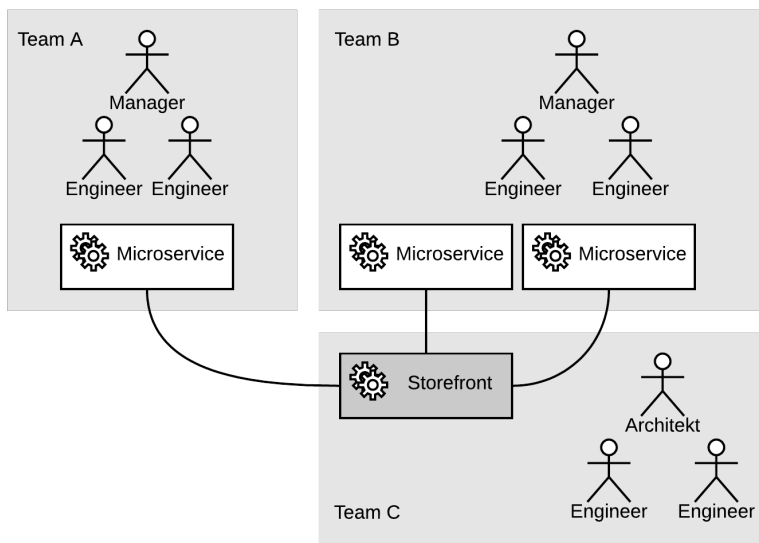
Eine häufige Frage ist die nach der optimalen Größe eines Teams. Ich stelle später in Abschnitt 5.11 das Gesetz von Conway vor, das besagt, dass Architektur und Teamorganisation etwas miteinander zu tun haben. Wir sollten unsere Teams also so aufstellen, dass sie gut zur gewünschten Architektur passen. In einer Microservice-Architektur sind dies Teams nach Domänen bzw. nach Microservice.

Bei der Zusammenstellung der Teams muss man in Betracht ziehen, dass ein Kostenfaktor der Softwareentwicklung die Anzahl der Kommunikationswege im Team ist. Dies liegt

daran, dass die Softwareentwicklung eine wissensbasierte Tätigkeit ist. Aus diesem Grund müssen im selben Team eigentlich alle alles wissen, damit sie effizient arbeiten können, und dies ist auch der Grund für den großen Erfolg von Kommunikationsdiensten wie Slack oder HipChat in der Softwareentwicklung, weil diese die Kommunikation vereinfachen. Die Anzahl der Kommunikationswege berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$K = \frac{N \cdot (N - 1)}{2} \quad (1.1)$$

Die Kosten sind nun bei einer Teamgröße von eins bis drei optimiert, da hier die Anzahl der Kommunikationswege null, eins oder drei beträgt. Vier Personen verursachen bereits sechs Kommunikationswege. Deswegen sind Teams von drei Personen meiner Erfahrung nach besonders effizient, allerdings gibt es hierzu meines Wissens keine Forschungsdaten. Adrian Cockcroft hat seine Teams bei Netflix immer zu dritt aufgestellt. Ein möglicher Aufbau für ein Team einer Microservice-Architektur ist in Bild 1.8 dargestellt.



**Bild 1.8** Ausschnitt aus einer Organisationsstruktur für eine Microservice-Architektur

## Kultur und Effizienz

Ein zu selten diskutiertes Thema in der Softwareentwicklung ist die Kultur. Bei der Formation einer schlagkräftigen Truppe sollte man die kulturellen Kräfte nicht außer Acht lassen. Gut beraten ist, wer seine Kultur dokumentiert und aktiv formt, beispielsweise durch Reflexion und Diskussion im Team. Einer der wesentlichen Gründe, warum agile Entwicklung so gut funktioniert, ist für mich die Kollaboration auf Augenhöhe in Kombination mit gegenseitigem Vertrauen.

Ein Team bildet durch Kommunikation ein gemeinsames Verständnis vom System, seiner Domäne sowie der vorliegenden Aufgabe. So sollte neben der syntaktischen Ebene der Allgemeinsprache vor allem die Art und Weise der Kommunikation gestaltet werden. Häufig

kann das Team nicht an einem Ort zusammenkommen, und Kommunikation über reinen Text ist nicht effizient. Häufig ist das gefürchtete E-Mail- oder Ticket-Pingpong Auslöser für Konflikte und Spannungen, weil man sich schlicht nicht versteht.

In diesem Fall sollten Sprachanrufe dem Schreiben von Texten vorgezogen werden. Hierfür kann man einfache Regeln definieren, zum Beispiel dass man zuerst per Messenger anklopft, bevor man tatsächlich anruft, um zu klären, ob jetzt gerade ein guter Zeitpunkt zum Sprechen ist. Es sollten zudem alle den Unterschied zwischen einem Feedback- und einem Konfliktgespräch kennen. Ich empfehle jedem Wissensarbeiter eine Zusatzausbildung in Kommunikation, um unweigerlich auftretende Konflikte und Spannungen lösen zu können.

## Sprache und Übersetzungen

Die Allgemeinsprache (5.3) ist die Sprache, die in der Domäne für ein identisches Verständnis der Semantik sorgt. Die Nutzung der natürlichen, linguistischen Fähigkeiten ist ein großer Vorteil des domänengetriebenen Entwurfs. Werden nun aber in einem verteilten Team mehrere Sprachen eingesetzt, so benötigt dies kognitive Kapazität für Übersetzungen. Das heißt, dass die Arbeit durch diese Übersetzungen behindert wird. Idealerweise spricht man also nur eine Sprache und hat dann kein Problem mit Übersetzungen mehr. Wählt man Deutsch als Projektsprache, so sollten also alle im Team Deutsch sprechen, was besonders die Kommunikation mit dem Fach stark vereinfacht. Schade nur, dass die deutschen Begriffe im Quelltext nicht viele Fans finden. Was also tun?

In mehrsprachigen Teams kann es neben der definierten Sprache zur Kommunikation mit dem Fach auch eine Sprache im Quelltext geben. Hierfür übersetzt man einfach die im Code abgebildeten Konzepte im Glossar, sodass alle im Team eine Referenz auf die korrekte Übersetzung haben. Die Übersetzungen im Glossar verursachen zusätzlichen Aufwand, der aber vertretbar sein sollte, wenn man sich dafür entscheidet, mit fremdsprachigem Personal zu arbeiten.

## Vertrauen schaffen

Ein weiterer Punkt in der Schaffung einer angenehmen und produktiven Arbeitskultur ist das Geben von Vertrauen. Dies überträgt allen im Team mehr Verantwortung, erleichtert aber die Arbeit, wenn Teams über ihre Services selber entscheiden dürfen. Bei Netflix gibt es beispielsweise eine *No Hand Over*-Kultur. Das bedeutet, dass der Entwickler auch für den Betrieb verantwortlich ist und im Monitoring-System Optimierungen vornehmen darf, um seinen Service besser überwachen zu können. Das Monitoring-Team sorgt dafür, dass alles top dokumentiert ist, und präsentiert regelmäßig Änderungen und Neuerungen den anderen Teams. Jeder traut jedem im Team alles zu, und wenn jemand entscheidet, etwas zu machen, dann wird das schon seine Richtigkeit haben. Wenn ich unsicher bin, so wende ich mich an einen Kollegen, der mir gerne hilft, die Aufgabe zu lösen. Bei meinem Handeln lasse ich Umsicht walten, weil mir die anderen vertrauen, dass ich die richtigen Dinge tue.

Damit die Kommunikation und das Vertrauen blühen können, bedarf es einer geringen Regulierung der Arbeit. *Formale Prozesse* sind für Entwicklungsteams ein Anathema, weil sie

die Entwicklung behindern. Die eingesetzten Technologien, das Geschäft, die Umwelt, alles ändert sich so schnell, dass die Formalisierung von Prozessen in jedem Fall ein Hindernis darstellt. Etwas anderes ist der Einsatz von *Methoden*. Eine Methode ist eine konzeptionelle Grundlage für geplantes Handeln, und deswegen habe ich mich in diesem Buch genau auf die Methoden konzentriert, die für die Entwicklung von Produktqualitäten wichtig sind.

# Stichwortverzeichnis

## A

- A/B Testing 319
- Abnahmetests 142
- Above the fold 195, 219
- Access Control 357
- Aggregat 23
- Aggregatwurzel 23
- Akteur 93
- Akzeptanztests 142
- Alarm 306
- Alerting 219
- Allgemeinsprache
  - Anforderungen 101
  - Anwendungsfall 105
  - Architektur 7
  - Definition 90
  - Domänengetriebener Entwurf 23
  - Implementation Proposal 112
  - Konzeptionelle Integrität 85
  - Metrik 219
  - Monitoring 302
  - Qualitätsszenario 73
  - Statische Analyse 166
- ALM Werkzeug 159
- Alpinklettern 171
- AMI 288
- Änderbarkeit 171
- Anforderungen
  - Analysierbarkeit 158
  - Änderbarkeit 175
  - Anforderungsmanagement 101
  - Anwendungsfall 105
  - Entwurfsprozess 10
  - Geschäftsmodell 110
  - Herstellbarkeit 271
  - Implementation Proposal 112
  - Kapazität 197
  - Konsistenz 121
  - Konzeptionelle Integrität 89
  - Monitoring 271
  - Performance 197
  - Prototyping 116
  - Prüfbarkeit 271
  - Qualitätskriterien 102
  - Qualitätsmodell 65
  - Qualitätsszenario 73
  - Resilienz 272
  - Serviceorientierte Architektur 11
  - Skalierbarkeit 197
  - Testbarkeit 135
  - Verfügbarkeit 271
- Anti-Corruption Layer 30
- Antizipation 309
- Antwort 73
- Anwendung 17
- Anwendungsfall 93, 105
- Anwendungsrolle 358
- Apache HTTP Server 228
- Apdex 193
  - Storage 240
- API
  - API Gateway 316
  - Open Host 51
  - Protokoll 338
  - Quota 316
  - Spezifikation 46
  - Throttling 316
  - Web API 51
- Application Delivery Controller 281
- Application Performance Management (APM)
  - 219
- ARAC 50, 258
- ARAP 50, 258
- arc42 159
- Architekturstil
  - Domänengetriebener Entwurf 23
  - Ereignisgesteuerte Architektur 256
  - Microservice-Architektur 17



- Nachrichtengesteuerte Architektur 256
- Serviceorientierte Architektur 11
- Artefakt
  - Artefakt Repository 180, 185
  - Qualitätsszenario 73
- Asynchroner Entwurf 256
- Atomicity, Consistency, Isolation, Durability (ACID) 251
- Attack of Self-Denial 211
- Attribute Based Access Control (ABAC) 362
- Auditierbarkeit 357
- Ausfall 273, 276
- Authentifizierung
  - Definition 331
  - Mehr-Faktor-Authentifizierung (MFA) 334
  - Protokolle 338
  - Timer 336
- Automation
  - Automation Service 286
  - Build System 185
  - Continuous Integration 185
- Autorisierung 357
  - ABAC 362
  - RABAC 358
- Availability 273

## B

- Backup 291
- Baking the Build 319
- Bandbreite 199
- Baseline 101
- Basically Available, Soft State, Eventual Consistency (BASE) 251
- Basismerkmal 65
- Bausteinsicht
  - API Management Gateway 54
  - Bottlenecks 244
  - ChatOps 287
  - Diagramme 163
  - Dokumentation 159
  - Latenzdiagramm 212
  - Test Doubles 148
- Behavior Driven Development 142
- Berechtigungskonzept 357
- Bibliotheken 122, 125
- Big Bang 282
- Blue/Green Deployment 319
- Bootstrapping
  - Bootstrapping Service 285
  - Build Management 185
- Botnetz 317
- Bottleneck-Analyse 244

- Bounded Context 23
- BPMN 163
- Branching 184, 187
- Browsertest 153
- Bug 279
- Build
  - Build System 185
  - Definition 185
- Burst Kapazität 247
- Business Service 56
- Business Use Case 105

## C

- Cache
  - Cache Hit Ratio 219
  - Cold Cache 245
  - Content Delivery Network (CDN) 209
  - Entwurfsstandard des Service 49
  - ETag 214
  - HTTP Cache 214, 249
  - In-Memory Cache 259
  - Message Enrichment 61
  - Nutzungsbedingungen 52
  - Pragma 214
  - Service Performance 217
  - Service-Cache 230
- Canary Deployment
  - Definition 319
  - Lastverteilung 282
- Canary Requests 320
- Canonical Data Model (CDM) 56
- CDN 276
- Central Authentication Service (CAS) 338
- Change-Impact-Analyse 155
- ChatOps 286
- Circuit Breaker 322
- Cloud 68
- Cloud-Native Systeme 65
- Cold Cache 230
- Cold Spare 280
- Command Query Responsibility Segregation (CQRS) 259
- Compliance
  - Autorisierung 357
  - Service Governance 37
  - Testmanagement 137
- Concatenation 204
- Configuration Management System 288
- Configuration Service 285
- Consistency, Availability, Partition Tolerance (CAP) Theorem

- Definition 251
- Storage 240
- Containerisierung 288
- Content Delivery Network
  - DDoS-Schutz 317
  - Definition 209
- Continuous Deployment 180
- Continuous Integration
  - Build Management 185
  - Continuous Deployment 180
- Control Bus 56
- Control Bus Pattern 56
- Conway-Manöver 114
- Conway's Law 114
- Cookie Law 79
- Cookie-Cutter-Architektur 260
- CQRS 256
- Crash-Konsistenz 294
- Cruft 286
- Culling 226
- Curl 202
- Cyclops 110

## D

- Data Engineering 219
- Data Layer 219
- Data Science 219
- Dateninventar
  - Definition 292
  - Dokumentation 161
  - Service Governance 37
  - Servicekatalog 42
  - Skalierung 251
- Datenreduktion 295
- Datenschutz 357
- Defect 279
- Defense in Depth 208
- Definition of Done 155
- Delegation 358
- Denial-of-Service-Angriff (DDoS) 317
- Dependency Inversion Principle 155
- Development Services 180
- DevOps 171
- Diagramme 163
- Differentielles Backup 293
- Disaster and Recovery Testing Drill (DiRT Drill) 295
- Disaster Recovery 295
- DNS Lookup 202
- Dokumentation
  - Definition 159
  - Frameworks 122

- Domain Sharding 204
- Domain-Driven Design (DDD) 23
- Domäne 105
- Domänenereignis 93
- Domänengetriebener Entwurf 23
- Domänenmodell
  - Allgemeinsprache 90
  - Definition 23
  - Schnittstellenmodell 46
  - Technischer Vertrag 46
- Domänenwissen 96
- Downstream-Service 30

## E

- Edge-Server 209
- Eggdrop 317
- Einfachheit 85
- Elimination of toil 286
- Emergente Eigenschaften 14
- Endpoint 56
- Endurance Test 235
- Engagement Rate 324
- Engineering Management 171
- Enterprise Application Integration (EAI) 56
- Enterprise Service Bus (ESB) 56
- Entität 23
- Entscheidungen
  - Analysierbarkeit 155
  - Entwurf 7
  - Konsistenz 119
- Entwicklungsprozess 142
- Entwicklungsumgebung
  - Frameworks 122
  - Sandboxing 142
- Entwurf
  - Entwurfsprozess 10
  - Qualitätsszenario 73
- Entwurfsmuster
  - A/B Testing 319
  - Alerting Service 306
  - Automation Service 286
  - Automatische Builds 185
  - Bootstrapping Service 288
  - Canary Deployment 319
  - Canary Request 320
  - Circuit Breaker 322
  - Configuration Service 288
  - Content Delivery Network 209
  - Continuous Deployment 180
  - Control Bus 56
  - Culling 226
  - Escalation Service 306

- Feature Toggle 319
- Graceful Degradation 324
- Health Check 300
- HTTP Cache 214
- Lastverteilung 281
- Load Shedding 316
- Message Bus 56
- Monitoring 302
- Quota 316
- Rating, Charging und Billing 110
- Self Test 300
- Service-Cache 230
- Test Double 148
- Test Harness 146
- Testdaten 151
- Throttling 316
- Versionskontrolle 184
- Environment 142
- Epic 101
- Ereignis 256
- Ereignisgesteuerte Architektur 256
- Error Catalogue 44
- Ersatzteile 280
- Eskalation 306
- ETag 214
- Ethik 171
- Event 256
- Event Sourcing 258

**F**

- Factory 23
- Fake Object 148
- Fault 273
- Fault-Tree-Analyse 309
- Feature 101
- Feature Branches 184
- Feature Toggle 319
- Feedbacksystem 11
- Fehler
  - Anwendungsfall 105
  - Entwurfsfehler 268
  - Fehlerkatalog 46
  - Fehlerquellen 267
  - Funktionale Fehler 269, 279
  - Nebenläufigkeitsprobleme 268
  - Physisches Versagen 269
  - Qualifizierter Fehler 270
  - Sabotage 269
  - Sneaks 268
  - Überlast 268
  - Varianz der Laufzeitumgebung 269
- Feinspezifikation 116

- Find Bugs 166
- Five Nines 274
- Forking 188
- Frameworks
  - Auswahl 122
  - Programmieren 125
- Frontend-Prototyp 116
- Führung
  - Änderbarkeit 171
  - Ziele 99
- Funktionen
  - Anforderungen 101
  - Entwurf 7
  - Serviceorientierte Architektur 11
- Funktionspunktanalyse
  - Änderbarkeit 171
  - Definition 176
  - Framework wechseln 122
  - Qualitätsszenario 175

**G**

- Gefahrenanalyse 309
- Geografische Skalierung 250
- Geographic Load Balancing 209
- Geschäft
  - Geschäftsanalyse 219
  - Geschäftsarchitektur 219
  - Geschäftsereignis 93, 105
  - Geschäftsfall 93
  - Geschäftsmodell 110
  - Geschäftsrolle 358
  - Geschäftsstrategie 37
  - Geschäftssystem 11
  - Geschäftssystemqualität 65
- Geschwurm 85
- Gesetzgebung 93
- Git 184
- GitHub 188
- Global Server Load Balancing (GSLB) 250
- Glossar
  - Allgemeinsprache 90
  - Domänengetriebener Entwurf 23
- Go 228
- Governance
  - Serviceorientierte Architektur 37
  - Testmanagement 137
- Governance Log
  - Dokumentation 161
- Governance, Risk & Compliance (GRC) 37
  - Testmanagement 137
- Graceful Degradation 324
- Große Firewall 209

**H**

Header Compression 204  
Head-of-Line Blocking 204  
Headroom 240  
Health Check  
– Circuit Breaker 322  
– Definition 300  
– Health Check Query 300  
– Introspektion für Prüfbarkeit 299  
– Lastverteilung 281  
– Open Host 51  
Heartbeat 46  
Heavy Lifting 250  
Herstellbarkeit 283  
Histogramm 219  
Hochverfügbarkeit 273  
Hop 202  
Horizontale Skalierbarkeit 247  
Hot Spare 280  
HTTP/2 204  
Hypermedia As The Engine Of Application  
State (HATEOAS) 49

**I**

Idempotenz 48  
Identifizierung 331  
Immutable Infrastructure 288  
Implementation Proposal 112  
Incident Resolution 306  
Incident Resolution Service 306  
Indikator  
– Metrik 219  
– Prüfbarkeit 297  
Infrastructure as Code 285  
Inkrementelles Backup 293  
Insight 297  
Integrationstests 142  
Integrationsumgebung 142  
Interface Segregation Principle 155  
Internet Relay Chat (IRC) 317  
Intrusion Detection Systeme (IDS) 317  
Isolation 148  
IT Governance 37

**J**

Java 228  
Jenkins 180  
Jitter 204  
JSON 47  
JVM Tuning 227

**K**

Kaizen 279

**Kapazität**

– Bottleneck 244  
– Definition 233  
– Kapazitätsgrenze 233, 235  
– Kapazitätstest 235  
– Performance 193  
– Speicherkapazität 240  
Kata 125  
Keep-Alive 205  
Kennzahl 219  
Key Performance Indicator (KPI) 219

**Kommunikation**

– Frameworks 122  
– Kommunikationsmittel 105, 112  
– Kommunikationswege 30  
– Programmieren 125  
– Reviews 127  
– Servicekatalog 37

**Komplexität**

– Analysierbarkeit 155  
– Änderbarkeit 171  
– Frameworks 122  
– Funktionspunktanalyse 176  
– Konzeptionelle Integrität 85  
– Unverzichtbare Komplexität 85

**Komponente 17****Konformismus 30****Konsistenz**

– Anforderungen 102  
– Definition 119  
– Storage State 251

**Kontext**

– Kontextdiagramm 93, 94  
– Kontextgrenze 23, 93  
– Kontextkarte 28, 40, 44, 121, 158–160  
– Kontextualisierung von Qualität 73  
– Systemkontext 93, 106, 109  
– Systemkontextgrenze 93

**Konzept 90****Konzeptionelle Integrität 85****Kopplung 155****Körung 226****Kosten 10****KPI 297****Kultur 30****Kunde 30****L****Last Responsible Moment (LRM) 230****Lastsimulation 235****Lastspitze 247****Lastszenario 233**

- Lastverteilung 281
- Latenz
  - Content Delivery Network 209
  - Definition 199
  - HTTP Cache 214
  - HTTP/2 204
  - Latenzdiagramm 212
  - Longtail-Latenz 201
  - Messung der Latenz 202
- Leadership 99, 127
- Least Response Time 282
- Legacy Scare 82
- Leistungsmerkmal 65
- Leistungsumfang 93
- Lieferant 30
- Lightweight Directory Access Protocol (LDAP) 338
- Liskov Substitution Principle 155
- Lizenzverwaltung 188
- Load Balancer 281
- Load Balancing 251
- Load Shedding 316
- Local Storage 208, 254
- Log Management 46
  - Störung 271
- Longtail-Latenz 201
  
- M**
- Machine Image 288
- Markup 119
- 4MAT-System 159
- Maven 180
- Maven License Plugin 188
- Mehr-Faktor-Authentifizierung (MFA) 334
- Merging 184, 187
- Message 256
- Message Bus 56
- Message Bus Pattern 56
- Message Exchange Pattern (MEP) 46, 50
- Messkriterium 73
- Metrik
  - Analysierbarkeit 155
  - Apdex Metrik 193, 196
  - Beispiel für die Messung 203
  - Browsermetriken 223
  - Definition 219
  - Engineering Management 174
  - Fehlermetrik 141
  - Finanzmetrik 141
  - Geschäftsereignisse 224
  - JMX 301
  - Kapazitätsmetriken 224
  - Maschinenmetriken 223
  - Messungen 227
  - Monitoring 297, 302
  - Performance-Metriken 235
  - Point of Observation 45
  - Prüfbarkeit 297
  - Qualitätsmodell 67
  - Real User Monitoring (RUM) 108, 153
  - Regeln von Allspaw 304
  - Regeln von Cockcroft 304
  - Retention Policy 295
  - Schichtenmodell der Metriken 222
  - Service Governance 30, 38
  - Service Performance 217
  - SLA 276
  - Testbarkeit 131
  - Testbericht 141
  - Testkonzept 139
  - Testmanagement 137
  - Testmetrik 141
  - Trends 239
  - Umsatz-pro-Zeit-Metrik 302
  - Usage Data Records Service 111
  - Wischiwaschi 88
- Microlith 156
- Microservice
  - Analysierbarkeit 155
  - Architekturstil 8
  - Aufwandsschätzung 176
  - Bottleneck-Analyse 244
  - Cookie-Cutter-Architektur 260
  - Definition 17
  - Dokumentation 159
  - Domänengetriebene Microservices 23
  - Frameworks 122
  - Funktionale Skalierbarkeit 249
  - Funktionale Testabdeckung 135
  - Funktionspunktanalyse 178
  - Governance 30
  - HTTP/2 209
  - Identifikation 40
  - Integrationstests 144
  - Isolation 19
  - Komposition 20
  - Kontextkarte 158, 159
  - Latenzen 201
  - Microservice als Anti-Corruption Layer 32
  - Microservice-Architektur 17
  - Monitoring 301
  - Nachteile 22
  - Point of Observation 45, 147
  - Programmiersprache 217

- Prüfbarkeit 299
- Regeln von Cockcroft 304
- Resilienz 309
- Rollenbasierte Autorisierung 365
- Schneeballeffekt 309
- Single-Responsibility-Prinzip 18
- Skalierbarkeit des Storage 251
- Störung 271
- Teamgröße 32
- Technologische Vielfalt 122
- Testdaten 152
- Testobjekt 141
- Throttling 316
- Versagen antizipieren 314
- Versionskontrolle 184
- Vorteile 21
- Zuverlässigkeit 264
- Mock 148
- Mockup 116
- Modul
  - Definition 20
  - Dokumentation 159
  - Microlith 156
  - Service-Bus-Module 59
- Monitoring
  - Alarm 306
  - Alerting Service 306
  - Application Performance Monitoring (APM) 225
  - Architektur für Monitoring 302
  - Authentication as a Service 351
  - Backups 292
  - Canary Deployments 319
  - Circuit Breaker 322
  - Culling 227
  - Definition 297
  - Escalation Service 306
  - Fehlerkatalog 46
  - Heartbeat 46, 302
  - Incident Resolution 306
  - Kapazitätsregelung 248
  - Lastsimulation 235
  - Log Management 46, 302
  - Longtail-Latenz 201
  - Microservices 301
  - Monitoring Service 219
  - Monitoring-Domäne 219
  - Open Host 51
  - Physisches Versagen 269
  - Point of Observation 45
  - Qualitätsszenario 271
  - Real User Monitoring (RUM) 108, 153

- Regeln von Allspaw 304
- Regeln von Cockcroft 304
- Service Bus 62
- Monolith 17
- Multiplexing 204
- Murphy's Law 309

## N

- N+M-Kapazität 280
- Nachricht 256
- Nachrichtengesteuerte Architektur 256
- Navigation Timing API 202
- Network Time Protocol (NTP) 199
- Network Weather 199
- New Relic 298
- Nginx 228
- Noisy Neighbor 226, 267
- Nutzungsbedingungen 46, 51

## O

- Objektorientierte Modellierung 90
- Öffentliche API 51
- Offsite-Backup 295
- One-Way Messung 199
- Open Host Service 30
- Open Source 188
- Open-Closed Principle 155
- Operational Requirements 283
- Orakel 146
- Origin 209
- Outage 273
  - Planned 275

## P

- Page View 195
- Partitionierung 251
- Payload 46, 47
- Performance
  - Apdex 193
  - Budget 235
  - Definition 193
  - Kapazität 193
  - Latenz 193
  - Metrik 235
  - Router 199
  - Skalierbarkeit 193
  - Traffic 193
  - Transaktion 193
  - Ziele 235
- Perspektive 219
- PHP 228
- Pipe-clean Test 235

Planung 10  
 PMD 166  
 Point of Control (PoC) 146  
 Point of Observation (PoO) 146  
 Point of Presence 209  
 Polling Cache 230  
 Pool 281  
 Prädiktive Analyse 306  
 Pragma 214  
 Product Use Case 105  
 Produktfall 93  
 Produktionsdaten 151  
 Produktionsumgebung 142  
 Produktqualität 131  
 Protokoll 48  
 Prototypen 116  
 Prüfbarkeit
 

- Analysierbarkeit 155
- Architektur für Prüfbarkeit 299
- Definition 297
- Service 51

 Published Language 46  
 Publish-Subscribe-Architektur 257  
 Pull Requests 184

## Q

Qualifizierte Fehler 105  
 Qualifizierte Prozessanalyse 309, 324  
 Qualität
 

- Architektur und Entwurf 7
- Definition 65
- Fehlerquellen 267
- Planung 10
- Programmierung und Architektur 9
- Qualitätsbaum 65
- Qualitätsmodell 65
- Qualitätssicherungsplan 137
- Testkonzept 137

 Qualitätsmerkmal
 

- Analysierbarkeit 155
- Änderbarkeit 171
- Architektur und Entwurf 7
- Autorisierung 357
- Definition 65
- Entwurfsprozess 10
- Herstellbarkeit 283
- Identifizierung 331
- Informationssicherheit 329
- Kapazität 233
- Konsistenz 119
- Konzeptionelle Integrität 85
- Latenz 199

- Performance 193
- Prüfbarkeit 297
- Resilienz 309
- Service Performance 217
- Skalierbarkeit 247
- Testbarkeit 131
- Verfügbarkeit 273
- Wartbarkeit 77
- Zuverlässigkeit 261

 Qualitätsszenario
 

- Analysierbarkeit 158
- Änderbarkeit 175
- Definition 73
- Herstellbarkeit 271
- Kapazität 197
- Konsistenz 121
- Konzeptionelle Integrität 89
- Monitoring 271
- Performance 197
- Prüfbarkeit 271
- Resilienz 272
- Skalierbarkeit 197
- Testbarkeit 135
- Verfügbarkeit 271

 Quelle 73  
 Quelltext 7, 11  
 Queries per Second (QPS) 276  
 Query Latenz 276  
 Queue Draining 282  
 Quota 316
 

## R

Rahmenbedingungen 10, 159  
 Rate-Limiting 230  
 Rating, Charging und Billing Entwurfsmuster 110  
 Reaktive Programmierung 256  
 Reaktive Systeme 65, 256  
 Real User Monitoring (RUM) 219  
 Rechnungen 110  
 Rechte- und Rollen-Konzept 357  
 Recipe 288  
 Recovery Point Objective (RPO) 291, 295  
 Recovery Time Objective (RTO) 291  
 Redundanz 280  
 Region 250  
 Regularien 93  
 Release Management 187  
 Render Performance 194  
 Replikation 240, 293  
 Repository 23  
 Representational State Transfer 44

- Requirements Engineering 101
- Resilienz
  - Canary Deployment 319
  - Canary Request 320
  - Circuit Breaker 322
  - DDoS 317
  - Definition 309
  - Graceful Degradation 324
  - Legacy Integration 56
  - Resilienzanalyse 267
  - Throttling 316
- REST 48
- Restore 291
- Retention Policy 240, 295
- Reverse Proxy 209, 230
- Review 127
- Rezept 288
- Richardson-Maturity-Modell 49
- Risiken 37
- Risiko
  - Auditierung 357
  - Entwurfsprozess 10
  - Kapazität 316
  - Qualitätssicherungsplan 137
  - Risiko Management 37
  - Risikobasierte Authentifizierung 334
  - SPOF 275
  - Testmanagement 137
  - Verfügbarkeit 277
- Role Based Access Control (RBAC) 358
- Rollenmodell 358
- Round Robin 282
- Round Robin DNS 250
- Round Trip 199, 214
- S**
- Sandbox 142
- Schnittstelle 7
- Schnittstellenmodell 46
- Schnittstellentypen 47
- Schufferei eliminieren 286
- Schulungsumgebung 142
- Scope 39, 93
- SDLC 39
- Self Test 300
- Semantic Versioning 187
- Separate Ways 30
- Server Push 204
- Service
  - Definition 11
  - Domänengetriebener Entwurf 23
  - Entwurfsprozess 7
  - Entwurfsstandard 44
  - Microservice-Architektur 17
  - Service Bus 56
  - Service Desk 306
  - Service Governance 23, 37, 44
  - Service Level Agreement (SLA) 51, 276, 291
  - Service Level Indicator (SLI) 276
  - Service Level Target (SLT) 276
  - Service Oriented Architecture (SOA) 44
  - Service Performance 217
  - Servicekatalog 39, 161
  - Serviceorientierte Architektur (SOA) 11
  - SLA 39, 42, 275, 276
  - SLI 276
  - SLT 276
- Sharding 240, 251
- Shared Kernel 30
- Shared Language 30
- Shared-Nothing-Architektur 251
- Signal 256
- Simple Cloud Identity Management (SCIM) 338
- Single Point of Failure (SPOF) 275
- Single Responsibility Principle 155
- Site Reliability Engineer 320
- Skalierbarkeit
  - Cloud-Native Systeme 68
  - Culling 226
  - Definition 247
  - Idempotenz 48
  - Lasttests 235
  - Message Exchange Pattern 50
  - Metriken 219
  - Microservice-Architektur 21
  - Reaktive Systeme 69
  - SOA 14
  - Synchrone Replikation 293
- Slashdot 247
- Slow Start 204
- Smoke-Test 142
- Snapshot 258, 293
- Snowflake Server 286
- SOA 44
- Software Probe 300
- Softwarearchitektur 7
- Software design 7
- SOLID 155
- SonarQube 166
- Source-Code-Qualität 166
- Soziotechnisches Feedbacksystem 11
- Speicherkapazität 240
- Spike Test 235



- Spriting 204
  - SQALE 166
  - Stack 250
  - Stack Overflow 320
  - Stakeholder
    - Architektur kommunizieren 7
    - Emergente Eigenschaften 14
    - Servicekatalog 39
    - Soziotechnisches Feedbacksystem 12
    - Stakeholder Management 96
    - Systemkontext 93
  - Sticky Session 251
  - Sticky Sessions 282
  - Stimulus 73
  - Storage
    - Dateninventar 38, 42, 161
    - Definition 240
    - Kapazität 233, 240
    - Microservice 17, 19
    - Shared Storage 240
    - Storage Area Network 240
    - Storage State 240, 291
    - Testdaten 152
    - Tuning 227
  - Störung 273, 279
  - Story 101
  - Streaming 50
  - Stress Test 235
  - Stub 148
  - Subdomäne 23
  - Synchrone Aufrufe 50
  - Synchrone Replikation 293
  - Synthetic Monitoring 219
  - System of Record 56
  - System under Test (SUT) 235
  - Systemgrenze 93
  - Systemkontext 93
  - Systemkontextgrenze 93
  - Systemrolle 358
  - Systemziele 99
  - Szenario 105
- T**
- Tagging 187
  - Tauglichkeit 79
  - Team 125, 127
  - Teamgröße 30
  - Technischer Benutzer 181
  - Technologie 176
  - Test
    - Definition 131
    - Integration Build 137
    - Metrik 131
    - Test Case 137
    - Test Double 39, 148
    - Test Engineering 137
    - Test Execution 137
    - Test Harness 137, 146, 185
    - Test Management 137
    - Test Manager 131
    - Test Plan 131
    - Test Service 148
    - Testbarkeit 131
    - Testdaten 151, 235
    - Testfallkatalog 137
    - Testkonzept 137
    - Testobjekt 131
    - Testumgebung 142
  - Think Time 235
  - Thread Pool 227
  - Throttling 51, 316
  - Throughput 199
  - Timer 336
  - Time-to-first-byte (TTFB) 195
  - TLS Handshake 202
  - Tomcat 228
  - Traceroute 202
  - Traffic 193
  - Traffic Spike 247
  - Transaktion 193
  - Transaktionslog 293
  - Transport Layer Security (TLS) 204
  - Tuning 227, 235
- U**
- UAT 142
  - Ubiquitous Language 90
  - Umgebung 73
  - UML 163
  - Unit Tests 142
  - Upstream-Service 30
  - Usage Model 235
  - Use Case 105
  - User Acceptance Test 142
  - User Experience Design (UX) 88, 101
  - User Managed Access (UMA) 338
  - User-Acceptance-Umgebung 142
- V**
- Value Object 23
  - Value Stream 286
  - Verfügbarkeit
    - Berechnung der Verfügbarkeit 277
    - Definition 273

- Lastverteilung 281
- N+M Kapazität 280
- Verbesserung der Verfügbarkeit 279
- Verhandlung 73
- Verjüngung 307
- Version Control System 180
  - Branching 187
  - Merging 187
  - Tagging 187
- Versionskontrolle 184
- Vertikale Skalierbarkeit 247
- Vertrag 7
- Vertrauen 171
- Virtualisierung 288
- Visual Facilitation 116
- Volume Test 235

**W**

- Warm Spare 280
- Warm-Up 230
- Wartbarkeit 79
  - Adaptive Wartbarkeit 81

- Korrektive Wartbarkeit 81
- Perfektive Wartbarkeit 81
- Präventive Wartbarkeit 81
- Web API 51
- Weighted Least Connections 282
- Werksvertrag 101
- Wertobjekt 23
- Widerstandsfähigkeit 309
- Wireframes 116
- Wischiwaschi 85
- Workflow Services 159

**X**

- X.509 338
- XML 47

**Z**

- Ziele 39, 99
  - PAM-Methode 99
  - SMART 99
- Zuverlässigkeit 261, 273
- Zyklomatische Komplexität 166