

Enterprise Architektur-Muster

**Modul “Software Engineering” (Prof. Dr. Andreas Both, Wi-Se 2024/2025)
an der HTWK Leipzig**

Anwendungsfall E-Commerce I

- Ziel: Backend für internationales E-Commerce-System
- MVP: Bestellungen, Bezahlung und Versand
- Zukünftig viele Nutzer und hoher Traffic erwartet
- Geringes Kapital für Infrastruktur
- Rechtliche Regularien teilweise unklar, weil international
- Hohe Sicherheitsanforderungen
- Agiles Team von acht fähigen Entwicklern
- Geldgeber wollen erste Auslieferung in zwei Wochen

Anwendungsfall E-Commerce II

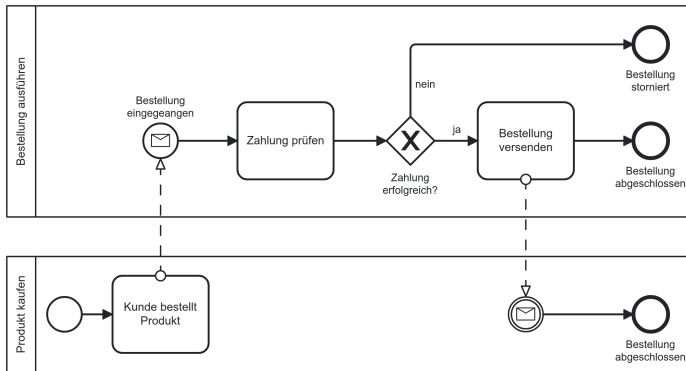


Abbildung 1: Geschäftsprozess zum Aufgeben einer Bestellung

Grundlagen und Anforderungen

- Architectura lateinisch für: *Wissenschaft der Baukunst*
- Software-Architektur: Grundlegende Struktur und Beziehungen von Teilen einer Software [4]
- Enterprise-Architektur (EA): Grundlegende Struktur und Beziehungen von Komponenten eines Systems
- EA beschreibt Prozess und Ergebnis (vgl. Bedeutung latein. *architectura*)
- Ziel: Ausrichtung von Geschäft und IT
- Umsetzung durch EA-Muster: Spezifische Strategien zur Ausrichtung

Monolithic Architecture

Monolithic Architecture

- Monolith ist altgriechisch für *einheitlicher Stein*
- Einheitlich: Alles ist eins - alle Funktionalitäten in einer Komponente [1]
- Stein: Altes Material - früher gut. Heute schlecht?
- Problem: Enge Kopplung

Monolithic Architecture: Beispiel E-Commerce



Abbildung 2: E-Commerce-Beispiel mit Monolithic Architecture

Monolithic Architecture: Agilität

- Enge Kopplung ist fatal
 - Keine kleinen autonomen Teams
 - Erhöhte Komplexität und schwere Wartung \Rightarrow längere Iterationen \Rightarrow unflexibel
 - Funktionalitäten nicht wiederverwendbar \Rightarrow Mehraufwand & Duplikation \Rightarrow Änderungen teuer
 - Isolierte Funktionstests sind möglicherweise aufwendig
- Auslieferung nur im Ganzen & längere Iterationen \Rightarrow seltene Auslieferung
- Verpflichtung auf genau eine Technologie
- Horizontale Skalierung kaum möglich
- Aber: System ist nicht verteilt \Rightarrow Keine Intersystemkommunikation \Rightarrow Geringe Time-to-Market & möglicherweise einfache System-Tests

Modular Monolithic Architecture

Modular Monolithic Architecture

- Bisher: Eine eng gekoppelte Komponente
- Jetzt: Eine Komponente mit lose gekoppelten Teil-Funktionalitäten (Modulen)
- Evolution monolithischer Architektur, um Komplexität zu verringern [7]

Modular Monolithic Architecture: Beispiel E-Commerce



Abbildung 3: E-Commerce-Beispiel mit Modular Monolithic Architecture

Modular Monolithic Architecture: Agilität

- Im Vergleich zu Monolith: Verbesserungen bezüglich Entwicklung
 - Reduzierte Komplexität \Rightarrow bessere Wartbarkeit
 - Modularisierung ermöglicht kleine semi-autonome Teams
- Noch immer problematisch:
 - Deployment im Ganzen
 - Keine horizontale Skalierung
 - Keine Wiederverwendbarkeit von Funktionalitäten

Service-oriented Architecture

Service-oriented Architecture

- Bisher: Eng gekoppelte Funktionalitäten
- Jetzt: Lose Kopplung von Funktionalitäten durch Kapselung als Dienst
- Ziel Service-oriented Architecture (SOA): Wiederwendung von Funktionalitäten [**soa**]

Service-oriented Architecture: Komponenten

- Service Provider: Stellt spezifischen Dienst bereit
- Service Consumer: Nutzt bereitgestellten Dienst
- Broker: Vermittler, der Kommunikation zwischen Consumer und Provider regelt
- Service Registry: Sammlung von Metadaten zu Services und deren Provider

Service-oriented Architecture: Struktur

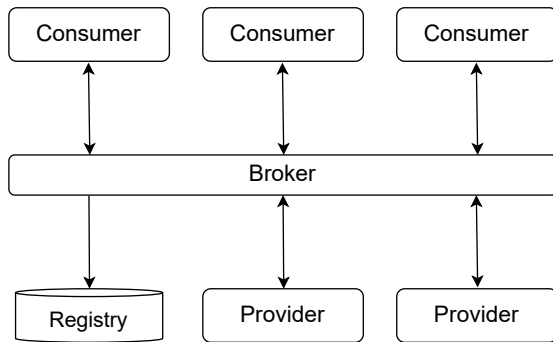


Abbildung 4: Aufbau der Service-oriented Architecture

Service-oriented Architecture: Beispiel E-Commerce I

- OrderService: Dienst für Verwaltung von Bestellungen
- PaymentService: Dienst für die Abwicklung von Zahlungen (Service von PayPal, ...)
- ShipmentService: Dienst für den Versand (Service von DHL, ...)

Service-oriented Architecture: Beispiel E-Commerce II

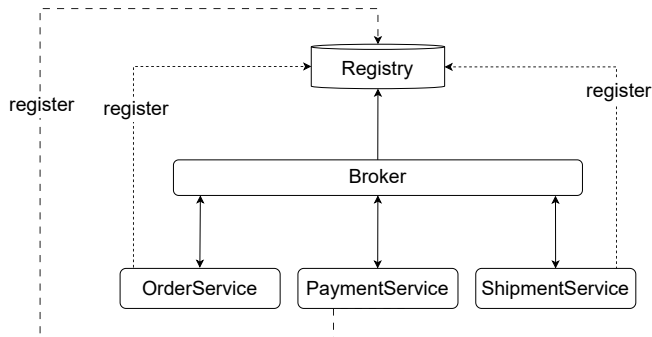


Abbildung 5: E-Commerce-Beispiel mit Service-oriented Architecture

Service-oriented Architecture: Agilität

- Wie bei modularem Monolithen: Lose Kopplung \Rightarrow kleine autonome Teams
- Aber zusätzlich: Deployment in Teams \Rightarrow kürzere Iterationen & häufigere Auslieferung
- Dadurch: Flexibler gegenüber wechselnden Anforderungen
- Zeit- und Kosteneinsparungen durch Wiederverwendung von Diensten
- Eigenständige Dienste ermöglichen horizontale Skalierung
- Aber: Langfristig Abhängigkeiten zwischen Diensten, besonders für grob-granulare Dienste

Microservice Architecture

Microservice Architecture

- Bisher: SOA - Aufteilung in Services
- Jetzt: feiner granuliert und vollständig isolierte Services
- Jeder Service hat eigene private Persistenz
- Kommunikation untereinander über Netzwerkprotokolle
- API-Gateway vermittelt zwischen Client und Services

Microservice Architecture: Struktur

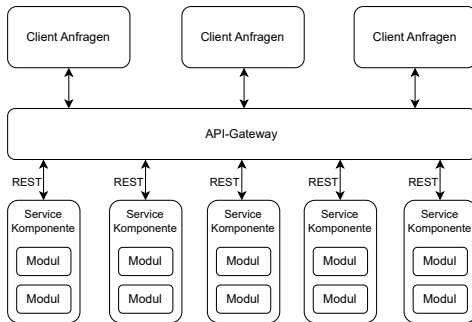


Abbildung 6: Aufbau einer Microservices Architecture

Microservice Architecture: Beispiel E-Commerce I

- API-Gateway für Client Anfragen
- Auslagerung der Business Logik in isolierte Services
- Unabhängige Services für Bestellung, Bezahlung und Versand
- Aufteilung der zentralen Datenbank in private Persistenzen
- Erweiterung durch zusätzliche Services, horizontale Skalierung gut möglich
- Architekturmuster sehr passend für Anwendungsfall

Microservice Architecture: Beispiel E-Commerce II

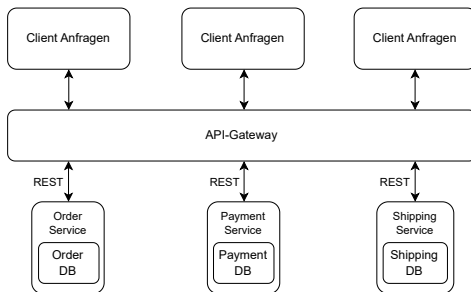


Abbildung 7: E-Commerce-Beispiel mit Microservices Architecture

Microservice Architecture: Agilität

- Lose Kopplung der Services \Rightarrow einfaches Testen, Ausliefern und Entwickeln
- Kürzere Iterationen durch einfache Regressionstests
- Live-Deployments können ohne Downtime aktualisiert werden
- Services separat voneinander skalierbar
- Aber: Geringere Performance als andere Muster, da Netzwerklatenzen
- Aber: Aufwendige Integrationstests durch hohe Anzahl an Komponenten
- Aber: Initialer Aufwand höher, da Spezifizierung von Schnittstellen und Architektur nötig [6]
- Fazit: In vielen agilen Umgebungen sinnvoll, aber angemessene Granularität und korrekte Aufteilung wichtig

Layered Architecture

Layered Architecture

- Bisher: Isolierter Microservice pro Funktionalität
- Problem: Redundanz in Schnittstellen-Logik (Logging, Authentifizierung, ...)
- Jetzt: Aufteilung System in Schichten
- Ziel: Separation of Concerns & Layers of isolation [6]

Layered Microservice Architecture: Beispiel E-Commerce

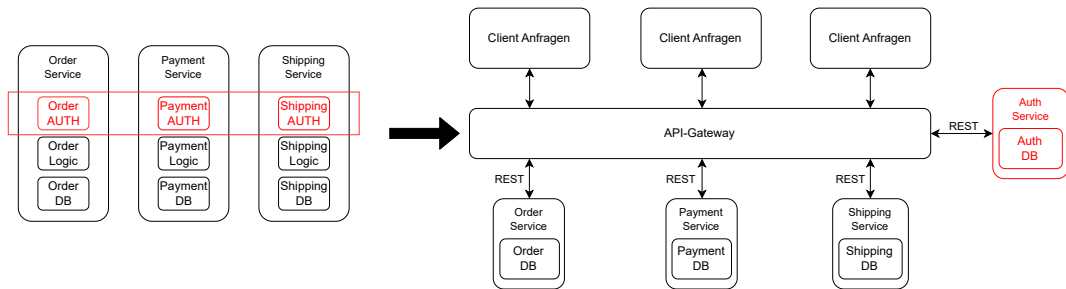


Abbildung 8: E-Commerce Beispiel mit geschichteter Microservice Architektur

Layered Architecture: Agilität

- Separation of Concerns \Rightarrow kleine autonome Teams
- Layers of isolation \Rightarrow hohe Flexibilität
- Funktionalitäten wiederverwendbar \Rightarrow Auslieferung in kurzen Intervallen
- Kombination mit anderen EA-Mustern sehr sinnvoll

Event-Driven Architecture

Event-Driven Architecture

- Bisher: Expliziter Aufruf von Funktionalitäten
- Jetzt: Impliziter Aufruf durch Reaktion auf Ereignisse [3]
- System reagiert asynchron auf Zustandsänderung (Ereignis in System)
- Alte Idee: David Garlan und Mary Shaw, 1994, *An Introduction to Software Architecture*

Event-Driven Architecture: Komponenten

- Event: Kapselt Information einer Zustandsänderung eines Systems [5]
- Produzent: Erzeugt Event
- Publisher: Publiziert erzeugtes Event
- Konsument: Reagiert auf Event
- Mediator: Vermittler zwischen Produzenten und Konsumenten
- Event-Broker: Infrastruktur für Gesamtheit der Vermittler

Event-Driven Architecture: Struktur

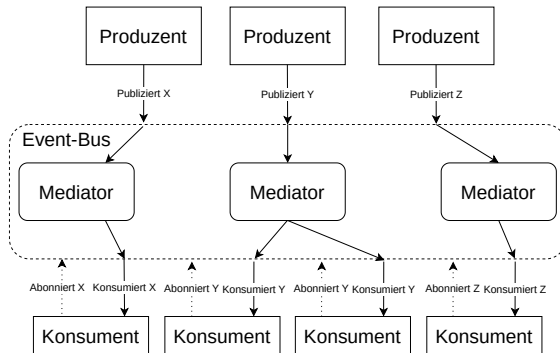


Abbildung 9: Vertrag zwischen Produzenten und Konsumenten am Event-Bus

Event-Driven Architecture: Beispiel E-Commerce I

- OrderCreated: Genau dann, wenn Bestellung aufgegeben wird
- PaymentProcessed: Genau dann, wenn Bezahlvorgang abgeschlossen wird
- ShipmentInitiated: Genau dann, wenn Bestellung versandt wird
- Event-Kette: OrderCreated → PaymentProcessed → ShipmentInitiated
- Implementierung in Diensten: OrderService, PaymentService, ShipmentService

Event-Driven Architecture: Beispiel E-Commerce II

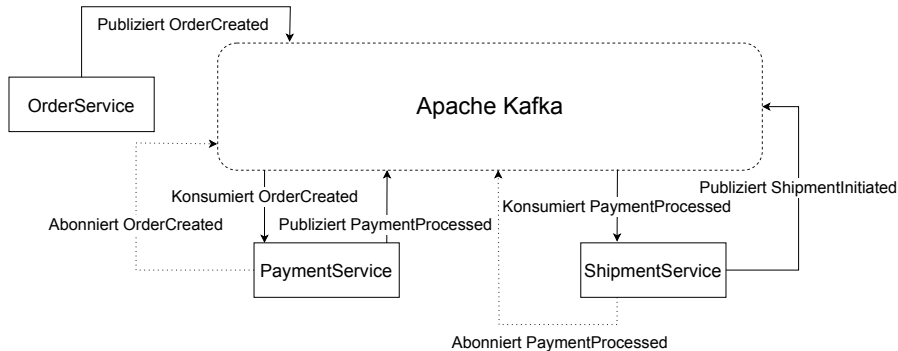


Abbildung 10: E-Commerce-Beispiel mit Event-Driven Architecture

Event-Driven Architecture: Agilität

- Event ist Vertrag zwischen Produzent und Konsument am Event-Broker
⇒ Hohe Kohäsion ⇒ Lose Kopplung
- Feature: Menge von Events, deren Produzenten und Konsumenten
⇒ Klare Abgrenzung ⇒ einfach definierbare Iterationen
- Events sind sehr realitätsnah - domain-driven
- Sehr hohe Flexibilität & maximale Skalierung durch lose Kopplung
- Schnelle Auslieferung, kurze Intervalle
- Exzellente Kombination mit Microservices & Cloud-Integration
- Aber: Erhöhte Komplexität ⇒ Hohe Anforderungen an Entwickler

Cloud-native Architecture

Cloud-Native Architecture

- Bisher: Vorab-Allokation von Ressourcen
- Jetzt: Allokation genau dann, wenn notwendig
- Cloud-Native: Explizit für die Cloud entwickelte Applikationen [2]
- Annahme: Infrastruktur ist in ständigem Wandel
- Folgerung: Infrastruktur auslagern - an Cloud-Vendor
 - Globale Nutzung durch Geo-Redundanz: Starke Verteilung und hohe Verfügbarkeit
 - Auto-Scaling: Dynamische Skalierung basierend auf Nachfrage
 - Pay-as-you-go, Scale-to-zero: Nur verwendete Ressource wird bezahlt
 - Zero Downtime

Cloud-Native Architecture: Technologie

- Containerisierung: Jede Komponente eines Systems ist Container
- Dynamische Orchestrierung: Aktives Container-Management zur Ressourcenoptimierung
- Microservice-Architektur ist Fundament - ergänzt durch Cloud-Dienste
- Fully Managed Cloud-Services: Business-Logik statt Infrastruktur

Cloud-Native Architecture: Beispiel E-Commerce

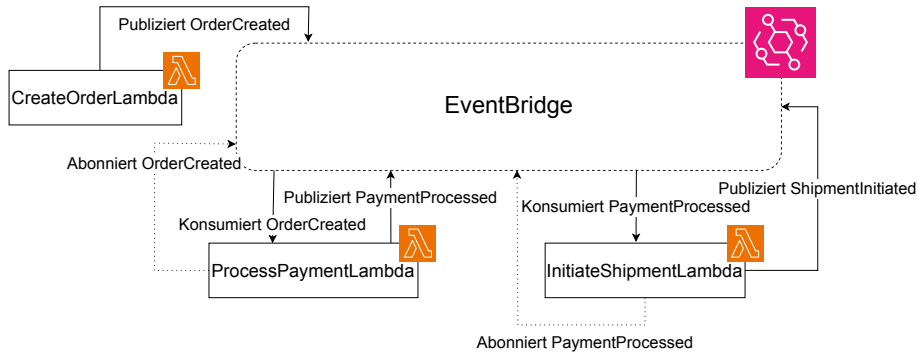


Abbildung 11: E-Commerce-Beispiel mit Cloud-Native Architecture in AWS

Cloud-Native Architecture: Agilität

- Alle agilen Vorteile von Microservice- und Event-Driven Architecture
- Fokus auf Business-Logik & einfaches Deployment \Rightarrow Kurze Iterationen
- Maximale Flexibilität für Nachfrage durch Auto-Scaling
- Finanzielle Agilität: Pay-as-you-go
- Aber: Kostenrisiken durch Auto-Scaling und Pay-as-you-go
- Achtung: Vendor-Lock-In durch proprietäre Fully Managed Cloud-Services

Microkernel Architecture

Microkernel Architecture

- Aufteilung der Anwendung in zwei Arten von Komponenten [6]
- Kern:
 - Minimale Funktionalität
 - Bietet Schnittstelle für Erweiterungen/Plugins
 - Enthält Plugin-Registry
- Module:
 - Erweitern Kern um Funktionalitäten
 - Kommunikation über definierte Schnittstellen
 - Lose gekoppelt, unabhängig und isoliert voneinander
 - Verbindung über verschiedene Wege möglich (REST, Messaging, Objekt Instanziierung, ...)

Microkernel Architecture: Struktur

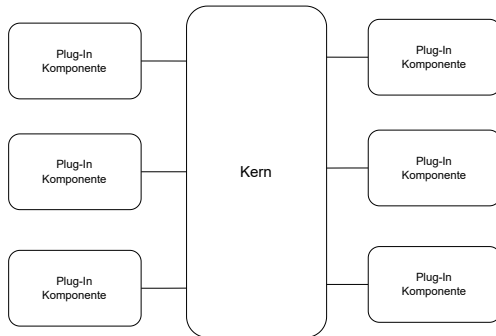


Abbildung 12: Aufbau einer Microkernel Architecture

Microkernel Architecture: Beispiel E-Commerce I

- Kern: Großteil der Funktionalität
- Module: Auslagerung von Business-Logik zum Bezahlen und Versenden
- Einfache Erweiterbarkeit durch neue Dienstleister
- Komplexer Kern, hohe Kopplung der übrigen Funktionalitäten
- Als einziges Architekturmuster eher nicht geeignet, jedoch in Kombination mit anderen sinnvoll

Microkernel Architecture: Beispiel E-Commerce II



Abbildung 13: E-Commerce-Beispiel mit Microkernel Architecture

Microkernel Architecture: Agilität

- Lose Kopplung der Module \Rightarrow schnelle Reaktionsfähigkeit auf Änderungen
- Module können einfach ausgetauscht werden \Rightarrow geringe Downtime
- Einfach testbar, da Module unabhängig und isoliert voneinander
- Kurze Iterationen und Auslieferungszeiten bei Erweiterung der Anwendung
- Aber: Hoher initialer Aufwand durch teuren Kern, eher hohe Time-to-Market
- Aber: Hoher Aufwand, wenn Kern später Anpassungen benötigt
- Fazit: In ausgewählten Anwendungsfällen sinnvoll, aber nicht universell in agilen Umgebungen einsetzbar

Zusammenfassung

- EA ist dynamische Strategie (Vision), um IT auf Business auszurichten
- Wahl EA beeinflusst Agilität in Entwicklung substantiell
- (Modularer) Monolith: Eine (aus Funktionalitäten bestehende) Komponente
- SOA: Wiederverwendbarkeit von Funktionalitäten durch (meist grobe) Dienste
- Micro-Kernel: Kernfunktionalität wird um Zusatzfunktionalitäten erweitert
- Microservices: Isolierung von Funktionalitäten durch feine Dienste
- EDA: Asynchrone Reaktion auf Ereignisse
- Cloud-Nativ: Auslagerung Verwaltung Infrastruktur \Rightarrow Fokus auf Businesslogik
- Es gibt keine beste Architektur - Wahl ist anwendungsspezifisch und meist Kombination mehrerer EA-Muster

Literatur I

- [1] Grzegorz Blinowski, Anna Ojdowska und Adam Przybyłek. “Monolithic vs. Microservice Architecture: A Performance and Scalability Evaluation”. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 20357–20374. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3152803.
- [2] Dennis Gannon, Roger Barga und Neel Sundaresan. “Cloud-Native Applications”. In: *IEEE Cloud Computing* 4.5 (2017), S. 16–21. DOI: 10.1109/MCC.2017.4250939.
- [3] David Garlan und Mary Shaw. *An Introduction to Software Architecture*. Techn. Ber. CMU/SEI-94-TR-021. Accessed: 2025-Jan-2. Jan. 1994. URL: <https://insights.sei.cmu.edu/library/an-introduction-to-software-architecture/>.

Literatur II

- [4] Danny Greefhorst und Erik Proper. “The Role of Enterprise Architecture”. In: *Architecture Principles: The Cornerstones of Enterprise Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 7–29. ISBN: 978-3-642-20279-7. DOI: [10.1007/978-3-642-20279-7_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_2). URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_2.
- [5] Ramakrishna Manchana. “Event-Driven Architecture: Building Responsive and Scalable Systems for Modern Industries”. In: *International Journal of Science and Research (IJSR)* 10 (Jan. 2021), S. 1706–1716. DOI: [10.21275/SR24820051042](https://doi.org/10.21275/SR24820051042).
- [6] Mark Richards. *Software Architecture Patterns*. O'Reilly Media, Inc., 2015, value. ISBN: 9781491925409.

Literatur III

- [7] Ruoyu Su und Xiaozhou Li. “Modular Monolith: Is This the Trend in Software Architecture?” In: *Proceedings of the 1st International Workshop on New Trends in Software Architecture*. SATrends '24. Lisbon, Portugal: Association for Computing Machinery, 2024, S. 10–13. ISBN: 9798400705601. DOI: 10.1145/3643657.3643911. URL: <https://doi.org/10.1145/3643657.3643911>.