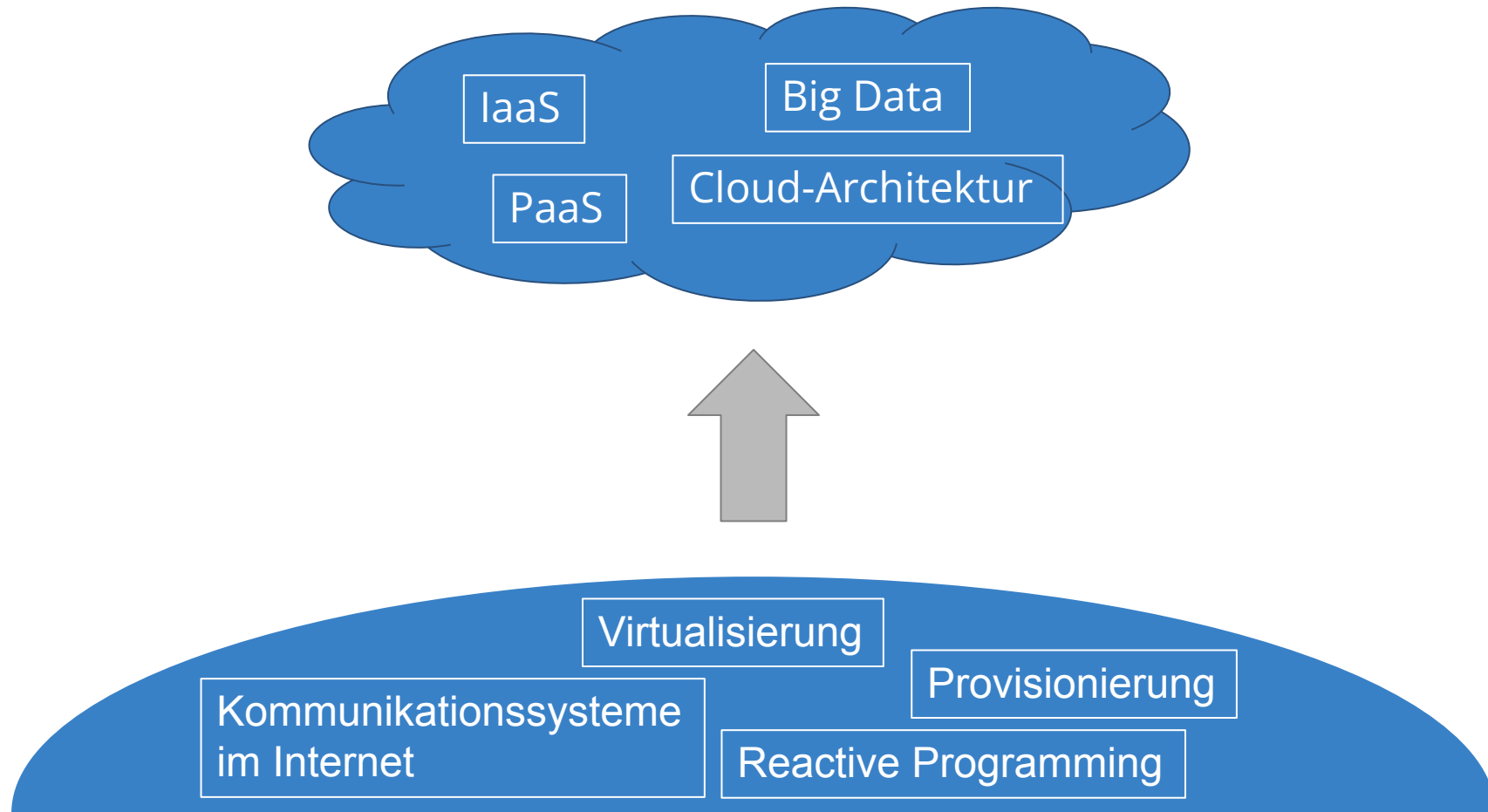


Kapitel 5: Infrastructure-as-a-Service

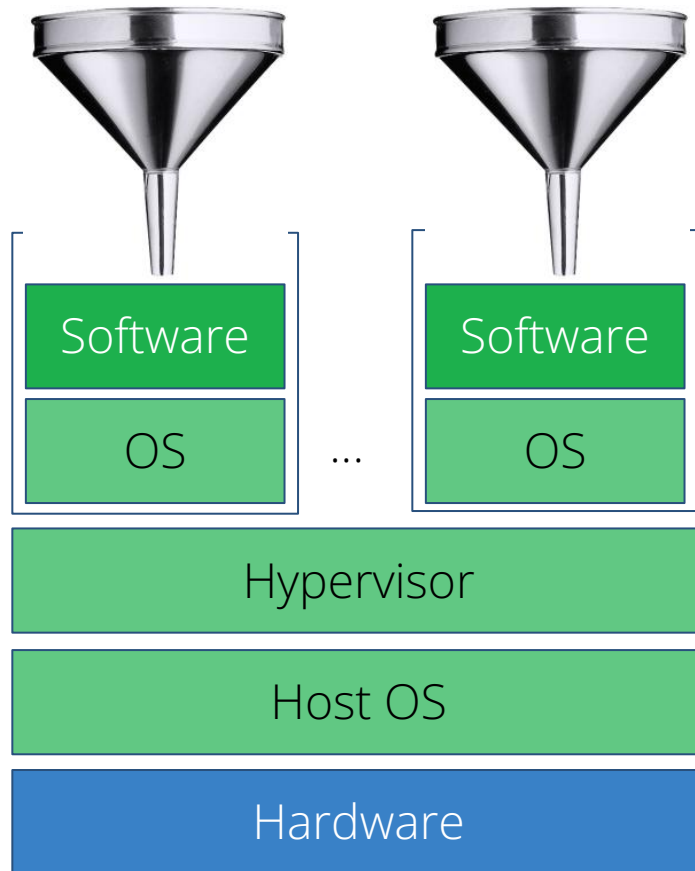


Vorlesung
**CLOUD
COMPUTING**

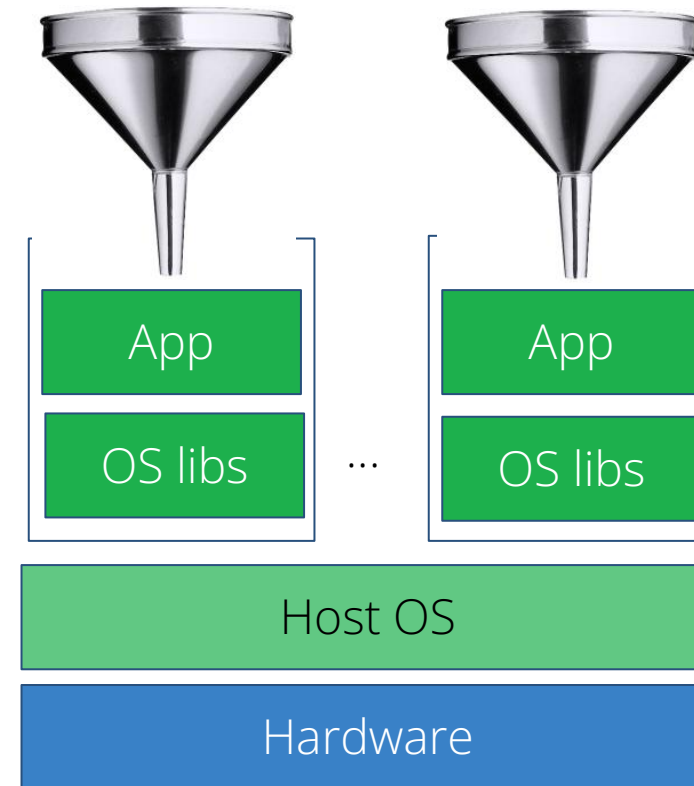
Ab heute sind wir in der Cloud.



Die letzte Vorlesung: Wie kommt Software auf das Blech?

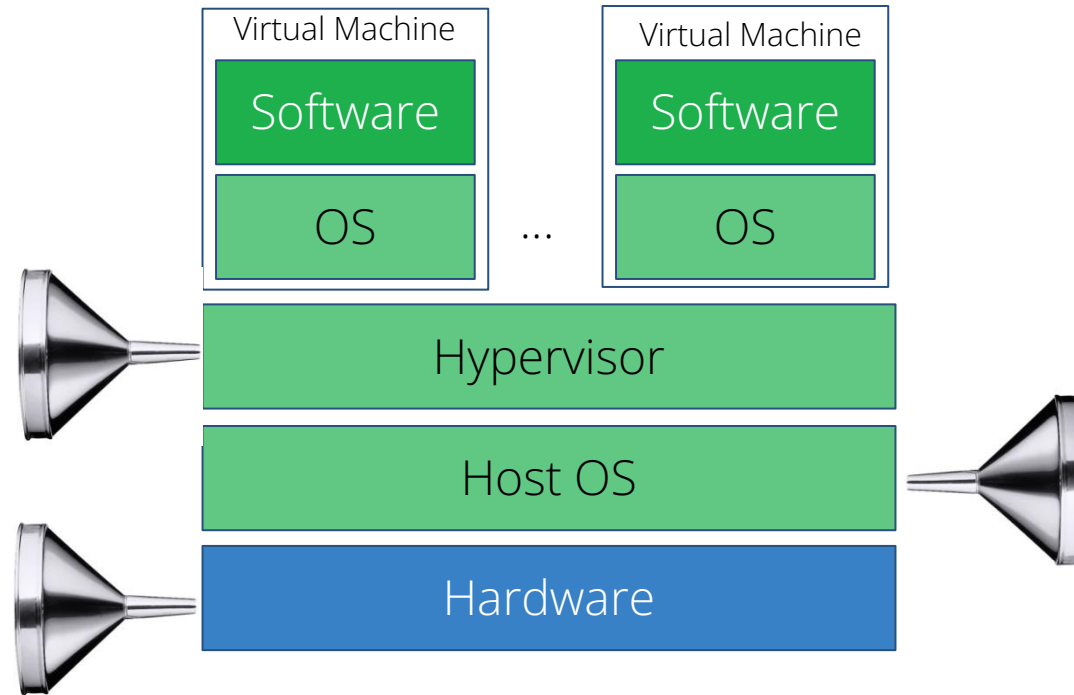


Hardware-Virtualisierung

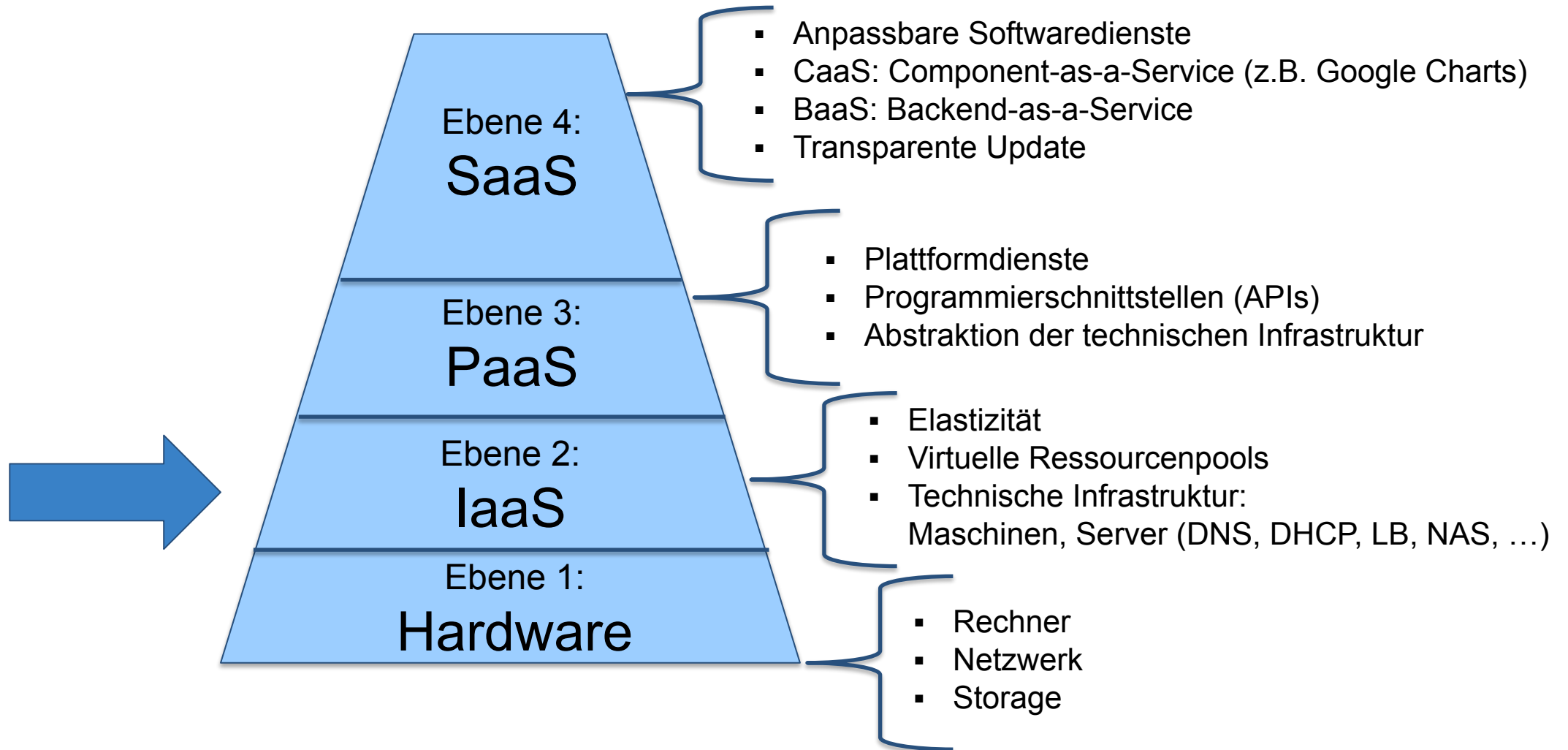


Betriebssystem-Virtualisierung

Heute: Wie kommt Software an das Blech?



Das Schichtenmodell des Cloud Computing: Vom Blech zur Anwendung.





Einführung: Infrastructure-as-a-Service

Time2System im letzten Jahrhundert: > 1 Jahr.



- ✓ Rechner kaufen
- ✓ Raum ausbauen
- ✓ Rechner installieren
- ✓ (Programme schreiben)
- ✓ Programme installieren

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gro%C3%9Frechner>

Time2System in der Cloud-Ära: In Echtzeit.

Slashdot-Effekt

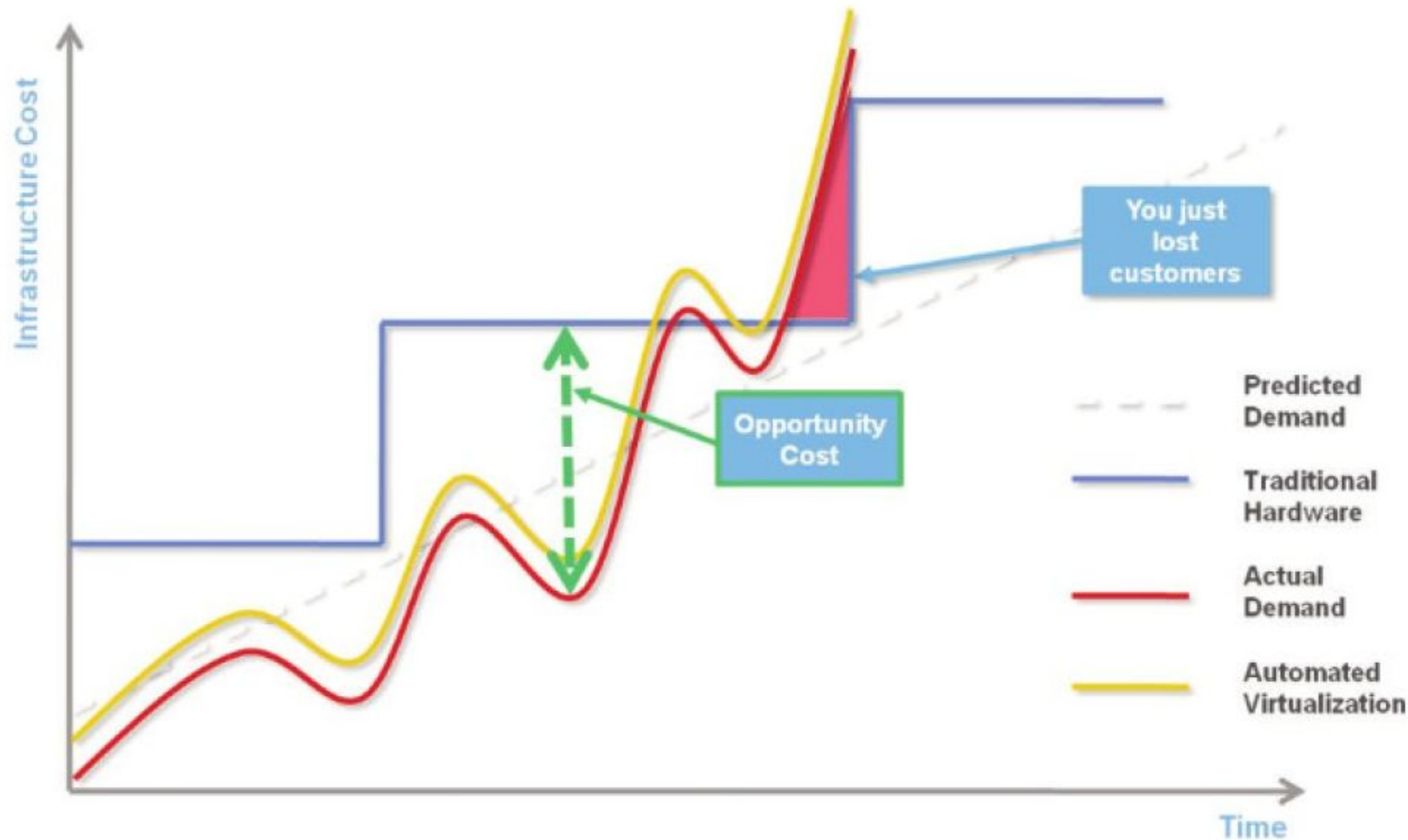
Der sogenannte **Slashdot-Effekt** oder das **Slashdotting** tritt auf, wenn eine bisher wenig populäre [Website](#) von einem [IT-Online-Magazin](#) wie [Slashdot](#) oder [heise](#) aufgegriffen wird und so binnen Minuten ein erheblicher Benutzeransturm auf die Website beginnt. Dieser führt oft dazu, dass erheblicher [Traffic](#) verursacht wird und der [Server](#) vorübergehend einzelne Anfragen nicht mehr oder nur noch sehr langsam beantworten kann. Die Seite ist dann „geslashdottet“ (engl. *slashdotted*).

Große Websites, die von einer Server-Farm bedient werden, haben meistens keine Probleme mit dem erhöhten Traffic. Es sind vor allem kleinere Einzel-Server, die einem Slashdot-Effekt zum Opfer fallen. Manchmal wird der Slashdot-Effekt scherzhaft mit einem [Distributed-Denial-of-Service](#)-Angriff verglichen.

Um den Ansturm auf die betroffenen Seiten zu reduzieren, werden von unabhängigen Seiten immer wieder [Mirrors](#) angeboten in der Hoffnung, dass die Leser auf die Mirrors anstelle der Originalseite zugreifen. Koordiniert werden solche Projekte von [Coral](#) und [MirrorDot](#).



Klassische Betriebsszenarien werden bei dynamischer Nachfrage teuer. Hohe Opportunitätskosten.



Source: Amazon Web Services

Definition IaaS

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

Eigenschaften einer IaaS-Cloud:

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

Ressourcen-Typen in einer IaaS-Cloud:

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

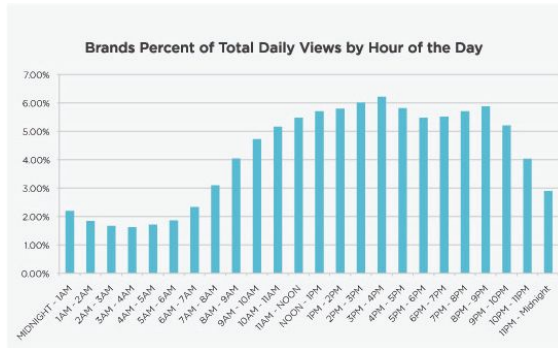
Infrastruktur-Dienste einer IaaS-Cloud:

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

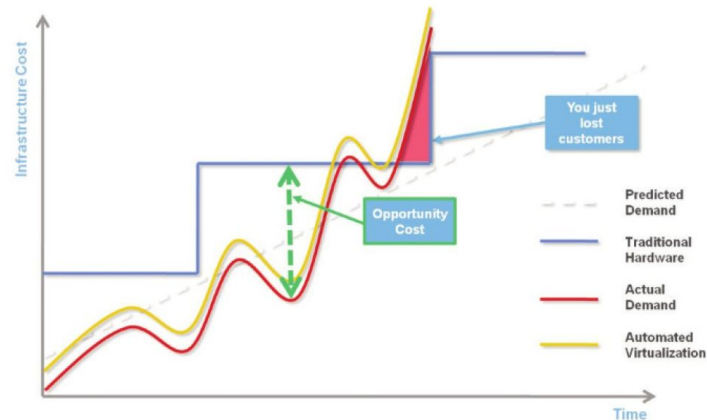
Skalierbarkeit: Effekte

■ Tageszeitliche und saisonale Effekte:

Mittags-Peak, Prime-Time-Peak, Wochenend-Peak,
Weihnachten, Valentinstag, Muttertag, ...
(vorhersehbare Belastungsspitzen)



■ Kontinuierliches Wachstum

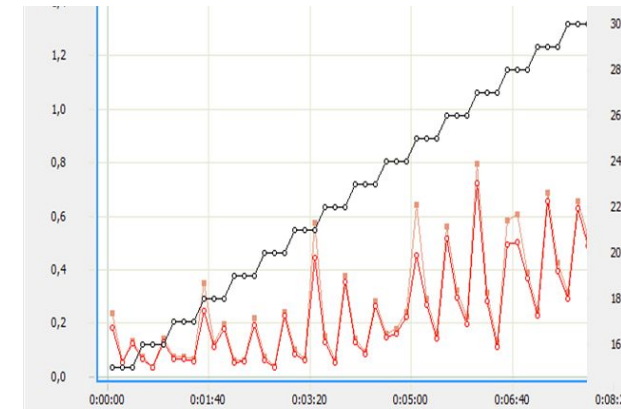


Source: Amazon Web Services

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



■ **Temporäre Plattformen:** Projekte, Tests, Batch...



Elastizitätsarten

Nachfrageelastizität: Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit der Nachfrage.

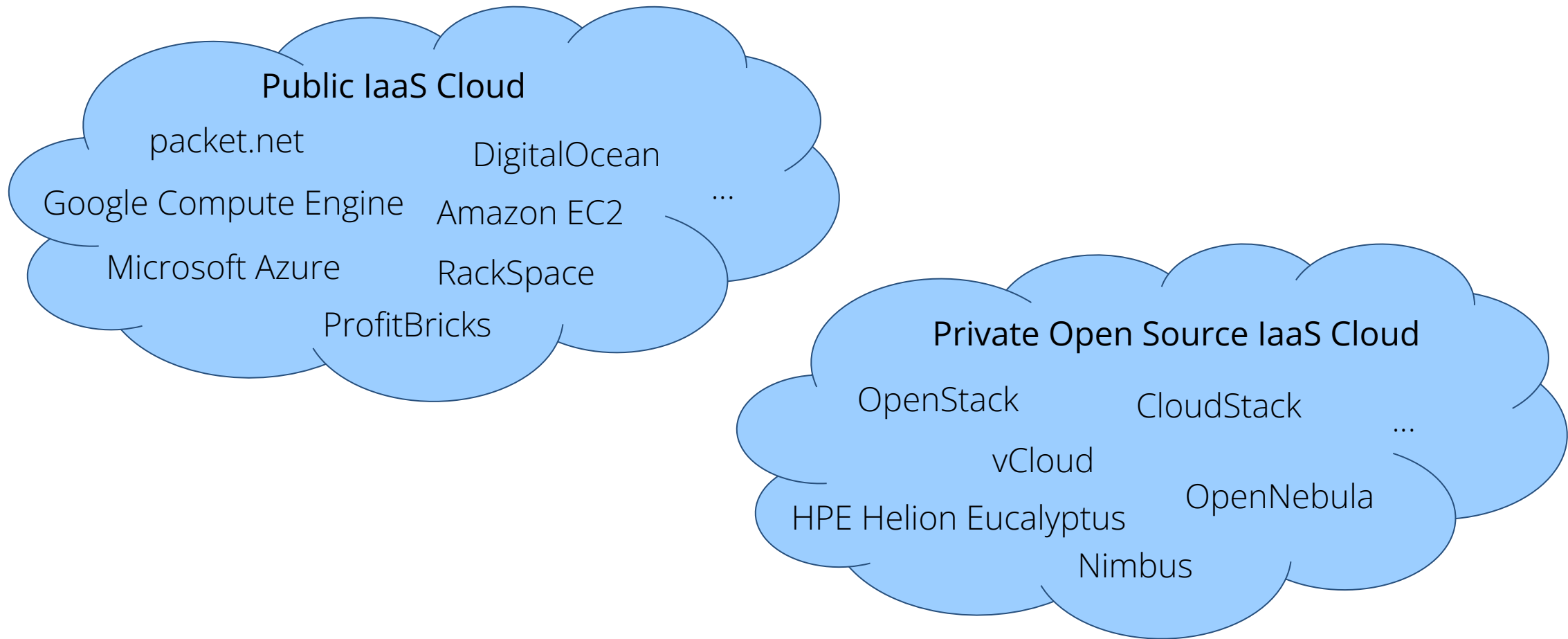
- Pseudo-Elastizität: Schneller Aufbau. Kurze Kündigungsfrist.
- Echtzeit-Elastizität: Allokation und Freigabe von Ressourcen innerhalb von Sekunden. Automatisierter Prozess mit manuellen Triggern oder nach Zeitplan.
- Selbstadaptive Elastizität: Automatische Allokation und Freigabe von Ressourcen in Echtzeit auf Basis von Regeln und Metriken.

Angebotselastizität: Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit dem Angebot.

- Dies ist das typische Verhalten eines Grids: Alle verfügbaren Rechner werden allokiert.
- Es sind auch Varianten verfügbar, bei denen man für freie Ressourcen bieten kann.

Einkommenselastizität: Die allokierten Ressourcen steigen / sinken mit dem Einkommen bzw. dem Budget.

Es gibt vielerlei Anbieter für Public und Private IaaS Clouds.



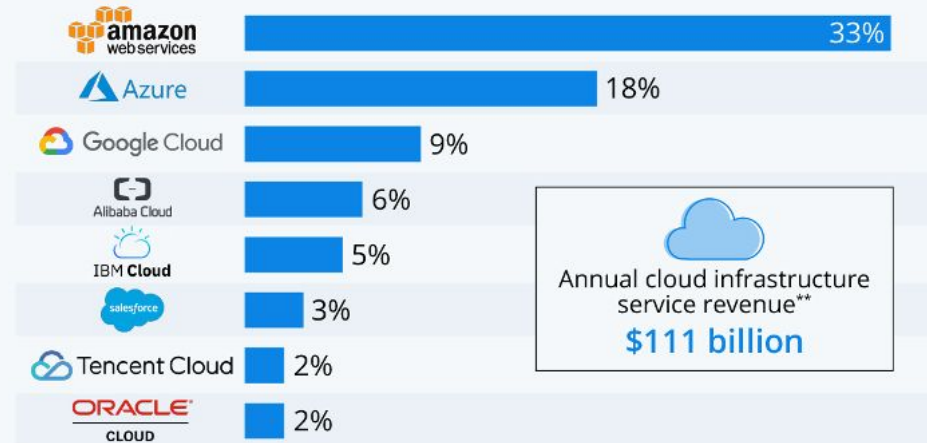
Der IaaS Markt 2020

Figure 1. Magic Quadrant for Cloud Infrastructure and Platform Services



Amazon Leads \$100 Billion Cloud Market

Worldwide market share of leading cloud infrastructure service providers in Q2 2020*



* includes platform as a service (PaaS) and infrastructure as a service (IaaS) as well as hosted private cloud services

** 12 months ended June 30, 2020

Source: Synergy Research Group



statista

2020 Magic Quadrant for Cloud Infrastructure & Platform Services
<https://pages.awscloud.com/GLOBAL-multi-DL-gartner-mq-cips-2020-learn.html>

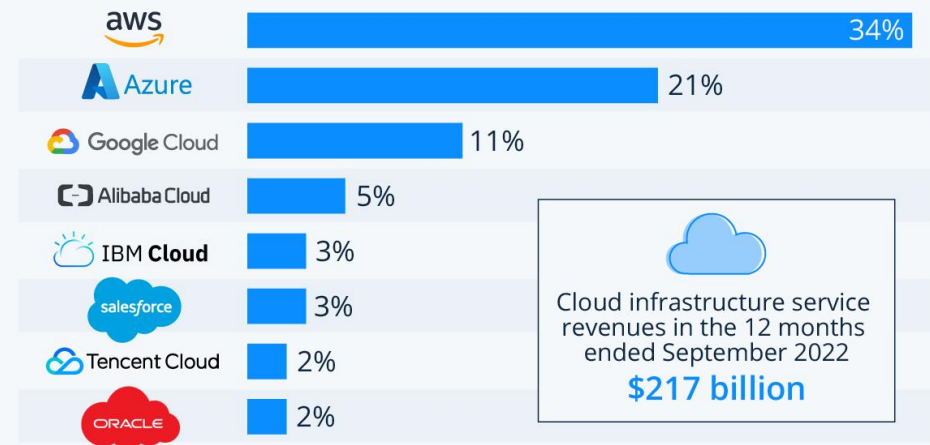
Der IaaS Markt 2022

Abbildung 1: Magic Quadrant für Cloud-Infrastruktur und Plattform-Services



Amazon, Microsoft & Google Dominate Cloud Market

Worldwide market share of leading cloud infrastructure service providers in Q3 2022*



* includes platform as a service (PaaS) and infrastructure as a service (IaaS) as well as hosted private cloud services

Source: Synergy Research Group



statista

2022 Magic Quadrant for Cloud Infrastructure & Platform Services

<https://www.gartner.com/technology/media-products/reprints/AWS/1-2AOZQARU-DEU.html>

Kriterien bei der Auswahl einer passenden IaaS-Cloud

- Unterstützte Cloud-Varianten (Private Cloud, Public Cloud, Hybrid Cloud, ...)
- Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit
- Sicherheit und Datenschutz
- Vorhersagbare und stabile Performance
- Preismodell: Fixe und flexible Kosten
- Skalierbarkeit: Grenzen, Automatismen und Reaktionszeiten
- Lock-In der Daten und Anwendungen: Offene APIs
- Haftung
- Support

Service Level Agreement

Service Level Objective

Zielwert einer messbaren Metrik, die über die Qualität oder Verfügbarkeit eines Dienstes eine Aussage trifft.

Service Level Agreement

Vertrag über die Bereitstellung von Ressourcen und Dienste mit Zuverlässigkeitszusagen (SLOs). Häufig verbunden mit Konsequenzen bei Nichterfüllung der SLO, wie z.B. finanziellen Strafen.

Verfügbarkeitsklassen:

Availability %	Downtime per Year	Downtime per Month	Downtime per Week
99.9% (three nines)	8.76 hours	43.2 minutes	10.1 minutes
99.95%	4.38 hours	21.56 minutes	5.04 minutes
99.99% (four nines)	52.6 minutes	4.32 minutes	1.01 minutes
99.999% (five nines)	5.26 minutes	25.9 seconds	6.05 seconds
99.9999% (six nines)	31.5 seconds	2.59 seconds	.0605 seconds

Beispiel: Amazon S3 (Storage)

Service Commitment

AWS will use commercially reasonable efforts to make Amazon S3 available with a Monthly Uptime Percentage (defined below) of at least 99.9% during any monthly billing cycle (the "Service Commitment"). In the event Amazon S3 does not meet the Service Commitment, you will be eligible to receive a Service Credit as described below.

Monthly Uptime Percentage	Service Credit Percentage
Equal to or greater than 99% but less than 99.9%	10%
less than 99%	25%

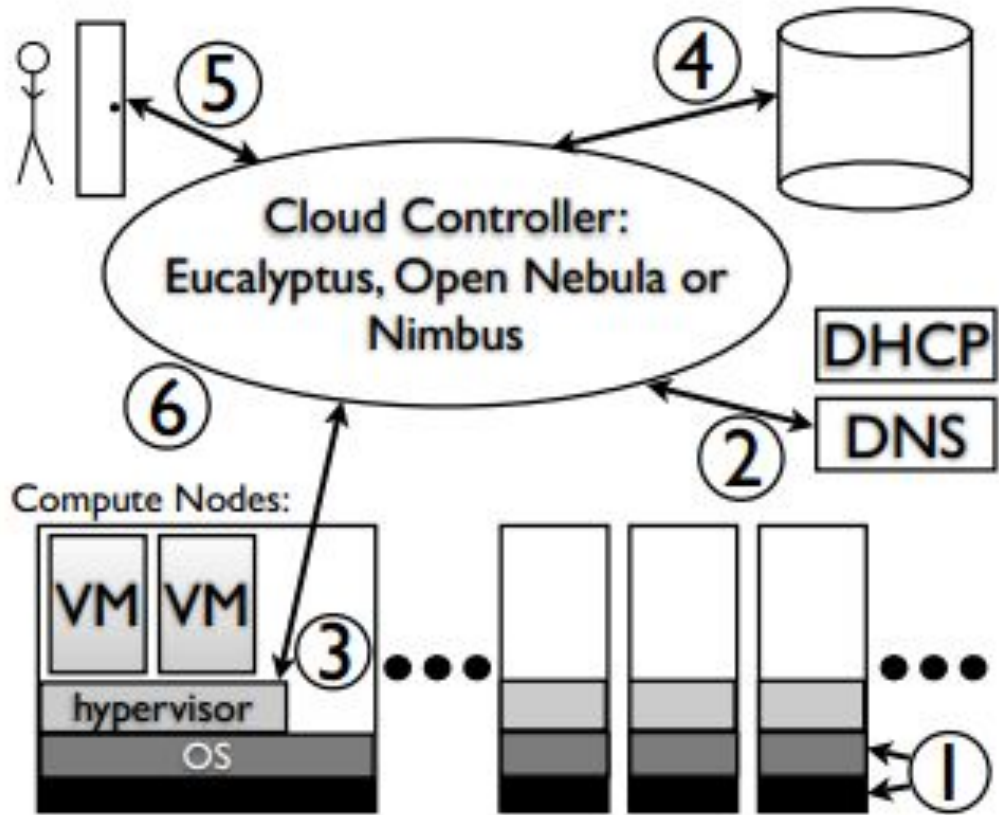
Aspekte der Sicherheit in einer IaaS-Cloud.

- Vertraulichkeit der Daten und Datenkommunikation: Datenverschlüsselung, VPNs
- Nachvollziehbarkeit der Daten: Einhaltung nationaler Gesetze (z.B. EU-Datenschutzbestimmung, US Patriot Act) durch geographische Datenhaltung
- Firewalls und starke Authentifizierungsverfahren
- Backup der VMs, Storages und Datenbanken
- Zertifizierungen: ISO 27001, TÜV IT



Architektur einer IaaS-Cloud

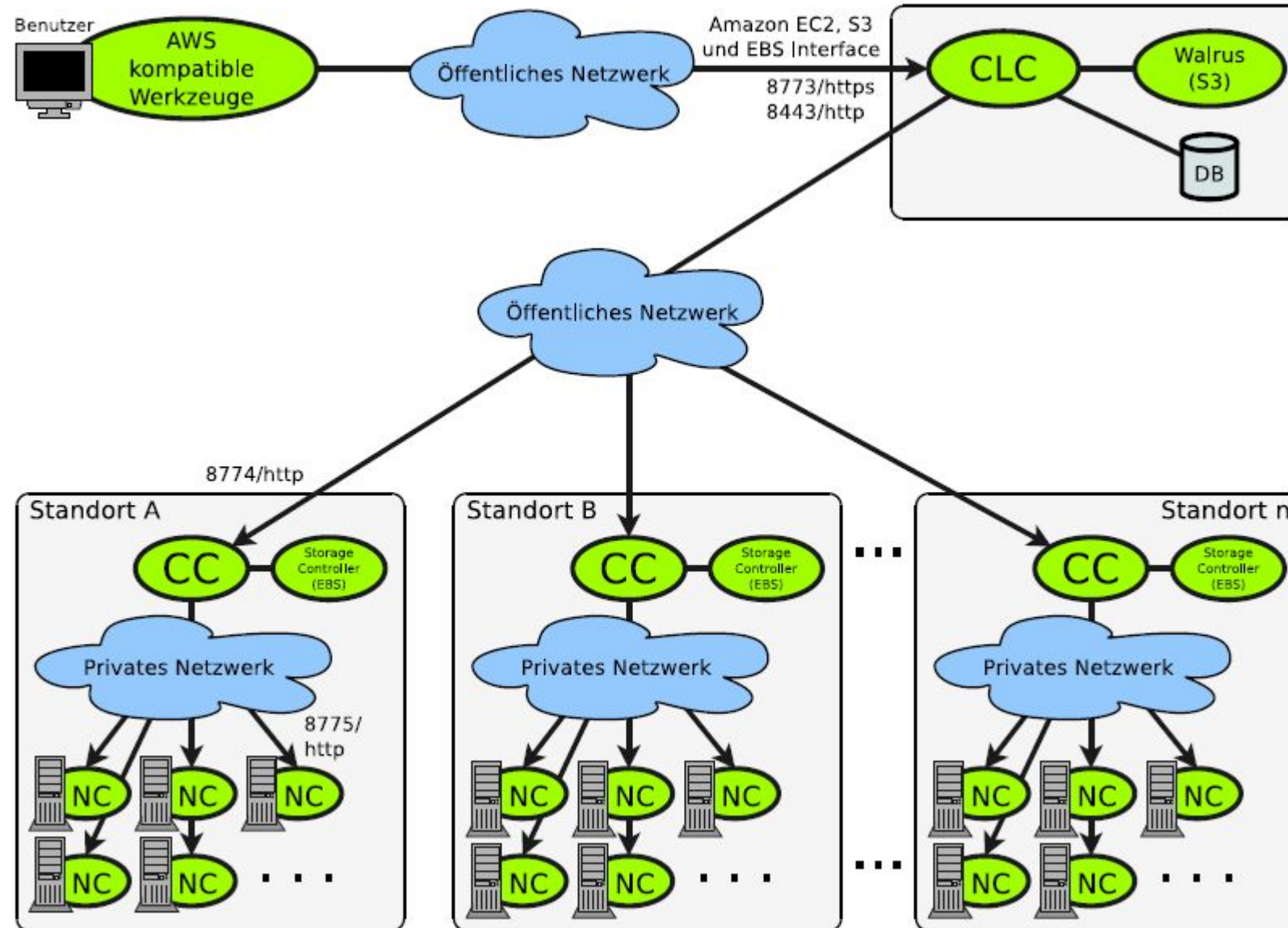
Eine IaaS-Referenzarchitektur.



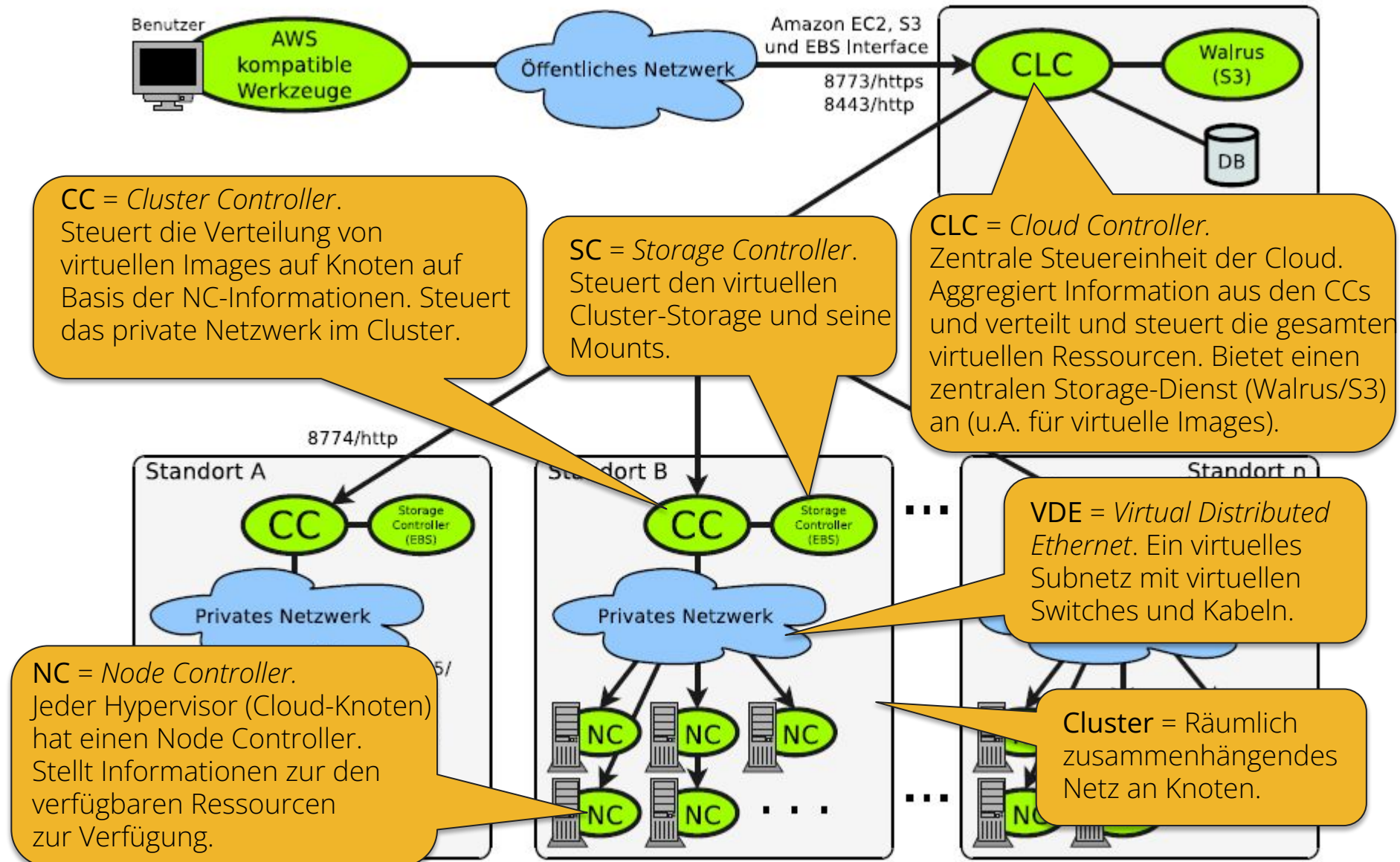
1. Hardware und Betriebssystem
2. Virtuelles Netzwerk und Netzwerkdienste
3. Virtualisierung
4. Datenspeicher und Image-Verwaltung
5. Managementschnittstelle für Administratoren und Benutzer
6. Cloud Controller für das mandantenspezifische Management der Cloud-Ressourcen

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

Der interne Aufbau einer IaaS-Cloud am Beispiel Eucalyptus.



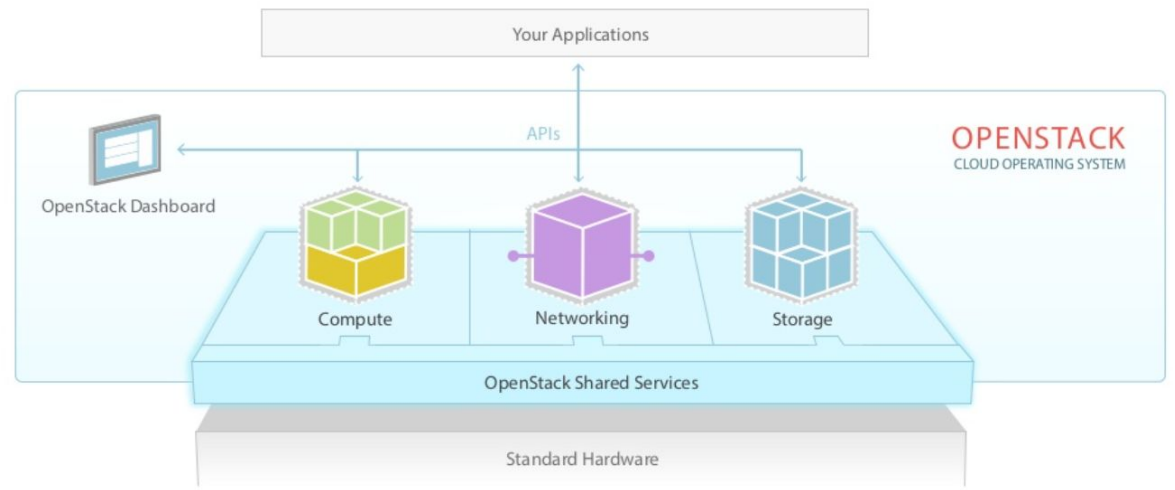
Der interne Aufbau einer IaaS-Cloud am Beispiel Eucalyptus.



IaaS mit OpenStack

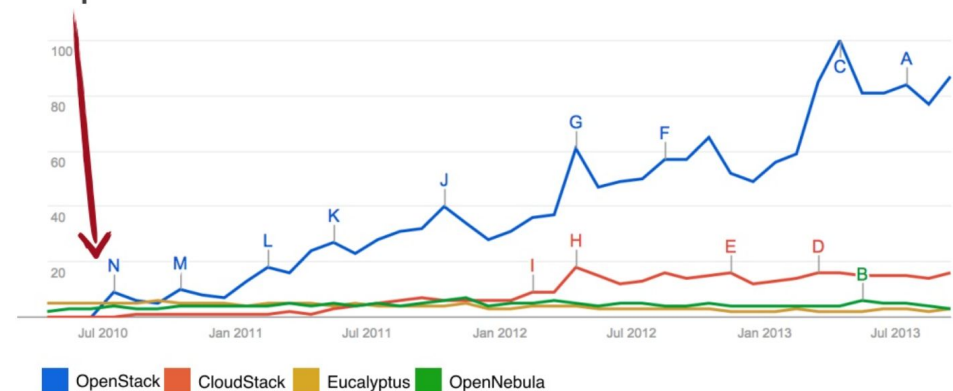
OpenStack: Der de-facto Standard für Open-Source Private IaaS Clouds.

- Open Source Projekt wurde maßgeblich von RackSpace und der NASA initiiert.
- Das erste vollständige Release erfolgte im Oktober 2010.
- Lizenziert unter der Apache Lizenz.
- Eine Vielzahl der klassischen IT-Player (SAP, IBM, VMware, HP, Oracle, Cisco) sind Teil der OpenStack-Community.
- Sehr aktives Open-Source-Projekt mit > 400 aktiven Committern.
- Ausgelegt eher als Framework denn als fertiges System für IaaS-Clouds.



The Battle is Over (open src)

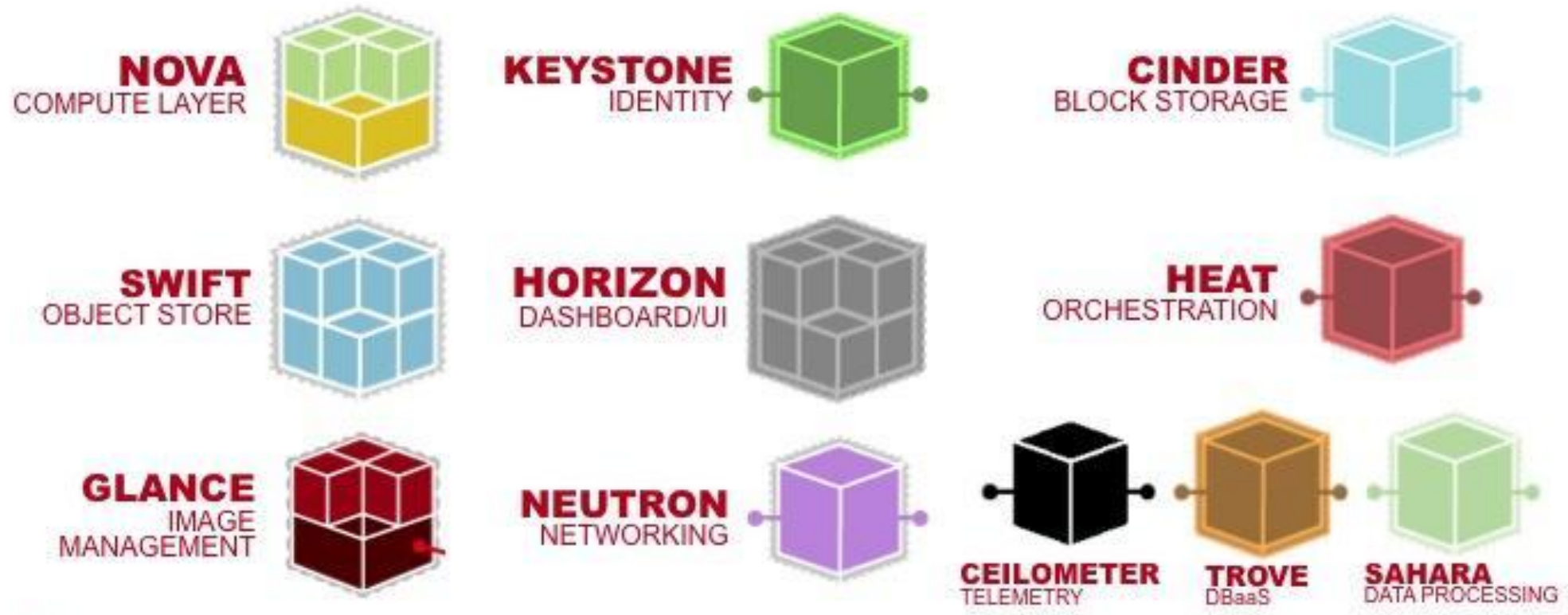
OpenStack Launch



Quellen:

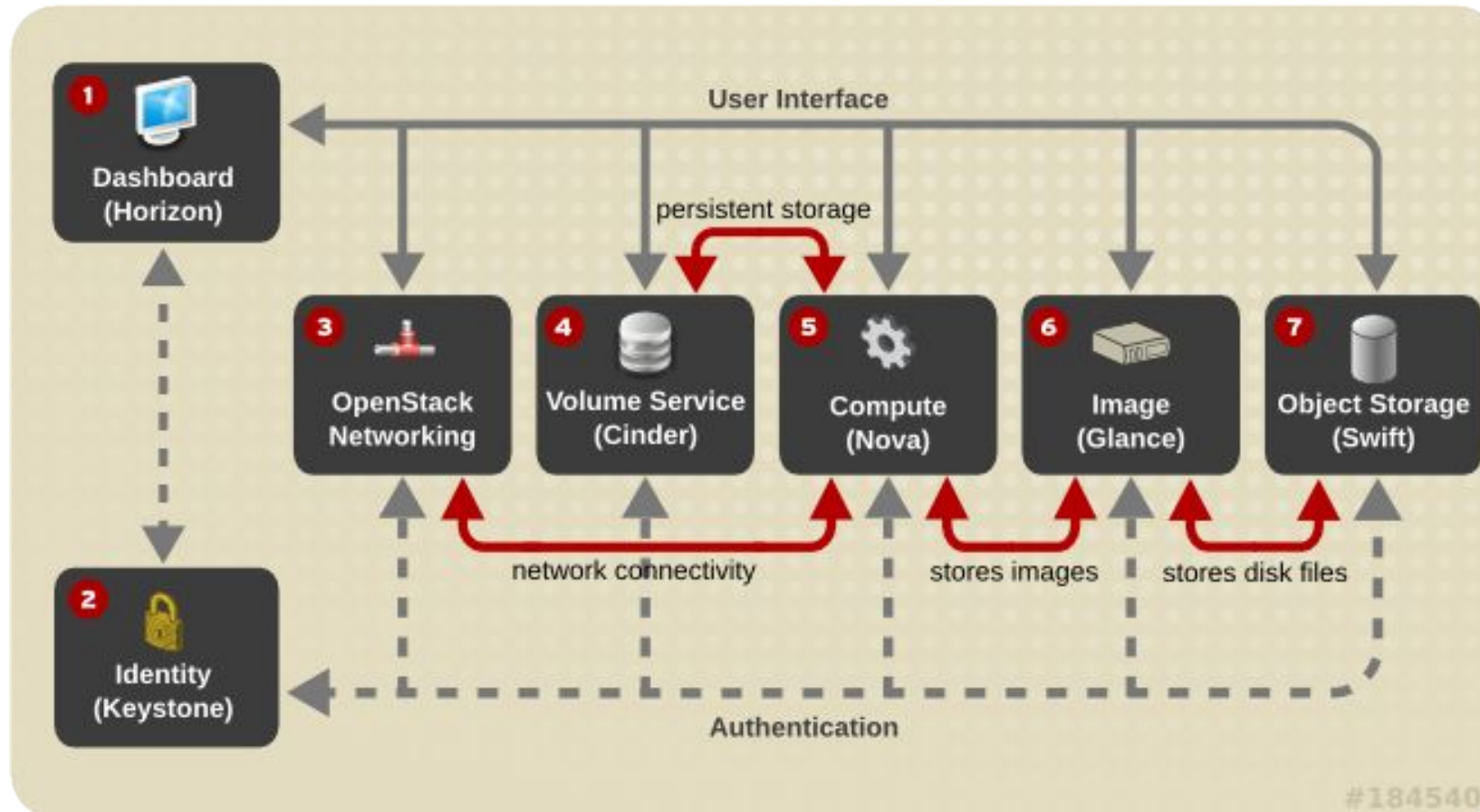
<http://de.slideshare.net/andybias/state-of-the-stack-v2>

Die OpenStack Komponenten.



Quelle: <http://de.slideshare.net/sgordon2/deep-dive-openstack-summit-red-hat-summit-2014>

Das Zusammenspiel der Kern-Komponenten in OpenStack.



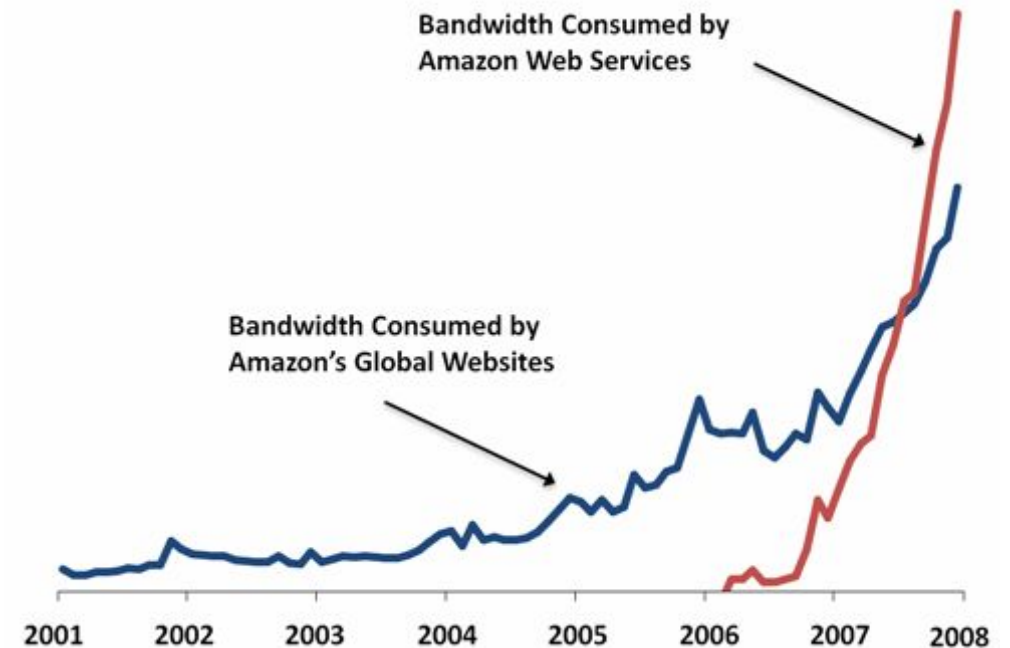
Quelle:

https://access.redhat.com/documentation/en-US/Red Hat Enterprise Linux OpenStack Platform/2/html/Getting_Started_Guide/ch01.html

IaaS mit Amazon EC2

Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud)

- Amazon bietet im Rahmen der AWS (Amazon Web Services) auch eine IaaS-Cloud an.
- Historie:
 - Start innerhalb von Amazon im Jahr 2001
 - Öffentliche Beta ab 25. August 2006
 - Ab Mitte 2007 mehr Bandbreite durch Dritte in der Cloud konsumiert, als durch die Amazon Webseiten
 - Produktionsreife ab 23. Oktober 2008
 - 2005 bis 2012 ca. 12 Mrd. \$ Investment in die Infrastruktur
 - 2015: 1,5 bis 2 Mio. Server in 10 globalen Rechenzentren.
- On-Demand-, Reserved- und Spot-Instanzen in verschiedenen Größen und unterschiedlicher Hardware: (<http://aws.amazon.com/de/ec2/instance-types>) sowie diverse Storage- und Netzwerkdienste.



<http://aws.typepad.com/aws/2008/05/lots-of-bits.html>

Neben der Amazon EC2 IaaS Cloud bietet Amazon noch viele weitere IaaS-Komponenten, PaaS, Serverless-, und SaaS-Dienste.

Vollständige Auflistung: <https://aws.amazon.com/de/products/>

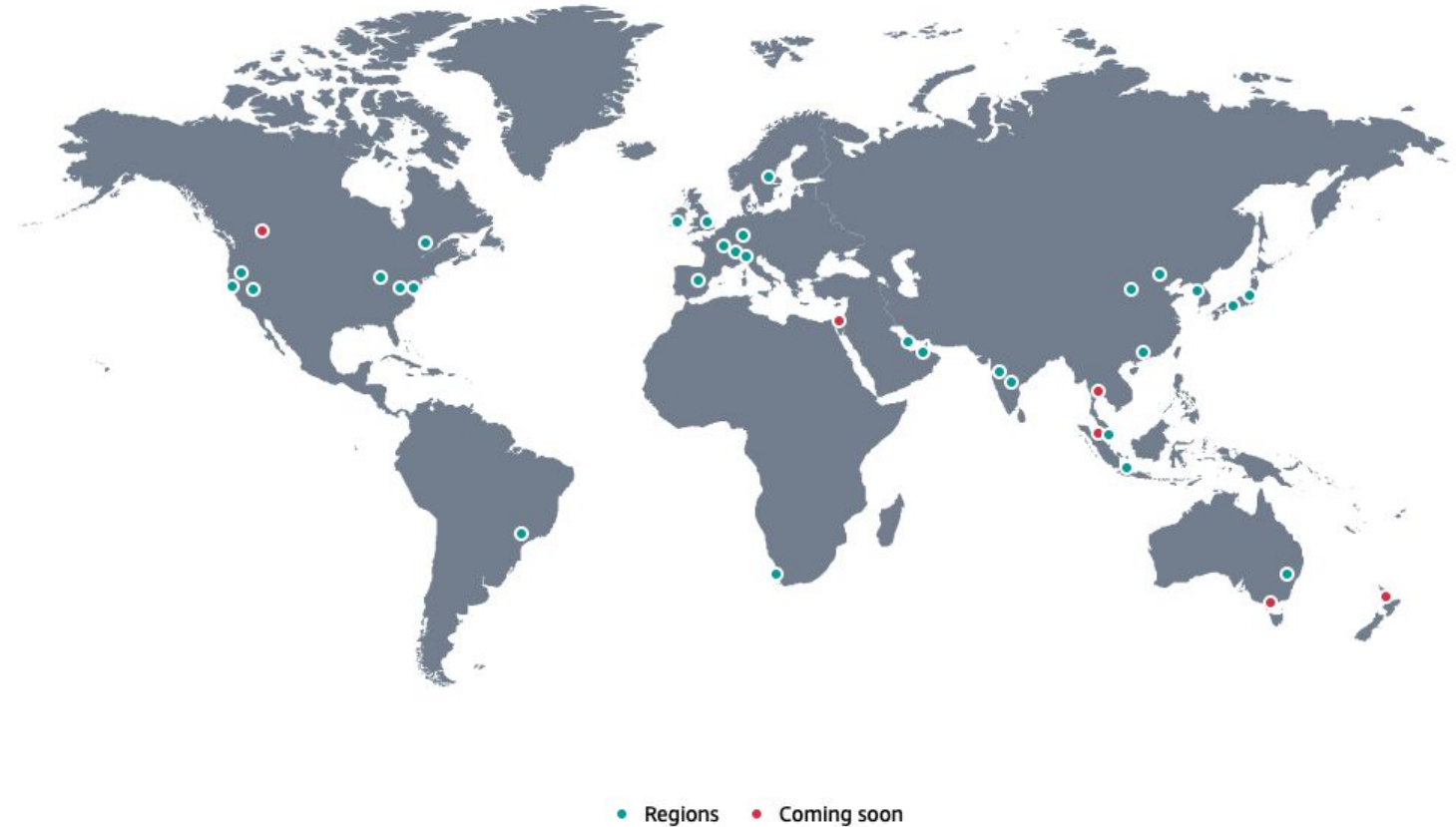
Compute EC2 Lightsail ↗ ECR ECS EKS Lambda Batch Elastic Beanstalk Serverless Application Repository	Robotics AWS RoboMaker	Analytics Athena EMR CloudSearch Elasticsearch Service Kinesis QuickSight ↗ Data Pipeline AWS Glue AWS Lake Formation MSK	Business Applications Alexa for Business Amazon Chime ↗ WorkMail
	Customer Enablement AWS IQ ↗ Support Managed Services		End User Computing WorkSpaces AppStream 2.0 WorkDocs WorkLink
Storage S3 EFS FSx S3 Glacier Storage Gateway AWS Backup	Blockchain Amazon Managed Blockchain		
Database RDS DynamoDB ElastiCache Neptune Amazon Redshift Amazon QLDB Amazon DocumentDB	Satellite Ground Station	Security, Identity, & Compliance IAM Resource Access Manager Cognito Secrets Manager GuardDuty Inspector Amazon Macie ↗ AWS Single Sign-On Certificate Manager Key Management Service CloudHSM Directory Service WAF & Shield Artifact Security Hub	Internet Of Things IoT Core Amazon FreeRTOS IoT 1-Click IoT Analytics IoT Device Defender IoT Device Management IoT Events IoT Greengrass IoT SiteWise IoT Things Graph
Migration & Transfer AWS Migration Hub Application Discovery Service Database Migration Service Server Migration Service AWS Transfer for SFTP Snowball DataSync	Management & Governance AWS Organizations CloudWatch AWS Auto Scaling CloudFormation CloudTrail Config OpsWorks Service Catalog Systems Manager Trusted Advisor Control Tower AWS License Manager AWS Well-Architected Tool Personal Health Dashboard ↗ AWS Chatbot	Mobile AWS Amplify Mobile Hub AWS AppSync Device Farm	Game Development Amazon GameLift
Networking & Content Delivery VPC CloudFront Route 53 API Gateway Direct Connect AWS App Mesh AWS Cloud Map Global Accelerator ↗	Media Services Elastic Transcoder Kinesis Video Streams MediaConnect MediaConvert MediaLive MediaPackage MediaStore MediaTailor Elemental Appliances & Software	AR & VR Amazon Sumerian	
Developer Tools CodeStar CodeCommit CodeBuild CodeDeploy CodePipeline Cloud9 X-Ray	Machine Learning Amazon SageMaker Amazon Comprehend AWS DeepLens Amazon Lex Machine Learning Amazon Polly Rekognition Amazon Transcribe Amazon Translate Amazon Personalize Amazon Forecast Amazon Textract AWS DeepRacer	Application Integration Step Functions Amazon EventBridge Amazon MQ Simple Notification Service Simple Queue Service SWF	
		AWS Cost Management AWS Cost Explorer AWS Budgets AWS Marketplace Subscriptions	
		Customer Engagement Amazon Connect Pinpoint Simple Email Service	

Die globale Verteilung von AWS

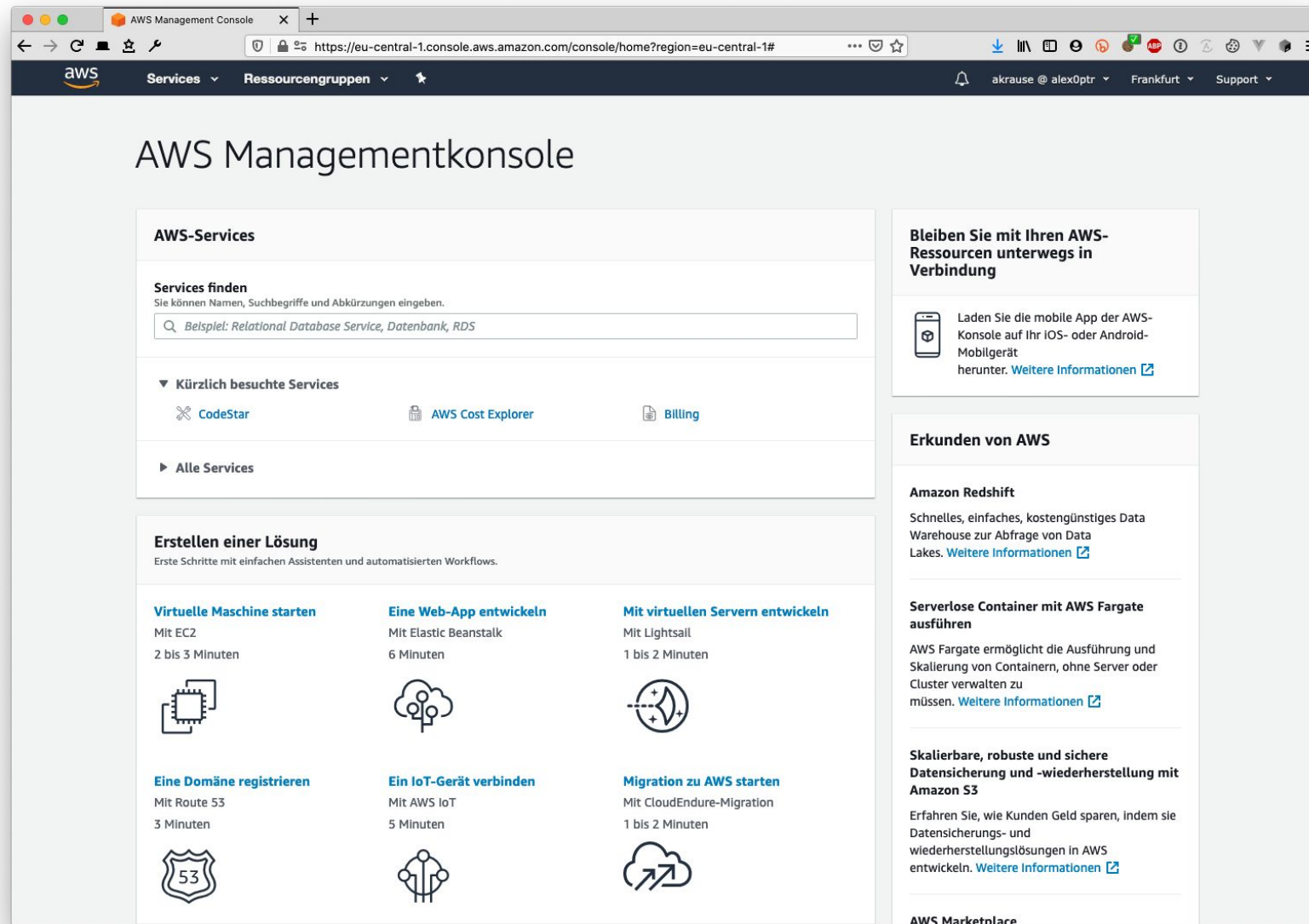
- 31 Regionen
- unterteilt in insgesamt 99 Availability Zones
- 410 Points of Presence

Beispiel:

- eu-central-1 (Frankfurt)
- seit 2014
- 3 Availability Zones



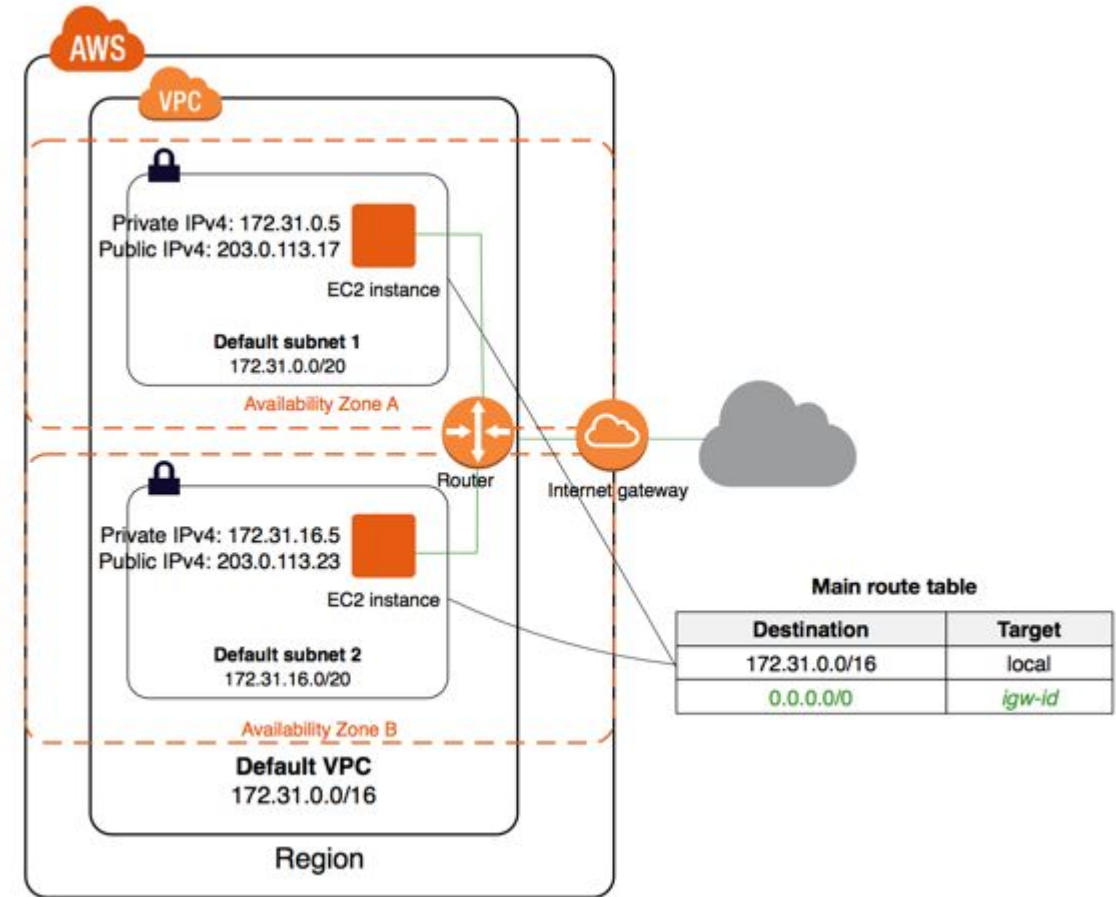
Über die AWS Management Console können alle Dienste der Amazon-Cloud gesteuert werden.



Amazon VPC (Virtual Private Cloud)

- Software Defined Network und zwingende Voraussetzung einer IaaS Architektur auf AWS
- Erlaubt das Definieren und stellt Bereit:
 - VPCs und Subnetze
 - Netzwerkinterfaces
 - Security Groups
 - Routing Tabellen
 - Internet Gateways
 - NAT
 - DHCP
 - DNS
 - Elastic IP Adressen
 - ...

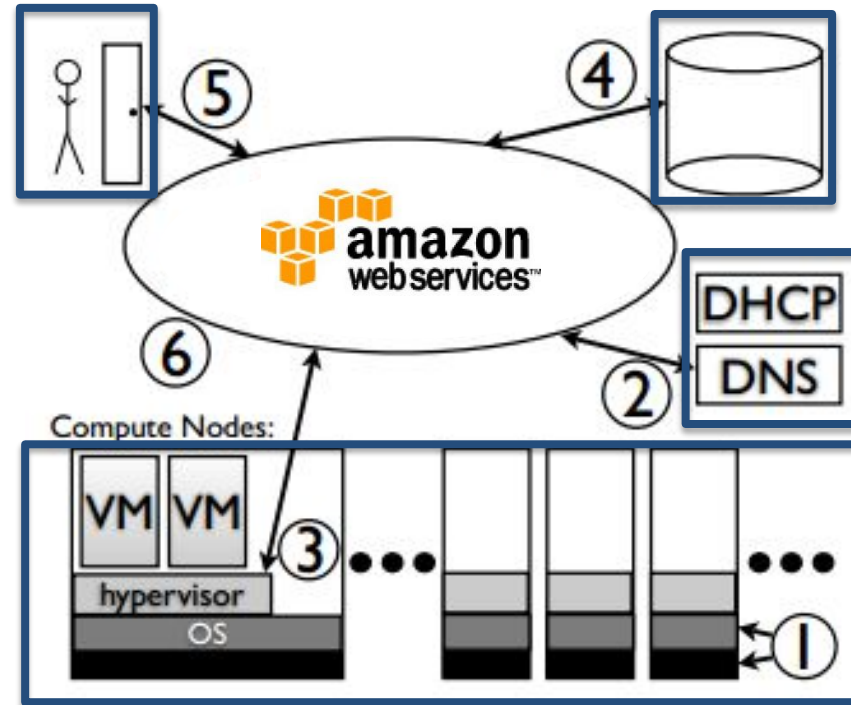
Vorkonfiguriertes Standard Netz:



Architektur der Amazon EC2.

- AWS Management Console
- Webservice-API

- EBS (Elastic Block Store)
- S3 (Simple Storage Service)



- VPC (Virtual Private Cloud)
- Route 53
- Elastic Load Balancer
- CloudFront CDN

- EC2-Knoten mit Xen- und HVM-Virtualisierung
- Monitoring über CloudWatch
- AutoScaling auf Basis von CloudWatch-Metriken

EC2 Metadata Service

- Bereitgestellt vom Hypervisor und Verfügbar auf jeder EC2-Instanz unter <http://169.254.169.254/latest/meta-data>
- Erlaubt einer Instanz Daten abzufragen:
 - über ihre Umgebung
 - sich selbst
 - selbst zu definierende Nutzerdaten
- Ermöglicht die Implementierung von fortgeschrittenen Sicherheits- und Automatisierungsmechanismen
 - Instance Profile über Tokens um AWS Services aufzurufen inkl. automatischen Token tausch
 - Kurzlebige Verwaltung von SSH Keys (EC2 Instance Connect)
 - Taggen von Instanz-Metriken in CloudWatch usw.
 - Provisionierung per Cloud Init

Demonstration (5 Min): <https://www.youtube.com/watch?v=tPQsl8n6er0>

EC2 AutoScaling



EC2 AutoScaling ermöglicht das Organisieren von Instanzen in **Gruppen** als logische Einheit. Beispielsweise lässt sich über die Gruppe die Anzahl der Instanzen steuern und damit bei Ausfall einzelner automatisch neue erzeugen.



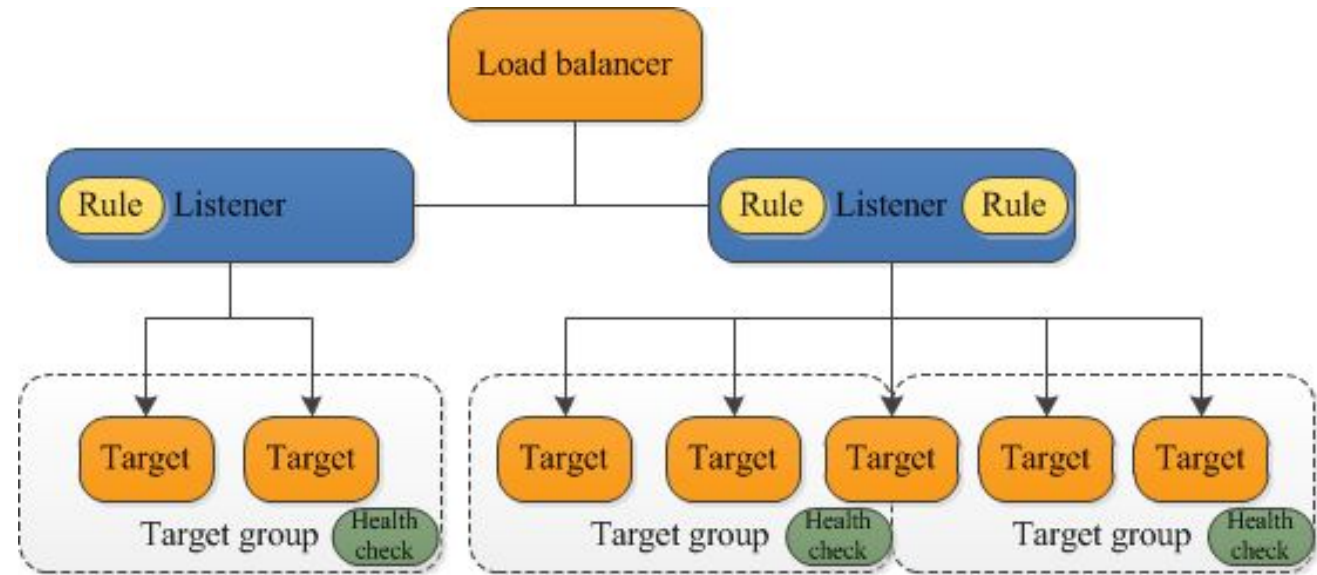
EC2 AutoScaling Gruppen nutzen **Launch Templates** um neue Instanzen zu erzeugen oder rollierend auszutauschen. Launch Templates definieren Instanzparameter wie AMI ID, Instanztyp, Security Group oder Block Device Mappings.



Skalierungsoptionen erlauben das automatische Skalieren der Instanzen abhängig von Bedingungen, z.B. CPU Last, zeitliche Steuerung oder Vorhersage.

Elastic Load Balancing

- Nimmt öffentlichen Verkehr entgegen und verteilt diesen auf Instanzen.
- Überwacht die Funktionalität der Instanzen / Applikation (Health Check) und verteilt die Anfragen / Verbindungen nur auf "gesunde" Ziele.
- Verschiedene Varianten:
 - Application Load Balancer - Layer 7
 - Network Load Balancer - Layer 4
 - Classic Load Balancer - Legacy
- Unterstützen TLS, Integration mit AutoScaling usw.

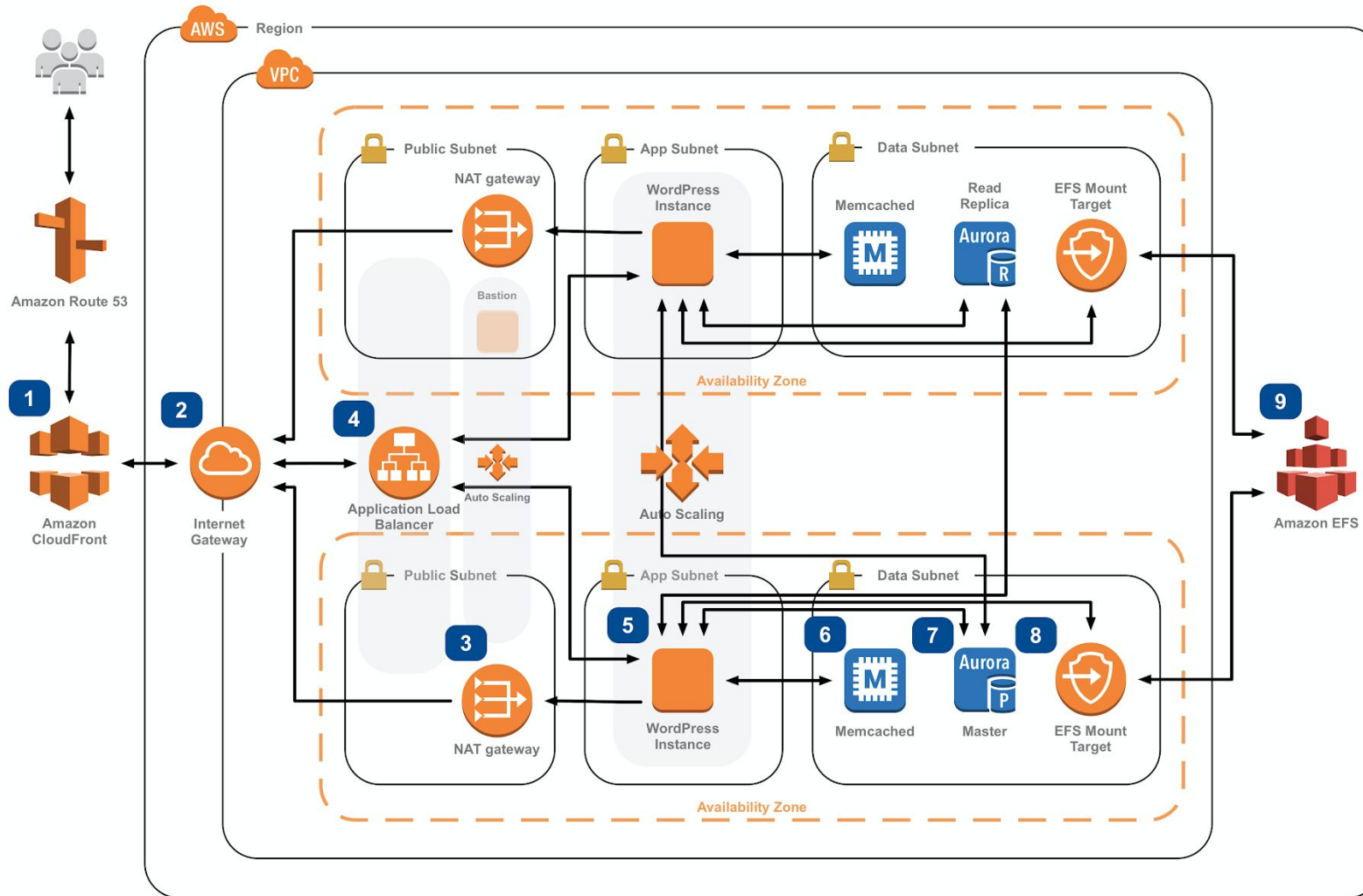


Beispiel: Application Load Balancer

WordPress Hosting

How to run WordPress on AWS

WordPress is one of the world's most popular web publishing platforms, being used to publish 27% of all websites, from personal blogs to some of the biggest news sites. This reference architecture simplifies the complexity of deploying a scalable and highly available WordPress site on AWS.



- 1 Static and dynamic content is delivered by **Amazon CloudFront**.
- 2 An **Internet gateway** allows communication between instances in your VPC and the Internet.
- 3 **NAT gateways** in each public subnet enable Amazon EC2 instances in private subnets (App & Data) to access the Internet.
- 4 Use an **Application Load Balancer** to distribute web traffic across an Auto Scaling Group of Amazon EC2 instances in multiple AZs.
- 5 Run your WordPress site using an **Auto Scaling group of Amazon EC2 instances**. Install the latest versions of WordPress, Apache web server, PHP 7, and OPcache and build an Amazon Machine Image that will be used by the Auto Scaling group launch configuration to launch new instances in the Auto Scaling group.
- 6 If database access patterns are read-heavy, consider using a WordPress plugin that takes advantage of a caching layer like **Amazon ElastiCache (Memcached)** in front of the database layer to cache frequently accessed data.
- 7 Simplify your database administration by running your database layer in **Amazon RDS** using either Aurora or MySQL.
- 8 Amazon EC2 instances access shared WordPress data in an Amazon EFS file system using **Mount Targets** in each AZ in your VPC.
- 9 Use **Amazon EFS**, a simple, highly available, and scalable network file system so WordPress instances have access to your shared, unstructured WordPress data, like php files, config, themes, plugins, etc.



AWS Reference Architectures

<https://github.com/aws-samples/aws-refarch-wordpress>

© 2017, Amazon Web Services, Inc. or its affiliates. All rights reserved.

Sicherheitsaspekte der AWS

- Zertifiziert nach ISO 27001 / C5 (Empfehlung BSI) und vielen weiteren Standards:
<https://aws.amazon.com/de/compliance/programs/>
- Europäische Rechenzentren und Niederlassungen sind den EU-Datenschutzrichtlinien unterworfen.
- Amazon ist ebenso dem US Patriot Act und dem CLOUD Act unterworfen.
- AWS bietet Dienste und Produkte für die Umsetzung von Sicherheits- und Complianceanforderungen:
 - Identity and Access Management: IAM, Single Sign-On, Cognito...
 - Erkennung: GuardDuty, Config, CloudTrail...
 - Infrastrukturschutz: Shield, Firewall für Webanwendungen, Firewall Manager
 - Datenschutz: KMS, CloudHSM, Macie...
 - Vorfallreaktion: Detective, CloudEndure Disaster Recovery
 - Compliance: Artifact



Infrastructure as Code

Infrastructure as Code

- Provisionieren und Managen ganzer Rechenzentren - nicht nur einzelne virtuelle Maschinen
- Abgrenzung zu Configuration Management (z.B. Ansible):
 - Explizite Erzeugung und Zerstörung der Infrastruktur eines (virtuellen) Rechenzentrums
 - Immutable Infrastructure, statt kontinuierlichem ändern existierender Ressourcen
 - Typischerweise Deklarativ statt Imperativ
- Erstmals für die Cloud in 2010 mit AWS CloudFormation

Vorteile:

- Versionierung des Rechenzentrums und damit einfaches Staging und Rollbacks
- Beschleunigte Auslieferung von Infrastrukturänderungen
- Konsistenz über Umgebungen hinweg
- Dadurch auch Sicherheit und Auditierbarkeit der Infrastruktur im Code
- Wiederverwendbar und Modularisierbar
- Ermöglicht Kollaboration über Code Verwaltung

Infrastructure as Code mit Terraform



HashiCorp

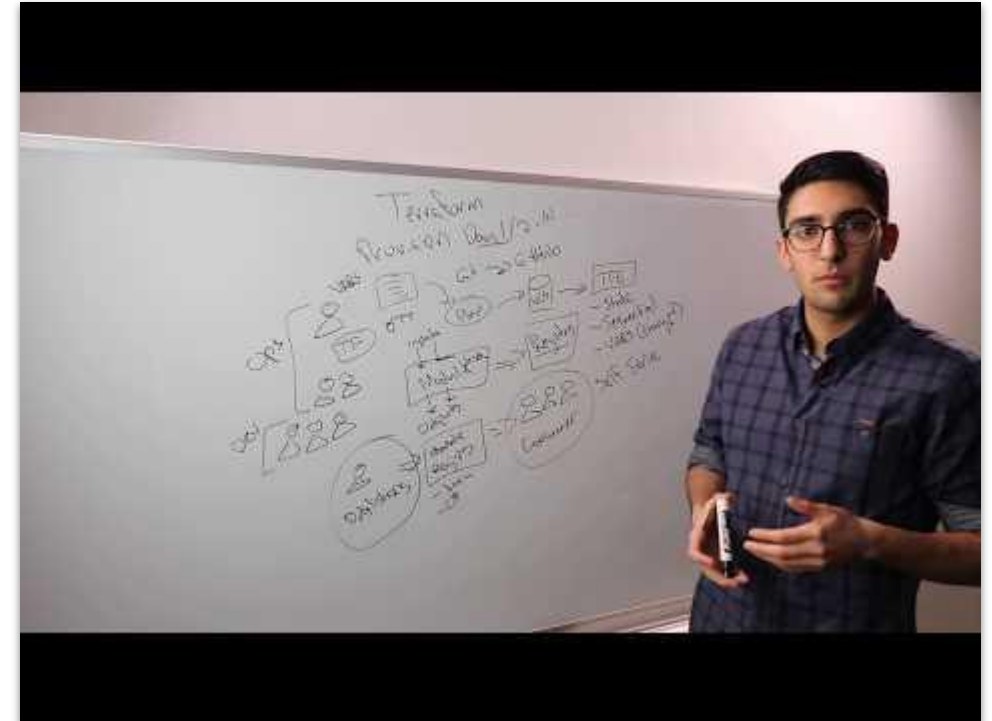
Terraform

“Write, Plan, and Create
Infrastructure as Code”

- Seit 2014, Open Source von Hashicorp
- Unterstützt in etwa 40 Cloud Provider
- Darüber hinaus noch Integrationen in Datenbanksysteme, Monitoring- und Infrastruktur-Software wie z.B. Kubernetes
- Große Auswahl von Plugins und wiederverwendbaren Modulen
- Deklarative Konfigurationssprache
- Kommerzielle Erweiterungen erhältlich

Terraform Grundlagen

- **Write:** Beschreibung Zielzustand über eine domänenspezifische Sprache HCL (HashiCorp Configuration Language)
- **Plan (terraform plan):** Ist-Zustand ermitteln. Notwendige Änderungen planen (entsprechend Abhängigkeiten geordnet und parallelisiert, Unterbrechungen möglichst minimal)
- **Apply (terraform apply):** Idempotente Herstellung des Zielzustands. Der Zustand (*.tfstate* Datei) wird meist in einem Remote Storage (S3, HTTP, ...) gespeichert



Video Pause bei 06m:30s, dann weiter bis 10m18s:

<https://www.youtube.com/watch?v=h970ZBgKINg>

Die Kern-Entitäten einer Terraform-Konfiguration

Ressource: zu verwaltende Komponente der Infrastruktur

```
resource "aws_instance" "web" {  
  ami          = "ami-408c7f28"  
  instance_type = "t1.micro"  
}
```

Haben Argumente und Attribute und definieren Abhängigkeiten zueinander, die einen gerichteten Graphen formen.

Provider: Integration der zu provisionierenden Infrastruktur oder Software.

Alibabacloud	Archive	AWS
Azure	Bitbucket	CenturyLinkCloud
Chef	Circonus	Cloudflare
CloudScale.ch	CloudStack	Cobbler
Consul	Datadog	DigitalOcean
DNS	DNSMadeEasy	DNSimple
<pre>provider "aws" { access_key = "\${var.aws_access_key}" secret_key = "\${var.aws_secret_key}" region = "us-east-1" }</pre>		
Nomad	NS1	Null
1&1	OpenStack	OpenTelekomCloud
OpsGenie	Oracle Public Cloud	Oracle Cloud Platform
OVH	Packet	PagerDuty
Palo Alto Networks	PostgreSQL	PowerDNS
ProfitBricks	RabbitMQ	Rancher
Random	Rundeck	Scaleway
SoftLayer	StatusCake	Spotinst
Template	Terraform	Terraform Enterprise
TLS	Triton	UltraDNS
Vault	VMware vCloud Director	VMware NSX-T

Provisioner: Erlauben das Ausführen von Aktionen im Graphen durch lokale oder remote Code Ausführung. Nur in **Ausnahmefällen** zu verwenden, wenn ein Provider an seine Grenzen kommt.

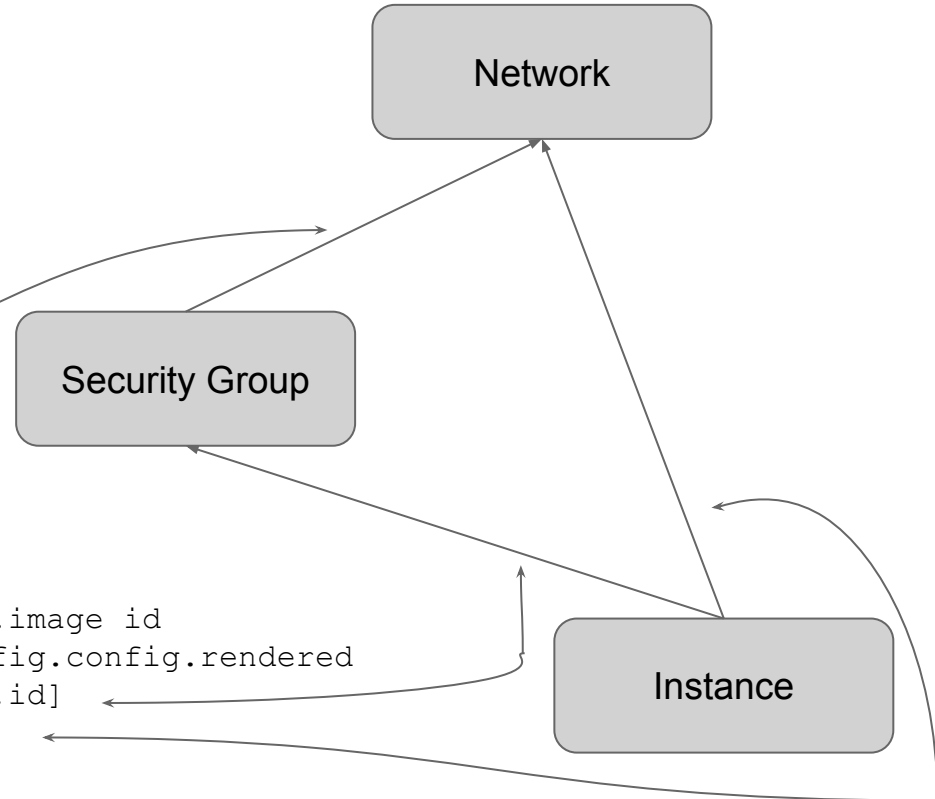
```
resource "aws_instance" "web" {  
  # ...  
  
  provisioner "local-exec" {  
    command = "echo ${self.private_ip} > file.txt"  
  }  
}
```

Beispiel Hashicorp Configuration Language

```
module vpc {  
  source = "terraform-aws-modules/vpc/aws"  
  version = "2.18.0"  
  name    = local.env  
  # <shortened>  
}
```

```
resource aws security group bastion {  
  name          = "${local.env}-bastion"  
  description    = "For Bastion Hosts"  
  vpc id        = module.vpc.vpc_id  
  # <shortened>  
}
```

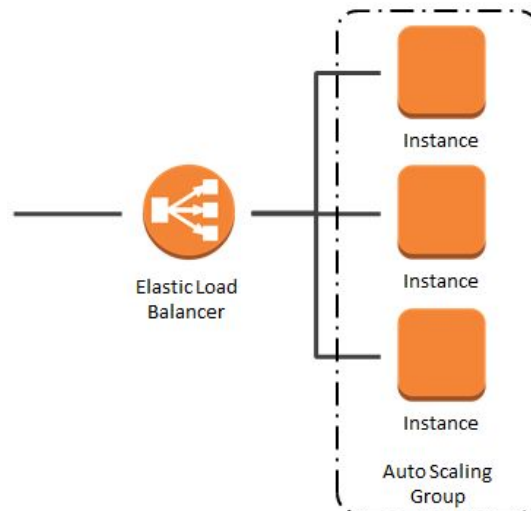
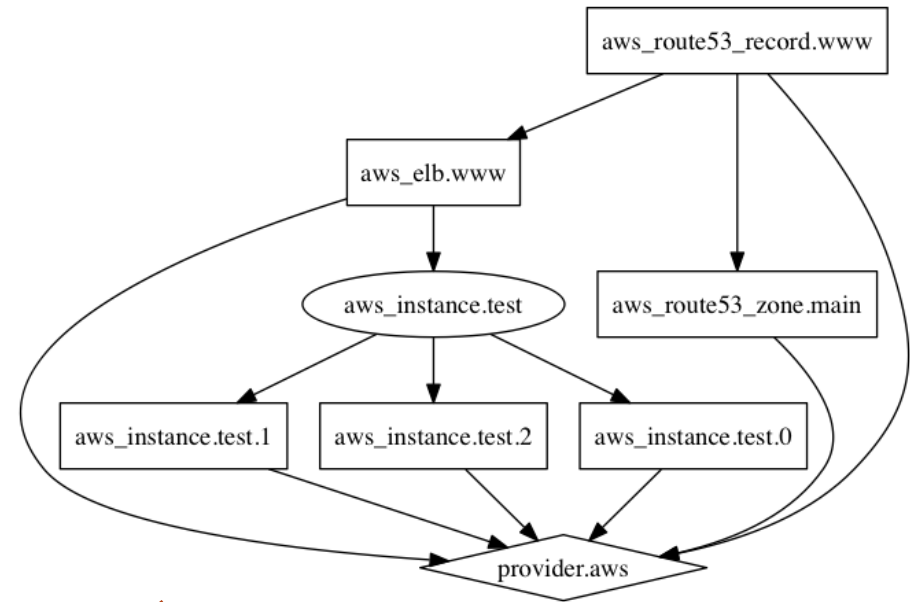
```
resource aws instance bastion {  
  instance type    = "t3.nano"  
  ami              = data.aws.ami.amazon_linux_2.image_id  
  user data base64 = data.template.cloudinit.config.config.rendered  
  vpc security group ids = [aws.security_group.bastion.id]  
  subnet id        = module.vpc.public_subnets[0]  
  # <shortened>  
}
```



Workflow

```
resource aws instance bastion {  
  instance type      = "t3.nano"  
  ami                = data.aws_ami.amazon_linux_2.image_id  
  user_data_base64   = data.template_cloudinit_config.config.rendered  
  vpc_security_group_ids = [aws_security_group.bastion.id]  
  subnet_id          = module.vpc.public_subnets[0]  
  # <shortened>  
}
```

```
terraform/  
├─ main.tf  
└─ terraform.tfvars
```



Terraform Deployment Ebenen

Level 3: Applikation

Deployment-Einheiten, Daten, Cron-Jobs, ...

4

Application Provisioning

Terraform steuert an (Provisioner oder Provider)

Level 2: Software-Infrastruktur

Server, virtuelle Maschinen, Bibliotheken, ...

3

Server Provisioning

Terraform steuert an (Provisioner oder Provider)

Level 1: System-Software

Virtualisierung, Betriebssystem, ...

2

Bootstrapping

Terraform steuert an (Provider)

1

Bare Metal Provisioning

Terraform steuert an (Matchbox)

Beispiel: Provider

```
provider aws {  
  version = "2.56.0"  
  region  = "eu-central-1"  
}
```


Beispiel: Data

```
data aws ami amazon linux_2 {  
    most_recent = true  
  
    owners = ["amazon"]  
  
    filter {  
        name      = "name"  
        values    = ["amzn2-ami-hvm*"]  
    }  
  
    filter {  
        name      = "root-device-type"  
        values    = ["ebs"]  
    }  
  
    filter {  
        name      = "architecture"  
        values    = ["x86_64"]  
    }  
}
```

Beispiel: Resources

```
resource aws instance bastion {  
  instance type      = "t3.nano"  
  ami                = data.aws_ami.amazon_linux_2.image_id  
  user_data_base64   = data.template_cloudinit_config.config.rendered  
  vpc_security_group_ids = [aws_security_group.bastion.id]  
  subnet_id          = module.vpc.public_subnets[0]  
  tags = merge(local.standard_tags, {  
    "Name" = "${local.env}-bastion"  
  })  
}
```

<https://registry.terraform.io/providers/hashicorp/aws/latest/docs/resources/instance>

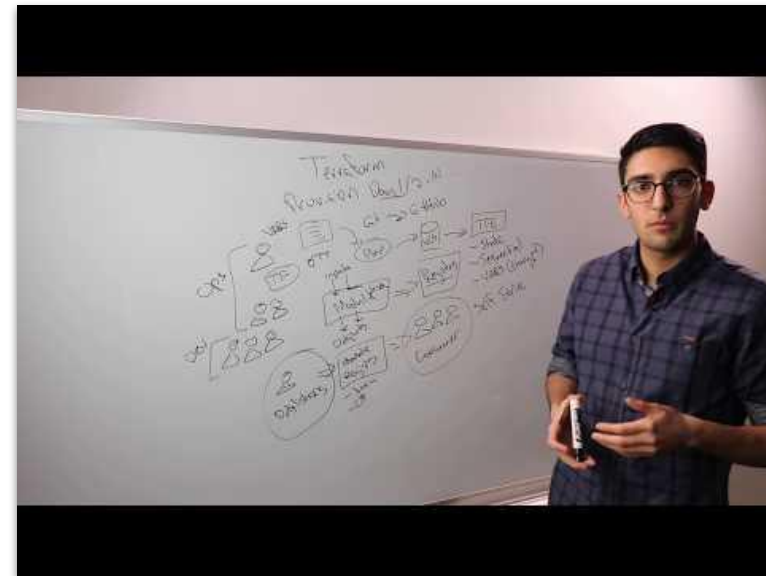
Beispiel: Output

```
output "bastion" {  
  description = "Information about the bastion host."  
  value = {  
    instance      = aws_instance.bastion.id  
    dns_name      = aws_route53_record.bastion.name  
    key_push_policy = aws_iam_policy.allow_bastion_ssh_access.arn  
  }  
}
```

Kollaboration, Zustand und Workspaces

- Terraform ist Zustandsbehaftet und speichert diesen Zustand normalerweise in der Cloud, lokal ist möglich aber nicht empfohlen
 - Ermöglicht dadurch z.B., dass das Entfernen von Ressourcen im Code auch eine logische Entfernung der Cloud-Ressource bedeutet. Die Referenz im Zustand ist in diesem Fall der Unterschied zum Zielzustand.
 - Remote State Locking verhindert das parallele Anwenden von Änderungen
- Der Zustand kann schützenswerte Geheimnisse enthalten, z.B. Passwörter und Zertifikate
- Mehrere Zustände (Workspaces) für dieselbe Konfiguration ermöglichen:
 - einfaches Staging, pro Umgebung ein Workspace
 - komplett unabhängige Entwicklung

```
terraform {  
  backend s3 {  
    bucket           = "prj-aws-dev-tfstate-storage"  
    key              = "prj-main"  
    dynamodb_table = "prj-tfstate-lock"  
    region           = "eu-central-1"  
  }  
}
```



Video ab 10m18s, bis 13m:15s:

<https://www.youtube.com/watch?v=h970ZBgKING>

Module: Wiederverwendbare Abstraktionen

- abgeschlossene Terraform Deklaration
- der multiple Ressourcen-Definitionen enthält
- "Inputs" sind die Parameter der Modul-Ressource
- "Output" sind die Attribute der Modul-Ressource
- versioniert
- veröffentlichung über <https://registry.terraform.io> oder Git repository



Video ab 13m53s, bis Ende:

<https://www.youtube.com/watch?v=h970ZBgKINg>

Beispiel: Modul

```
module vpc {
  source = "terraform-aws-modules/vpc/aws"
  version = "2.18.0"
  name = local.env
  cidr = "10.0.0.0/16"
  azs = data.aws_availability_zones.azs.names
  private_subnets = [ "10.0.0.0/19", "10.0.32.0/19", "10.0.64.0/19" ]
  public_subnets = [ "10.0.96.0/21", "10.0.104.0/21", "10.0.112.0/21" ]
  enable_nat_gateway = true
  single_nat_gateway = ! local.config.ha_nat_gateways
  one_nat_gateway_per_az = local.config.ha_nat_gateways
  enable_dns_hostnames = true
  enable_dns_support = true
  tags = merge(local.standard_tags, map( "kubernetes.io/cluster/${local.env}", "shared" ))

  enable_s3_endpoint = true
  enable_ecr_dkr_endpoint = true
  ecr_dkr_endpoint_private_dns_enabled = true
  ecr_dkr_endpoint_security_group_ids = [aws_security_group.vpc_endpoints.id]

  private_subnet_tags = {
    "kubernetes.io/role/internal-elb" = "1"
    "kubernetes.io/role/elb" = "1"
  }
}
```


Beispiel: Struktur

```
terraform/  
├── base/  
│   ├── vpc.tf  
│   ├── network.tf  
│   ├── variables.tf  
│   └── terraform.tfvars  
├── qa/  
│   ├── ec2.tf  
│   ├── cloudwatch.tf  
│   ├── route53.tf  
│   ├── variables.tf  
│   └── terraform.tfvars  
└── prod/  
    ├── ec2.tf  
    ├── cloudwatch.tf  
    ├── route53.tf  
    ├── variables.tf  
    └── terraform.tfvars
```

Demonstration

<https://github.com/gruntwork-io/intro-to-terraform/tree/master/cluster-of-web-servers>