Middleware – Cloud Computing – Übung

Aufgabe 2: Hybrid Cloud

Wintersemester 2025/26

Paul Bergmann, Christian Berger

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)
https://sys.cs.fau.de

Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Überblick

Hybride Cloud

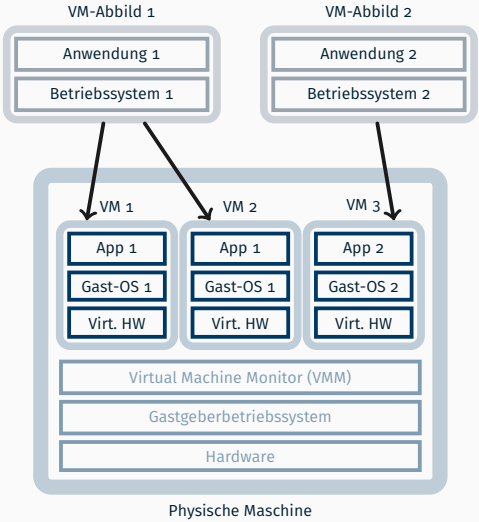
Hybride Cloud & Virtualisierung

Hybride Cloud

- Öffentliche Cloud: Cloud-Dienste frei für jeden verfügbar
  - *aaS: „X as a Service“-Gedanke
  - Scheinbar unbegrenzte Ressourcen
- Private Cloud: IT- bzw. Cloud-Dienste werden z. B. von einem Unternehmen oder einer Einrichtung selbst betrieben
  - Interne Nutzung: Datenschutz und IT-Sicherheit
  - Aber auch: Bereitstellung von eigenen Ressourcen für öffentliche Nutzung
- **Hybride Cloud:** Mischform aus privater und öffentlicher Cloud
  - Sicherheitskritische Teile einer Anwendung laufen nur in der privaten Cloud
  - Skalierbarkeit, Ausdehnung auf öffentliche Cloud (z. B. beim Auftreten von Lastspitzen)

Virtuelle Maschinen in der Cloud

- Notwendige Betriebsmittel
  - Physische Maschine und Gastgeberbetriebssystem („Host“)
  - Virtualisierungssoftware, die den Virtual Machine Monitor bereitstellt
  - **Abbild der virtuellen Maschine**
- Analogie zur Objektorientierung
  - Das statische Abbild einer virtuellen Maschine entspricht einer **Klasse**
  - Eine im Betrieb befindliche virtuelle Maschine ist die **Instanz** eines solchen Abbilds
- Aufbau des Abbilds einer virtuellen Maschine
  - **Dateisystem**, beinhaltet für gewöhnlich:
    - Kern des Gastbetriebssystems („Guest“)
    - User-Space-Komponenten des Gastbetriebssystems
    - Anwendung
  - Meta-Informationen (VMM-spezifisch)

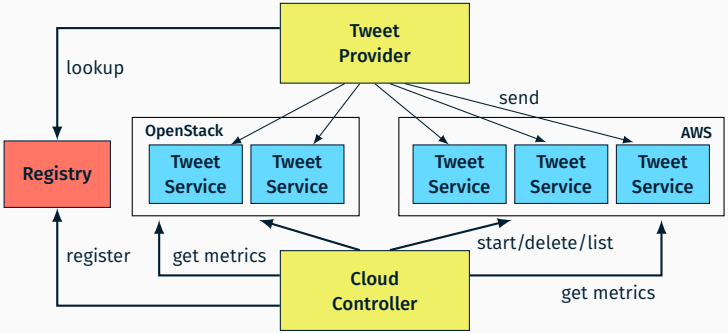


Hybride Cloud

Aufgabe 2

Aufgabe 2: Hybride Cloud

- Bereitgestellten Tweet-Service in hybrider Cloud ausführen
  - Ein bis maximal zwei VMs in privater Cloud
  - Öffentliche Cloud für Lastspitzen
- Teilaufgaben
  - Cloud-Controller für manuelle **Cloud-Ansteuerung** (VMs starten, beenden, auflisten)
  - **Lastverteilung** für Tweet-Anfragen im Provider, VMs per Registry abfragen
  - Erweiterter Cloud-Controller zur **dynamischen Skalierung** der VMs (nur 7.5 ECTS)



Aufgabe 2: Hybride Cloud

- Public Cloud: Amazon Web Services
  - Limitiertes Guthaben: Rund 10 US-Dollar Guthaben pro Gruppe
  - Guthaben kann lediglich für Amazon Web Services verwendet werden
  - Aktuelle AWS-Kosten: `http://aws.amazon.com/pricing/`
- Globaler Systemstatus der Amazon Web Services
  - Bei Störungen können (Teile der) Amazon Web Services ausfallen
  - Aktueller Status: `http://status.aws.amazon.com/`
- Private Cloud: OpenStack-Umgebung des Lehrstuhls
  - Ressourcen der drei Node-Controller sind **beschränkt**
  - Jederzeit auf faire Verwendung achten
- OpenStack-Infrastruktur
  - Bitte sendet bei Problemen oder Ungereimtheiten schnellstmöglichst eine E-Mail an `i4mw-owner@lists.cs.fau.de`

Achtung!

Bitte stets sicherstellen, dass **alle unbenutzten** Instanzen beendet (gelöscht) werden!

Aufgabe 2: Hybride Cloud

- Gemeinsame Schnittstelle: `MWCloudPlatform`
  - Instanzen starten / beenden / auflisten
  - Metriken der Instanzen abrufen

- `MWCloudPlatformAWS`: Betrieb des Dienstes in AWS EC2
  - Java 21 & Java-Bibliotheken bereits in vorkonfiguriertem Image (ami-0b44ee2dcf07ee291) enthalten
  - Passende Konfigurationsparameter `userdata` übergeben
  - Metriken aus AWS CloudWatch abfragen
- `MWCloudPlatformOpenStack`: Betrieb des Dienstes in OpenStack Nova
  - Erzeugung und Konfiguration eines eigenen VM-Abbilds
    - Installation des Grundsystems
    - Hinzufügen von Java, Java-Bibliotheken für Dienst

    ↪ Schritt-für-Schritt Anleitung im Übungsteil „Erstellen eines VM-Abbilds in OpenStack“
  - Metriken aus Gnocchi abfragen

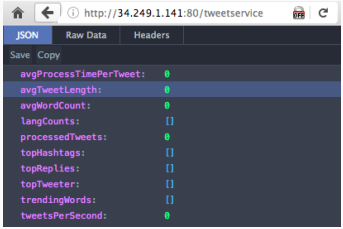
- Hinterlegen des JAR-Archivs des Tweet-Service auf AWS S3

Testen der Dienstlauffähigkeit

- Direkter Zugriff über HTTP-Anfrage (hier: GET-Anfrage)

```
> curl http://<ip-address>:<port>/tweetservice
```

  → Innerhalb der VM unter `localhost` erreichbar



- Direkter Zugriff über den Web-Browser möglich
- Instanz nicht erreichbar?
  → Konfiguration der cloudseitigen Firewall durch die Security Groups kontrollieren
- Logs per SSH einsehen

```
> ssh -i <private_key (e.g., gruppeX.pem)> <user>@<ip_address>
```

  - Benutzername für AWS: `ec2-user`, für OpenStack: `cloud`
  - Bei Anmeldeproblemen Benutzernamen und SSH-Key kontrollieren
  - Überprüfen, ob Java-Prozess läuft: `> ps aux | grep java`
    oder `> sudo systemctl status i4mw-service`
  - Fehlersuche: Protokolle durchsuchen mit `> sudo less /var/log/syslog`
    oder `> sudo journalctl -u i4mw-service`

Amazon Web Services

Überblick

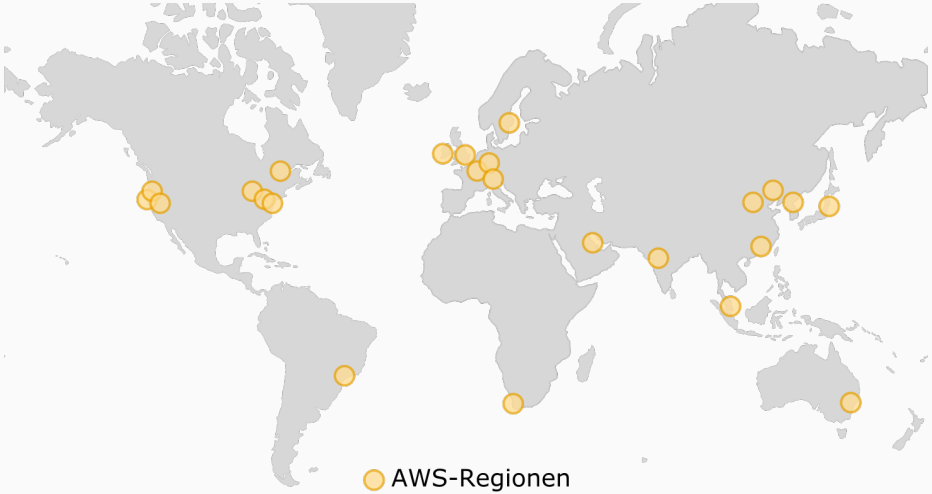
Amazon Web Services (AWS)

- Die Amazon Web Services bestehen aus Diensten, die den Aufbau komplexer Systeme in einer Cloud-Infrastruktur ermöglichen

- Dienste (Auszug):
  - Elastic Compute Cloud (EC2) – Betrieb virtueller Maschinen
  - Elastic Block Storage (EBS) – Bereitstellung VM-Abbilder und Datenträger
  - Simple Storage Service (S3) – Netzwerkbasierter Speicher-Dienst
  - CloudWatch – Überwachungsfunktionen für AWS-Dienste

- Die Abrechnung erfolgt nach tatsächlichem Verbrauch **und** Standort
  - Betriebsstunden, Speicherbedarf
  - Transfervolumen, Anzahl verarbeiteter Anfragen
  - Standorte weltweit: `https://infrastructure.aws/`
  - Berechnung der Gesamtbetriebskosten: `https://calculator.aws/`

Amazon Web Services (AWS)



Amazon Web Services: Betriebsumgebung

- Benutzung der Amazon Web Services (u. a.) über Web-Oberfläche
  → `https://i4mw-gruppeXX.signin.aws.amazon.com/console`
  (XX durch eigene Gruppennummer ersetzen)
  ↪ Login-Informationen befinden sich in der Gruppeneinteilungs-E-Mail
  ↪ Immer die Region `eu-west-1` verwenden

- AWS CLI: AWS-Befehlszeilen-Schnittstelle

```
alias aws=/proj/i4mw/pub/aufgabe2/awscli/bin/aws
```

  - Python-Werkzeug zum Zugriff auf sämtliche AWS-Dienste
  - Alias-Befehl am besten in die Datei `~/.profile` eintragen, damit die AWS CLI nach jedem CIP-Pool-Login funktionieren
  - Konfiguration: Setzen der Zugangsdaten und Region. Siehe nächste Folie

- Liste der verfügbaren AWS-Kommandozeilen-Tools

```
> aws help
> aws <service> help
> aws <service> <command> help
```

Amazon Web Services: Betriebsumgebung

- Ablegen der Credentials zum API-Zugriff in Datei `~/.aws/credentials`
  → Automatische Verwendung durch Programme, welche auf die API zugreifen
  1) Anlegen der privaten Konfigurationsdateien `~/.aws/credentials` und `~/.aws/config` mit eingeschränkten Zugriffsrechten

```
> mkdir ~/.aws
> touch ~/.aws/credentials ~/.aws/config
> chmod 600 ~/.aws/*
```

  2) Erstellen von `aws_access_key_id` und `aws_secret_access_key` über die Web-Oberfläche:
  → `https://console.aws.amazon.com/iam/`
  → Menü „Users“, Namen anklicken, Reiter „Security Credentials“, Abschnitt „Access Keys“
  → Eintragen in `~/.aws/credentials`

```
[default]
aws_access_key_id = <schluessel_id>
aws_secret_access_key = <privater_schluessel>
```

  3) Setzen der Region in `~/.aws/config`

```
[default]
region = eu-west-1
```

Amazon Web Services

Elastic Compute Cloud (EC2)

Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)

- Voraussetzungen für die Instanziierung einer virtuellen Maschine
  - Amazon Machine Image (AMI, Liste: `> aws ec2 describe-images`)
  - EC2-Schlüsselpaar
  - VPC-Netzwerk

- Bei der Instanziierung muss die Größe der virtuellen Maschine festgelegt werden
  - Instanz-Typen variieren in Anzahl der CPU-Kerne, Speichergröße etc.
    → `http://aws.amazon.com/ec2/instance-types/`
  - Für Testzwecke reicht der Betrieb kleiner Instanzen aus
    → API-Name: `t2.nano`

- Optionales Nutzdatenfeld `user-data`
  - Base64-kodierter String
  - Maximal 16 kByte

- Einmalig EC2-Schlüsselpaar im Browser generieren
  → `https://console.aws.amazon.com/ec2/home?region=eu-west-1#s=KeyPairs`
  - Schlüsselname wählen (z. B. gruppeX)
  - Privaten Schlüssel unter `~/.aws/gruppeX.pem` speichern
  - Zugriffsrechte mit `chmod` absichern

```
> chmod 600 ~/.aws/gruppeX.pem
```

- VPC-Netzwerk inklusive Subnetz nötig
  → Konfiguration (optional): `https://console.aws.amazon.com/vpc/home?region=eu-west-1`
  - Existiert bereits im zur Verfügung gestellten AWS-Account
- Security-Group für Port-Freigaben einrichten
  → `https://console.aws.amazon.com/ec2/home?region=eu-west-1#SecurityGroups`
  - Basis-Security-Group bereits im AWS-Account vorhanden (Name: `i4mw`)
  - **Achtung:** Erlaubt nur Kommunikation zwischen VMs in AWS

  ↪ Für SSH externe Zugriffe über das TCP-Protokoll mit Port 22 von `0.0.0.0/0` und `::/0` (CIDR-Notation, entspricht weltweitem Zugriff) freigeben!
  - Änderungen möglich während Instanz läuft

Amazon EC2: Starten einer Instanz

- Starten einer Linux-Instanz
  - Instanz-Typ: `t2.nano`
  - AMI: `ami-0d4ecc2431e0ef9e1` [↪ Amazon Linux 2 AMI]
  - Schlüsselname (`<key>`): beim Erstellen selbst gewählt (z. B. `gruppe0`)
  - Nutzdatenfeld mit String füllen (`<user-data>`): z. B. `Hello World.`
  - `<subnet-id>`: Ermitteln der ID (`SubnetId`) eines VPC-Subnetzes z. B. über

```
> aws ec2 describe-subnets | grep -i subnetid
```

  - `<sg-id>`: Ermitteln der ID (`GroupID`) der Security-Group `i4mw` z. B. über

```
> aws ec2 describe-security-groups --filters Name=group-name,Values=i4mw \
        | grep -i -e groupname -e groupid
```

- Starten über die Kommandozeile

```
> aws ec2 run-instances --instance-type t2.nano \
         --image-id ami-0d4ecc2431e0ef9e1 \
         --key gruppe0 --user-data="<user-data>" \
         --subnet-id <subnet-id> \
         --security-group-ids <sg-id>
```

Amazon EC2: Zugriff auf eine Instanz

- Überprüfen des Status der Instanz mit `> aws ec2 describe-instances`

↪ Antwort enthält auch öffentliche IP-Adresse (`PublicIpAddress`)

- Sobald der Boot-Vorgang abgeschlossen ist, erfolgt der Zugriff auf die Instanz mittels SSH

```
> ssh -i ~/.aws/gruppeX.pem \
        ec2-user@ec2-xxx-xxx-xxx-xxx.eu-west-1.compute.amazonaws.com
```

- Bei Konflikten aufgrund erneuter Adressvergabe, alten SSH-Host-Key entfernen:

```
> ssh-keygen -R <server_address>
```

- Bei Zugriffsproblemen: Boot-Meldungen über die Web-Schnittstelle oder mit `> aws ec2 get-console-output --instance-id <id> --output text` nach Fehlern durchsuchen

↪ Richtiger Benutzername für SSH verwendet?

- Innerhalb der virtuellen Maschine
  - Abrufen von Meta-Informationen mit `> ec2-metadata`
  - Enthalten Nutzdatenfeld `user-data`

Amazon EC2: Beenden einer Instanz

- Zum Terminieren einer im Betrieb befindlichen Instanz ist die eindeutige Instanz-ID notwendig
- Das Kommando `> aws ec2 describe-instances` listet die `InstanceId` (Format: `i-xxxxxxxx`)
- Unter Kenntnis dieser ID kann die Instanz beendet werden:

```
> aws ec2 describe-instances
(...)
> aws ec2 terminate-instances --instance-ids i-xxxxxxxx
```

- Kontrolle: `https://console.aws.amazon.com/ec2/home`

Achtung!

Bitte stets sicherstellen,
dass **alle unbenutzten** Instanzen beendet (gelöscht) werden!

Amazon Web Services

Simple Storage Service (S3)

Amazon Simple Storage Service (S3)

- Der Simple Storage Service (S3) ist ein Netzwerk-Dateisystem
  - REST-Schnittstelle
  - Kann auch öffentlich zugegriffen werden (*Nicht Standard!*)
  - Zugriffskontrolle meist mittels Richtlinien (Policies)

- Eindeutige Identifikation von Dateien durch Bucket (Kübel) und Dateiname:
  `s3://<bucket>/<dateiname>`
- Kein hierarchischer Namensraum
  - Dateinamen mit Separator / möglich
  - → Web-Konsole zeigt dies als Ordner an

- Übersetzung der S3-Adressrepräsentation in eine URL
  - S3: `s3://<bucket>/<dateiname>`
  - URL: `http://<bucket>.s3.amazonaws.com/<dateiname>`

Amazon S3: Erstellen eines Buckets

- Buckets in S3 sind standardmäßig **nicht** von außerhalb zugreifbar (”Block *all* public access”)
- Erstellen eines **öffentlich zugreifbaren** S3-Buckets in der Region `eu-west-1` via

```
> aws s3api create-bucket --bucket gruppe0-bucket --region eu-west-1 \
                          --create-bucket-configuration "LocationConstraint=eu-west-1"
> aws s3api put-public-access-block --bucket gruppe0-bucket \
                                    --public-access-block-configuration "BlockPublicPolicy=false"
```

- Policy, um enthaltene Dateien ebenfalls öffentlich lesbar zu machen

```
> aws s3api put-bucket-policy --bucket gruppe0-bucket --policy '{
␣␣␣␣"Version":␣"2012-10-17",
␣␣␣␣"Statement":␣[
␣␣␣␣␣␣␣␣{
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"Sid":␣"PublicReadGetObject",
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"Effect":␣"Allow",
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"Principal":␣"*",
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"Action":␣[
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"s3:GetObject"
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣],
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"Resource":␣[
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"arn:aws:s3:::gruppe0-bucket/*"
␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣]
␣␣␣␣␣␣␣␣}]}'
```

Amazon S3: Zugriff auf Daten

- Speichern einer Datei im Bucket `gruppe0-bucket`:

```
> echo "Hello World." > foo.bar
> aws s3 cp foo.bar s3://gruppe0-bucket/foo.bar
upload: foo.bar to s3://gruppe0-bucket/foo.bar
```

- Laden der Datei `foo.bar` aus dem Bucket `gruppe0-bucket`:

```
> aws s3 cp s3://gruppe0-bucket/foo.bar foo.bar.copy
download: s3://gruppe0-bucket/foo.bar to foo.bar.copy
```

- Löschen der Datei `foo.bar` aus dem Bucket `gruppe0-bucket`:

```
> aws s3 rm s3://gruppe0-bucket/foo.bar
delete: s3://gruppe0-bucket/foo.bar
```

- Alternative Zugriffsmethoden:
  - Browser (Amazon Web Services Console, `https://console.aws.amazon.com/s3/home`)
  - Einhängen als Dateisystem (s3fs, FUSE-basiert)

Amazon Web Services

Amazon CloudWatch

Amazon CloudWatch

- Umfangreiche Überwachungsfunktionen für viele AWS-Dienste
- Protokollierung und lange Speicherung der Daten

- Beispiele
  - Amazon EC2: CPU-Auslastung, gesendete/empfangene Netzwerkpakete
  - Amazon EBS: Lese- und Schreiblatenz

- Metriken: Messwerte über Zeit
  - Metriken abfragen aber auch eigene Metriken einpflegbar
  - Minutengranularität möglich
  - Ältere Daten werden aggregiert und ausgedünnt
- Alarme: Automatische Reaktion bei auffälligen Veränderungen
- Visualisierung: Darstellung der Daten in einem Dashboard möglich
  `https://eu-west-1.console.aws.amazon.com/cloudwatch` → „Metriken“

Amazon CloudWatch: Metriken

- Metriken
  - Enthalten Messwerte mit Zeitstempeln (UTC)
  - Gruppiert in *Namensräume* wie `AWS/EC2`, `AWS/EBS`, `AWS/S3`, …
  - *Dimensionen* zum Zuordnen von Datensätzen, z. B. per Instanz-ID

- Metriken für EC2 Instanzen
  - Grundlegende Überwachung (5 Minutenintervalle), kostenlos
  - Detaillierte Überwachung (1 Minutenintervalle), zusätzliche Kosten
  - Benutzerdefinierte Metriken: aus Anwendung heraus, selbst definierbar

- Abruf
  - Benötigt Start- und Endzeitpunkt sowie Aggregationszeitraum
  - Aggregation innerhalb eines Zeitraums (Period) per Minimum / Maximum / Durchschnitt / …
  - Zeitraum muss gleich oder ein Vielfaches des Erzeugungsintervall sein
  - Möglicherweise verzögert verfügbare Daten

Amazon Web Services

Amazon Java SDK

Amazon Java SDK

- Amazon stellt Java-Bibliotheken für die Verwendung der Amazon Web Services bereit
  `/proj/i4mw/pub/aufgabe2/aws-java-sdk-2.21.5`
  → Dokumentation: `https://sdk.amazonaws.com/java/api/latest/`

- Java-Packages für den Betrieb virtueller Maschinen in Amazon EC2 und Amazon CloudWatch
  - `software.amazon.awssdk.services.ec2`
  - `software.amazon.awssdk.services.cloudwatch`

- Grundlegende Verwendung des SDK
  1. Initial: Client-Objekt (z. B. Typ `Ec2Client`) erstellen und gegenüber AWS authentifizieren
  2. Anfrageparameter in Anfrageobjekt (z. B. Typ `RunInstancesRequest`) setzen

  ↪ Objekte nicht modifizierbar, Erzeugung per Builder-Pattern

  3. Anfrage über Client-Objekt abschicken
  4. Gibt Ergebnisobjekt (z. B. Typ `RunInstancesResponse`) zurück, das Ergebnis der Anfrage enthält

  ↪ Ergebnisobjekt spiegelt *Zustand zum Zeitpunkt der Antwort* wider

Amazon Java SDK: Instanziierung einer VM

- Minimal-Beispiel (analog Kommandozeilen-Beispiel)
  Beachte: Vor dem Aufruf am `Ec2Client.Builder` müssen in der Konfigurationsdatei `~/.aws/credentials` die Optionen `aws_access_key_id` und `aws_secret_access_key` gesetzt sein.

- Initialisierung `software.amazon.awssdk.services.ec2, software.amazon.awssdk.regions`

```
Ec2Client ec2 = Ec2Client.builder()
    .region(Region.EU_WEST_1)
    .build();
```

- Setzen des Namens einer VM-Instanz `software.amazon.awssdk.services.ec2.model`

```
Tag tag = Tag.builder().key("Name").value("MyVMName").build();

TagSpecification spec = TagSpecification.builder()
    .tags(tag)
    .resourceType("instance")
    .build();

[...] // Fortsetzung auf der nächsten Folie
```

Amazon Java SDK: Instanziierung einer VM

- Minimal-Beispiel (Fortsetzung) `software.amazon.awssdk.services.ec2.model`

```
String userData = "Hello␣world.";
byte[] userDataBytes = userData.getBytes();
```

```
RunInstancesRequest request = RunInstancesRequest.builder()
    .imageId("ami-0d4ecc2431e0ef9e1")
    .tagSpecifications(spec)
    .instanceType("t2.nano")
    .minCount(1)
    .maxCount(1)
    .keyName("gruppeX-key")
    .userData(Base64.getEncoder().encodeToString(userDataBytes)) // java.util.Base64
    // optional, detailliertere Metriken aktivieren
    .monitoring(RunInstancesMonitoringEnabled.builder().enabled(true).build())
    .securityGroupIds("sg-abcd123") // z.B. im Web-Interface erstellen
    .subnetId("subnet-1234abc")     // (VPC muss Security-Group vorab zugeordnet werden)
    .build();
RunInstancesResponse response = ec2.runInstances(request);
```

- Hinweise:
  - Mittels des Objektes `response` die Instanz-ID in Erfahrung bringen
  - Auf die eigentliche Instanziierung prüfen (`DescribeInstancesRequest`)
  - Zwischen zwei Abfragen des Instanzstatus kurz warten

Amazon Java SDK: CloudWatch

- Initialisierung (ähnlich wie bei EC2) `software.amazon.awssdk.services.cloudwatch`

```
CloudWatchClient cw = CloudWatchClient.builder()
    .region(Region.EU_WEST_1).build();
```

- Metrik abrufen: Zeitintervall und Dimension festlegen
  - Erwartetes Zeitformat: ISO 8601, UTC (z. B. 2020-11-25T09:00:00Z)
  - Beispielhaftes Definieren von Anfangs- und Endzeitpunkt

```
// Packages: java.time.Clock, java.time.Instant
Instant endTime = Clock.systemUTC().instant();
Instant startTime = endTime.minusSeconds(120); // Datenpunkte ueber 2-Min.-Intervall

// Package: software.amazon.awssdk.services.cloudwatch.model.Dimension
Dimension dimension = Dimension.builder()
    .name("InstanceId")
    .value("i-xxxxxxx")
    .build();
```

  - Unter *Windows*: Abschneiden auf Millisekunden notwendig!

```
Clock.systemUTC().instant().truncatedTo(ChronoUnit.MILLIS)
```

- Metrik abrufen (Fortsetzung) `software.amazon.awssdk.services.cloudwatch.model`

```
// Request zum Holen der Werte einer Metrik zusammensetzen und absenden
// festlegen, dass nur Durchschnittswerte abgefragt werden
GetMetricStatisticsRequest req = GetMetricStatisticsRequest.builder()
    .statistics(Statistic.AVERAGE)
    .metricName("NetworkIn")
    .dimensions(dimension)
    .namespace("AWS/EC2")
    .period(60)
    .startTime(startTime)
    .endTime(endTime)
    .build();
GetMetricStatisticsResponse res = cw.getMetricStatistics(req);

// Zeitstempel und Durchschnittswerte ausgeben
for (Datapoint dp : res.datapoints()) {
    System.out.printf("%s: %s\n", dp.timestamp(), dp.average());
}
```

- Weiterführende Links
  - https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudWatch/latest/monitoring/cloudwatch_concepts.html
  - https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudWatch/latest/APIReference/API_GetMetricStatistics.html
  - https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/viewing_metrics_with_cloudwatch.html

OpenStack

Zugriff auf OpenStack

- Web-Frontend
  - Dashboard: `https://i4cloud1.cs.fau.de`
  - Zugangsdaten: siehe Gruppeneinteilungs-E-Mail
- Kommandozeilen-Client
  - OpenStack-Client-Programm: `openstack`
  - **Vor Verwendung**: `openrc`-Datei sourcen (siehe unten)
- Alle Kommandozeilenbefehle benötigen vorherige Authentifizierung
  1) Download der RC-Datei (`<user>-openrc.sh`) über Dashboard:
     → „Projekt“→ „API Access“
     → „Download OpenStack RC File“
  2) RC-Datei einlesen und ausführen (sourcen)

```
$ source /path/to/<user>-openrc.sh
```

- Benutzerdaten für Login per OpenStack-Konsole auf einer laufenden Instanz des bereitgestellten Beispielabbilds (`debian-example`):
  USER: `cloud` PASSWORD: `cloud`

- OpenStack4j: Java-API für OpenStack-Dienste
  - Bibliotheken: `/proj/i4mw/pub/aufgabe2/openstack4j-3.11`
  - Dokumentation: `https://openstack4j.github.io/learn`
- Authentifizierung

```
// Package: org.openstack4j.model.common
Identifier userDomainName = Identifier.byName(<user_domain_name>);
Identifier projectIdentifier = Identifier.byId(<project_identifier>);
OSClientV3 client = OSFactory.builderV3()  // Packages:
    .endpoint(<os_auth_url>) // org.openstack4j.{api,openstack}
    .credentials(<user>, <pass>, userDomainName)
    .scopeToProject(projectIdentifier)
    .authenticate();
```

  - Parameter in OpenStack RC-Datei
    - Benutzer-Domänen-Name (`<user_domain_name>`): Variable `OS_USER_DOMAIN_NAME`
    - Projekt-ID (`<project_identifier>`): Variable `OS_PROJECT_ID`
    - Endpunkt-Adresse (`<os_auth_url>`): Variable `OS_AUTH_URL`
  - Benutzername (`<user>`) und Passwort (`<pass>`): siehe E-Mail zur Gruppeneinteilung
  - `OSClientV3` ist an Thread gebunden → Neuen Client für anderen Thread per `OSFactory.clientFromToken(client.getToken())` erzeugen

OpenStack4j: VMs erstellen

- Konfiguration (ähnlich zu AWS-API) über `ServerCreate`-Objekt

```
ServerCreate sc = Builders.server() // org.openstack4j.{model.compute,api}
    .<config_option1>
    .<config_option2>[...].<config_optionN>.build();
```

  - Konfigurieren von Instanzname, Instanztyp (Flavor-**ID**), Abbild-**ID**, Keypair, Netzwerk-**ID**, Security-Group, UserData (Kodierung mittels `java.util.Base64`)
  - Ersteinrichtung: Siehe Übung zum „Erstellen eines VM-Abbilds für OpenStack“

- Boot mit Konfiguration (Aufruf blockiert, bis VM aktiv ist)

```
Server server = client.compute().servers()
    .bootAndWaitActive(sc, <max_wait_time_in_ms>);
```

- Statusabfrage `org.openstack4j.model.compute.Server.Status`

```
String serverId = server.getId();
Status st = client.compute().servers().get(serverId).getStatus();
```

OpenStack4j: Floating-IP zuweisen und abfragen

- VM hat initial nur interne IP

→ Zugriff von extern nur mit Floating-IP möglich

- Floating-IP an Netzwerkschnittstelle zuweisen

`org.openstack4j.model.network`

```
List<? extends NetFloatingIP> ips = client.networking().floatingip().list();
NetFloatingIP floatingIp = ips.get(0);
// [...] unbenutzte IP mit (floatingIp.getPortId() == null) suchen
// Netzwerkschnittstelle der VM nachschlagen
Port port = client.networking().port().list(
    PortListOptions.create().deviceId(server.getId())).get(0);
NetFloatingIP result = client.networking().floatingip().associateToPort(
    floatingIp.get().getId(), port.getId());
```

- Floating-IP abfragen

`org.openstack4j.model.{compute,common}`

```
String publicIp = "";
List<? extends Address> vmAddresses = server.getAddresses().getAddresses("internal");
for (Address address: vmAddresses) {
    if (address.getType().equals("floating") && address.getVersion() == 4) {
        publicIp = address.getAddr();
        break;
    }
}
```

Zugriff auf Metriken in OpenStack mittels Gnocchi

- Datenabruf per REST-Anfragen
  - Zugriff über `WebTarget`-Objekt
  - Dokumentation: `https://gnocchi.osci.io/rest.html`
- Gnocchi-Endpunkt-URL (Servicetyp „`Metric`“) im Dashboard unter „API Access“ nachschlagen
- *Oder* Ermitteln der Endpunkt-URL mittels der Dienstliste von OpenStack

```
List<? extends Service> catalog = client.identity().tokens().getServiceCatalog(client.getToken().getId())
```

→ Öffentlichen (`Public`) Endpunkt des Servicetyps „`Metric`“ verwenden

- Authentifizierung bei Gnocchi-Anfragen erfolgt per HTTP-Header (Schlüssel-Wert-Paare)
  - Für *alle* Anfragen notwendig
  - Schlüssel (`<key>`): „`X-Auth-Token`“
  - Wert (`<value>`): Token von OpenStack anfordern

```
String authToken = client.getToken().getId();
```

  - Header-Modifikation bei REST-Anfragen

```
Response r = target.request().header(<key>, <value>).post(Entity.text("test"));
```

Zugriff auf Metriken in OpenStack mittels Gnocchi

- Instanz-spezifische ID einer Metrik (z. B. `cpu`) ermitteln (im Folgenden: `<metric-id>`)

  → `GET`-Anfrage auf Pfad listet alle Metriken auf:

  `<Gnocchi-URL>/v1/resource/instance/<vm-id>`
  - Rückgabe der Ergebnisse erfolgt im JSON-Format
  - Datentyp: `MWGnocchiInstanceResource`
- Messwerte für eine bestimmte Metrik abfragen

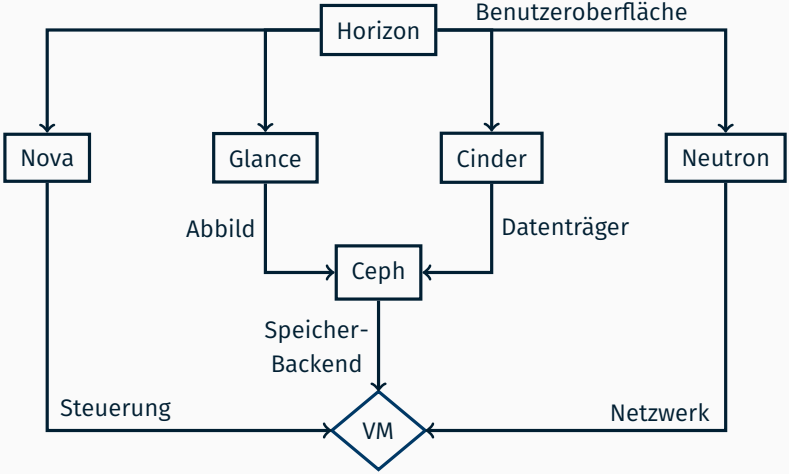
  → `GET`-Anfrage auf Pfad:

  `<Gnocchi-URL>/v1/metric/<metric-id>/measures?start=<time>&granularity=10&aggregation=rate:mean`
  - „`<time>`“: Zeitstempel (analog zu CloudWatch) **oder** relative Zeitangabe, z. B. „`−30seconds`“
  - „`granularity=10`“: Jeweils über 10 Sekunden aggregierte Datenpunkte abrufen
    - OpenStack Ceilometer sammelt bei uns alle 10 Sekunden neue Daten
    - Mögliche Aggregationszeiträume: 10 / 60 / 3600 Sekunden
  - „`aggregation=rate:mean`“: Durchschnitt über Aggregationszeitraum
  - Datentyp: `String[][]`; pro Array-Element: Zeitstempel, Aggregationszeitraum, Wert
- CPU-Metrik gibt akkumulierte Rechenzeit zurück
  - CPU-Verbrauch des aktuellen Aggregationszeitraums in Nanosekunden
  - CPU-Auslastung: Messwert / Aggregationszeitraum
    beispielsweise $7\,000\,000\,000\,ns / 10\,000\,000\,000\,ns = 70\%$

Erstellen eines VM-Abbilds in OpenStack

Cloud Computing Software-Infrastruktur

Software-Infrastruktur am Beispiel von OpenStack



Software-Infrastruktur am Beispiel von OpenStack

- **Nova**: Verwaltung virtueller Maschinen
  - Compute: Steuerung von VMs (QEMU/Xen/...) auf Rechnern
  - Scheduler: Verteilung auf verfügbare Hardware
- **Glance**: Bereitstellung von Abbildern
  - Registry: Metadaten für Images
  - API unterstützt verschiedene Speichersysteme
- **Cinder**: Bereitstellung von Volumes
  - Volume-Service: Lokale Datenhaltung
  - Scheduler: Verteilung der Daten(-transfers) auf Rechner
- **Ceph**: Verteiltes Speicher-Backend für Glance und Cinder
- **Neutron**: Netzwerkmanagement und virtuelle Router
  - Server: Steuerung und Zustandsverwaltung
  - Agents: Helfer für DHCP, Open vSwitch, Metadaten
- **Horizon** (Dashboard): Weboberfläche für Anwender
- **REST-Schnittstelle**: API-Dienst je Komponente
  $\rightarrow$Kommandozeilentools / SDK
- **RabbitMQ**: Interne Kommunikation der Dienste über Nachrichtenbus

Erstellen eines VM-Abbilds in OpenStack

Erstellen des Abbilds für OpenStack

Genereller Ablauf

- Ziel: Verlagerung der Übungsaufgabe in eine virtuelle Maschine
- Abbild innerhalb von OpenStack erzeugen
  - Starten einer Instanz des Linux-Live-System Grml (`http://grml.org`)
  - Neues Volume anlegen und einhängen
  - Betriebssysteminstallation
  - Anpassen der Konfiguration; Installieren zusätzlicher Softwarepakete
  - Umwandeln in Image
- Abbild starten
  - Öffentlichen SSH-Schlüssel für passwortlose Authentifizierung hinterlegen
  - Instanz mit eigenem Image starten
  - Öffentliche IP konfigurieren
  - Übungsaufgabe in der Cloud laufen lassen
- Speicherarten
  - Volume: Veränderbar, Verwendung nur in einer Instanz
  - Image (Abbild): Nicht veränderbar, Basis für viele Instanzen

Zugriff auf OpenStack

- Web-Frontend
  - Dashboard: `https://i4cloud1.cs.fau.de`
  - Zugangsdaten: siehe E-Mail mit Zugangsdaten
- Kommandozeile
  - OpenStack-Client-Programm: `openstack`
  - **Vor Verwendung**: `openrc`-Datei sourcen (siehe unten)
- Alle Kommandozeilenbefehle benötigen vorherige Authentifizierung
  1) Download der RC-Datei (`<user>-openrc.sh`) über Dashboard:
     → „Projekt“→ „API Access“→ „Download OpenStack RC File“
  2) RC-Datei einlesen und ausführen (sourcen)

```
$ source /path/to/<user>-openrc.sh
```

CIP

Grml-Instanz starten

- Name für Instanz festlegen
- Instanztyp `i4.grml`

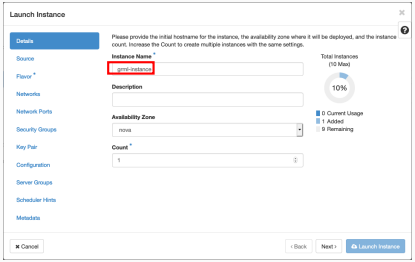
  → Kein Swap/Ephemeral-Volume
- Booten vom bereitgestellten Grml-Image (grml-2025.05)

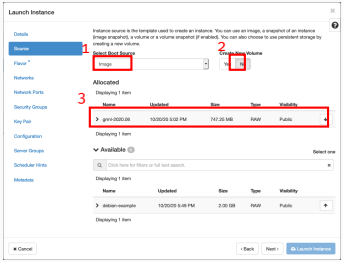
  → Kein zusätzliches Volume erzeugen
- Zugriff auf internes Netzwerk
- Weboberfläche: siehe nächste Folie
- Kommandozeile:

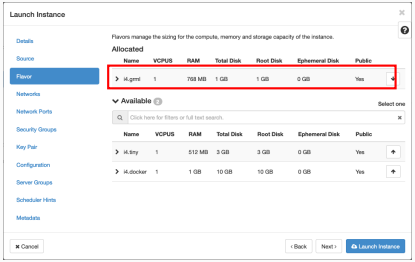
```
$ openstack image list    # --> grml id
$ openstack network list  # --> internal net id
$ openstack server create --flavor i4.grml \
    --image <grml id> \
    --nic net-id=<internal net id> \
    grml-instance
```

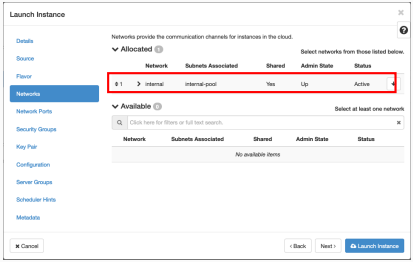
CIP

Grml-Instanz starten

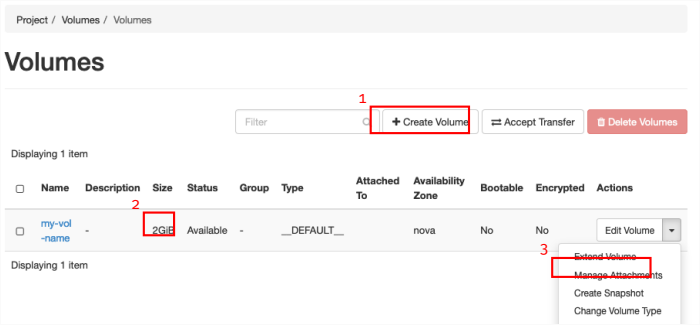








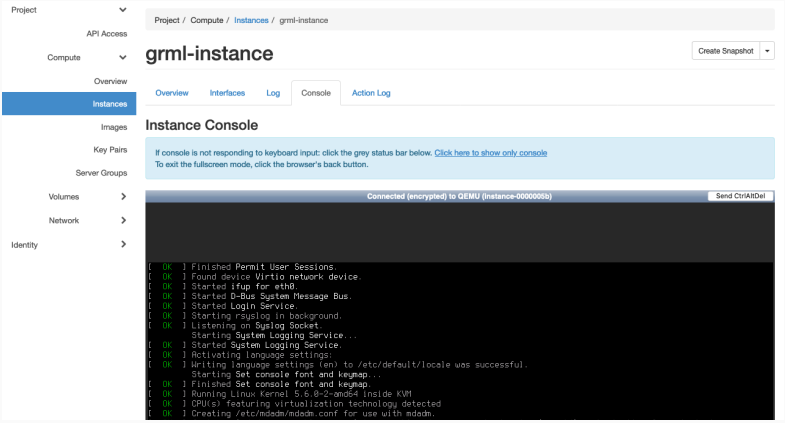
Volume erzeugen/einhängen



- (1) Leeres Volume anlegen, benötigt Name und Größe (2 GB)
- (2) Volumegröße kontrollieren
- (3) Volume der laufenden Instanz zuweisen
- Kommandozeile (Volume-Größe: 2 GB):

```
$ openstack volume create --size 2 my-vol-name  # --> vol ID
$ openstack server add volume grml-instance <vol id>
```

Erstellung des VM-Abbilds



- Konsole der laufenden Instanz im Dashboard öffnen
- Einrichtung des Betriebssystems und Installation der Java-Laufzeitumgebung im weiteren Verlauf der Übung

- Um als Basis für eine virtuelle Maschine zu dienen, muss das Abbild eine bootbare Partition mit Dateisystem beinhalten

- Mit `parted` lässt sich eine Partitionstabelle erstellen, was eine der Voraussetzungen ist, um das Abbild später booten zu können:

```
> parted /dev/vdb -s 'mktable␣msdos' 'mkpart␣primary␣1MiB␣-1s' print
```
GRML

- Das Kommando `mkfs` (**m**a**k**e **f**ile**s**ystem) erzeugt Dateisysteme, der Parameter `-t` spezifiziert dabei den Dateisystemtyp
- Erstellen eines `ext4`-Dateisystems mit der Bezeichnung „`VM-Abbild`” auf dem blockorientierten Gerät (block device) `/dev/vdb1`:

```
> mkfs -t ext4 -L "VM-Abbild" /dev/vdb1
```
GRML

Installation der User-Space-Komponenten des zukünftigen Gastbetriebssystems in das neu erzeugte, leere Dateisystem:

1. Einhängen des zuvor erstellten Dateisystems mit `mount`:

```
> mount /dev/vdb1 /mnt
```
GRML

Kontrolle:

```
> mount | grep vdb1
```
GRML

2. Erstellung der User-Space-Komponenten des Zielsystems mit `debootstrap`:

```
> debootstrap trixie /mnt/ 'http://ftp.fau.de/debian'
```
GRML

Kontrolle:

```
> ls -alR /mnt | more
```
GRML

3. Setupskript mittels `wget` herunterladen und ausführbar machen:

```
> wget https://i4mw.cs.fau.de/openstack/post-debootstrap.sh -O /mnt/post-debootstrap.sh
> chmod +x /mnt/post-debootstrap.sh
```
GRML

- Jeder Linux-Prozess besitzt ein Wurzelverzeichnis (/)
  - Zugriff auf Daten außerhalb des Wurzelverzeichnisses ist **nicht** möglich
  - Kindprozesse erben das Wurzelverzeichnis ihres Elternprozesses (`fork(2)`)
- Beispiel-Code `jail.c`:

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    /* Starte Kindprozess (/bin/bash) nach erfolgreichem
    Wechsel des Wurzelverzeichnisses */
    if (chroot("/mnt/") == 0) {
        execl("/bin/bash", NULL);
    }

    return 0;
}
```

- Die Datei `/mnt/bin/bash` des Live-Systems entspricht der Datei `/bin/bash` des Kindprozesses nach Aufruf von `chroot(2)`

Systemkonfiguration

- Weitergeben von `/dev` ins `chroot` (notwendig für die Installation von GRUB (Bootloader) im `post-debootstrap.sh`-Skript)

```
> mount -o bind /dev /mnt/dev
```
GRML

- Wechsel in das von `debootstrap` erstellte System mittels `chroot(8)`

```
> chroot /mnt /bin/bash
```
GRML

  ↪ **Hinweis:** Sämtliche **Änderungen** an dem von `debootstrap` erstellten System in der `chroot`-Umgebung sind **persistent**

- Aufruf des `post-debootstrap.sh`-Skriptes (siehe Aufgabenstellung) für grundlegende VM-Abbild-Konfiguration in der `chroot`-Umgebung und Setzen des Passworts für User `cloud`

```
# sh post-debootstrap.sh
Setting up /etc/apt/sources.list
(...)
Please set a password for user 'cloud'.
```
CHROOT

```
# passwd cloud
```
CHROOT

- Ergänzen der Software des Grundsystems mittels `apt-get`
- Aktualisieren der Paketquellen (`update`) und anschließendes Einspielen potentiell vorhandener Updates (`upgrade`)

```
# apt-get update
# apt-get upgrade
```
CHROOT

- Das Kommando `apt-get install` löst Abhängigkeiten auf und installiert die entsprechenden Pakete, `apt-get clean` löscht Caches

```
# apt-get install <paket1> <paket2> ... <paketn>
# apt-get clean
```
CHROOT

- Für die Übung sind noch folgende Pakete nötig oder nützlich:

```
openssh-server openjdk-21-jdk-headless screen vim-nox
```
CHROOT

Ausführen der Java-Anwendung

- Installation benötigter Bibliotheken

```
# mkdir -p /proj/lib
# wget https://i4mw.cs.fau.de/openstack/libs.tgz -O libs.tgz
# tar -xvf libs.tgz -C /proj/lib
# rm libs.tgz
```
CHROOT

- Automatisches Starten der Dienste
  - Beim Systemstart führt `systemd(1)` die Init-Skripte aus
  - Bereitgestelltes Startskript `/etc/systemd/system/i4mw-service.service`
    1. Wertet Konfigurationsdaten (user-data) aus; siehe Aufgabenstellung
    2. Lädt `jar`-Datei mit der Anwendung aus S3 herunter
    3. Startet die Anwendung mit den angegebenen Parametern
- Hilfestellung zum Debugging
  - Ausgabe im Log der VM-Instanz beachten (per Dashboard einsehbar)
  - Ausgabe ist innerhalb der VM-Instanz im Syslog verfügbar

```
$ sudo less /var/log/syslog
```
VM

  - Nur die Ausgaben des Dienstes `i4mw-service` anzeigen

```
$ sudo journalctl -u i4mw-service
```
VM

VM-Umgebung verlassen und Abbild erzeugen

- Shell beenden, um `chroot`-Umgebung zu verlassen

```
# exit
```
CHROOT

- Grml-Live-Umgebung herunterfahren

```
> shutdown now
```
GRML

  - Eingehängte Dateisysteme werden automatisch ausgehängt
  - Stellt sicher, dass alle Änderungen geschrieben wurden

- Volume aushängen
  - Per Dashboard: „Volumes“→ „Manage Attachments“→ „Detach Volume“
  - Per Kommandozeile:

```
$ openstack server remove volume grml-instance <vol-id>
```
CIP

- Abbild erzeugen
  - Per Dashboard: „Volumes“→ „Upload to Image“, Imagenamen eingeben, Disk format auf `raw` setzen
  - Per Kommandozeile:

```
$ openstack image create --disk-format raw --volume <volume_id> <image_name>
```
CIP

Erstellen eines VM-Abbilds in OpenStack

Betrieb der virtuellen Maschine

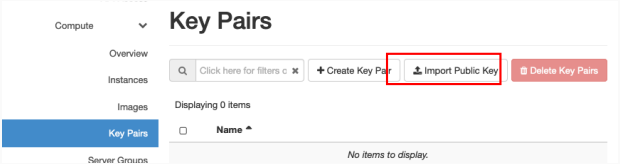
SSH-Schlüssel einrichten (einmalig)

- Privaten und öffentlichen Schlüssel mit `ssh-keygen` **auf einem CIP-Pool-Rechner** erzeugen

```
$ ssh-keygen -f ~/<gruppen_name> -N ""
Generating public/private rsa key pair.
Your identification has been saved in <gruppen_name>.
Your public key has been saved in <gruppen_name>.pub.
(...)
```

CIP

- Neu erstellten **öffentlichen Schlüssel** (`<gruppen_name>.pub`) hinzufügen unter „Compute“ → „Key Pairs“ → „Import Public Key“



- Kommandozeile:

```
$ openstack keypair create --public-key <gruppen_name>.pub <schluessel_name>
```

CIP

Eigenes Abbild als VM starten

- Instanztyp `i4.tiny`

  → Erzeugt Swap-Disk und vergößert root-Partition

- Von eigenem Abbild starten
- SSH-Schlüssel unter „Key Pair“ auswählen

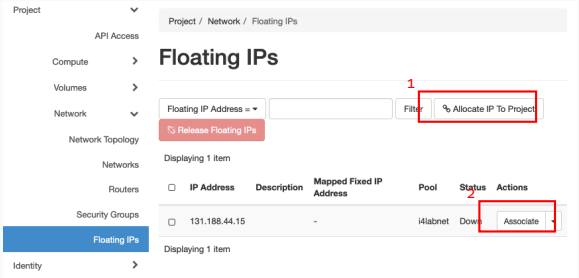
↪ Schlüssel wird beim Instanzstart nach `/home/cloud/.ssh/authorized_keys` kopiert

- Kommandozeile: (Schlüsselübergabe mittels Parameter `--key-name`)

```
$ openstack network list  # --> internal net id
$ openstack keypair list  # --> schluessel_name
$ openstack server create --flavor i4.tiny \
    --image <image name> \
    --nic net-id=<internal net id> \
    --key-name <schluessel_name> \
    my-vm-instance
```

CIP

Öffentliche IP zuweisen



- (1) Öffentliche IP aus Pool allokieren, **nur einmalig nötig**
- (2) IP-Adresse an laufende Instanz zuweisen
- Kommandozeile:

```
$ openstack floating ip create i4labnet
$ openstack server add floating ip my-vm-instance <erhaltene IP>
```

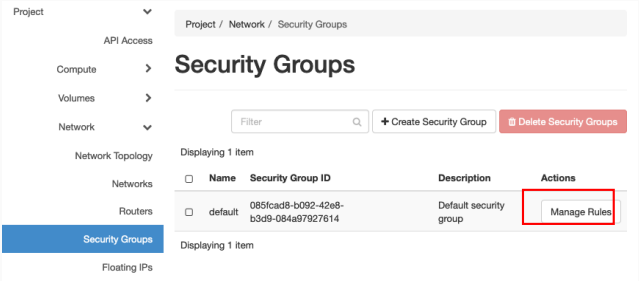
CIP

- Abfrage innerhalb laufender VM per REST-API:

```
$ curl http://169.254.169.254/latest/meta-data/public-ipv4
```

VM

Zugriffsregeln für Netzwerkverbindungen

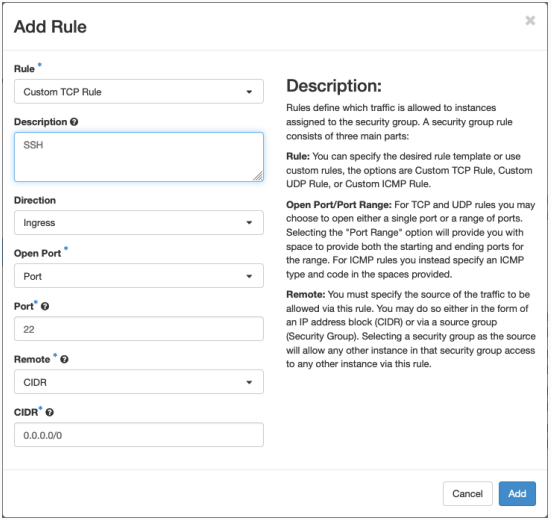


- TCP-Ports müssen für öffentlichen Zugriff freigegeben werden
- Kommandozeile, z. B. für TCP-Port 22 (SSH):

```
$ openstack security group rule create default \
    --ingress --src-ip 0.0.0.0/0 \
    --protocol tcp --dst-port 22
```

CIP

Firewall-Zugriffsregeln



Ingress = Eingehende Verbindungen, Egress = Ausgehende Verbindungen

Betrieb der virtuellen Maschine

- Passwortloser Zugriff mit SSH

```
$ ssh -i <gruppen_name> cloud@<instanz_ip>
```
CIP

→ SSH-Schlüssel siehe Folie 16, Instanz-IP aus vorheriger Zuweisung

- Wechsel von VM-Images erfordert evtl. Zurücksetzen von Host-Key

```
$ ssh-keygen -R <instanz_ip>    # Alten Host-Key entfernen
```
CIP

- Instanzen beenden: „Terminate“ auf der Weboberfläche, oder

```
$ openstack server list   # id heraussuchen
$ openstack server delete <instanz id>
```
CIP

- Alte Abbilder/Volumes löschen: Weboberfläche, oder

```
$ openstack volume delete <volume id>
$ openstack image delete <image id>
```
CIP

Nachträgliche Anpassungen am Abbild

- Neue GRML-Instanz starten und Volume einhängen (siehe Folie 5)
- Partition mit VM-Abbild mounten

```
> mount /dev/vdb1 /mnt
> mount -o bind /dev /mnt/dev
> chroot /mnt /bin/bash
```
GRML

```
# mount -t proc proc /proc
# mount -t sysfs sysfs /sys
# mount -t devpts devpts /dev/pts
```
CHROOT

- Volume anpassen
- GRML-Instanz ordentlich beenden

```
# exit
```
CHROOT

```
> shutdown now
```
GRML

- Volume aushängen und Abbild erneut hochladen (siehe Folie 15)

Private-Cloud-Umgebung des Lehrstuhls

- Modifikationen des VM-Abbilds über Grml-Instanz
  - Installation weiterer Softwarepakete
  - Anpassung der Startskripte
  - Systemkonfiguration

- Limitationen der Cloud-Umgebung des Lehrstuhls
  - Ressourcen der drei Node-Controller sind **beschränkt**
  - Beenden von nicht (mehr) benötigten Instanzen
  - Jederzeit auf faire Verwendung achten

- Infrastruktur
  - Bitte sendet bei Problemen oder Ungereimtheiten schnellstmöglichst eine E-Mail an `i4mw-owner@lists.cs.fau.de`

Anhang

Hinweis: Im Folgenden gezeigte (Code-)Beispiele dienen als zusätzliche Information und sind für das Lösen der Übungsaufgabe nicht vonnöten.

- Gebräuchliche Abbild-Typen für virtuelle Maschinen (VM)
  - Kopie eines Datenträgers (z. B. ISO-Image einer CD oder DVD):

```
$ dd if=/dev/sdb of=./cd-image.iso
$ file -b ./cd-image.iso
ISO 9660 CD-ROM filesystem data (bootable)
```

  - Erzeugen einer leeren Abbild-Datei:

```
$ truncate -s 100M image.raw
$ ls -lh image.raw
-rw-r--r-- 1 thoenig users 100M  4. Nov 12:11 image.raw
$ du image.raw
0
$ file -b image.raw
data
```

- Alternativ ist es möglich, einen physischen Datenträger als Basis für eine virtuelle Maschine zu verwenden

- Die Erstellung und Aufbereitung des Abbilds der virtuellen Maschine benötigt erweiterte Privilegien (Root-Rechte)
- Die Aufbereitung des Abbilds geschieht daher isoliert in der Betriebsumgebung einer virtuellen Maschine („Live-System“)
  ↪ In der Übung: Linux-Live-System Grml (`http://grml.org`)
- Varianten, dieses Live-System zu verwenden
  - Mit Emulator `qemu`:

```
$ qemu -drive file=grml.iso,index=0,media=cdrom \
    -drive file=image.raw,index=1,media=disk
```

  [`root`-Dateisystem (Teil von `grml.iso`, Gerätepfad `/dev/sr0`) wird automatisch eingehängt, nicht jedoch das leere Abbild (`image.raw`, Gerätepfad `/dev/sda`)]
  - **In der Übung:** Instanz eines Grml-Abbilds direkt in der Cloud starten ↪ siehe vorangegangene Folien
- Eingerichtetes Abbild kann in Cloud hochgeladen werden

```
$ openstack image create --disk-format qcow2 \
    --file <image_file (e.g., image.raw)> <image_name>
```