Middleware - Cloud Computing – Übung

Tobias Distler, Klaus Stengel,
Timo Hönig, Christopher Eibel

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)

www4.cs.fau.de

Wintersemester 2015/16

Überblick

Verteilte Dateisysteme
- Dateisysteme
- Apache Hadoop
- Hadoop Distributed File System (HDFS)

Container-Betriebssystemvirtualisierung
- Motivation
- Docker
  - Einführung
  - Architektur
  - Arbeitsablauf

Aufgabe 3
- Übersicht
- Java API for RESTful Services (JAX-RS)
- Hinweise

Dateisysteme

- Lokale Dateisysteme
  - Logische Schnittstelle des Betriebssystems für Zugriff auf persistente Daten durch Anwendungen und Benutzer
  - Adressierung von Daten auf physikalischen Datenträgern
  - Beispiele: `FAT{,32}`, `Ext{3,4}`, `Btrfs`

Dateisysteme

- Netzwerk-Dateisysteme
  - Zugriff auf entfernte, persistente Daten über Rechnergrenzen hinweg
  - Für gewöhnlich werden Netzwerk-Dateisysteme in den Namensraum lokaler Dateisysteme eingebunden
  - Beispiele: Andrew File System (AFS), Network File System (NFS), Samba

Probleme:

- Fehleranfälligkeit (z. B. Ausfall von Netzwerkverbindungen)
- Flaschenhalsbildung durch Ungleichgewicht (Anzahl Clients/Server)

Dateisysteme

- Verteilte Dateisysteme
  - Trennung von Belangen (engl. *separation of concerns*)
    - Indizierung
    - Datenverwaltung
  - Transparenzen
  - Replikation der Daten für höhere Ausfallsicherheit → Einhaltung von Dienstgütevereinbarung (engl. Service-Level-Agreement, kurz: SLA)
  - Auflösung von Konflikten zwischen Clients
  - Beispiele: Ceph, Google File System, Hadoop Distributed File System

- Literatur

Konstantin Shvachko, Hairong Kuang, Sanjay Radia, and Robert Chansler
The Hadoop distributed file system
Proceedings of the 26th IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST '10), pages 1–10, 2010.

Apache Hadoop: Überblick

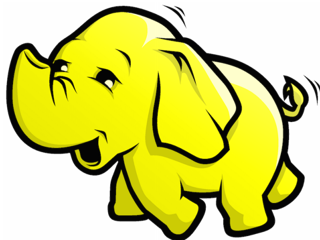
- Framework für skalierbare, verteilte Datenverarbeitung
  - Basiskomponenten: Hadoop Distributed File System, Hadoop MapReduce
  - Zusätzliche Komponenten (Auszug): HBase, Pig, ZooKeeper

Quelle der Illustration: https://blog.codecentric.de/2013/08/einfuhrung-in-hadoop-die-wichtigsten-komponenten-von-hadoop-teil-3-von-5/

Hadoop Distributed File System (HDFS)

- Architektur
  - HDFS-Client
  - NameNode → Namensraum (Index, Metadaten)
  - DataNode → Blockreplikate (Blockdaten + Metadaten)

- Konzepte
  - Write-once, read-many (WORM)
  - Replikation
  - Datenlokalität („rack-aware“)



- Literatur

Konstantin Shvachko, Hairong Kuang, Sanjay Radia, and Robert Chansler
The Hadoop distributed file system
Proceedings of the 26th IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST '10), pages 1–10, 2010.

Hadoop Distributed File System (HDFS)

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

HDFS-Index

Client-Index

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

- System-Konfiguration
  - 1x HDFS-Client
  - 1x NameNode
  - 5x DataNodes (Rack 1: DN1–3, Rack 2: DN4–5)

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

HDFS-Index

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A
Block B
Block C

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

- HDFS-Client legt die aus drei Blöcken (Block A, B und C) bestehende Datei `file.dat` im HDFS an

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

HDFS-Index

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A

Block B

Block C

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

1. HDFS-Client → NameNode:
   Anforderung einer sog. Miete (engl. *lease*) für das Schreiben der Datei `file.dat`

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

Block A: DN{1,3,4}

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A

Block B

Block C

2. NameNode → HDFS-Client:
   Erteilung der Miete, Erzeugung einer Block-ID für den ersten Block (Block A), Zuteilung der Replikate (DN1, DN3 und DN4)

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

Block A: DN{1,3,4}

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A

Block B

Block C

3. „Daten-Pipeline" zur Vorbereitung der Schreiboperation*en* von Block A: HDFS-Client — DN1 — DN3 — DN4

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

3. „Daten-Pipeline“ zur Vorbereitung der Schreiboperation*en* von Block A: HDFS-Client — DN1 — DN3 — DN4

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

Block A: DN{1,3,4}

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A

Block B

Block C

4. Durchführung der Schreiboperationen:
   HDFS-Client sendet Block A an DN1
   DN1 sendet empfangenen Block A an DN3
   DN3 sendet empfangenen Block A an DN4

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

Block A: DN{1,3,4}

Client-Index

Datei: `file.dat`

Block A

Block B

Block C

5. Bestätigung der Schreiboperationen:
   Jede DataNode bestätigt das erfolgreiche Schreiben von Block A gegenüber dem NameNode *und* entlang der Pipeline (Abbau)

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Schreiben

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

- Block A: DN{1,3,4}
- Block B: DN{3,2,5}
- Block C: DN{4,5,1}

Client-Index

Datei: `file.dat`

- Block A
- Block B
- Block C

- HDFS-Client → DataNodes:
  Analog werden die restlichen Blöcke der Datei vom HDFS-Client an die durch den NameNode zugeordneten DataNodes verschickt

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Lesen

HDFS-Client

NameNode

Rack 1

DataNode 1 (DN1)

DataNode 2 (DN2)

DataNode 3 (DN3)

Rack 2

DataNode 4 (DN4)

DataNode 5 (DN5)

HDFS-Index

Datei: `file.dat`

- Block A: DN{1,3,4}
- Block B: DN{3,2,5}
- Block C: DN{4,5,1}

Client-Index

1. HDFS-Client → NameNode:
   Anforderung der DataNodes-Liste: Alle DataNodes, die Blöcke der zu lesenden Datei `file.dat` speichern

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Lesen

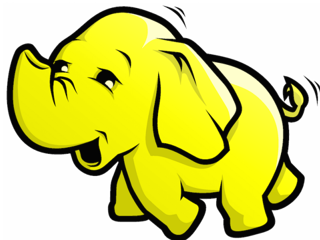
2. NameNode → HDFS-Client, HDFS-Client → DataNodes:
   Client erhält DataNodes-Liste und wählt den ersten DataNode für jeden der Datenblöcke

Hadoop Distributed File System (HDFS) — Lesen

3. DataNodes → HDFS-Client:
HDFS-Client liest die Blöcke sequentiell, DataNodes senden die angeforderten Blöcke an den HDFS-Client

Hadoop Distributed File System (HDFS)

- (Weitere) HDFS-Details
  - Herzschlag-Nachrichten (engl. heartbeat): DataNodes → NameNode
    → Alle drei Sekunden (Default) ein Herzschlag
  - Herzschlag wird durch TCP-Verbindung realisiert
    → Grundlast bei sehr großen Clustern
  - Block-Report (jeder zehnte Herzschlag): NameNode generiert Metadaten aus den Block-Reports
    → Replikation
  - NameNode
    → *Die Sollbruchstelle des Systems?*



- Informationen und Links
  - Apache Hadoop: HDFS Architecture
  - Shvachko et al.: The Hadoop distributed file system

Überblick

Verteilte Dateisysteme
- Dateisysteme
- Apache Hadoop
- Hadoop Distributed File System (HDFS)

Container-Betriebssystemvirtualisierung
- Motivation
- Docker
  - Einführung
  - Architektur
  - Arbeitsablauf

Aufgabe 3
- Übersicht
- Java API for RESTful Services (JAX-RS)
- Hinweise

Virtualisierungsformen im Vergleich

VM_1 VM_2 VM_3

Virtuelle Maschinen

App_a	App_b	App_c
Bins & Libs	Bins & Libs	Bins & Libs
Gast-OS	Gast-OS	Gast-OS
Hypervisor		
Gastgeberbetriebssystem		
Hardware		

HYPERVISOR-BASIERT

C_1 C_2 C_3 C_4

Container

App_a	App_b	App_c	App_d
Bins & Libs			Bins & Libs
Virtualisierungsschicht			
Gastgeberbetriebssystem			
Hardware			

CONTAINER-BASIERT

- Hypervisor-basierte Virtualisierung (Vollvirtualisierung)
  - Stärken liegen in der Isolation unabhängiger virtueller Maschinen
  - Erlaubt Virtualisierung von kompletten Betriebssystemen
- Container-basierte Virtualisierung
  - Leichtgewichtig: Hypervisor entfällt, kleinere Abbilder
  - Benötigt unter Umständen angepassten Betriebssystem-Kernel

Virtualisierungsformen im Vergleich

VM_1 VM_2 VM_3

Virtuelle Maschinen

App_a	App_b	App_c
Bins & Libs	Bins & Libs	Bins & Libs
Gast-OS	Gast-OS	Gast-OS
Hypervisor		
Gastgeberbetriebssystem		
Hardware		

Hypervisor-basiert

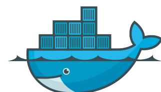
C_1 C_2 C_3 C_4

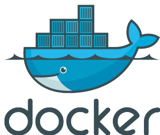
Container

App_a	App_b	App_c	App_d
Bins & Libs			Bins & Libs
Docker-Engine			
Gastgeberbetriebssystem			
Hardware			

Container-basiert

- Container-Betriebssystemvirtualisierungsstellvertreter
  - {Free,Open,Net}BSD: FreeBSD Jail, sysjail
  - Windows: iCore Virtual Accounts, Sandboxie
  - Linux: OpenVZ, Linux-VServer
- Im Rahmen dieser Übung betrachtet: **Docker**





Video: „**What is Docker?**“

Kurzvortrag von Docker-Erfinder Solomon Hykes

(Kopie: `/proj/i4mw/pub/aufgabe3/What_is_Docker.mp4`, Dauer: 7:15 Min.)

Docker-Architektur

libcontainer	libvirt	Docker-Engine	systemd-nspawn	LXC

Networking	Security

Gastgeberbetriebssystem
(→ Linux-Kernel)

Cgroups	Namespaces	Storage-Treiber

Hardware

- Docker setzt auf bereits existierenden Linux-Komponenten auf
- Dominierende Komponenten
  - Ressourcenverwaltung: Control Groups
  - Namensräume
  - (Union-)Dateisysteme

  } **libcontainer**

Control Groups

- Control Groups (cgroups) ermöglichen das Steuern und Analysieren des Ressourcenverbrauchs bestimmter Benutzer und Prozesse
- Durch Control Groups steuerbare Ressourcen
  - Speicher (RAM, Swap-Speicher)
  - CPU
  - Disk-I/O
- Funktionsweise
  - cgroups-Dateisystem mit Pseudoverzeichnissen und -dateien
  - Prozesse werden mittels Schreiben ihrer PID in passende Kontrolldatei zu einer Control Group hinzugefügt
  - Auflösen einer Control Group entspricht dem Entfernen des korrespondierenden Pseudoverzeichnisses

Paul Menage et al.
CGROUPS
https://www.kernel.org/doc/Documentation/cgroups/cgroups.txt, 2014.

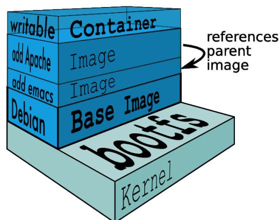
Namensräume

- Namensräume werden zur Isolation von Anwendungen auf unterschiedlichen Ebenen herangezogen
- **Dateisysteme**
  - Jedes Dateisystem benötigt eigenen Einhängepunkt, welcher einen neuen Namensraum aufspannt
  - Union-Dateisysteme (mit Docker *noch* verwendbar: `aufs`) erlauben Verschmelzen von Verzeichnissen aus eigenständigen Dateisystemen
- **Prozesse**
  - Hierarchische Struktur mit einem PID-Namensraum pro Ebene
  - Pro PID-Namensraum eigener `init`-ähnlicher Wurzelprozess
  - Isolation: Prozesse können keinen Einfluss auf andere Prozesse in unterschiedlichen Namensräumen nehmen
- **Netzwerke**
  - Eigene Netzwerk-Interfaces zwischen Host und einzelnen Containern
  - Jeweils eigene Routing-Tabellen und iptables-Ketten/Regeln

Dockerizing: Anwendung → Container

- Unterscheidung
  - Docker-Abbild: Software-Basis zum Instanziieren von Docker-Containern
  - Docker-Container: Instanziiertes Docker-Abbild in Ausführung

- Inhalt eines Docker-Containers
  - Dateisystem
  - Systembibliotheken
  - Shell(s)
  - Binärdateien



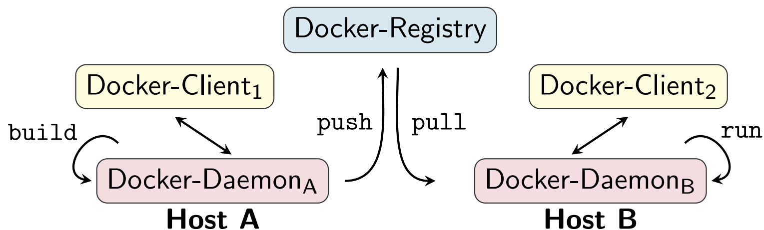
Quelle der Illustration: `https://docs.docker.com/terms/layer/`

- **Dockerizing:** „Verfrachten" einer Anwendung in einen Container
  - Instanziieren eines Containers erfolgt über das Aufrufen einer darin befindlichen Anwendung
  - Container an interne Anwendungsprozesse gebunden → Sobald letzte Anwendung terminiert ist, beendet sich auch die Container-Instanz

Docker-Arbeitsablauf

- Git-orientierter Arbeitsablauf
  - Ähnliche Befehlsstruktur (z. B. `pull`, `commit`, `push`)
  - Git Hub ⇔ Docker Hub

- Typischer Arbeitsablauf
  1) Docker-Abbilder bauen (`build`)
  2) Ausliefern: Abbilder in Registry ein- und auschecken (`push`/`pull`)
  3) Docker-Container instanziieren und zur Ausführung bringen (`run`)



Docker-Registrys und -Repositorys

- Von Docker, Inc. bereitgestellte Registry: **Docker Hub**
  - Cloud-Service zur Verwaltung von Docker-Abbildern bzw. -Anwendungen
  - Registrieren bzw. Anlegen eines Benutzerkontos notwendig
  - Anzahl kostenloser, **öffentlicher** Repositorys nicht begrenzt
  - Nur ein privates Repository kostenlos
- **Private Registry** (hier: I4-Docker-Registry)
  - Ermöglicht das Verwalten garantiert nicht-öffentlicher Repositorys
  - Unabhängigkeit von Verfügbarkeit einer öffentlichen Registry
- Authentifizierung gegenüber der (privaten) Docker-Registry
  - An-/Abmelden an/von (optional spezifiziertem) Docker-Registry-Server

```
$ docker login [<OPTIONS>] [<REGISTRY-HOSTNAME>]
$ [...] // Registry-zugreifende Befehle ausfuehren, siehe naechste Folie
$ docker logout [<REGISTRY-HOSTNAME>]
```

  - **Achtung:** Weglassen eines Registry-Hostname impliziert Verwendung der Docker-Hub-Registry bei nachfolgenden `push`- oder `pull`-Befehlen.
    ↪ (I4-Docker-Registry-Hostname: `faui42.cs.fau.de:8082`)

Umgang mit der Registry

- Abbild aus Repository herunterladen und direkt verwenden/verändern

1) Vorgefertigtes Abbild aus Repository auschecken

```
$ docker pull <NAME>[:<TAG>]
```

Hinweis: TAG nur optional, wenn Image mit Default-Tag (= latest) existiert.

2) Container starten (mehr ab Folie 5–22); darin evtl. Änderungen vornehmen

```
$ docker run -t -i <NAME>[:<TAG>] <COMMAND>
```

Mit /bin/bash als COMMAND können im Container über die Shell beliebige Programme via Paket-Manager installiert werden, z. B. apt-get -yq install vim.

- Optionale Schritte (nur falls Änderungen erfolgt sind, die erhalten bleiben sollen)

3) Änderungen persistent machen und Abbild (lokal!) erzeugen

```
$ docker commit <CONTAINER-ID> <NAME>[:<TAG>]
```

4) Abbild publizieren bzw. in Registry einspielen

```
$ docker push <NAME>[:<TAG>]
```

Hinweis: Da pull und push keinen Registry-Hostname vorsehen, müssen die Abbilder bei eigenen Registrys über den <NAME>-Parameter getaggt sein.

- <NAME> besteht aus {Abbild,Benutzer}name und Registry-Hostname
- Beispiel: $ docker push faui42.cs.fau.de:8082/user/myimage:test

Docker-Abbilder bauen

- In der Praxis: **Dockerfiles**
  - Rezepte zum skriptbasierten Bauen eines Abbilds
  - Zeilenweises Abarbeiten der darin befindlichen Instruktionen
- Vordefinierte, voneinander unabhängige **Docker-Instruktionen**
  - `FROM <IMAGE>[:<TAG>]` $\mapsto$ Basisabbild auswählen (obligatorisch)
  - `EXPOSE <PORT> [<PORT>...]` $\mapsto$ Container-übergreifende Port-Freigabe
  - `RUN <COMMAND>` $\mapsto$ Ausführen eines Befehls (in *Shell-Form*)
  - `CMD [<EXE>, [<PARAM-1>], ...]` $\mapsto$ Ausführung bei Container-Start
  - `ENTRYPOINT [<EXE>, <PARAM-1>, ...]` $\mapsto$ Container-Einstiegspunkt setzen
    - Nur ein Einstiegspunkt (= Befehl) pro Container möglich
    - Container-Aufruf führt zwangsläufig zu Aufruf des entsprechenden Befehls
    - Parameter (bei Container-Start) und Argumente nachfolgender `RUN`/`CMD`-Befehle werden als zusätzliche Parameter an `<EXE>`-Binärdatei übergeben
  - `COPY <SRCs> <DST>` $\mapsto$ Dateien/Verz. ins Container-Dateisystem kopieren
  - ... [→ vollständige Referenz: `https://docs.docker.com/reference/builder/`]

Docker-Abbilder bauen

- Vorgehen
  - Datei `Dockerfile` anlegen und mit Docker-Instruktionen befüllen
  - Build-Prozess starten mit Kontext unter `PATH`, `URL` oder `stdin` (`-`)

```
$ docker build -t <NAME>[:<TAG>] <PATH | URL | - >
```

- Beispiel-`Dockerfile` (Anm.: `mwps.jar` liegt im aktuellen Arbeitsverzeichnis, d. h. `PATH=.`)

Aufruf: `$ docker build -t faui42.cs.fau.de:8082/gruppe0/mwcc-image .`

```
1 FROM       faui42.cs.fau.de:8082/gruppe0/javaimage
2 EXPOSE     18084
3 RUN        useradd -m -g users -s /bin/bash mwcc
4 WORKDIR    /opt/mwcc
5 RUN        mkdir logdir && chown mwcc:users logdir
6 COPY       mwps.jar /opt/mwcc/
7 USER       mwcc
8 ENTRYPOINT ["java", "-cp", "mwps.jar:lib/*", "mw.printer.MWPrintServer"]
9 CMD        ["-logdir", logdir]
```

1) Eigenes Abbild `javaimage` als Ausgangsbasis heranziehen; **2)** Port 18084 freigeben
3) Benutzer `mwcc` erstellen, diesen zur Gruppe `users` hinzufügen und Shell setzen
4) Basisverzeichnis setzen (`/opt/mwcc` und `lib`-Unterverzeichnis existieren bereits)
5) Log-Verzeichnis erstellen, Benutzerrechte setzen und **6)** JAR-Datei hineinkopieren
7) Ausführenden Benutzer und **8)** Einstiegspunkt setzen; **9)** Java aufrufen

Docker-Abbilder

- Besonderheiten von Docker-Abbildern
  - Jeder Befehl im `Dockerfile` erzeugt ein neues Zwischenabbild
  - Basis- und Zwischenabbilder können gestapelt werden
  - Differenzbildung erlaubt Wiederverwendung zur Platz- und Zeitersparnis
- **Lokal** vorliegende Docker-Abbilder anzeigen (inkl. Image-IDs):

```
$ docker images
REPOSITORY                       TAG    IMAGE ID     CREATED     VIRTUAL SIZE
<none>                           latest 7fd98daef919 2 days ago  369.8 MB
faui42.cs.fau.de:8082/ubuntu     latest 5506de2b643b 11 days ago 197.8 MB
```

  - Repository: Zum Gruppieren verwandter Abbilder
  - Tag: Zur Unterscheidung und Versionierung verwandter Abbilder
  - Image-ID: Zur Adressierung eines Abbilds bei weiteren Befehlen

Hinweis: Beim Erstellen eines Abbilds mit bereits existierendem Tag wird das Abbild nicht gelöscht, sondern mit `<none>`-Tag versehen aufgehoben (siehe 1. Eintrag in Ausgabe).

- Nur lokale Abbilder können über die Kommandozeile gelöscht werden

```
$ docker rmi [<OPTIONS>] <IMAGE> [<IMAGE>...] # IMAGE := z. B. Image-ID
```

Docker-Container

- Docker-Container im Hintergrund mittels -d(etached)-Flag starten

```
$ docker run -d [<OPTIONS>] <IMAGE> [<COMMAND> + [ARG...]]
```

→ Für IMAGE kann NAME[:TAG] (vgl. Folie 5–18) oder die Image-ID eingesetzt werden.

- Laufende Container und insbesondere deren **Container-IDs** anzeigen

```
$ docker ps -a
CONTAINER ID  IMAGE            COMMAND                 CREATED          ...
ba554f163f63  eg_pgql:latest   "bash"                  33 seconds ago   ...
345b60f9a4c5  eg_pgql:latest   "/usr/lib/postgresql"   7 minutes ago    ...
5496bd5d89d9  debian:latest    "bash"                  46 hours ago     ...
...   STATUS                   PORTS                     NAMES
...   Up 32 seconds            5432/tcp                  sad_lumiere
...   Up 7 minutes             0.0.0.0:49155->5432/tcp   pg_test
...   Exited (0) 46 hours ago                            hungry_brattain
```

→ -a-Flag, um auch beendete Container und deren Exit-Status anzuzeigen

- Weitere Operationen auf Containern
  - Entfernen/Beenden ↦ `docker rm [OPTIONS] <CONTAINER-IDs...>`
  - Attachen ↦ `docker attach --sig-proxy=false <CONTAINER-IDs...>`

    Hinweis: `--sig-proxy=false` nötig, um mit `Ctrl-c` detachen zu können

Docker-Container

- Möglichkeiten der Container-Analyse
  - Logs (≙ Ausgaben auf `stderr` und `stdout`) eines Containers anzeigen

```
$ docker logs [<OPTIONS>] <CONTAINER-ID>
```

  - Container-Metainformationen (Konfiguration, Zustand, ...) anzeigen

```
$ docker inspect <CONTAINER-ID>
```

  - Laufende Prozesse innerhalb eines Containers auflisten

```
$ docker top <CONTAINER-ID>
```

  - Jegliche Veränderungen am Container-Dateisystem anzeigen

```
$ docker diff <CONTAINER-ID>
```

- Es existieren eine Reihe von Container-Zuständen bzw. -Events
  - Start/Wiederanlauf: `create`, `start`, `restart`, `unpause`
  - Stopp/Unterbrechung: `destroy`, `die`, `kill`, `pause`, `stop`

  → **Sämtliche** Events am Docker-Server anzeigen:

```
$ docker events
```

Container-Interaktion mit der Umgebung

- **Netzwerk-Ports** (Publish-Parameter)
  - Jeder Container besitzt eigenes, internes Netzwerk
  - `EXPOSE`-Instruktion im `Dockerfile` gibt Ports nur zwischen Containern frei
  - Für Zugriff von außen, interne Ports explizit auf die des Host abbilden
    - Automatisch: zufällig gewählter Port (Bereich: 49153–65535) auf Host-Seite

```
$ docker run -P ...
```

    - Manuell, um Host- und Container-Port exakt festzulegen

```
$ docker run -p <HOST-PORT>:<CONTAINER-PORT> ...
```

- **Container-Linking** (Link-Parameter)
  - Container direkt mittels sicherem Tunnel miteinander verbinden
  - Anwendungsfallabhängiger Vorteil: Zugriff kann nur noch durch andere(n) Container und nicht über das umliegende Netzwerk erfolgen
    - Befehl, um einen Ziel- mit einem Quell-Container zu verbinden

```
$ docker run --name <SRC-NAME> --link <DST-NAME>:<LINK-ALIAS> ...
```

    - Legt entsprechende Umgebungsvariablen und `/etc/hosts`-Einträge an

Überblick

Verteilte Dateisysteme
- Dateisysteme
- Apache Hadoop
- Hadoop Distributed File System (HDFS)

Container-Betriebssystemvirtualisierung
- Motivation
- Docker
  - Einführung
  - Architektur
  - Arbeitsablauf

Aufgabe 3
- Übersicht
- Java API for RESTful Services (JAX-RS)
- Hinweise

Übersicht

MWDFS-Client

Namenode-Server

Datanode 1

Datanode 2

Datanode 3

Metadaten

- **Namenode-Server**
  - **Metadaten**
  - Datei-Operationen (Anlegen, Anzeigen, Löschen)
  - Leases für Schreibzugriffe
  - Verzeichnisstruktur (optional für 5,0 ECTS)

Übersicht

MWDFS-Client

Namenode-Server

Datanode 1

Datanode 2

Datanode 3

Metadaten

- **MWDFS-Client**
  - Datenzugriff
  - Datei-Operationen (Anlegen, Anzeigen, Löschen)
  - Verzeichnisstruktur (optional für 5,0 ECTS)

Übersicht

MWDFS-Client

Namenode-Server

Datanode 1

Datanode 2

Datanode 3

Metadaten

- **Replikation** (optional für 5,0 ECTS)
  - Datenblöcke redundant auf mehreren Datanodes speichern
  - Erweiterung der serverseitigen **Metadaten**

Übersicht

MWDFS-Client

docker
Namenode-Server

docker
Datanode 1

docker
Datanode 2

docker
Datanode 3

Metadaten

- **Docker** und OpenStack

  - Docker-Images erstellen
  - Betrieb von Namenode-Server und drei Datanodes als **Docker-Container**
    $\rightarrow$ OpenStack-Cloud
  - Zugriff auf das System über MWDFS-Client
    $\rightarrow$ CIP-Pool

JAX-RS: Implementierung der Server-Seite

Java-Annotationen (Package: `javax.ws.rs`)

- Annotationen zum Festlegen von
  - Pfaden zu Ressourcen (→ URL)
  - Aktionen (HTTP-Methoden), die auf den Ressourcen ausgeführt werden
  - Repräsentationstypen in Anfrage- und Antwortnachrichten einer Methode
- Mit Ausnahme von `OPTIONS` und `CONNECT` existieren für jede HTTP-Operation korrespondierende Annotationen (z. B. `@GET`)
  - Einfaches URI-Matching

```
@Path("/printsrv")
public class MWPrintServer {
  @GET
  @Path("/listall")
  public Response getPrinters() {
    return Response.ok(printers).build(); // printers := MWPrinterList
  }                                       // (-> siehe Folie 5-32)
```

  - Mögliche (gültige) Anfrage:
    `http://localhost:18084/printsrv/listall`

JAX-RS: Implementierung der Server-Seite

Erweiterte Java-Annotationen

- URI-Path-Templates
  - Verwendung von regulären Ausdrücken in `@Path` möglich
  - Einbetten von Variablen mit „{“ und „}“; Referenzierung über `@PathParam`
  - URI-Query-Parameter (`?<param>=<value>`, siehe Beispiel unten): `@QueryParam`
- Festlegen von Nachrichten-Repräsentationen durch MIME-Typ(en)
  - `@Produces`: Repräsentation(en) der Antwort zum Client
  - Mögliche MIME-Typen:
    - `byte[]` ↦ „`application/octet-stream`“
    - JAXB ↦ „`application/xml`“
    - ...
- Beispiel

```
@POST
@Produces("application/xml")
@Path("/settings{printer:(/.*)?}")
public String setSettings(@PathParam("printer") String printer,
        @DefaultValue("white") @QueryParam("bgcolor") String color) {
```

→ Mögliche gültige und ungültige Anfragen

- `http://localhost:18084/printsrv/settings?bgcolor=yellow` ✓
- `http://localhost:18084/printsrv/settings/room42/printer1` ✓
- `http://localhost:18084/printserver/printer2` ✗ (→ Fehler 404)

JAX-RS: Implementierung der Server-Seite

Antwortnachrichtengenerierung und Fehlerpropagierung

- **Antwortnachrichten**
  - Standard-Java-Rückgabetypen möglich (z. B. siehe vorheriges Beispiel)
  - Rückgabe inkl. Metadaten über `Response`-Objekt
    - Fehlerfreier Fall: `Response.ok(<Object>).build()`
    - Leere Antwort: `Response.noContent().build()`
- **Fehlerpropagierung** über `WebApplicationException`, um korrekten HTTP-Status-Code zurückzugeben (Default: 500)

```
@PUT
@Path("/addroom/{room}")
@Produces("text/plain")
public Response addRoom(@PathParam("room") String roomName,
                        byte[] putData) {
  if (rooms.contains(roomName))       // rooms := static Set<String>
    throw new WebApplicationException("Room already exists.", 409);
  rooms.add(roomName);                // HTTP-Status-Code 409 := Conflict
  return Response.ok(roomName + " added.").build();
}
```

JAX-RS: Implementierung der Server-Seite

Server starten

- Beispiel

```
import java.net.URI;
import javax.ws.rs.core.UriBuilder;
import org.glassfish.jersey.jdkhttp.JdkHttpServerFactory;
import org.glassfish.jersey.server.ResourceConfig;

public static void main(String[] args) {
  URI baseUri = UriBuilder.fromUri("http://[::]/").port(18084).build();
  ResourceConfig config = new ResourceConfig(MWPrintServer.class);
  JdkHttpServerFactory.createHttpServer(baseUri, config);
}
```

- Server erzeugt neue Instanz der Klasse bei jedem Aufruf
  - Default-Konstruktor notwendig
  - `static` für Variablen notwendig
- Erforderliche JAR-Dateien für den Jersey-HTTP-Server (u. a.) liegen in `/proj/i4mw/pub/aufgabe3/jaxrs-ri-2.13/` bereit

JAX-RS-Client: Anfragen und Fehlerbehandlung

- Senden von Anfragen mit Hilfe von `WebTarget`-Objekten, z. B.

```
WebTarget ps = ClientBuilder.newClient()
    .target("http://localhost:18084/printsrv");
```

- `WebTarget`-Klasse bietet Methoden zur Steuerung von Anfragen
  - `path()`-Methode

```
// Fuege Raum hinzu (vgl. addRoom() auf Folie 5-29)
ps.path("addroom").path(room).request("text/plain")
    .put(Entity.entity(data, "application/octet-stream")).close();
```

  - `queryParam()`-Methode

```
// Hintergrundfarbe auf Gelb setzen (vgl. setSettings() auf Folie 5-28)
Response r = ps.path("settings").queryParam("bgcolor", "yellow")
    .request().post(Entity.text(""));
```

  → Benötigt zugehörigen, mit `@QueryParam` annotierten Parameter auf Server-Seite (vgl. Parameterliste der `setSettings()`-Methode auf Folie 5–28)

- Überprüfen auf Fehlerfall

```
if (r.getStatus() != Status.OK.getStatusCode()) // != 200 OK
    System.err.println("Bad status: " + r.getStatusInfo());
r.close();
```

JAX-RS-Client: Antwortobjekte

- Antwortobjekt deserialisieren
  - `readEntity()`-Aufruf am `Response`-Objekt
  - Beispiel: `String statusMsg = r.readEntity(String.class);`
- Vollständige API-Dokumentation

  `https://jax-rs-spec.java.net/nonav/2.0-rev-a/apidocs/index.html`
- JAXB-{Des,S}erialisierung mit annotierten Java-Klassen
  - Beispiel
    - Definition einer annotierten Java-Klasse

```
@XmlRootElement
@XmlAccessorType(XmlAccessType.FIELD)
public class MWPrinterList {
  public List<String> printers;
  public int activeJobs;
}
```

    - Verwendung (hier: Holen von Druckerstatusinformationen)

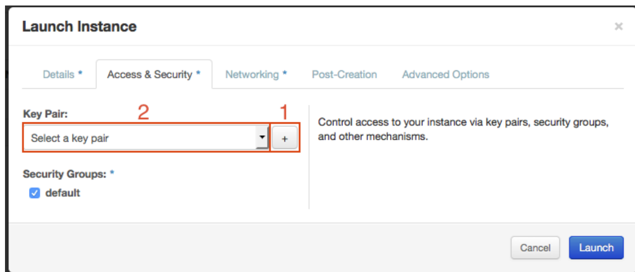
```
MWPrinterList mwpl = ps.path("listall").request(
    "application/xml").get(MWPrinterList.class);
```

  - Zur Kennzeichnung von Variablen, die nicht serialisiert werden sollen: `@XmlTransient`-Annotation voranstellen

SSH-Schlüssel hinzufügen

Über die Weboberfläche

- Im Dialog zum Starten einer Instanz → „Access & Security“



1) **Öffentlichen Schlüssel** eines bereits vorhandenen Schlüsselpaars hinzufügen (z. B. `<gruppen_name>.pub`, vgl. Folie 3–28)
   [Alternativ die Anweisungen im darauffolgenden Dialog befolgen, um ein neues Schlüsselpaar zu erzeugen.]
2) Den soeben neu angelegten Schlüsselpaareintrag aus Liste auswählen (danach die Instanz wie gehabt mit den gewünschten Eigenschaften starten)

SSH-Schlüssel hinzufügen

Über die Kommandozeile

- Umgebungsvariablen aus OpenStack-RC-Datei einbinden (vgl. Folie 3–30)

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

- Vorhandenen öffentlichen SSH-Schlüssel hinterlegen (einmalig)

```
$ nova keypair-add --pub-key <gruppen_name>.pub docker
```

  - Privater SSH-Schlüssel in Datei `<gruppen_name>` (vgl. Folie 3–28)
  - Öffentlicher Schlüssel in OpenStack als `docker` hinterlegt

- Übergabe an VM bei Instanziierung mittels Parameter `--key_name`

```
$ nova boot --flavor i4.docker --nic net-id=<internal net id> \
  --image dockervm --key_name docker docker-instance
```

Hinweis: Zum Einloggen per SSH den Benutzernamen `cloud` verwenden.

↪ Einloggen (vgl. Folie 4–15)

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

Effektives HTTP-Debugging

- cURL-Kommandozeilen-Tool kann zum Debuggen verwendet werden
- Wichtige Parameter [Referenz: `http://curl.haxx.se/docs/httpscripting.html`]
  - Ausgabe des vollständigen Nachrichtenaustauschs: `-verbose` (`-v`)
  - Explizites Festlegen der HTTP-Methode: `-X {POST,GET,HEAD,...}`
  - Modifizeren des Headers: z. B. `--header "Accept: text/plain"`

```
$ curl -v -X PUT http://localhost:18084/printsrv/addroom/room42
[...]
* Connected to localhost (::1) port 18084 (#0)
> PUT /printsrv/addroom/room42 HTTP/1.1
> User-Agent: curl/7.26.0
> Host: localhost:18084
> Accept: */*
>
[...]
< HTTP/1.1 200 OK
< Content-type: text/plain
< Content-length: 24
< Date: Wed, 05 Nov 2014 12:16:46 GMT
<
room42 added.
```

Docker-Hilfsskripte

- **Hilfsskripte** liegen in OpenStack-VM bereit unter `/usr/local/bin`
- Verfügbare Skripte
  - Löschen aller {gestoppten,ungetaggten} Docker-Container

```
$ docker-rm-{stopped,untagged}
```

  - Alle Container stoppen und Docker-Daemon neustarten

```
$ docker-full-reset
```

  - Alle getaggten Abbilder in die I4-Docker-Registry hochladen

```
$ docker-images-push
```

  - I4-Docker-Registry durchsuchen

```
$ docker-registry-search <SEARCH_STRING>
```