Middleware – Cloud Computing – Übung

Verteilte Dateisysteme & Container: Docker

Wintersemester 2020/21

Michael Eischer, Laura Lawniczak, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
www4.cs.fau.de

Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

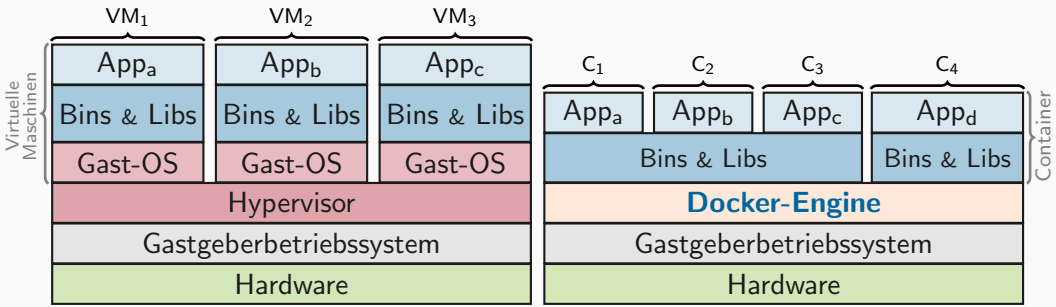
TECHNISCHE FAKULTÄT

Überblick

Container-Betriebssystemvirtualisierung

Motivation

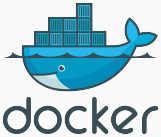
Virtualisierungsformen im Vergleich



- Hypervisor-basierte Virtualisierung
  - Erlaubt Virtualisierung von kompletten Betriebssystemen
- Container-basierte Virtualisierung
  - Leichtgewichtig: Hypervisor entfällt, kleinere Abbilder, schnelleres Hochfahren
  - Bindung an Betriebssystemkernel und vorhandene Treiber
  - Im Rahmen dieser Übung betrachtet: **Docker**

Container-Betriebssystemvirtualisierung

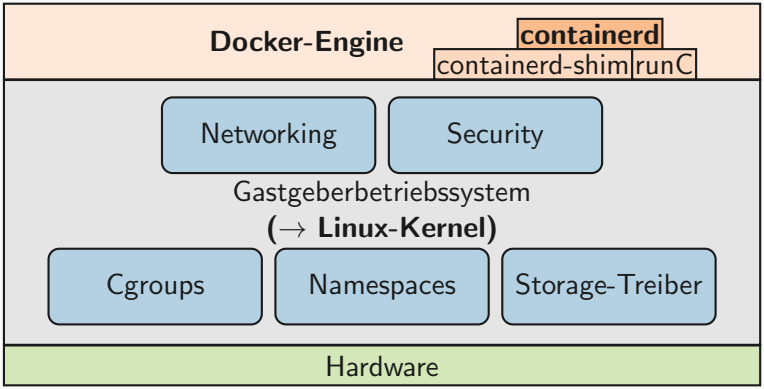
Docker



Video: **„Introduction to Docker?“**

Vortrag von Docker-Erfinder Solomon Hykes

(Link: `https://www.youtube.com/watch?v=Q5POuMHxW-0`, Dauer: ∼47 Min.)



- Docker setzt auf bereits existierenden Linux-Komponenten auf
- Dominierende Komponenten
  - Ressourcenverwaltung: Control Groups
  - Namensräume
  - Überlagerte Dateisysteme

  } **containerd & runC**

- Control Groups (cgroups) ermöglichen das Steuern und Analysieren des Ressourcenverbrauchs bestimmter Benutzer und Prozesse
- Durch Control Groups abgedeckte 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

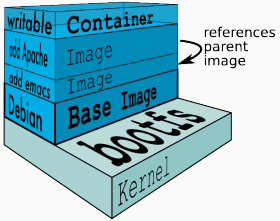
Tejun Heo
Control Group v2
`https://www.kernel.org/doc/html/latest/admin-guide/cgroup-v2.html`, 2015.

- Namensräume werden zur Isolation von Anwendungen auf unterschiedlichen Ebenen herangezogen
- **Dateisysteme**
  - Jedes Dateisystem benötigt eigenen Einhängepunkt, welcher einen neuen Namensraum aufspannt
  - Überlagerte Dateisysteme (mit Docker verwendbar: `overlayfs`) 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
  - Laufzeitumgebung
  - Binärdateien
  - Systembibliotheken

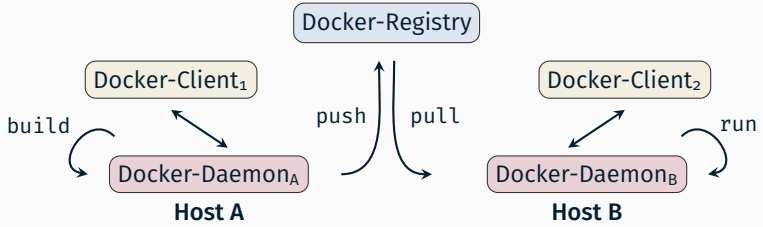


Quelle der Illustration: `https://docs.docker.com/terms/layer/`

- **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 $\Leftrightarrow$ 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-Registries und -Repositories

- Von Docker, Inc. bereitgestellte Registry: **Docker Hub**
  - Cloud-Service zur Verwaltung von Docker-Abbildern bzw. -Anwendungen
  - Registrieren bzw. Anlegen eines Benutzerkontos zum Hochladen notwendig
  - Anzahl kostenloser, **öffentlicher** Repositories nicht begrenzt
  - Nur ein privates Repository kostenlos
- **Private Registry** (hier: I4-Docker-Registry)
  - Ermöglicht das Verwalten garantiert nicht-öffentlicher Repositories
  - 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: `i4mw.cs.fau.de`)

- Vorgefertigtes Abbild aus Repository auschecken

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

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

- Container starten (mehr ab Folie 14)

```
> docker run -it <NAME>[:<TAG>] <COMMAND>
```

- Änderungen im Container vornehmen
  - Ausführen beliebiger Programme im Container mit `/bin/bash` als `COMMAND`
  - Installieren von Programmen via Paket-Manager (z.B. `apt-get -yq install vim`)

- Falls Änderungen erfolgt sind und erhalten bleiben sollen
  1. Änderungen persistent machen und Abbild (lokal!) erzeugen

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

  2. Abbild publizieren bzw. in Registry einspielen

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

Hinweis: Da `pull` und `push` keinen Registry-Hostname vorsehen, müssen die Abbilder bei eigenen Registries über den <NAME>-Parameter passend gekennzeichnet sein:

- <NAME> besteht aus {Abbild,Benutzer}name und Registry-Hostname
- Beispiel: `$ docker image push i4mw.cs.fau.de/user/myimage:test`

- In der Praxis: **Dockerfiles**
  - Rezepte zum skriptbasierten Bauen eines Abbilds
  - Zeilenweises Abarbeiten der darin befindlichen Instruktionen

- Vordefinierte, voneinander unabhängige **Docker-Instruktionen**
  - `FROM <IMAGE>[:<TAG>]` ↦ Basisabbild auswählen (obligatorisch)
  - `EXPOSE <PORT> [<PORT>...]` ↦ Container-übergreifende Port-Freigabe
  - `RUN <COMMAND>` ↦ Ausführen eines Befehls (in *Shell-Form*)
  - `COPY <SRCs> <DST>` ↦ Dateien/Verz. ins Container-Dateisystem kopieren
  - `ENTRYPOINT [<EXE>, <PARAM-1>, ...]` ↦ Container-Einstiegspunkt setzen
    - Nur ein Einstiegspunkt (= Befehl) pro Container möglich
    - Container-Aufruf führt zwangsläufig zu Aufruf des entsprechenden Befehls
    - Parameter des letzten `CMD`-Befehls werden als zusätzliche Parameter an `ENTRYPOINT`-Aufruf angehängt, solange der Container ohne Kommando bzw. Argumente gestartet wird:
      `CMD [<EXTRA-PARAM-1>, <EXTRA-PARAM-2>, ...]`

→ Vollständige Referenz: `https://docs.docker.com/reference/builder/`

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

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

- Beispiel-`Dockerfile` (Anm.: `mwqueue.jar` liegt im selben Verzeichnis wie das `Dockerfile`)

```
1 FROM       i4mw.cs.fau.de/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       mwqueue.jar /opt/mwcc/
7 USER       mwcc
8 ENTRYPOINT ["java", "-cp", "mwqueue.jar:lib/*", "mw.queue.MWQueueServer"]
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 und Benutzerrechte setzen
6. JAR-Datei hineinkopieren
7. Ausführenden Benutzer setzen
8. Einstiegspunkt setzen
9. Standardargumente setzen

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 image ls
REPOSITORY                  TAG    IMAGE ID     CREATED     VIRTUAL SIZE
<none>                      <none> 7fd98daef919 2 days ago  369.8 MB
i4mw.cs.fau.de/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 alte Abbild nicht gelöscht, sondern mit <none>-Tag versehen aufgehoben (siehe 1. Eintrag in Ausgabe).

- Nur lokale Abbilder können über die Kommandozeile gelöscht werden

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

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

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

- 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

- 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`
  - Anzeigen aller Event am Docker-Server $\mapsto$ `docker events`

- Nachträglich Befehle ausführen (z. B. zu Debugging-Zwecken)
  - Weiteren Befehl innerhalb eines bereits laufenden Containers starten

```
> docker exec <CONTAINER-ID> <COMMAND
```

  - Eine Shell innerhalb eines bereits gestarteten Containers starten

```
> docker exec -it <CONTAINER-ID> /bin/bash
```

- Netzwerk-Ports (Publish-Parameter)
  - Jeder Container besitzt eigenes, internes Netzwerk
  - EXPOSE-Instruktion im `Dockerfile` dient zu Dokumentationszwecken
  - Für Zugriff von außen, interne Ports explizit auf die des Host abbilden
    - Manuell, um Host- und Container-Port exakt festzulegen

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

    - Automatisch: zufällig gewählter Port (Bereich: 49153–65535) auf Host-Seite

```
> docker run -P ...
```

Docker-Volumes

- Daten innerhalb eines Containers sind an dessen Lebensdauer gebunden
- Erhalten von Daten über die Container-Lebensdauer hinweg mit Docker-Volumes
- Befehlsübersicht
  - Volume erstellen

```
> docker volume create <VOLUME-NAME>
```

  - Volumes auflisten

```
> docker volume ls
```

  - Volume löschen

```
> docker volume rm <VOLUME-NAME>
```

  - Neuen Container mit einem existierenden Volume starten

```
> docker run --mount source=<VOLUME-NAME>,target=<MOUNT-POINT> ...
```

Hinweis: Beim Einhängepunkt (`<MOUNT-POINT>`) ist darauf zu achten, dass der Benutzer im Container Schreibrechte auf das korrespondierende Verzeichnis hat.

- **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>
```