Digitaler Baukasten: FAIRe Qualitäts-KPIs für ein LEGO-Fahrzeug

Tobias Meck, Philipp Wetterich
Dr. phil Canan Hastik, Dr.-Ing. Maximilian Kuhr
Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz
09.10.2023

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

MASCHINENBAU
We engineer future

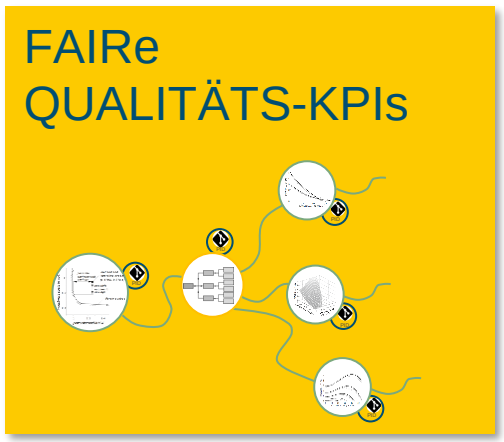
FLUIDSYSTEMTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz

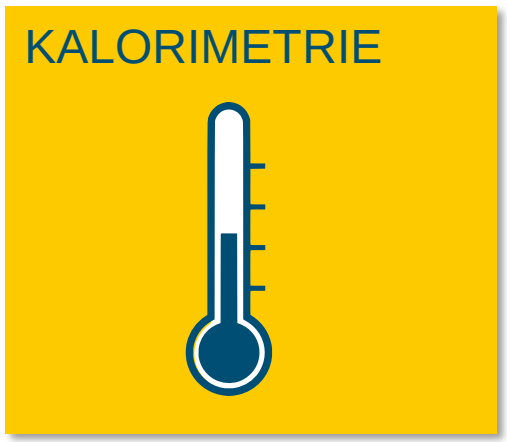
Praktikum Digitalisierung

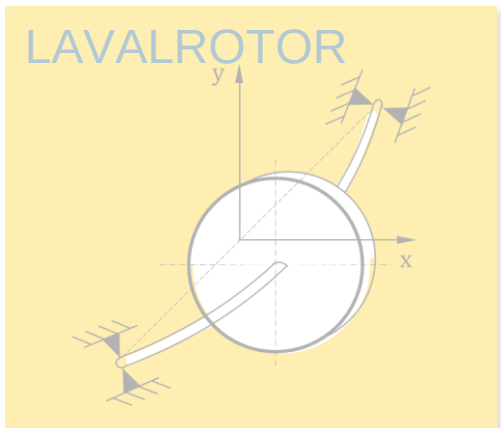
Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

(i)	**Hands-on:**	schaffen einer eigenen Messumgebung
(ii)	**lowtech:**	Unsicherheit wird quantifiziert, Niveau ist sekundär
(iii)	**holistisch:**	Breite des Darmstädter Maschinenbaus
(iv)	**wissensch. Arbeiten:**	Hypothese, Planen, Messen, Auswerten, Bewerten
(v)	**Nachhaltigkeit:**	Nutzen der FAIR – Prinzipien erlebbar machen







- ➢ FAIR-Prinzipien
- ➢ Messdatenerfassung
- ➢ Datenauswertung
- ➢ Bildverarbeitung

1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

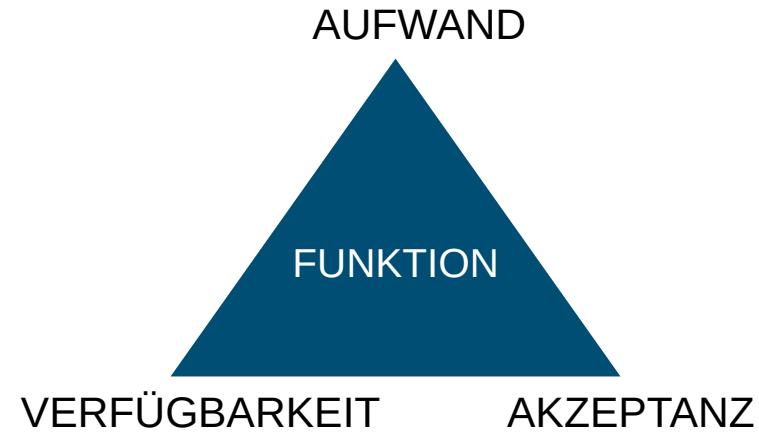
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Hintergrund:

technische Systeme erfüllen Funktionen auf verschiedene Weisen

Kennzahlen (KPIs) messen die Qualität der Funktionserfüllung

Transparenz und Vertrauen durch FAIRe Daten



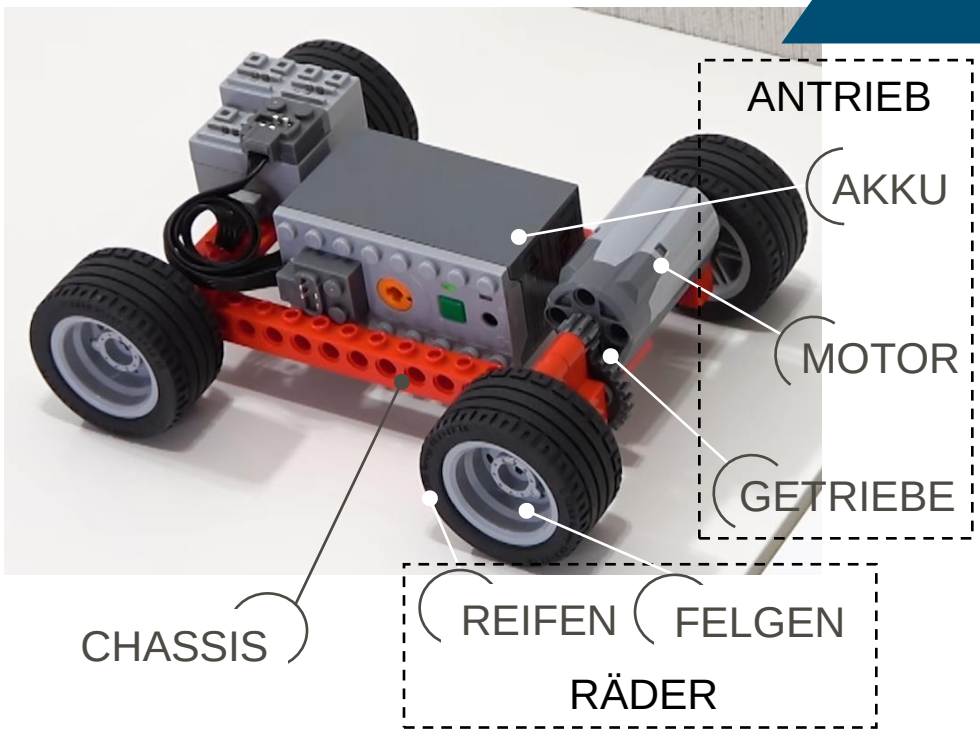
Lernziele des Versuchs:

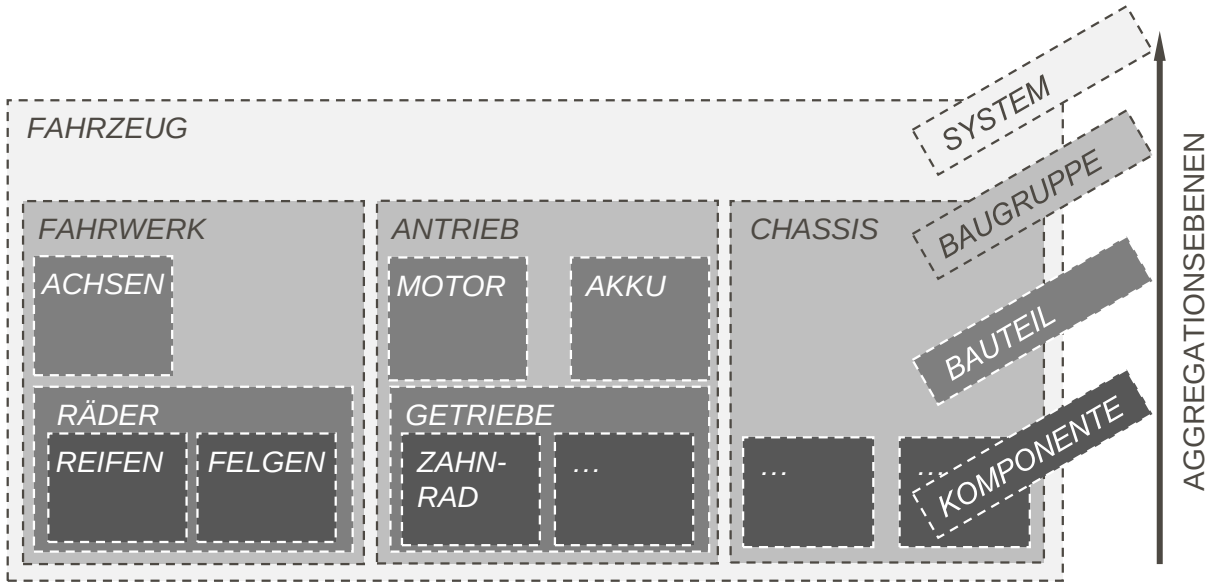
- (Einführung in die Plattformen des Praktikums)
- Bewertung der Qualität eines technischen Systems
- Verknüpfen von Daten, Berechnungsvorschriften und Ergebnissen

➔ praktische Umsetzung der FAIR-Prinzipien

Anwendungsfall: LEGO-Fahrzeug

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





Anwendungsfall: LEGO-Fahrzeug

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FUNKTION: FORTBEWEGEN

ERFÜLLUNG DER FUNKTION MIT UNTERSCHIEDLICHEN QUALITÄTEN

Qualität des Fahrzeugs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

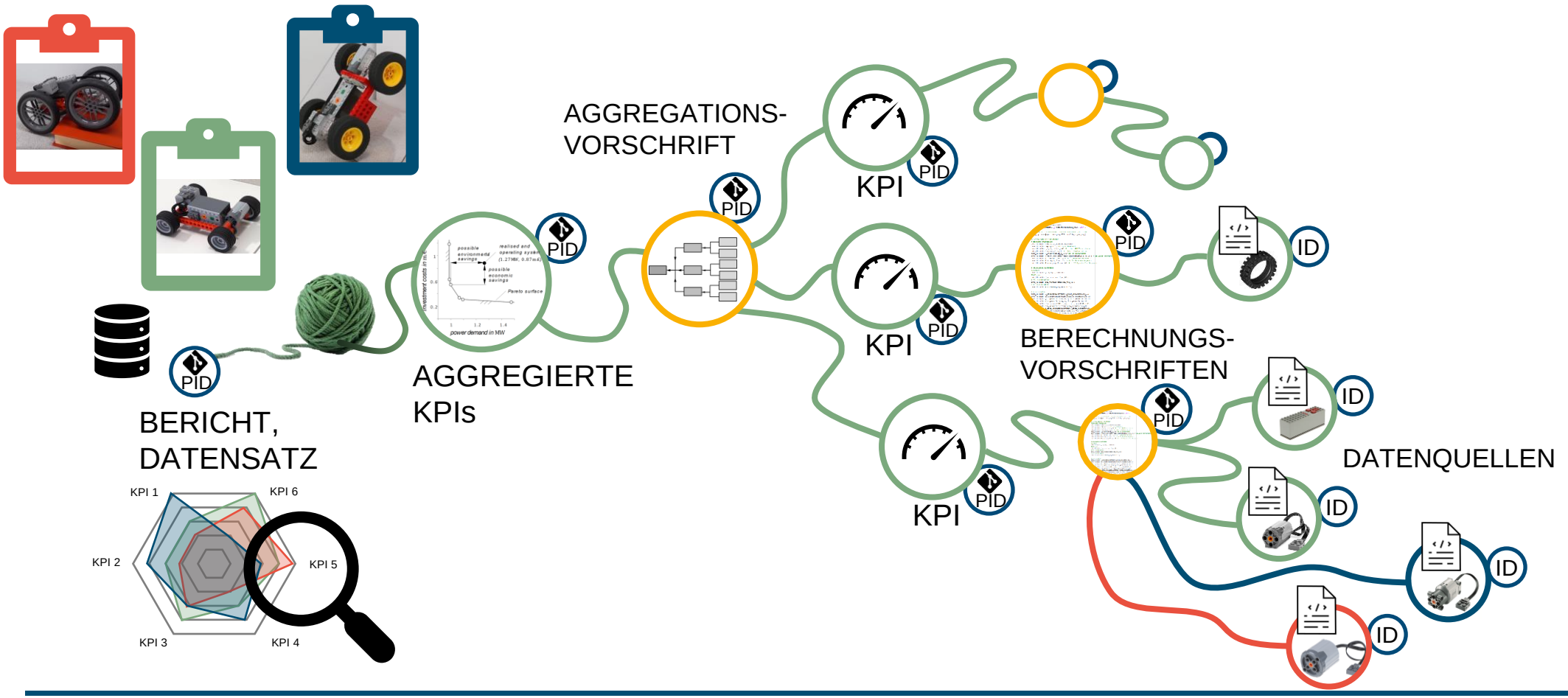
AUFWAND:
- KOSTEN
- UMWELTWIRKUNG
- …

AKZEPTANZ:
- GESAMTGEWICHT
- WEITERE FUNKTIONSERFÜLLUNG (STEIGUNG, ÜBERBRÜCKUNG, …)
- DREHMOMENT AN DEN RÄDERN
- …

VERFÜGBARKEIT:
- LIEFERZEIT
- …

FAIRe Qualitäts-KPIs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

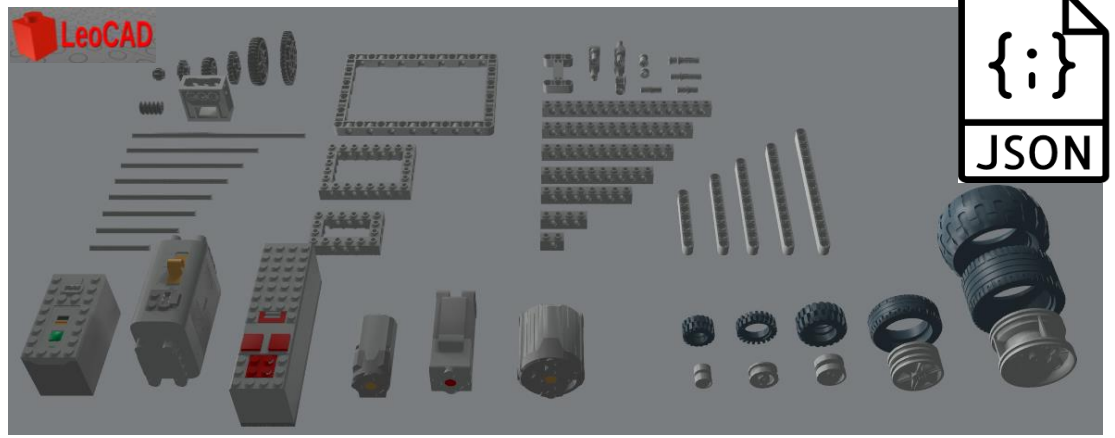


1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Materialien (virtueller Versuch):

- Baukasten für die Lego-Teile (json-Datenblätter)
- LeoCAD (Lego CAD-Software)
- Jupyter Notebook mit Python-Methoden



Aufgabe:

Entwicklung von KPIs für LEGO-Fahrzeuge

Entwurf von zwei unterschiedlichen Fahrzeugen

Berechnung der KPIs für beide Fahrzeuge

Verknüpfung und Darstellung der Daten und Modelle

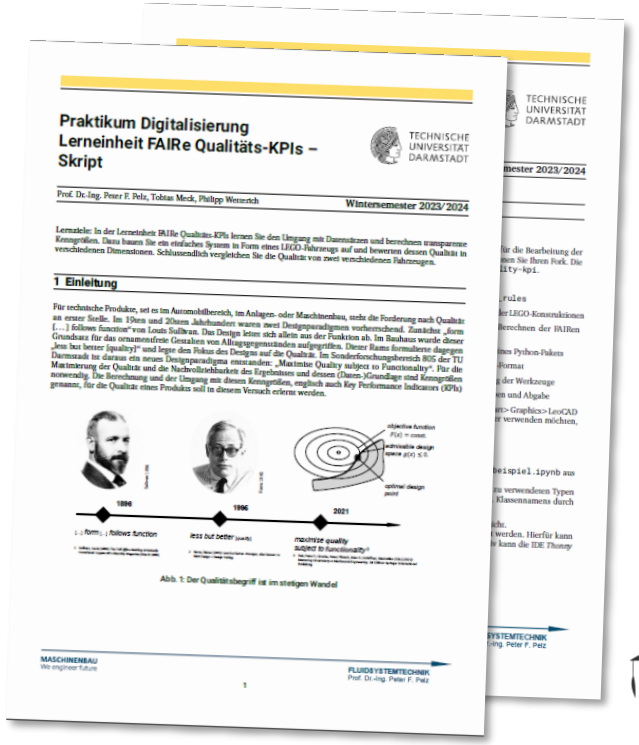
jupyterhub

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

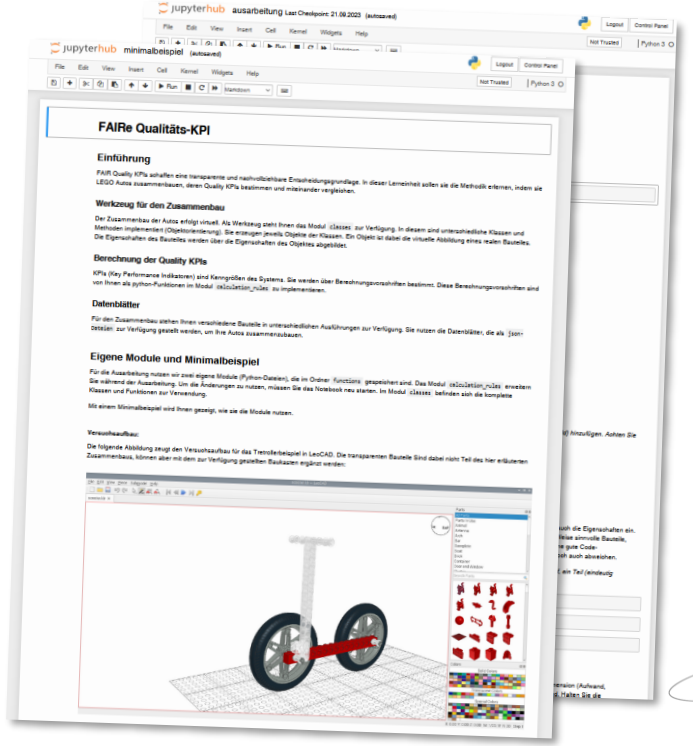
Ablauf der Lerneinheit

1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Materialbereitstellung



Skript und **Aufgabestellung** als .pdf in moodle

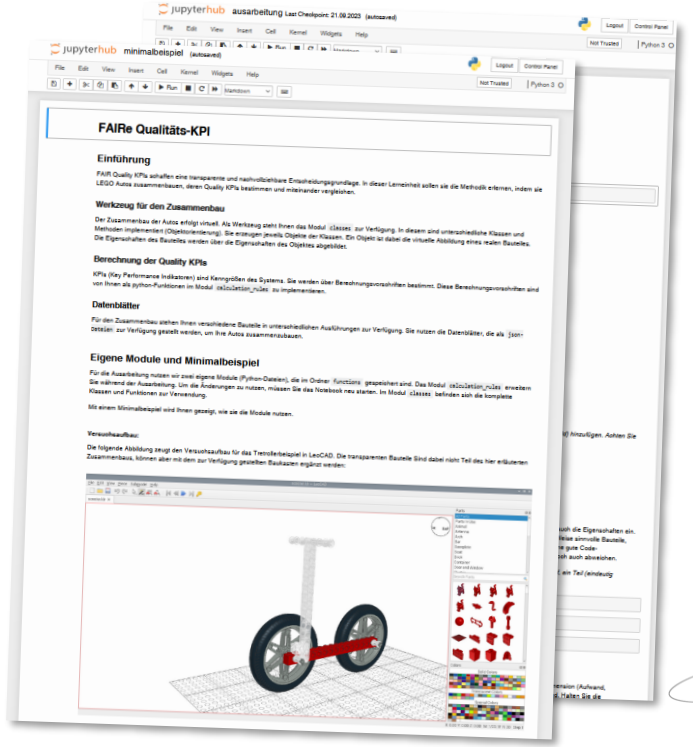


Minimalbeispiel und **„Labortagebuch“** als Jupyter Notebook im JupyterLab aus GitLab

1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Materialbereitstellung

Skript und **Aufgabestellung** als .pdf in moodle



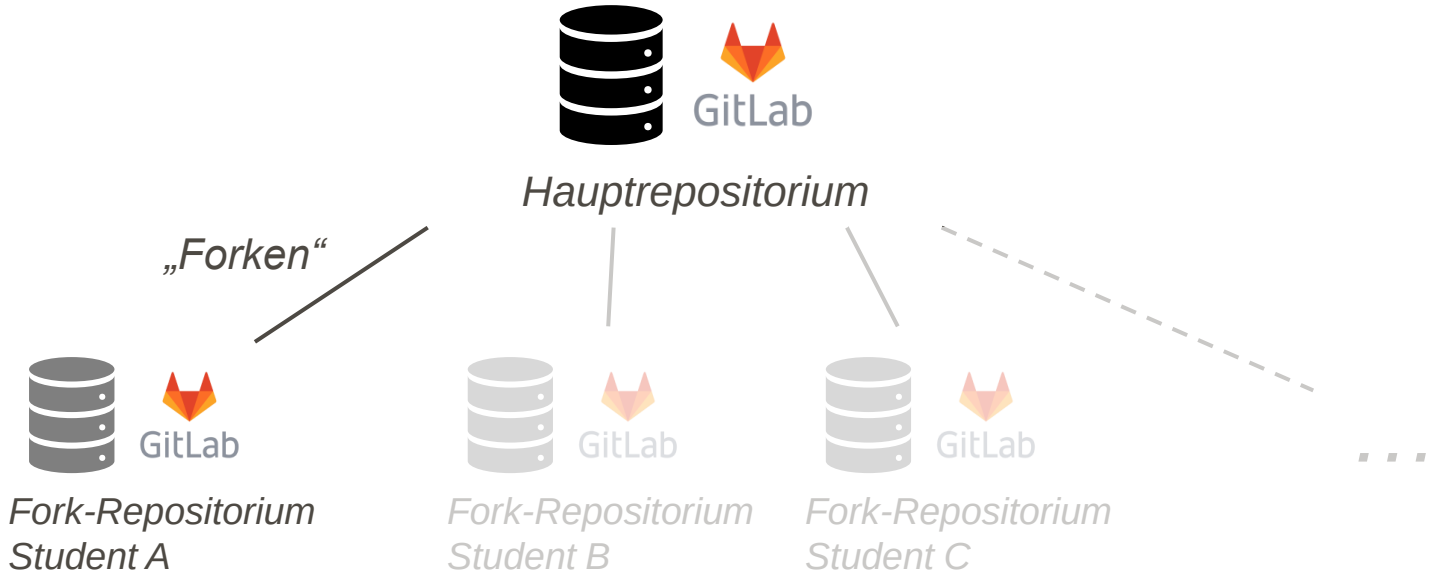
GitLab

jupyterhub

Minimalbeispiel und **„Labortagebuch“** als Jupyter Notebook im JupyterLab aus GitLab

1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

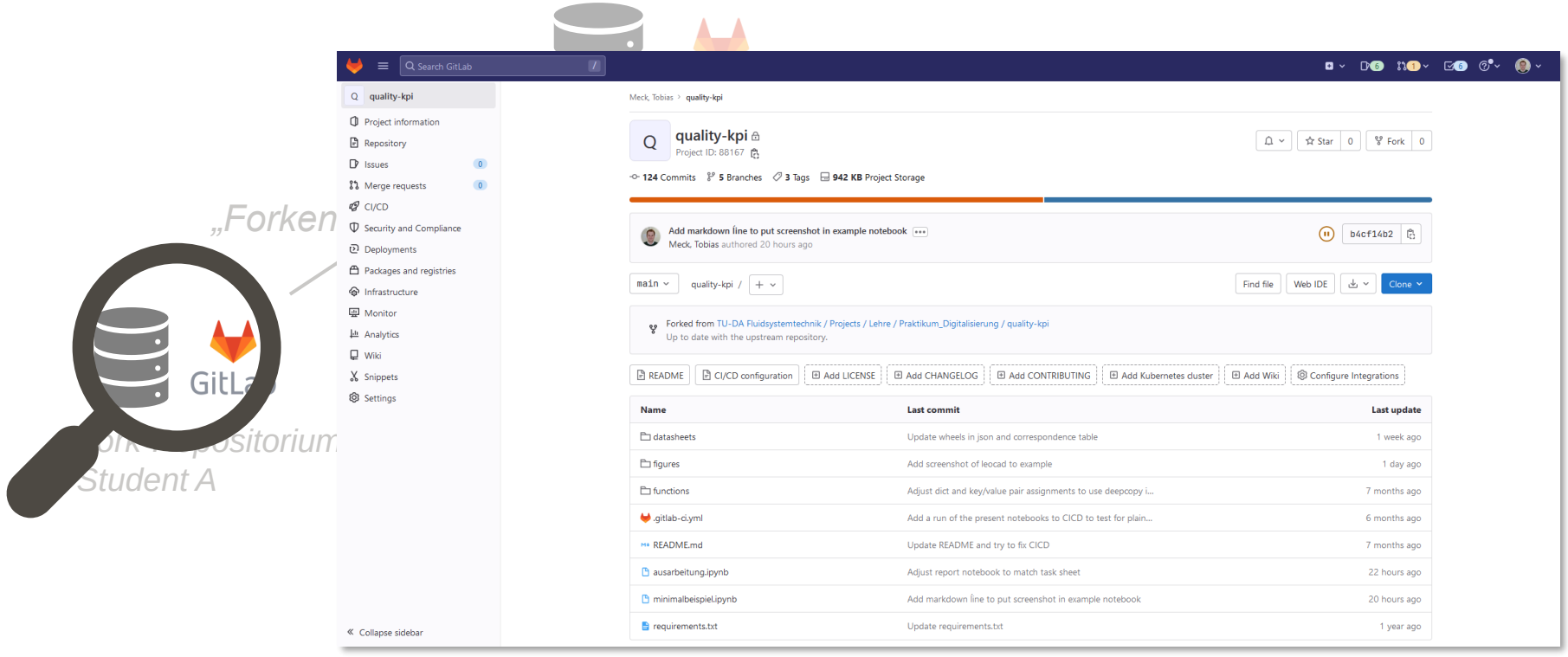
Ablauf – Materialbereitstellung



1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Materialbereitstellung

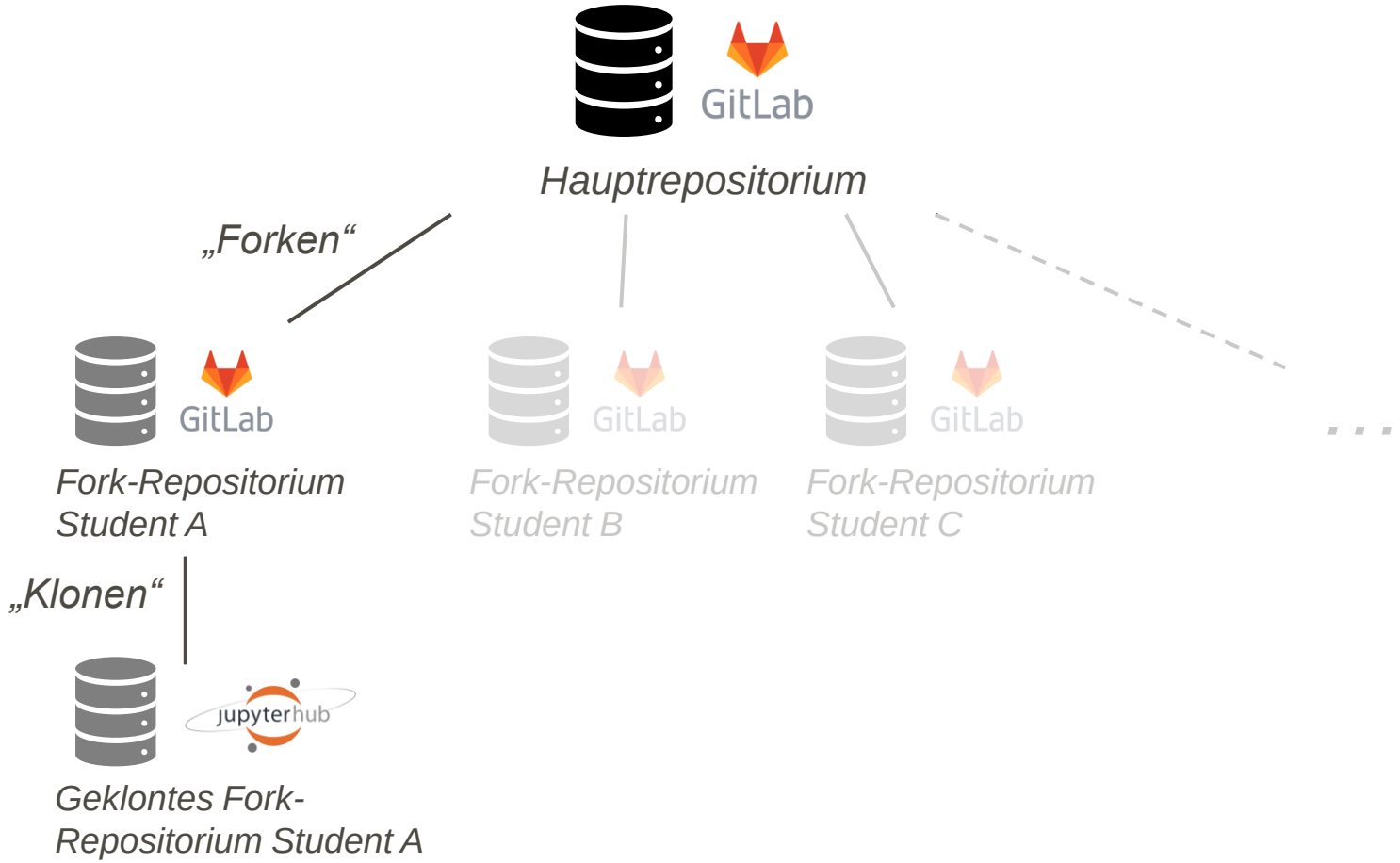
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Materialbereitstellung

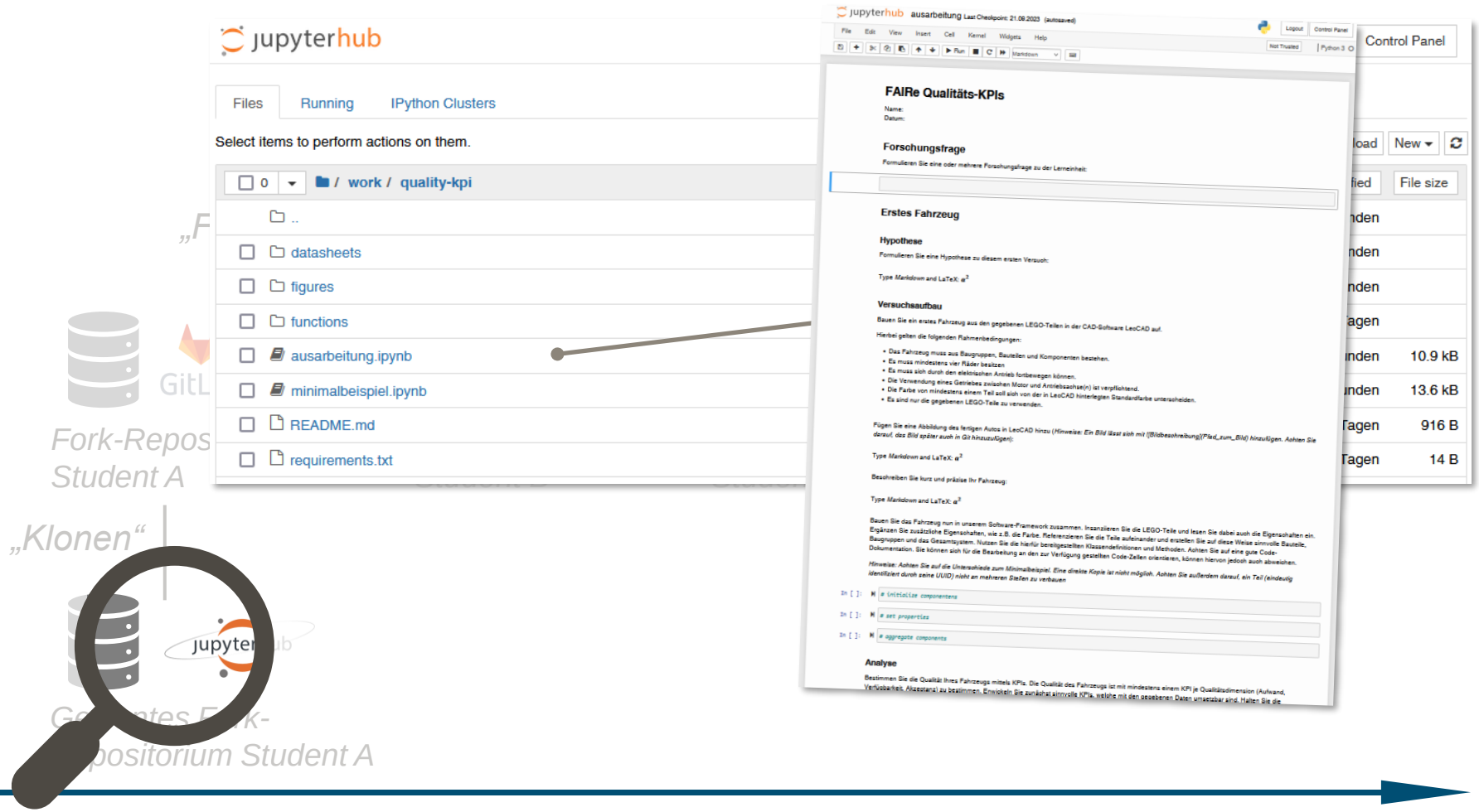
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Materialbereitstellung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

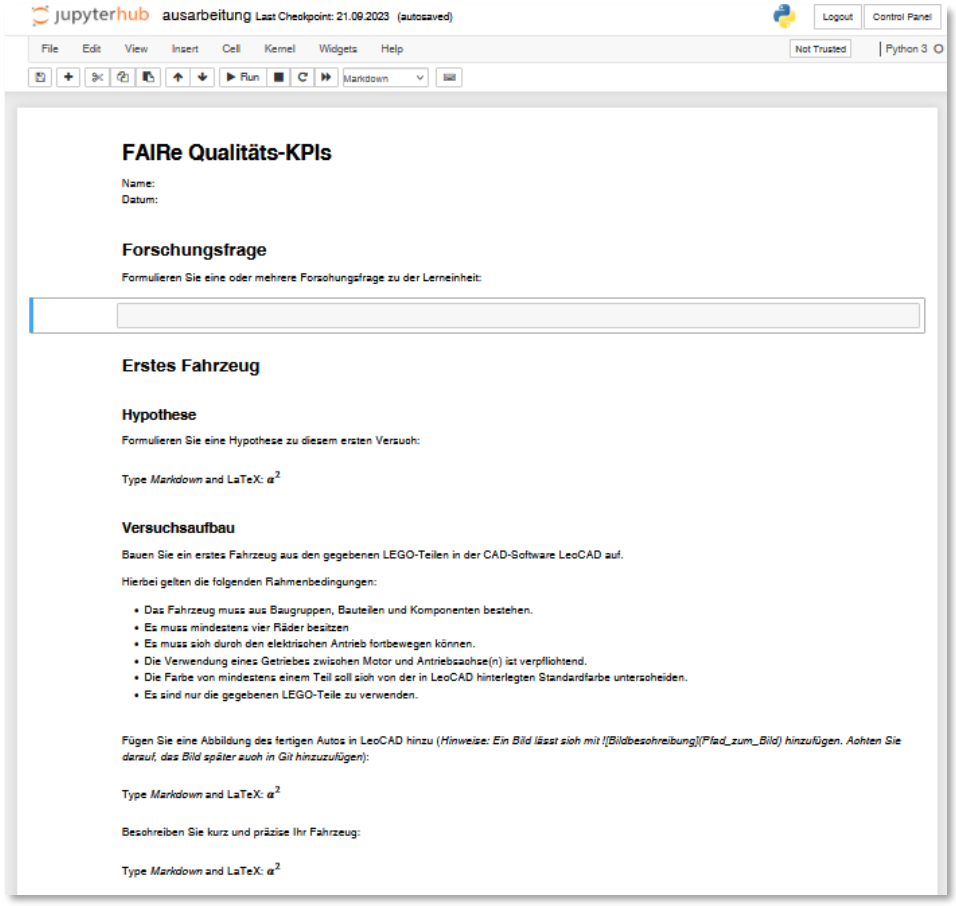


1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Ausarbeitung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Analogie zum Labortagebuch
- Von der Forschungsfrage zu den virtuellen Einzelversuchen
- Analogie zu realen Versuchen: Hypothese, Versuchsaufbau und Analyse
- Abschließende Bewertung und Gegenüberstellung der Ergebnisse der Einzelversuche sowie kritische Diskussion und persönliches Fazit

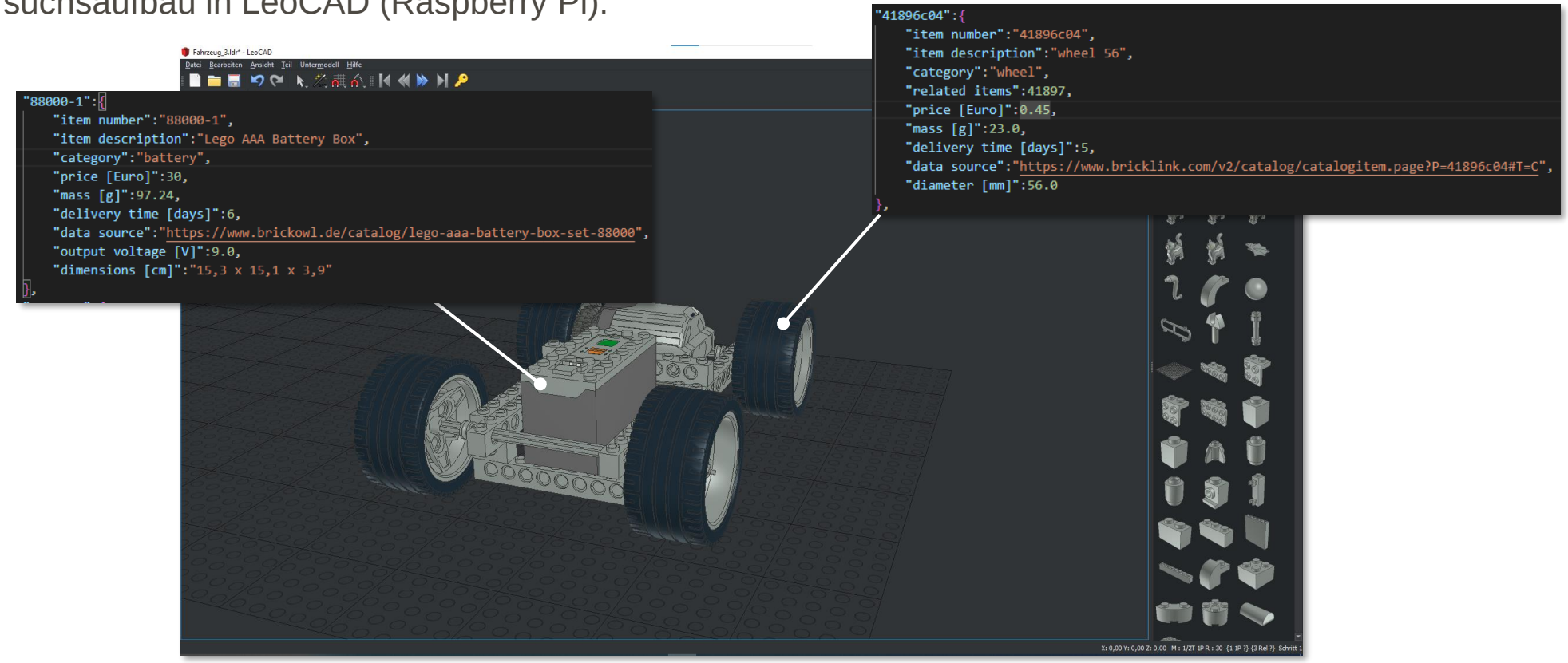


1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Versuchsaufbau in LeoCAD (Raspberry Pi):

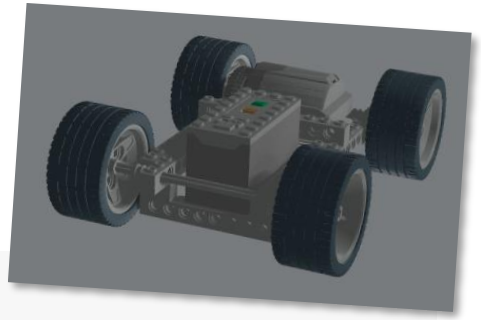


1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Versuchsaufbau in Python (JupyterHub):



```python
# initialize componentens

# axles
with open("datasheets/axles.json") as file:
    axles = json.load(file)

front_axle = LegoComponent()
front_axle.properties["label"] = "front axle"
front_axle.properties.update(axles["50451"])
front_axle.properties["color"] = "grey"

rear_axle = front_axle.clone()
rear_axle.properties["label"] = "back axle"
```

objektorientiertes Anlegen der Komponenten in Python…

```
In [11]:
# aggregate components

# front subassembly
front_subassembly = LegoAssembly(
    AggregationLayer.SUBASSEMBLY,"front wheels and axle",
    assembly_method="stick together like lego blocks")
front_subassembly.add([
    front_axle,
    front_left_wheel,
    front_right_wheel,
])

front_subassembly.get_component_list()

Out[11]: [LegoComponent front axle [d3d3c2e6-a01a-4445-a342-15ab9d6ac92f],
 LegoComponent front left wheel [47f80b1e-ceb5-4cb0-8c2c-e193f0b6346f],
 LegoComponent front left wheel [505a72a7-30c5-4ff0-94ee-7c6a5a5c0daa]]
```

… und Zusammensetzung zu Baugruppen oder dem ganzen System

1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Analyse in Python (JupyterHub):

Beschreiben Sie den jeweiligen KPI und geben Sie seine Berechnungsvorschrift an:

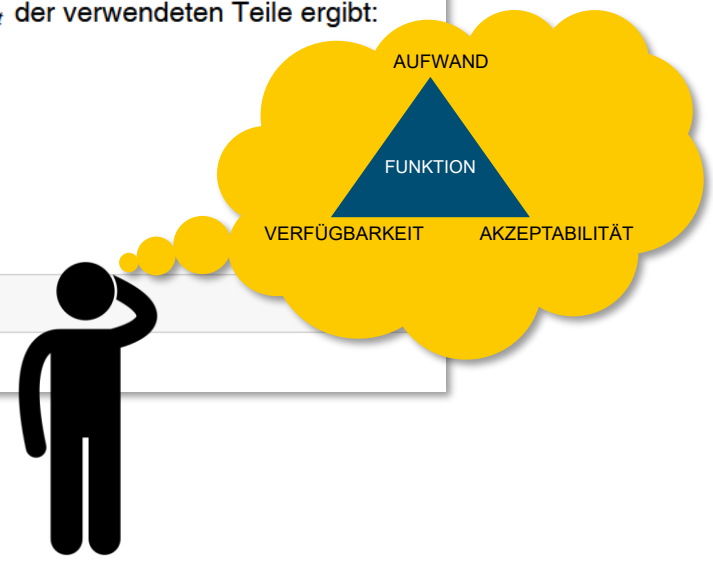
- Der erste entwickelte KPI ist die Gesamtmasse m_{tot}, welche ein Maß für die Akzeptabilität ist und sich aus der Masse m_t der verwendeten Teile ergibt:

$$m_{\text{tot}} = \sum_{t \in \text{Teile}} m_t$$

Für das entwickelte Fahrzeug ergibt sich:

```
print(f"m_tot = {calculation_rules.total_mass(car_1):.2f} g")
```

```
m_tot = 306.08 g
```

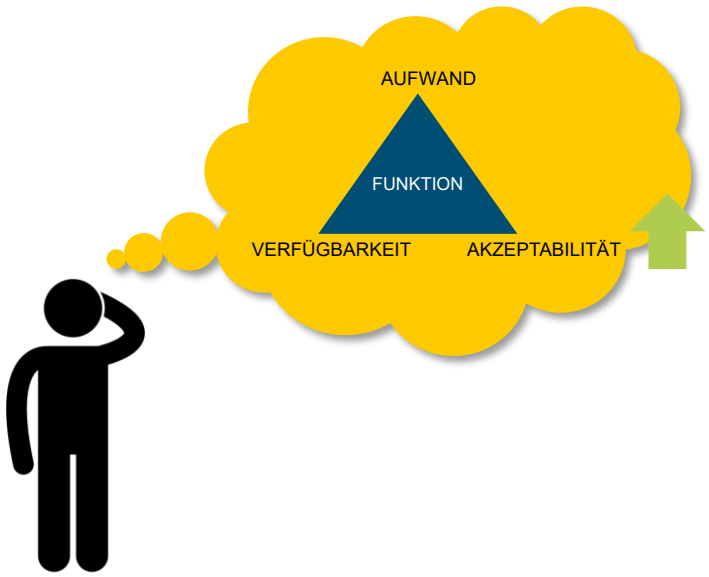


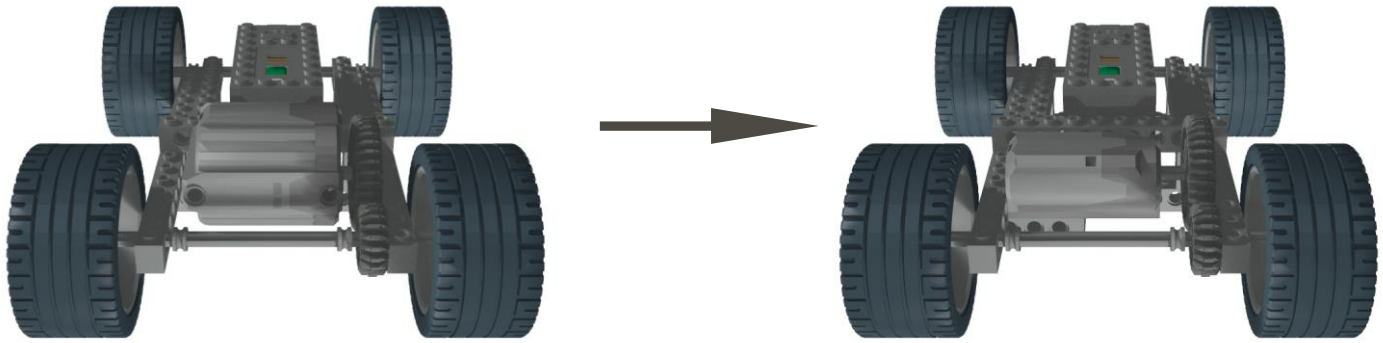
1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zweiter Versuch: geht es besser?



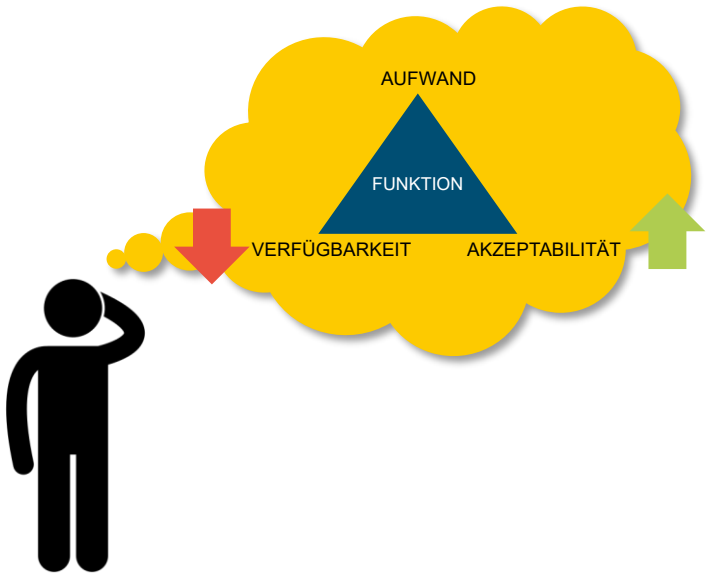


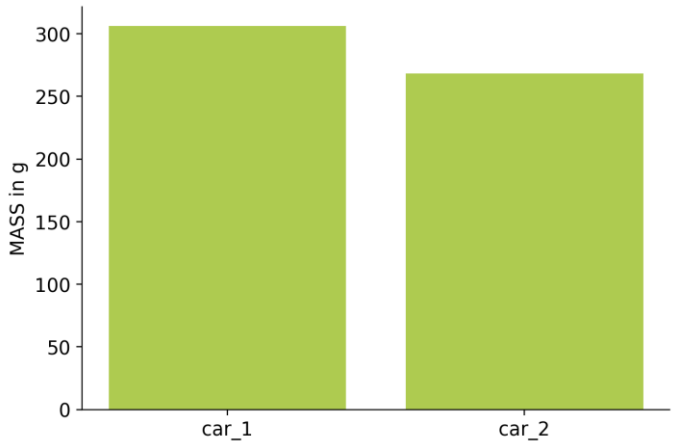
1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

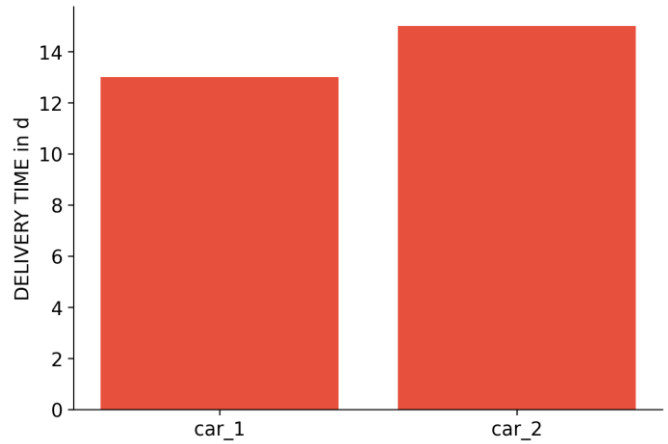
Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zweiter Versuch: geht es besser?







1. Lerneinheit: FAIRe Qualitäts-KPIs

Ablauf – Versuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

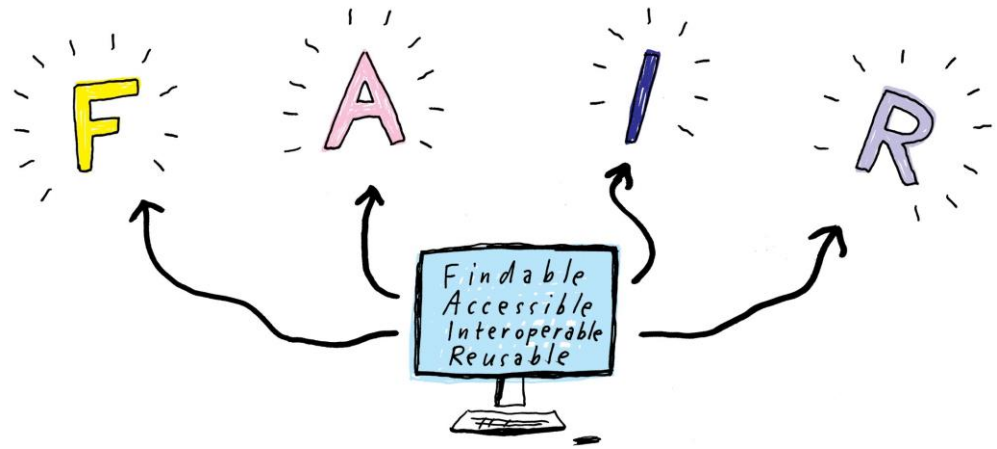
Diskussion und Fazit

Diskutieren Sie, inwieweit Ihre entickelten KPIs die im Skript erläuterten FAIR-Prinzipien erfüllen:

Type *Markdown* and LaTeX: α^2

Ziehen Sie ein persönliches Fazit. Was haben Sie Neues gelernt?

Type *Markdown* and LaTeX: α^2



Lessons Learned

Erster Durchlauf

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Derselbe vs. der gleiche Reifen...

→ Bei realen Experimenten sind *individuelle* IDs von *gleichen* Komponenten in einem Prüfstand von großer Bedeutung (z.B. für Kalibrierung)

Lessons Learned

Erster Durchlauf

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Derselbe vs. der gleiche Reifen...

→ Bei realen Experimenten sind *individuelle* IDs von *gleichen* Komponenten in einem Prüfstand von großer Bedeutung (z.B. für Kalibrierung)

Kreative KPIs und logische Fehler:

- ► Lieferzeit als Summe der Bauteillieferzeiten
- ► Produkte aus mehreren Dimensionen
- ► linear abhängige KPIs
- ► (zu) komplizierte KPIs

$$KPI_{Lieferzeiteffizienz} = \frac{max(Lieferzeiten[])}{\frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n} Lieferzeiten[k]}$$

$$KPI_{Akzeptanz} = \frac{Beschleunigung * Geschwindigkeit}{Kosten}$$

```
# Calculate second KPI "durability" (Qualitätsdimension Verfügbarkeit)
# We define durability as combined_weight/number_of_components

kpi_durability_new = combined_weight/number_of_components
```

Lessons Learned

Erster Durchlauf

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

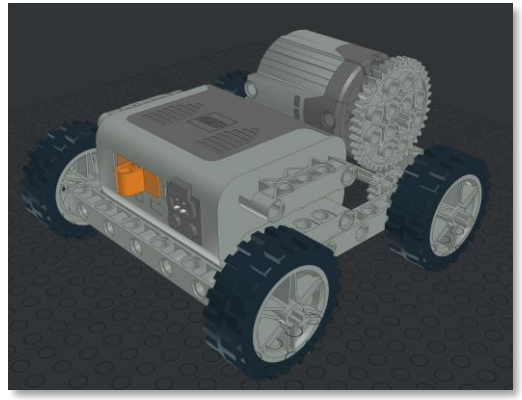
Derselbe vs. der gleiche Reifen...

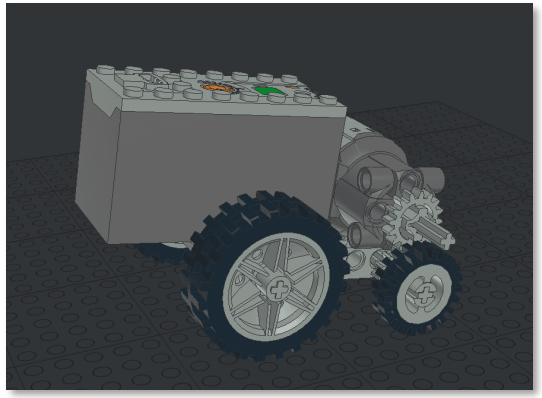
→ Bei realen Experimenten sind *individuelle* IDs von *gleichen* Komponenten in einem Prüfstand von großer Bedeutung (z.B. für Kalibrierung)

Kreative KPIs und logische Fehler:

- ► Lieferzeit als Summe der Bauteillieferzeiten
- ► Produkte aus mehreren Dimensionen
- ► linear abhängige KPIs
- ► (zu) komplizierte KPIs

Meist gute Umsetzung (kreative und durchdachte Lösungen) und Verständnis für die notwendige Datenbasis, insbesondere bei Verwendung von LeoCAD





FAIRer und freier Datenkreislauf

2 **Identifikator**
doi Foundation

4 **Softwarerepositorium**
z.B. GitLab

5 **Metadatenschemata** *z.B.*
vorgeschlagen durch AIMS

Ressourcen

Experiment

FAIRe Datenblätter

R

Wissen-schaftler:in

ORCID

Frage, Hypothese, Forschungsanträge

Edge-Device

jupyter4all
Smart-Device

Schüler:in, Student:in, Wissenschafler:in u.a.

Anwendung Interoperabler Metadatenstandards (AIMS)

make FAIR

.json

z.B. RO-Crate

RDF

Linked Open Data | Executable | Discoverable | Reproducible

.zip(RDF(.json) + Daten) oder .h5(RDF(.json) + Daten)

NHR und hessian.AI

LICHTENBERG II

Short-Term Storage

Computing Power

Long-Term Storage
z.B. Tripplestore

7 ***Wissensgraph***

Datenkreislauf

1 ***Motivation*** *= Bedürfnis, Hypothese, Experiment*

3 ***Modelle*** *= inhaltliche Datenqualität, Unsicherheitsquantifizierung, Datennutzung ➔ Computing*

6 ***Daten*** *= formale Datenqualität Wissensgraph, Dokumentation ➔ Storage*

0 ***Governance*** *= Kuration, Rechte inkl. Ethik und Ökologie und Daten-Ökonomie*

0. Was darf ich, was muss ich machen?
1. Phantasie, Neugierde oder Bedürfnisse treiben Dich an.
2. Vergebe und nutze persistente Identifikatoren.
3. Rechne mit Modellen und nutze Daten.
4. Mach Deine Software FAIR.
5. Nutze Metadatenstandards.
6. Mach Deine Daten FAIR.
7. Vergrößere den gemeinsamen Wissensgraphen.

R Beschaffung, Wartung, Pooling von Geräten

CC BY SA

Vizepräsident für Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Infrastruktur | Prof. Dr.-Ing. Peter F Pelz

2023-10-09

Digitaler Baukasten: FAIRe Qualitäts-KPIs für ein LEGO-Fahrzeug

Tobias Meck, Philipp Wetterich
Dr. phil Canan Hastik, Dr.-Ing. Maximilian Kuhr
Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz
09.10.2023

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

MASCHINENBAU
We engineer future

FLUIDSYSTEMTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz