

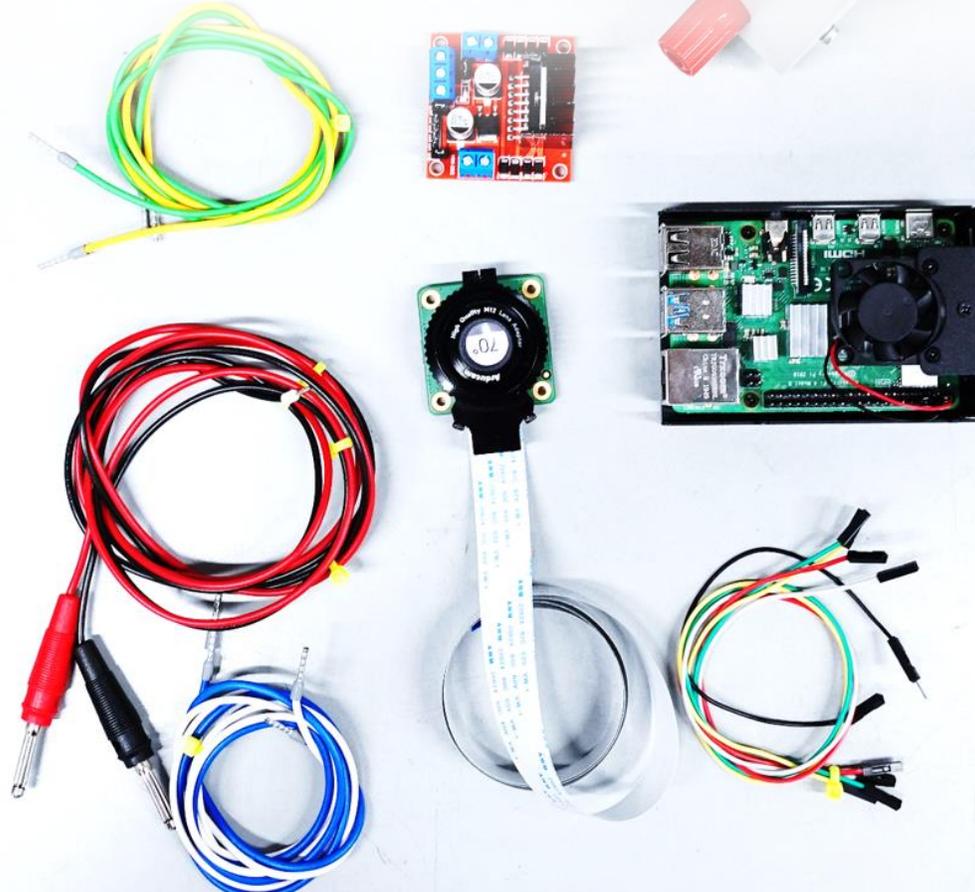
Digitale Bildung und Datenkompetenz

Kultureller Wandel in der Aus- und Weiterbildung in den Ingenieurwissenschaften – Eine Rückschau auf das Praktikum Digitalisierung

Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz
15. April 2024



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



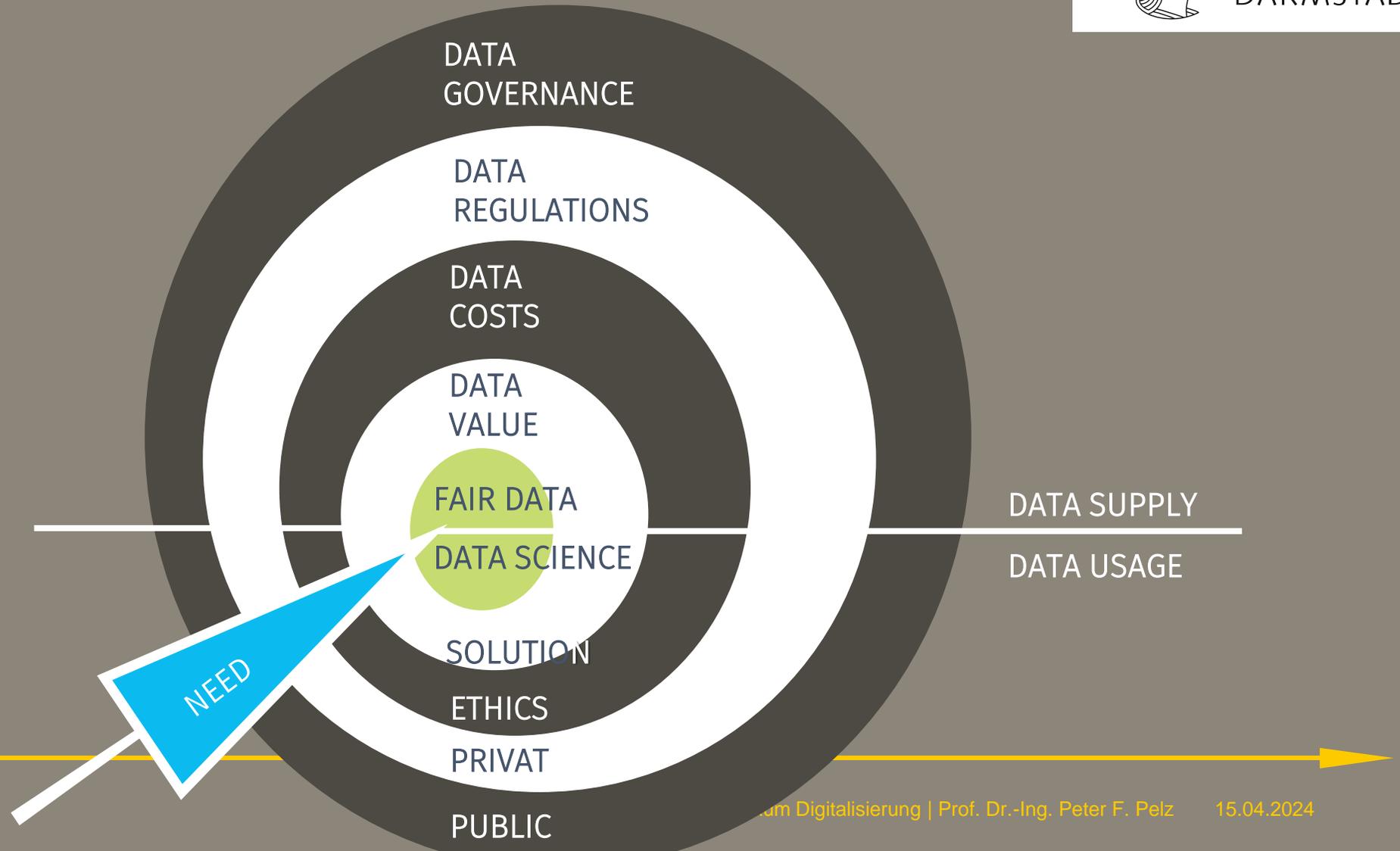
MASCHINENBAU
We engineer future

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

Was ist Datenkompetenz?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Datenkompetenz von Anfang an – Hands-On



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Vision Studierende nutzen FAIRes FDM als wesentlichen Teil guter wissenschaftlicher Praxis bereits bei ihrer Bachelorarbeit.

Konzept

1. Die Vermittlung von Datenkompetenz startet im ersten Semester Bachelorstudium -
gefolgt von KI und dem Praktikum Digitalisierung im 4. und 5. Semester.
2. Alle Dimensionen von Datenkompetenz werden vermittelt:
Sprache, Governance, Technologien, Daten-Ökonomie, Daten-Ethik, FAIRe Daten als notwendige Voraussetzung von nachhaltige sozio-technische Systeme
3. FAIRes FDM ist als forschendes Lernen (Hands-On)
in bestehende Module oder angepasste Module integriert.
Physikpraktikum wird zum Praktikum Digitalisierung. Mathe IV wird zu KI

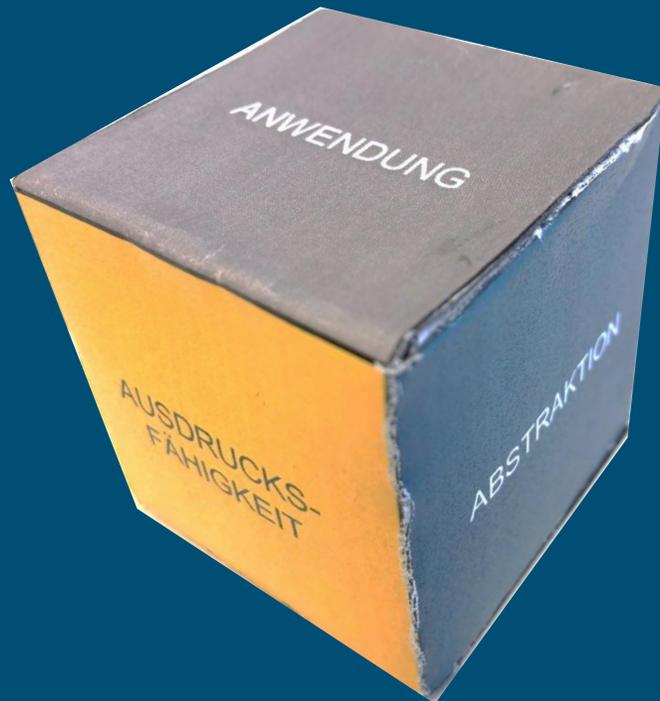
Wissenschaftliche Methode und Datenmanagement



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Kompetenzen der Ingenieurin



Grundlagen

Analyse: Ursache / Wirkung od. Korrelation

Anwendung

methodische Synthese

Vorwissen / Prior /

Designraum

Hypothese /

Idee / Bedarf



ANALYSE

FAIR

SYNTHESE

Bewerten /

Validieren

Designen / Komponieren

„Entzwei' und gebiete! Tüchtig Wort;

Verein' und leite! Beß'rer Hort !“

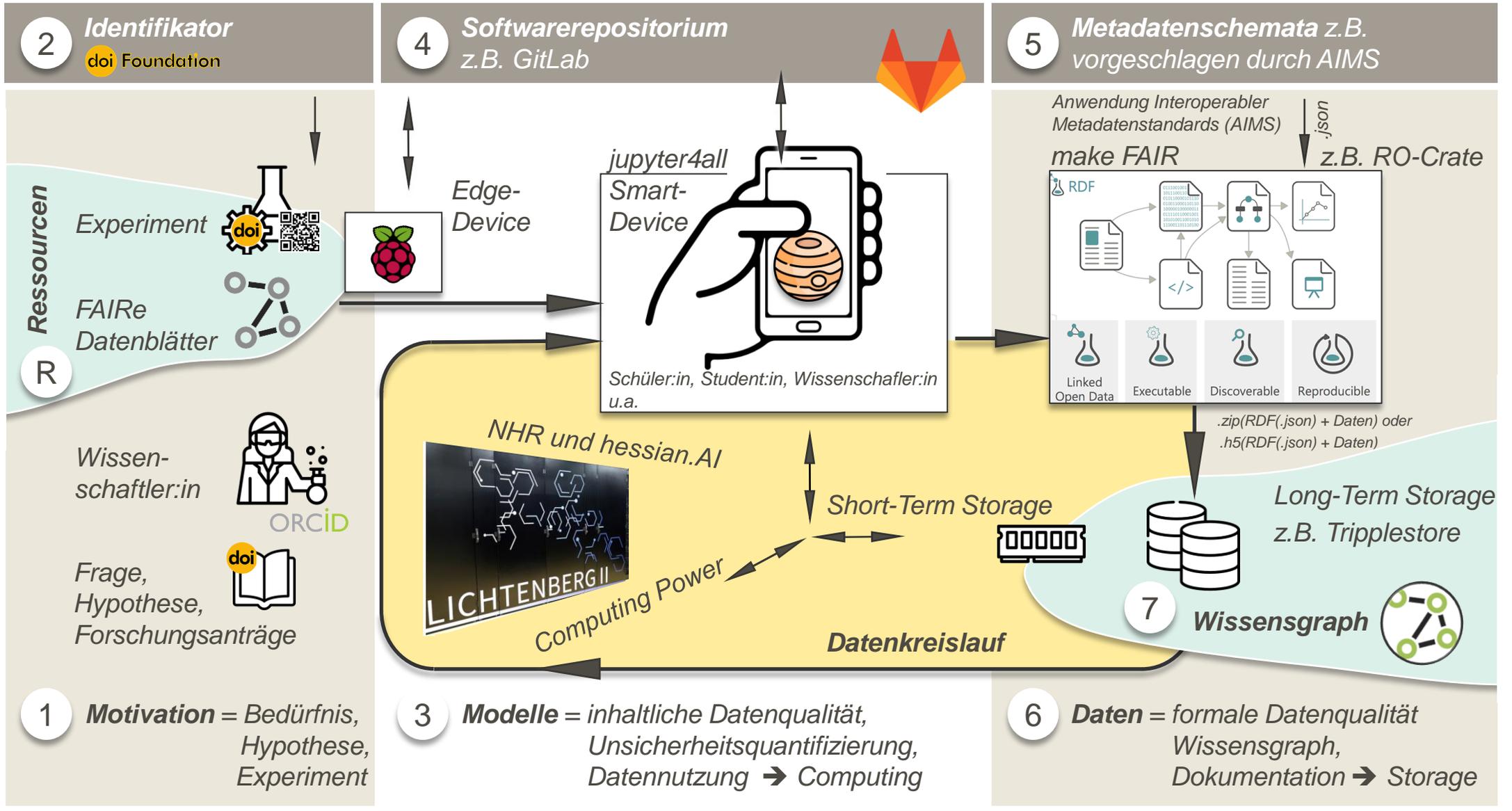
J.W. v. Goethe

natürliche Metrik /

definierte Metrik



FAIRer und freier Datenkreislauf



- 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



SEMESTER 1

- EMB – PROJEKTARBEIT
2 CP
- MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU I
8CP
- WERKSTOFFKUNDE I
4 CP
- TECHNISCHE MECHANIK I (STATIK)
6 CP
- TECHNOLOGIE DER FERTIGUNGSVERFAHREN
6 CP
- GRUNDLAGEN DER DIGITALISIERUNG
4 CP

SEMESTER 2

- MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU II
8 CP
- WERKSTOFFKUNDE II
4CP
- TECHNISCHE MECHANIK II (ELASTOSTATIK)
6 CP
- EINFÜHRUNG IN DIE ELEKTROTECHNIK
6 CP
- RECHNERGESTÜTZTES KONSTRUIEREN
4 CP
- CHEMIE FÜR DEN MASCHINENBAU
4 CP

SEMESTER 3

- MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU III
4 CP
- WERKSTOFFKUNDE III
2CP
- TECHNISCHE MECHANIK III (DYNAMIK)
6 CP
- MASCHINENELEMENTE UND MECHATRONIK I
8 CP
- TECHNISCHE THERMODYNAMIK I
6 CP
- PHYSIK FÜR DEN MASCHINENBAU
4 CP

SEMESTER 4

- MATHEMATISCHE METHODEN DES MASCHINELLEN LERNENS** 4 CP
- TECHNISCHE STRÖMUNGSLEHRE
6 CP
- MASCHINENELEMENTE UND MECHATRONIK II
8 CP
- MESSTECHNIK, SENSORIK UND STATISTIK
6 CP
- TECHNISCHE THERMODYNAMIK II
4 CP
- STUDIUM GENERALE
3 – 6CP

SEMESTER 5

- WAHLPFLICHT-BEREICH
16 - 19 CP
- PRAKTIKUM DIGITALISIERUNG** 2 CP
- SYSTEMTHEORIE UND REGELUNGSTECHNIK
6 CP
- PRODUCT DESIGN PROJECT
4 CP
- WÄRME- UND STOFFÜBERTRAGUNG
4 CP

SEMESTER 6

- INGENIEURWISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT
4 CP
- NUMERISCHE SIMULATIONS-METHODEN
4 CP
- EINFÜHRUNG IN WISSENSCHAFTLICHES ARBEITEN UND SCHREIBEN,
2CP
- BACHELOR THESIS**
12 CP

Praktikum Digitalisierung

Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- (i) hands-on**
 - Schaffen einer eigenen Messumgebung
 - Versuche am Küchentisch
 - Versuche im Labor
- (ii) lowtech**
 - Unsicherheit wird quantifiziert
 - formale Datenqualität steht im Vordergrund
- (iii) holistisch**
 - Breite des Darmstädter Maschinenbaus
 - Nachhaltigkeit und Systemsynthese, Thermodynamik, Rotordynamik, Instabilität einer Mehrphasenströmung
- (iv) wissenschaftliches Arbeiten**
 - Hypothese, Planen, Messen, Auswerten, Bewerten, Dokumentieren
- (v) Nachhaltigkeit**
 - FAIRes-Datenmanagement und semantische Graphen als Grundlage für die Bewertung sozialer Kosten sozio-technischer Systeme

Jeder Studierende leiht einen der 300 Messkoffer



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Raspberry-Pi 30 Euro

Beschleunigungssensor 1 Euro

Temperatursensoren ... 10 Euro

Koffer 30 Euro

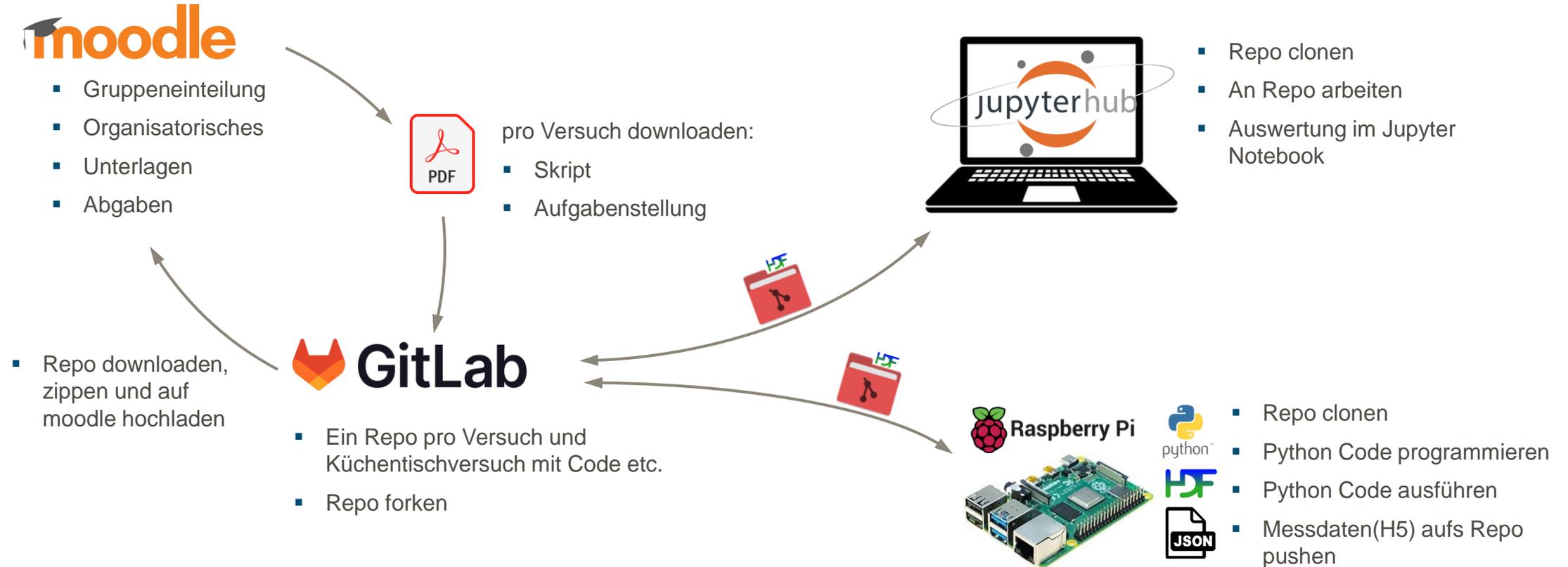


Praktikum Digitalisierung

Workflow



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



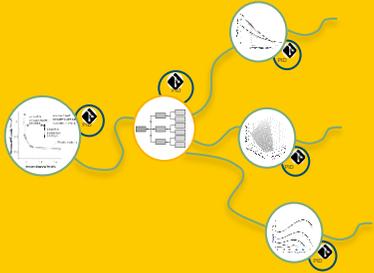
Praktikum Digitalisierung

Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

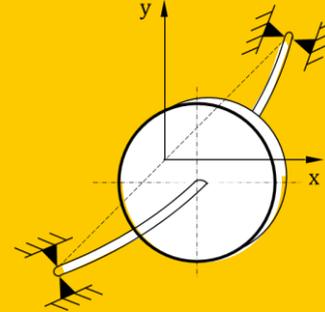
FAIRe
QUALITÄTS-KPIs



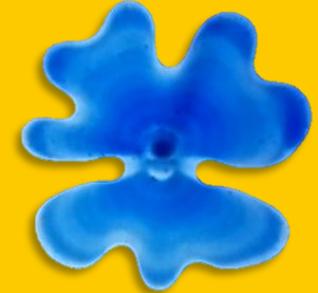
KALORIMETRIE



LAVALROTOR



HELE-SHAW ZELLE



Systemsynthese

Systemanalyse

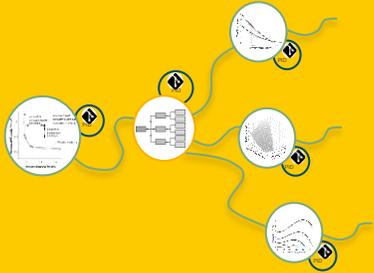
Praktikum Digitalisierung

Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

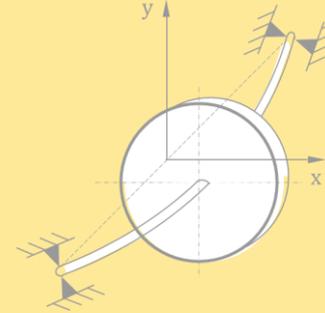
FAIRe
QUALITÄTS-KPIs



KALORIMETRIE



LAVALROTOR



HELE-SHAW ZELLE



Systemsynthese

Systemanalyse

FAIRe Qualitäts-KPIs

Ziele und Aufgabe



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Aufbau von LEGO-Fahrzeugen aus
gegebenen Komponenten in CAD-Software



Verknüpfen der Komponenten (und
Eigenschaften) zu Graphen mit Python



Entwicklung von KPIs für die Bewertung
der Qualität der Fahrzeuge



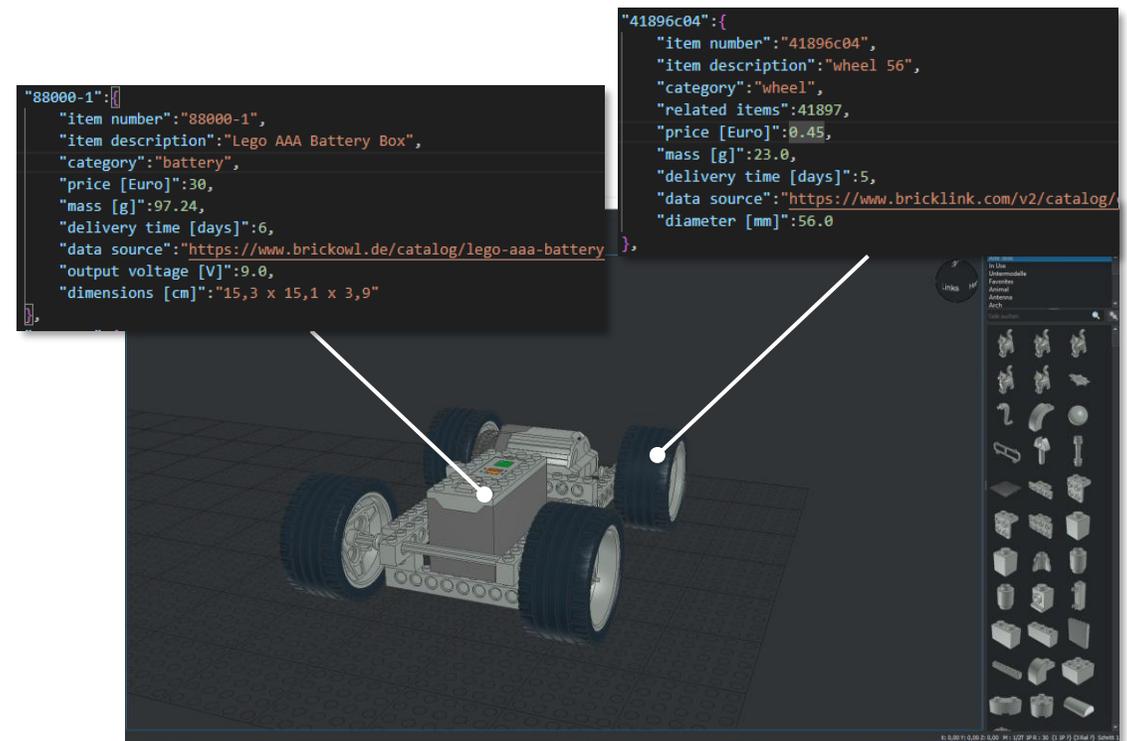
Berechnung und Vergleich der KPIs
im Jupyter Notebook

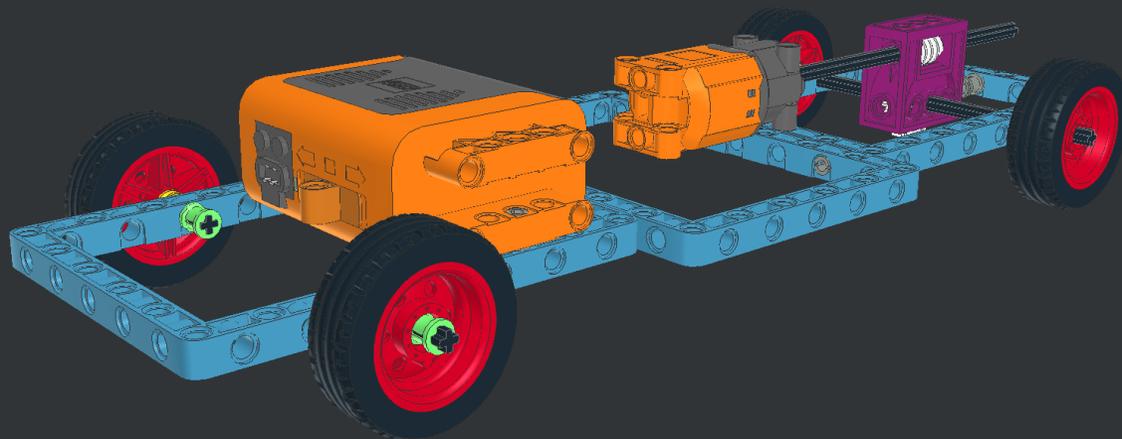
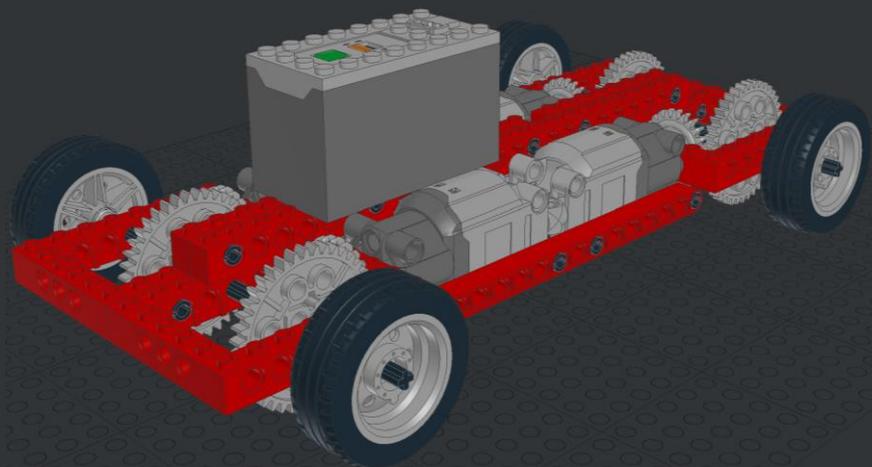
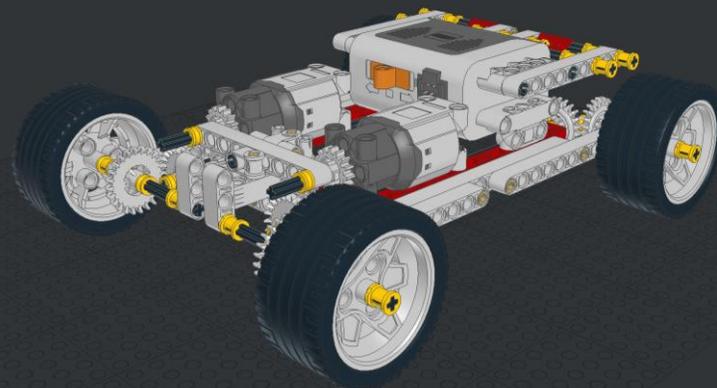
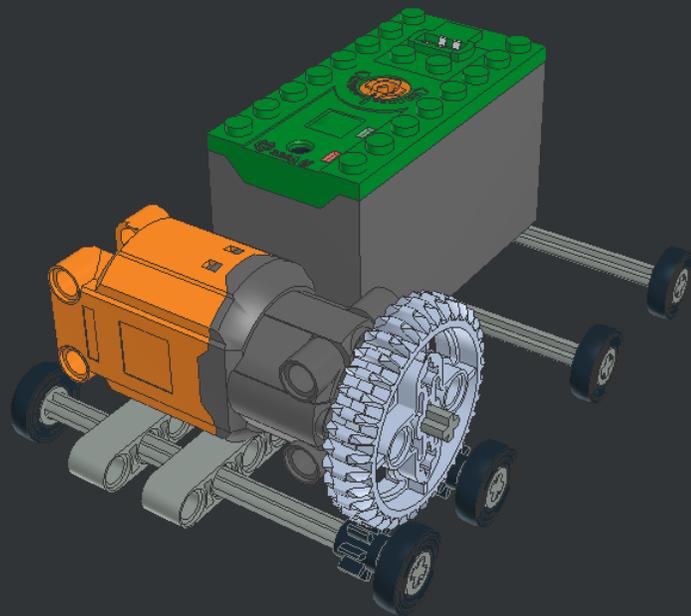
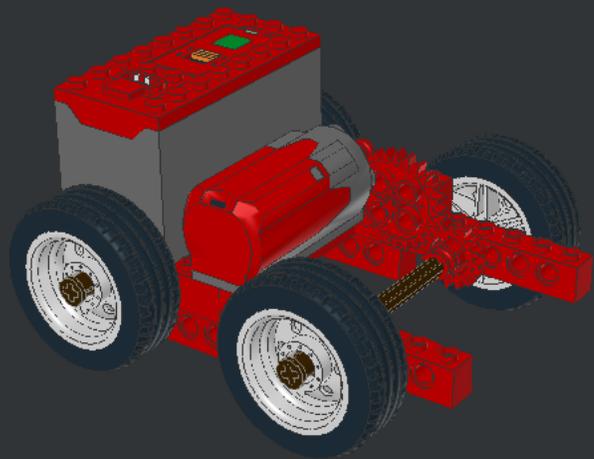


Programmieren mit Python



Verknüpfen von git, Jupyter Notebook und dem
Raspberry Pi





berechnete KPIs



häufig

- Gesamtpreis $\sum c_i$
- Gesamtmasse $\sum m_i$
- Lieferzeit $\max(t_i)$

weniger häufig/passend

- Teileanzahl N
- Durchschnittliche Lieferzeit $\frac{\sum t_i}{N}$
- Drehmoment $M_{\text{motor,max}} i_{\text{gearbox}}$
- Höchstgeschwindigkeit $\frac{n_{\text{motor,max}} \pi D_{\text{wheel}}}{i_{\text{gearbox}}}$

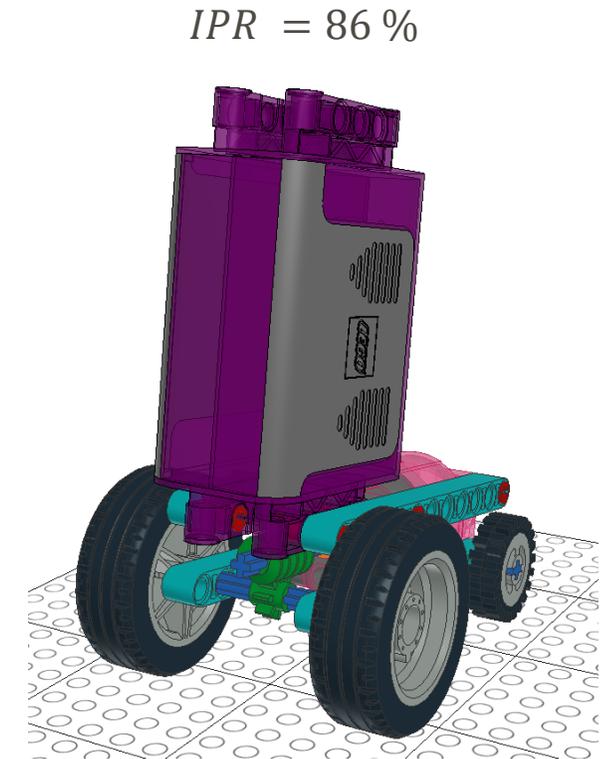
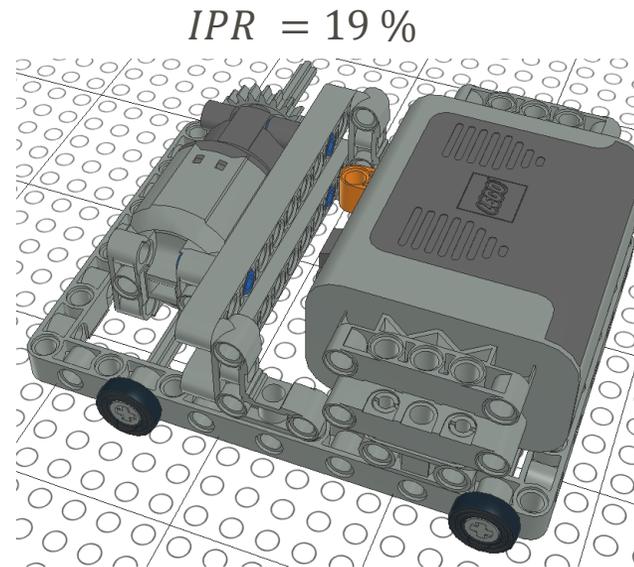
kreativ

- Durchschnittspreis $\frac{\sum c_i}{N}$
- Lieferzeiteffizienz $\frac{\sum t_i}{N \sum c_i}$
- Kosteneffizienz $\frac{\sum m_i}{\sum c_i}$
- Interesting parts ratio $\frac{N_{\text{interesting}}}{N_{\text{interesting}} + N_{\text{boring}}}$

Interesting parts ratio (IPR)



```
def kpi_interesting_percentage(system: LegoAssembly)->float:  
    boring_colors = ["grey", "light grey", "dark grey", "light bluish grey"]  
    part_count = 0  
    part_count_interesting = 0  
    for c in system.get_component_list():  
        part_count += 1  
  
        if c.properties["color"] not in boring_colors:  
            part_count_interesting += 1  
    return 100 * part_count_interesting / part_count
```



FAIRe Qualitäts-KPIs

Feedback

- Systemsynthese mit LEGO ist anschaulich und macht Spaß
- Schwierigkeiten beim Einstieg in die Plattformen
- Sehr unterschiedliche Python Kenntnisse

Konsequenz

- ➔ Ggf. Erweiterung um freiwilligen Präsenztermin zum realen Aufbau der konstruierten Autos
- ➔ Hilfestellung beim ersten Versuch für die Verwendung aller Plattformen notwendig
- ➔ Mehr Unterstützung bei der Python Programmierung

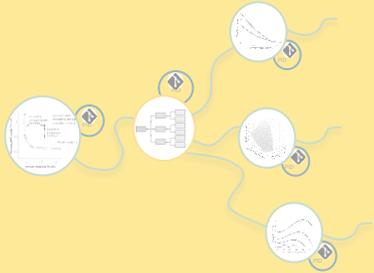
Praktikum Digitalisierung

Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

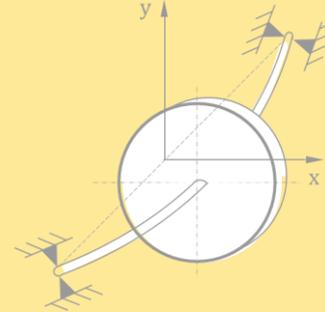
FAIRe
QUALITÄTS-KPIs



KALORIMETRIE



LAVALROTOR



HELE-SHAW ZELLE



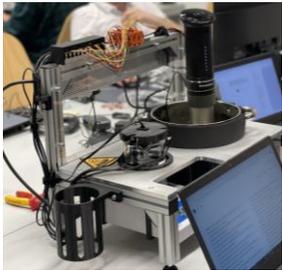
Systemsynthese

Systemanalyse

Kalorimetrie



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

	<i>physikalisches Verständnis</i>	<i>Digitalkompetenz</i>
<i>Küchen- tischversuch</i> 	<ul style="list-style-type: none">■ Bestimmung der Wärmekapazität eines Behälters■ Bestätigung des Newton'schen Abkühlungs-gesetzes	<ul style="list-style-type: none">■ Einstieg in den Umgang mit Messhardware■ Erfassung und Speicherung von Mess- und Metadaten
<i>Labor- versuch</i> 	<ul style="list-style-type: none">■ Bestimmung Kalorimeter-Konstante■ Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Proben unterschiedlichen Materials	<ul style="list-style-type: none">■ Nachnutzung des Codes aus dem Küchentischversuch■ Metadatenerfassung von Prüfstand und Proben





Leck mich

CHIEF
ENGINEER

```
{
  "JSON": {
    "ID": "1ee831c2-164e-63ae-bd32-3a4f130450a4",
    "label": "",
    "comment": "UUID6 is used"
  },
  "probe": {
    "value_1": "0.06",
    "value_2": "0.06",
    "unit": "kg",
    "info": "kaltes Wasser in cup_1 und warmes Wasser in cup_2"
  }
}
```



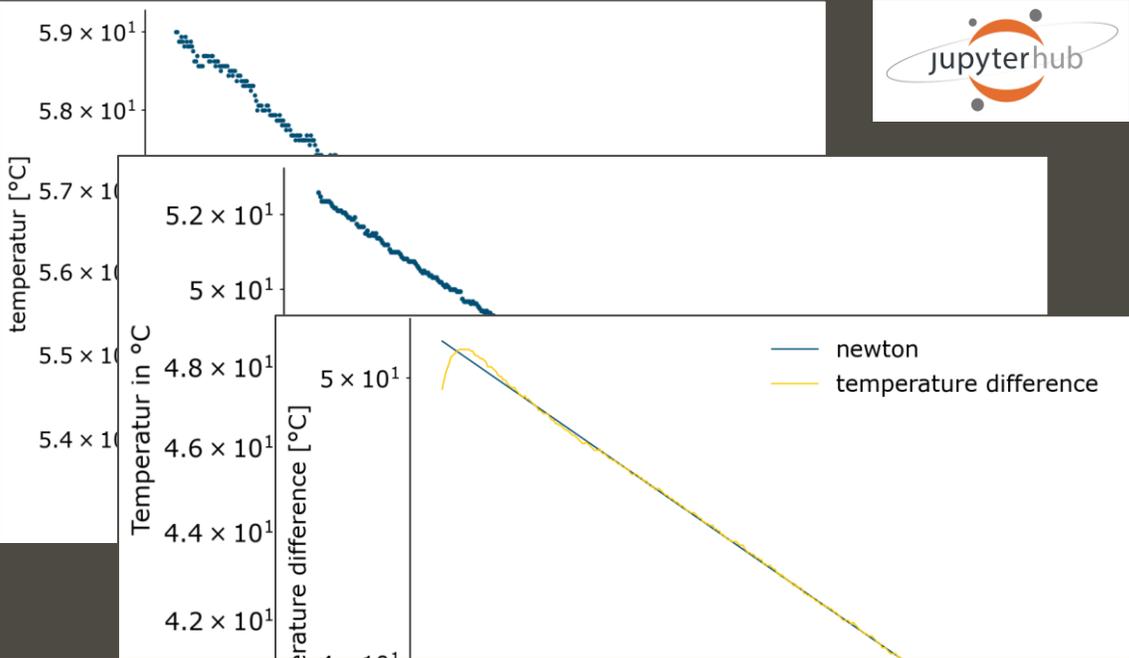
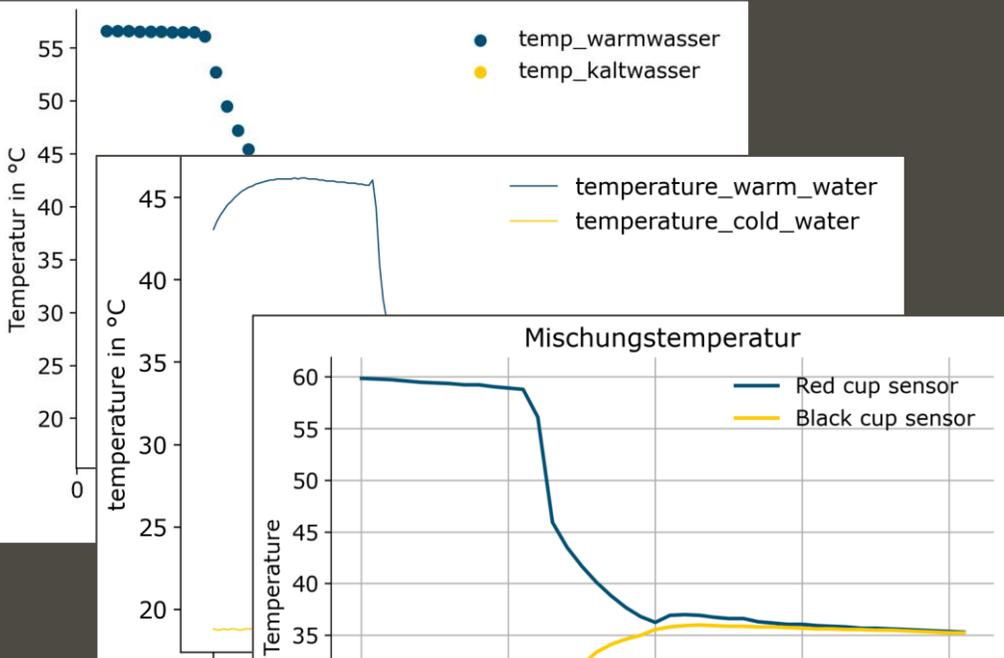
```
"JSON": {
  "ID": "1ee7e3aa-8dd0-6b3c-b6db-140ecb18",
  "label": "bunt 1",
  "comment": "UUID6 is used"
},
"sensor": {
  "name": "Temperature_Sensor",
  "type": "DS18B20",
  "manufacturer": "keyestudio",
  "serial": "3ce1045703fe",
  "comment": "",
  "range": {
    "min": -55,
    "max": 125,
    "units": "degree_celsius"
  },
  "accuracy": {
    "value": 0.5,
    "type": "absolute",
    "unit": "degree_celsius"
  }
}
```



```
{
  "JSON": {
    "ID": "1ee7e3df-20b8-6e94-842f-ec9c74cfa",
    "label": "",
    "comment": "UUID6 is used"
  },
  "instrument": {
    "name": "raspberry_pi",
    "type": "single_board_computer",
    "manufacturer": "Raspberry Pi Foundation",
    "model": "Raspberry Pi 4 Model B Rev 1.5",
    "serial": "1000000f1c1730f",
    "operating_system": "Raspberry Pi OS",
    "comment": "to get model and serial number put th"
  }
}
```



Impressionen aus dem Küchentischversuch

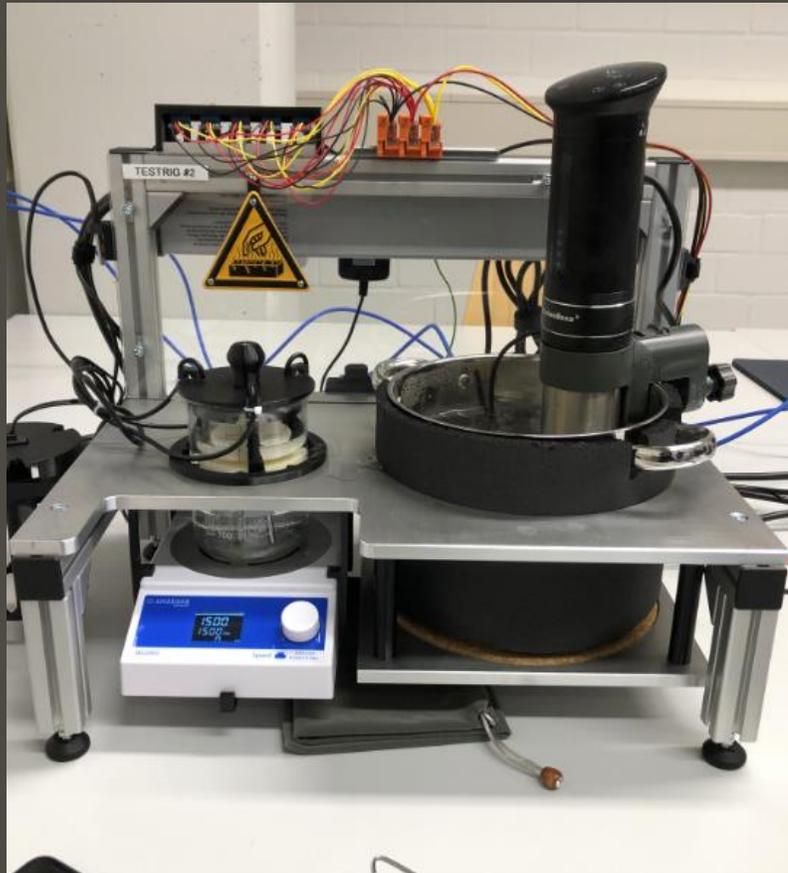


*„Somit ist das Newtonsche Abkühlungsgesetz zu bestätigen
und die Wissenschaft siegt ... „*

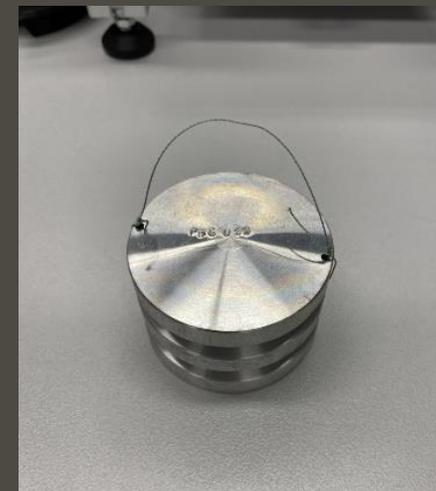
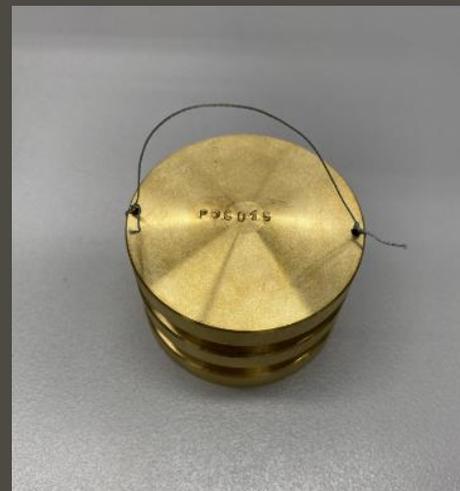
Impressionen aus dem Laborversuch



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Material	heat_capacity from experiments	heat_capacity from website	prozent fehler
Messing	0.375	0.377	0.5
ABS	1.568	1.4	12
Edelstahl	0.481	0.5	4



Feedback

- Python Kenntnisse waren zu gering zur Lösung der Aufgaben
- Verständnis von wissenschaftlichem Arbeiten ist noch nicht ausreichend vorhanden
- Hands On und Datenmanagement wurde positiv von den Studierenden angenommen

Konsequenz



Mehr Unterstützung beim Umgang mit Python



Intensivere Vermittlung von wissenschaftlichem Arbeiten

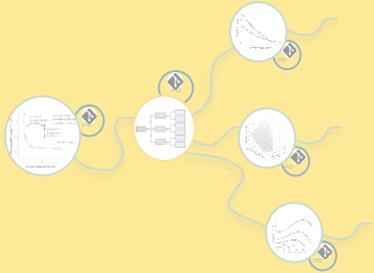
Praktikum Digitalisierung

Bachelor Lehrveranstaltung im 5. Semester



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

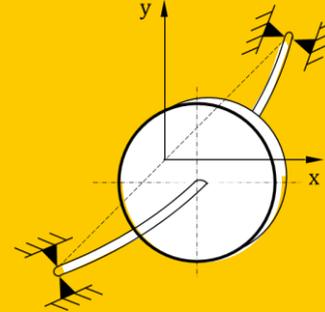
FAIRe
QUALITÄTS-KPIs



KALORIMETRIE



LAVALROTOR



HELE-SHAW ZELLE



Systemsynthese

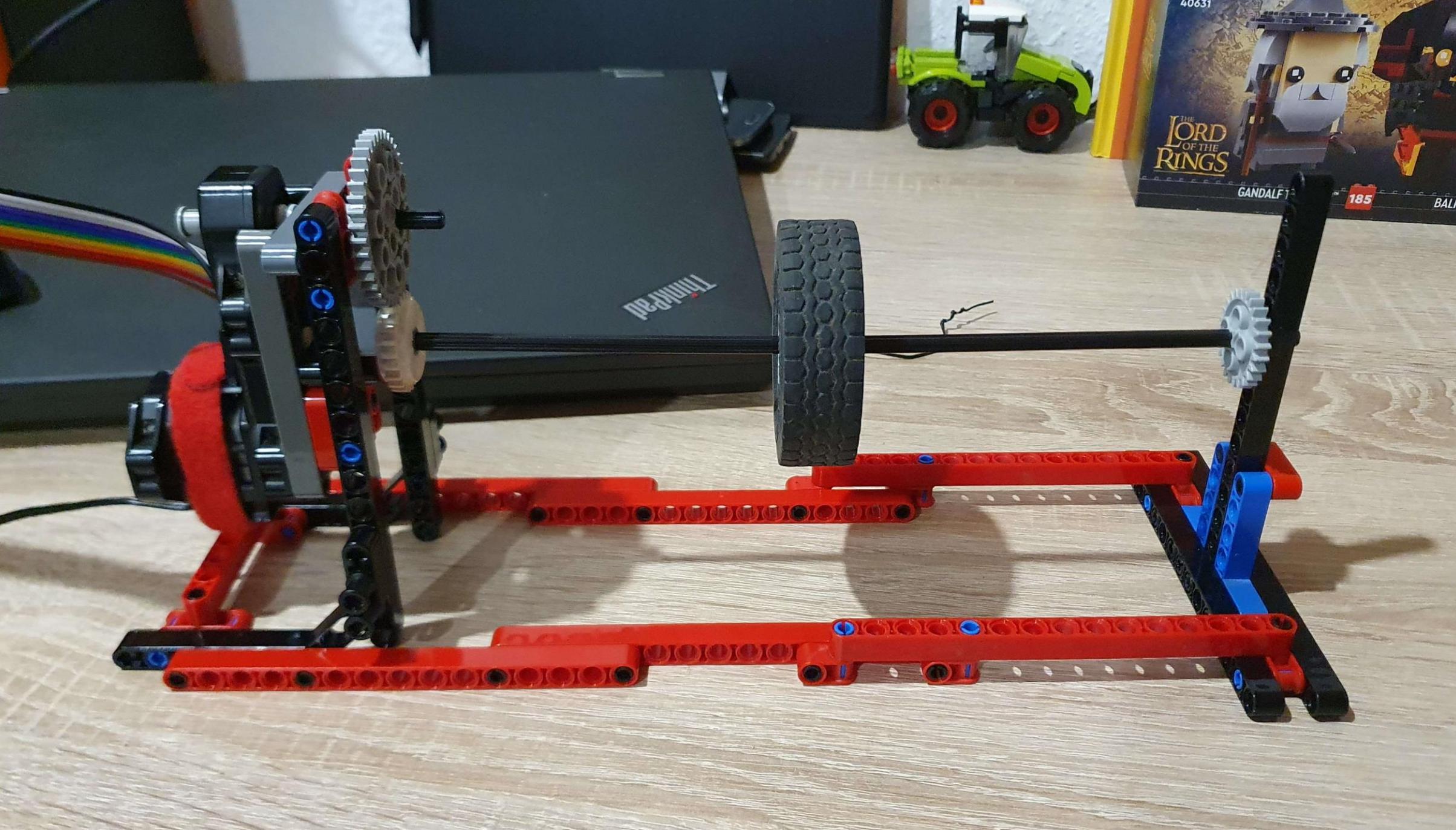
Systemanalyse

Lavalrotor

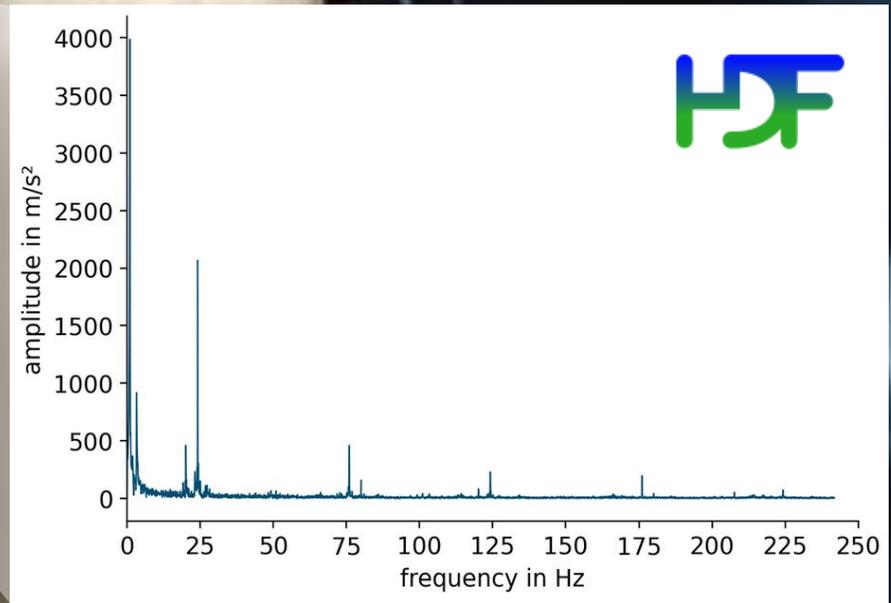
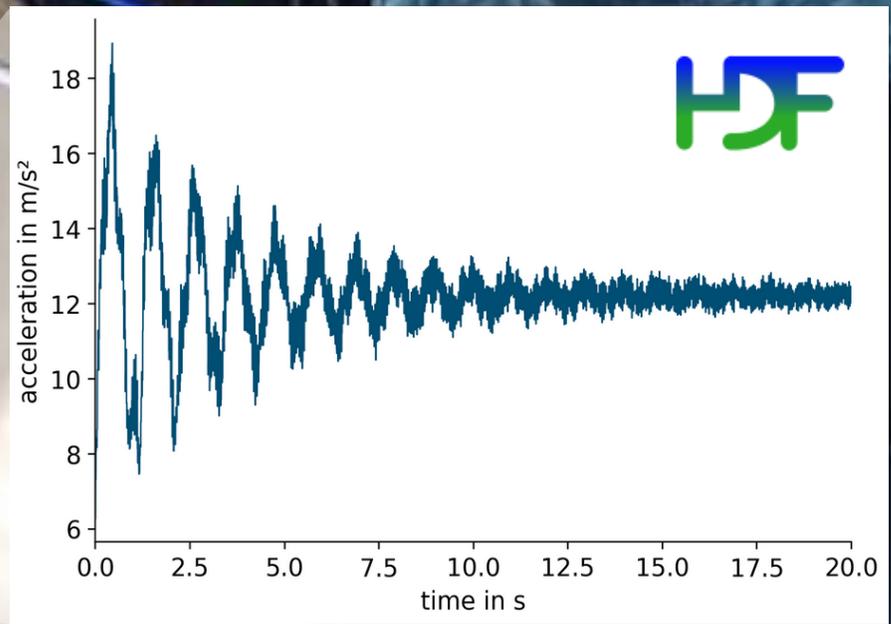


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

	<i>physikalisches Verständnis</i>	<i>Digitalkompetenz</i>
<i>Küchen- tischversuch</i> 	<ul style="list-style-type: none">■ Messung der Beschleunigung von rotierenden Haushaltsgegenständen■ Ermitteln deren charakteristischer Frequenz	<ul style="list-style-type: none">■ Erfassung und Speicherung von Mess- und Metadaten■ Verarbeitung von Messdaten: Interpolation und FFT
<i>Labor- versuch</i> 	<ul style="list-style-type: none">■ Aufzeichnung von Beschleunigungsdaten von Rotoren■ Analytisch und experimentelles Bestimmen der Eigenfrequenz der Rotoren	<ul style="list-style-type: none">■ Nachnutzung des Codes aus dem Küchentischversuch■ Grafische Auswertung von Messergebnissen



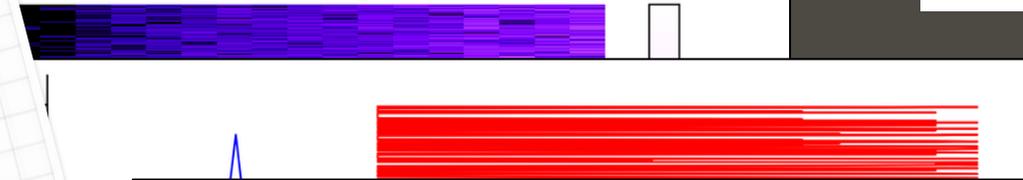
```
{
  "JSON": {
    "ID": "1ee847be-fddd-6ee4-892a-68c4",
    "label": "",
    "comment": "UUID6 is used"
  },
  "sensor": {
    "name": "accelerometer",
    "type": "ADXL345",
    "range": {
      "config_1": {
        "min": -2,
        "max": 2,
        "units": "standard_gravity"
      },
      "config_2": {
        "min": -4,
        "max": 4,
        "units": "standard_gravity"
      },
      "config_3": {
        "min": -8,
        "max": 8,
        "units": "standard_gravity"
      },
      "config_4": {
        "min": -16,
        "max": 16,
        "units": "standard_gravity"
      }
    }
  },
  "frequency": {
    "config_1": {
      "value": 3200,
      "units": "Hertz"
    },
    "config_2": {
      "value": 1600,
      "units": "Hertz"
    },
    "config_3": {
      "value": 800,
      "units": "Hertz"
    },
    "config_4": {
      "value": 400,
      "units": "Hertz"
    }
  }
}
```



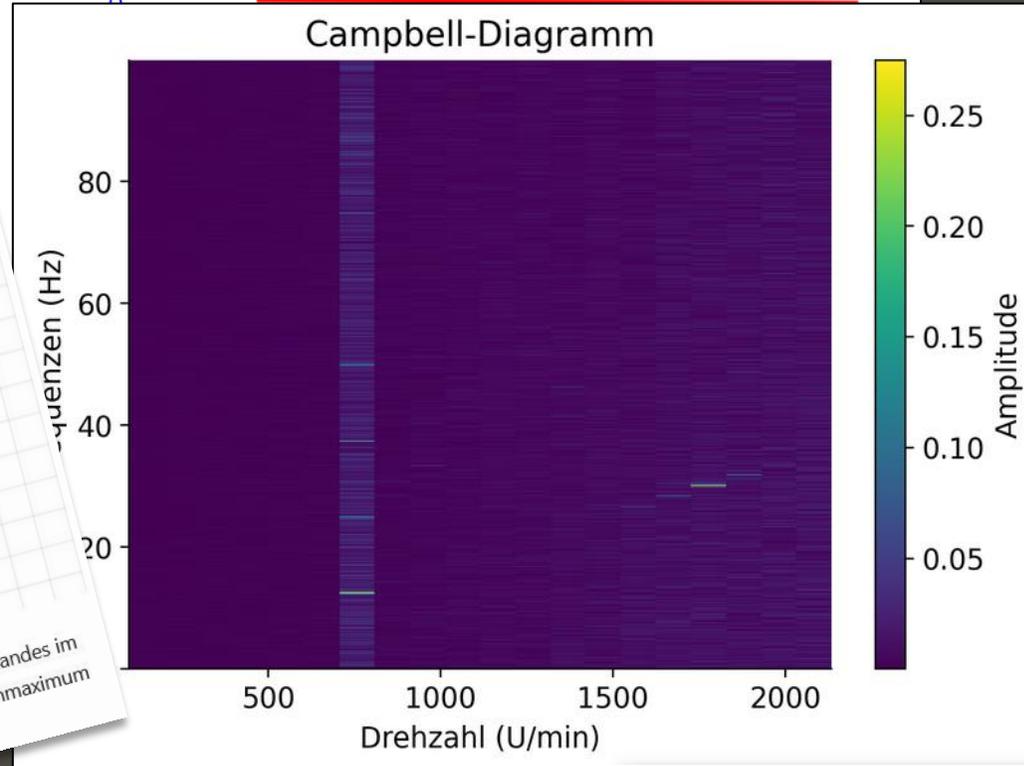
Impressionen aus dem Laborversuch



Campbelldiagramm Prüfstand #3



Campbell-Diagramm



Rechnung der kritischen Drehzahl
 $\uparrow = s/L = 0$, da wir nur eine Scheibe auf der Welle haben
 dadurch folgt:
 $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1$
 es folgt die kritische Drehzahl: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m(\alpha_1 + \alpha_2)}}$
 Berechnung der Ersatz 2-federsteifigkeit der Welle:
 $k = \frac{3EI_p}{l_1^2 l_2^2} \cdot l = \frac{3EI_p}{76 l^3} = 48 \frac{EI_p}{l^3}$
 $l_1 = l_2 = l/2$
 mit größerem Trägheitsmoment des Wellenprofils I_p :
 $I_p = \frac{\pi R^4}{2}$
 \rightarrow Einsetzen in die kritische Drehzahl:
 $\omega = \sqrt{\frac{48E\pi R^4}{4l^3 \cdot m}}$
 mit $m = 1 \text{ kg}$, $E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, $R = 4 \text{ mm}$, $l = 0,75 \text{ m}$
 $\rightarrow \omega \approx 60,31118 \text{ rad/s}$
 $n_{\text{krit}} = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \approx 667,8731 \text{ 1/min}$

Wie man der Rechnung entnehmen kann, liegt die ablesbare kritische Drehzahl (750 U/min) unseres Prüfstandes im Bereich der errechneten, was auf eine zuverlässige Messung deutet, wenn man das oben genannte Nebenmaximum

Lavalrotor

Feedback

- Studierende schätzen das praktische Anwenden von Konzepten aus anderen Vorlesungen
- Qualität der Messergebnisse wird stark durch das Setup der Studierenden beeinflusst
- mathematisches Verständnis für FFT zur Interpretation der Ergebnisse teils nicht ausreichend

Konsequenz



Stärkere Verknüpfung zu anderen Modulen.



Helpdesk bei Heimversuchen notwendig um groben Fehlern entgegenwirken zu können

Interaktion der Studierenden

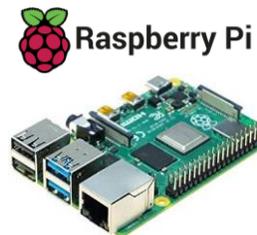
- Bereitstellung und Abgabe von
blemlos über
- direkte Rückmeldungen und beste Möglichkeit individuell zu unterstützen
- Nur wenige (ca. 30%) nehmen das Präsenzangebot wahr



- Umgang mit Jupyter Hub war sehr einfach für die Studierenden
- Konzept der Notebooks wurde schnell angenommen



- große Begeisterung für den Raspberry Pi
- teilweise Schwierigkeiten beim Einarbeiten in die Sensorik



- Studierende brauchen eine Einführung in den Umgang mit GitLab, da es sonst zu Problemen beim Pullen/Pushen kommt

Lessons Learned

Anpassungen für den nächsten Turnus



Das funktioniert:

- Hardware-Koffer „begeistern“ und machen Lust auf die Versuche
- Workflow über verschiedene Plattformen hat gut funktioniert
- Hoher Lerneffekt in der Digitalkompetenz, was auch von den Studierenden wahrgenommen wird

Das kann besser werden:

- Programmier-/Python Kenntnisse müssen gestärkt bzw. kontinuierlicher vermittelt werden
- Hilfestellungen für Debugging und kritisches Hinterfragen
- Korrektur von Hand sehr aufwändig
→ wird weiter automatisiert

SEMESTER 1

EMB – PROJEKTARBEIT 2 CP
MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU I 8CP
WERKSTOFFKUNDE I 4 CP
TECHNISCHE MECHANIK I (STATIK) 6 CP
TECHNOLOGIE DER FERTIGUNGSVERFAHREN 6 CP
GRUNDLAGEN DER DIGITALISIERUNG 4 CP

SEMESTER 2

MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU II 8 CP
WERKSTOFFKUNDE II 4CP
TECHNISCHE MECHANIK II (ELASTOSTATIK) 6 CP
EINFÜHRUNG IN DIE ELEKTROTECHNIK 6 CP
RECHNERGESTÜTZTES KONSTRUIEREN 4 CP
CHEMIE FÜR DEN MASCHINENBAU 4 CP

SEMESTER 3

MATHEMATIK FÜR DEN MASCHINENBAU III 4 CP
WERKSTOFFKUNDE III 2CP
TECHNISCHE MECHANIK III (DYNAMIK) 6 CP
MASCHINENELEMENTE UND MECHATRONIK I 8 CP
TECHNISCHE THERMODYNAMIK I 6 CP
PHYSIK FÜR DEN MASCHINENBAU 4 CP

SEMESTER 4

MATHEMATISCHE METHODEN DES MASCHINELLEN LERNENS 4 CP
TECHNISCHE STRÖMUNGSLEHRE 6 CP
MASCHINENELEMENTE UND MECHATRONIK II 8 CP
MESSTECHNIK, SENSORIK UND STATISTIK 6 CP
TECHNISCHE THERMODYNAMIK II 4 CP
STUDIUM GENERALE 3 – 6CP

SEMESTER 5

WAHLPFLICHT-BEREICH 16 - 19 CP
PRAKTIKUM DIGITALISIERUNG 2 CP
SYSTEMTHEORIE UND REGELUNGSTECHNIK 6 CP
PRODUCT DESIGN PROJECT 4 CP
WÄRME- UND STOFFÜBERTRAGUNG 4 CP

SEMESTER 6

INGENIEURWISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT 4 CP
NUMERISCHE SIMULATIONS-METHODEN 4 CP
EINFÜHRUNG IN WISSENSCHAFTLICHES ARBEITEN UND SCHREIBEN, 2CP
BACHELOR THESIS 12 CP

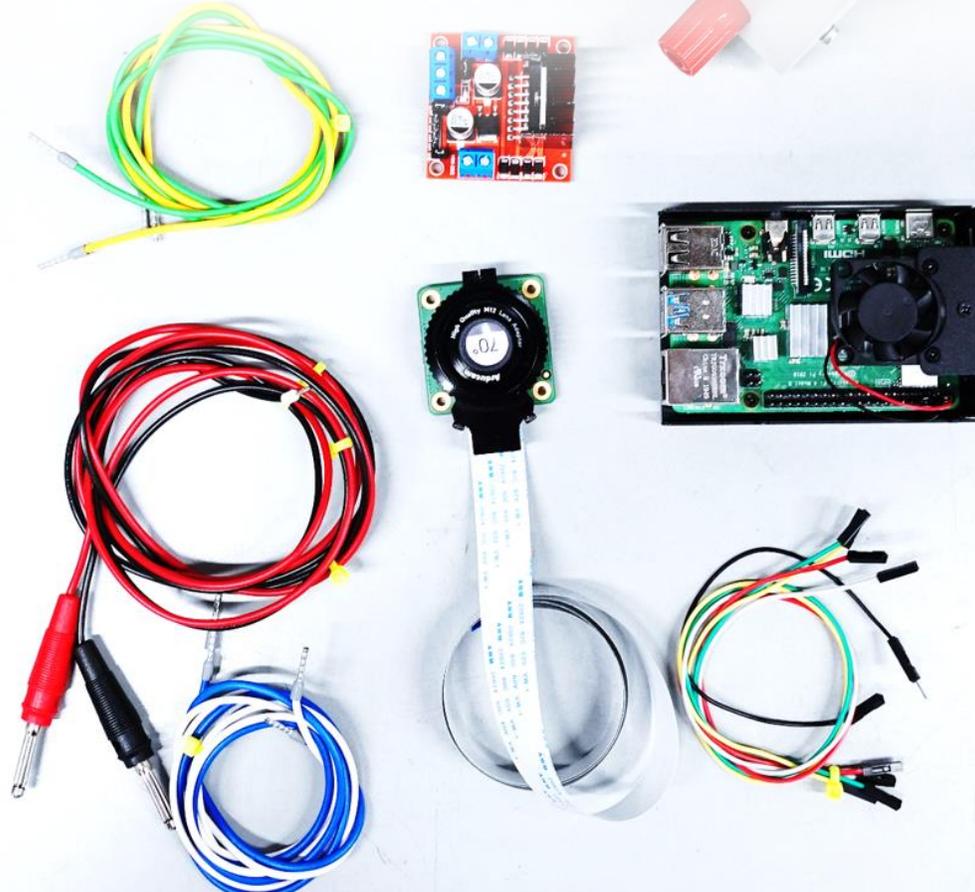
Digitale Bildung und Datenkompetenz

Kultureller Wandel in der Aus- und Weiterbildung in den Ingenieurwissenschaften – Eine Rückschau auf das Praktikum Digitalisierung

Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz
15. April 2024



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



MASCHINENBAU
We engineer future

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