

**Dokumentation**

Technik & Architektur  
Institut für Innovation und  
Technologiemanagement IIT

Dr. Simon Züst  
Dozent

T direkt +41 41 349 30 44  
simon.zuest@hslu.ch

Horw, 13. Oktober 2022

**P8 Digitale Lehre**

**Digital Analog:  
Digitale Durchführung von Labors mit technischen  
Aufbauten**

Projektteam:

**Noël Heinz**

Assistenz, technische Umsetzung Laborübungen)

**Matthias Elmiger**

Assistenz, technische Umsetzung Laborübungen

**Simon Züst**

Dozent, didaktische Umsetzung Laborübungen

## Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Status	Änderungen und Bemerkungen	Bearbeitet von
1		Entwurf	Initiale Version, Arbeitskopie	ZuS
2.0	18.10.2022	Final	Finalisierung mit neuen Bildern	ZuS

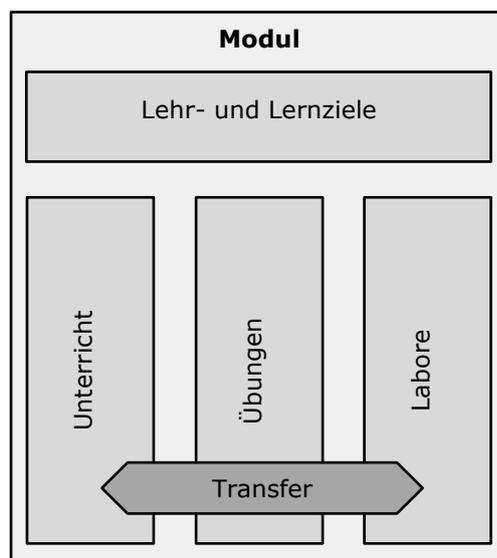
## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1. Laborübungen im Unterricht	3
1.2. Forschungsfrage	4
1.3. Abgrenzung des Themas	4
1.4. Vorgehen	5
<b>2. Ist-Zustands für die ausgewählten Fallbeispiele</b>	<b>6</b>
2.1. Betroffene Module und Übersicht Fallbeispiele	6
2.2. Simulation Förderband (MECH)	7
2.3. Hardware-in-the-Loop Förderband (MECH)	9
2.4. Laborübung Förderband (MECH)	11
2.5. Parallelrechner (DIST_SYS)	13
2.6. SPS (DIST_SYS)	14
2.7. Zwischenfazit	16
<b>3. Lösungsansätze für eine Digitalisierung der Laborübungen</b>	<b>19</b>
3.1. Mögliche Verbesserungen durch eine Digitalisierung	19
3.2. Reine Software-Übungen	19
3.3. HW/SW-Übungen	20
3.4. HW/SW-Übungen mit mechanischen Baugruppen	20
3.5. Fazit	21
<b>4. Umsetzung der angepassten Laborübungen</b>	<b>24</b>
4.1. Simulation Förderband (MECH)	24
4.2. Hardware-in-the-Loop Förderband (MECH)	24
4.3. Laborübung Förderband (MECH)	27
4.4. Parallelrechner (DIST_SYS)	28
4.5. Zwischenfazit	29
<b>5. Diskussion der Resultate</b>	<b>30</b>
<b>6. Verweise</b>	<b>31</b>

## 1. Einleitung

### 1.1. Laborübungen im Unterricht

Das Projekt «P8 Stärkung von Digital Skills in der Lehre» befasst sich mit der Stärkung von digitalen Skills bei Studierenden, Dozierenden und den beteiligten Lehrinstitutionen. Das Teilprojekt «Anlog Digital» beschäftigt sich mit Digitalisierungschancen in zwingenden Präsenzformaten in Design, Musik und Technik. Ziel dieses Teilprojektes ist wie folgt: «Übergeordnetes Projektziel ist es zu ermitteln, ob und wie Lehr-, Lern- und Arbeitsprozesse, die bislang als an die Präsenz in den Werkstätten, Labors, Ateliers und Proberäumen gebunden gelten, durch digitale Tools (Soft- und Hardware) vorbereitend und begleitend unterstützt werden können – und wo die Grenzen liegen. Voraussichtlich lassen sich bestimmte Lern- und Arbeitsprozesse nicht vollständig virtualisieren; es bleibt ein Anteil an Erfahrungen und Fertigkeiten, die nur im direkten Umgang der Studierenden mit den Maschinen, Geräten und Materialien vor Ort und im unmittelbaren Kontakt mit den Dozierenden und Studienkolleg\*innen erworben werden können. Dies gilt es genauer zu eruieren und explizit zu benennen, um die Chancen und Grenzen des Einsatzes von digitalen Tools in der Lehre realistisch einschätzen zu können. Insbesondere soll auch untersucht werden, welche Unterschiede hinsichtlich der Lernziele zwischen Präsenzlehre in den bestehenden Räumlichkeiten und einem neuen virtuellen Ansatz bestehen» (Steffen, 2021).



*Abbildung 1: Struktur der Untersuchten Module*

Dieses Arbeitspaket fokussiert sich auf technische Module aus dem Studiengang Wirtschaftsingenieur | Innovation (WI) am Institut für Technologietransfer und Innovation (IIT) der T&A. Diese Module folgen der Struktur nach Abbildung 1. Bei diesen Modulen werden die Lehr- und Lernziele durch die drei Elemente Unterricht, Übungen und Labore erarbeitet:

- Unterricht: Vermitteln die theoretische Grundlage, deren Verständnis die Grundlage für die in den Lehr- und Lernzielen geforderten Fähigkeiten und Kompetenzen ist. Der Unterricht kann in verschiedenen Formen umgesetzt sein.
- Übungen: Ermöglichen eine geführte Anwendung der erlernten Theorie, meist mit Fokus auf einen spezifischen Aspekt. Sie ermöglichen eine Vertiefung der Theorie. Übungen können als Selbststudium, Gruppenarbeiten und/oder Arbeiten im Plenum umgesetzt sein.

- **Labore:** Ermöglichen die Anwendung der erlernten Theorie, mittels Software- und/oder Hardware-Installationen. Dabei wird das in der Theorie erlernte und in den Übungen gefestigte Wissen an einem praxisnahen Beispiel angewendet.

Die drei Elemente sind durch geeignete Transfers verknüpft. Während bei den Elementen «Unterricht» und «Übungen» zu Beginn des Projektes bereits teilweise oder ganz remote (synchron, asynchron) wie auch hybrid durchgeführt wurden und werden, besteht diese Option für die Laborübungen noch nicht.

### 1.2. Forschungsfrage

Der Umgang mit der Software (SW) und Hardware (HW) in diesen Laborübungen ist ein zentrales Element des «Erlebnisses». Dieses «Erlebnis» umfasst harte Faktoren wie Effekte, welche spezifisch für reale elektro-mechanische Systeme sind (z.B. Haft-Gleitreibung und nicht lineare Reibung); aber auch weiche Faktoren. Beispiele für letztere ist z.B. die positive Erfahrung ein reales System erfolgreich zu regeln, aber auch Elemente wie Geräusche und/oder taktile Rückmeldungen. Es wird davon ausgegangen, dass solche «Erlebnisse» einen zentralen Einfluss auf die Wahrnehmung der Laborübungen aus Sicht der Studierenden hat und damit auch einen signifikanten Einfluss auf die Erreichung der Lehr- und Lernziele. Damit lautet die Forschungsfrage für dieses Arbeitspaket:

«Wie können Laborübungen mit realer Hardware im Rahmen der Digitalen Lehre unter Einhaltung der bestehenden didaktischen Ziele eingehalten werden, ohne die Lernerfahrung negativ zu beeinflussen?»

### 1.3. Abgrenzung des Themas

Dieses Arbeitspaket beschäftigt sich im Rahmen der obigen Forschungsfrage explizit mit Labors mit realer Hardware, welche remote durchgeführt werden sollen. D.h. der eigentliche Hardwareaufbau ist räumlich von den teilnehmenden Studierenden getrennt. Demgegenüber stehen als Alternative klassische Labors in Präsenz, Remote-Übungen mit individueller Hardware<sup>1</sup> («nach Hause geschickte Hardware») und virtualisierte Labors<sup>2</sup> zur Verfügung (siehe Abbildung 2).

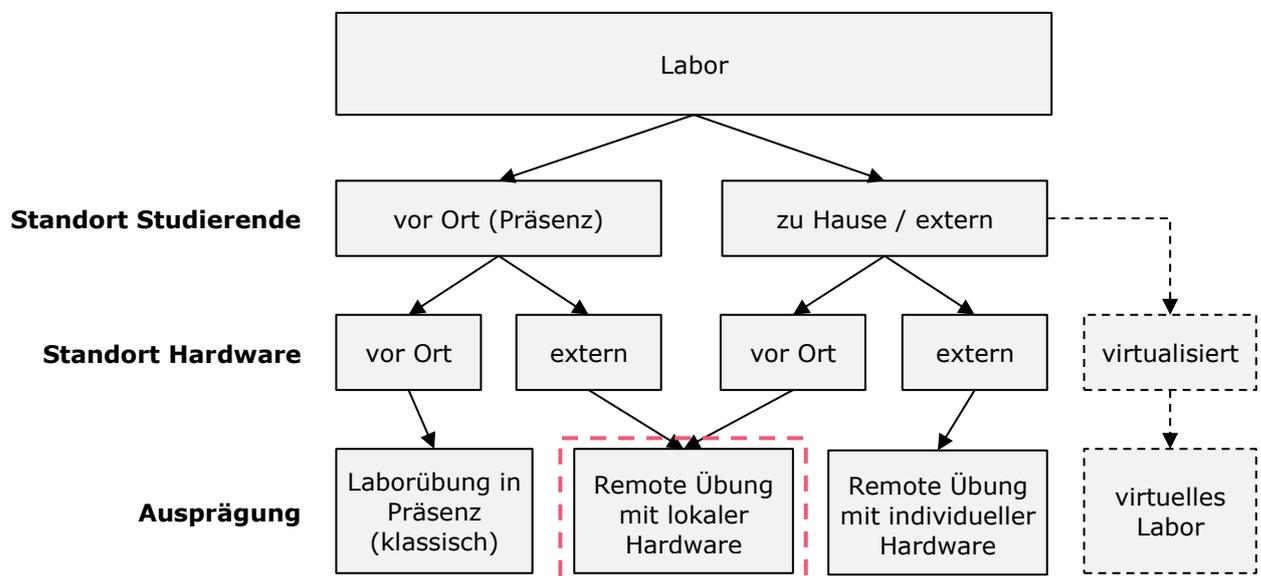


Abbildung 2: Systemabgrenzung (rot) für das untersuchte Thema

<sup>1</sup> Hier stehen im Rahmen des Teilprojektes P8 Digital Analog ebenfalls konkrete Fallbeispiele zur Verfügung.

<sup>2</sup> Für die erfolgreiche Umsetzung von solchen virtualisierten Beispielen sei auf die Fluidynamik-Laborübungen aus dem Institut für Maschinentechnik hingewiesen.

In den nachfolgend Untersuchten Fallbeispielen bildet die Übungshardware ein in der Stückzahl limitiertes Asset. D.h. die Studierenden, bzw. die Übungsgruppen, können nicht mit einer individuellen Übungshardware ausgestattet werden. Weiter werden Teile der Übungshardware für andere Laborübungen benötigt. Damit steht die Option «Remote-Übung mit individueller Hardware» nicht zur Verfügung.

#### 1.4. Vorgehen

Dieses Arbeitspaket folgt dem dreistufigen Vorgehen aus Abbildung 3: In einem ersten Schritt werden bestehende Laborübungen als Fallbeispiele definiert und hinsichtlich deren Ist-Zustand identifiziert. Der Ist-Zustand umfasst die Lehr- und Lernziele der Laborübungen, den bestehenden und verwendeten Aufbau (Software und Hardware), sowie der charakteristischen Erlebnisse aus Sicht der Studierenden. Dafür kommen folgende Datenquellen zum Einsatz:

- Lehr- und Lernziele: Modulbeschreibung, sowie kommunizierte Zielsetzungen der jeweiligen Laborübungen gemäss Unterrichtsplanung, sowie Unterrichtsunterlagen.
- Aufbau Software und Hardware: Dokumentation und Übungsunterlagen der jeweiligen Laborübungen
- Charakteristische Erlebnisse: Unstrukturierte Rückmeldungen der Studierenden, welche nach einer Durchführung der Laborübung mündlich erhoben werden<sup>3</sup>.

Erwartetes Zwischenresultat dieses ersten Schrittes ist eine generische Strukturierung für Laborübung nach Anforderung in Bezug auf eine Digitalisierung (=Typen von Laborübungen).

Im zweiten Schritt werden mögliche Lösungsansätze für die einzelnen Typen von Laborübungen Vorschläge für mögliche Digitalisierungen synthetisiert. Basis dafür bildet die verfügbare Infrastruktur an der HSLU (z.B. verfügbare Software, EEE-Netzwerk, Räume, ...). Weiter werden Faktoren wie Kosten und Zeitaufwand für die Anpassung der Übungen berücksichtigt. Erwartetes Zwischenziel ist ein übertragbares Vorgehen für die Digitalisierung von bestehenden Laborübungen.

Im dritten und letzten Schritt wird das Zwischenresultat aus dem vorangegangenen Schritt auf die untersuchten Fallbeispiele angewendet. Damit sollen (1) die vorhandenen Laborübung durch eine Digitalisierung verbessert und (2) das entwickelte Vorgehen verifiziert werden.

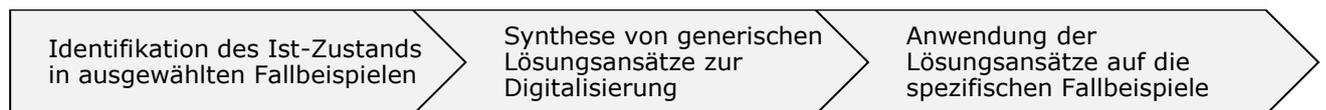


Abbildung 3: Allgemeines Vorgehen für dieses Arbeitspaket

<sup>3</sup> Ursprünglich waren hier strukturierte Umfragen in Form von Illias-Fragebögen geplant. Zur Beantwortung dieser Fragebögen wurden die teilnehmenden Studierenden nach der Durchführung der jeweiligen Übung gebeten. Auf Grund der geringen Rückmeldung (N=3) wurde alternativ auf mündliche Rückmeldungen von einzelnen Studierenden zurückgegriffen.

## 2. Ist-Zustands für die ausgewählten Fallbeispiele

Im Folgenden werden die individuellen Ist-Zustände von ausgewählten Fallbeispielen identifiziert und diskutiert. Abschnitt 2.1 gibt dabei eine Übersicht der gewählten Laborübungen. Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten hinsichtlich Lehr- und Lernziele, Ausgangslage, sowie charakteristische Erlebnisse quantifiziert. In Abschnitt 2.7 wird basierend auf diesen Eigenschaften eine Typisierung der Laborübungen präsentiert.

### 2.1. Betroffene Module und Übersicht Fallbeispiele

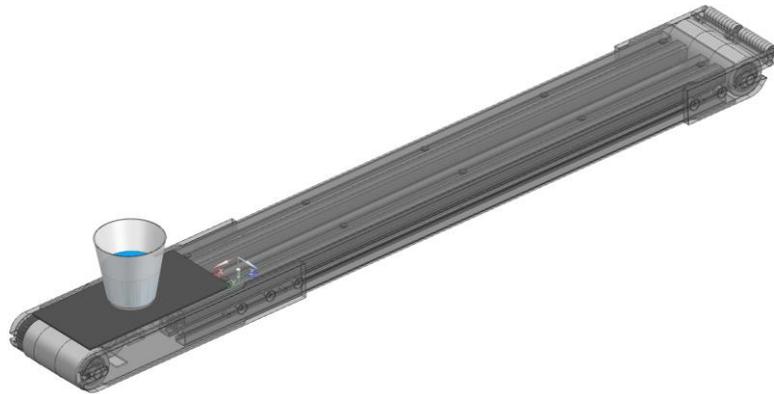
Total werden fünf Fallbeispiele untersucht. Dabei handelt es sich um fünf Laborübungen aus der Technikschiene des Bachelorstudiengangs Wirtschaftsingenieur | Innovation. Die Laborübungen werden im vierten Semester im Modul *Entwicklung von mechatronischen Systemen* (MECH, drei Übungen) und im sechsten Semester im Modul *Verteilte Systeme* (DIST\_SYS, zwei Übungen) durchgeführt. Die Details zu den ausgewählten Übungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Übungen aus MECH bauen inhaltlich aufeinander auf. Die Übungen in DIST\_SYS behandeln separate Themengebiete und haben keinen direkten Zusammenhang. Die Übung «SPS» dient hier als Benchmark. Diese zugrunde liegende Infrastruktur wurde von externen Spezialisten für die Ausbildung von Fachpersonen im Bereich Steuerungsprogrammierung entwickelt.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Laborübungen

Modul	Fallbeispiel	Beschreibung
Entwicklung mechatronischer Systeme (MECH)	Simulation Förderband	MIL-Testing eines selbst entwickelten Reglers in MATLAB/Simulink in einer Co-Simulation mit Siemens NX
	Hardware-in-the-Loop Förderband	HIL-Testing eines selbst implementierten Reglers auf einem RasPi
	Laborübung Förderband	Testing eines selbst implementierten Reglers auf einem RasPi an einer realen Förderstrecke
Distributed Systems (DIST_SYS)	Parallelrechner	Einsatz eines Parallelrechners für ausgewählte Probleme
	SPS	Über MyLiveZone eingekaufte, extern produzierte Laborübungen basierend auf Siemens TIA Portal und entsprechender Hardware

## 2.2. Simulation Förderband (MECH)

Ausgangslage für die Studierenden ist ein selbst implementierter Regler in MATLAB/Simulink. Diesen sollen die Studierenden mittels eines MIL-Tests hinsichtlich Funktion und Performanz verifizieren. Dazu führen den Studierenden ein Simulation (siehe [Abbildung 4](#)) in Siemens/NX anhand einer Anleitung durch.



*Abbildung 4: CAD Model, welches in der Laborübung «Simulation Förderband» zum Einsatz kommt*

### 2.2.1. Lehr- und Lernziele

Die für diese Lehr- und Lernveranstaltung spezifischen Ziele, wie auch die relevanten allgemeinen Lehr- und Lernziele gemäss Modulbeschreibung sind wie folgt:

<b>Modulbeschreibung</b>	Die Studierenden ...
	F4: kennen Werkzeuge zur Simulation mechatronischer Systeme.
	F7: können einfache Testverfahren von mechatronischen Komponenten durchführen
	M5: können mechatronische Systeme simulieren.
	P2: Die Studierenden können in Teams technische Fragestellungen bearbeiten

<b>Spezifisch für die Lehr- und Lerneinheit</b>	Die Studierenden ...
	1. verstehen die Vorteile von Modellbildung und Simulation in der Entwicklung
	2. können Modellbildung und Simulation im V-Modell (VDI 2206) einordnen
	3. können ein systematisches Vorgehen für Modellbildung und Simulation anwenden
	4. können erfolgreich eine Simulation im Förderbandbeispiel durchführen

### 2.2.2. Ist-Zustand

Zu Beginn der Ist-Zustandsaufnahme wird die Übung als Präsenzveranstaltung durchgeführt. Die Studierenden befinden sich dabei im gleichen Raum und arbeiten individuell oder in kleinen Teams ( $\leq 3$  Personen) auf ihren eigenen Laptops an der Übungsaufgabe. Für die Übung stehen ein Skript, wie auch Videoanleitungen zur Verfügung. Während der Übung werden nach festgelegten Zeiteinheiten die

Zwischenlösungen besprochen. Fragen während der Übung betreffen vor allem Installations-, Konfigurations- und Datenformatprobleme. In der Ursprungskonfiguration dieser Übung findet keine eigentliche Co-Simulation statt, sondern eine Visualisierung der in MATLAB/Simulink simulierten Kinematik mittels Siemens/NX

### **2.2.3. Charakteristische Erlebnisse**

Die negativ konnotierten Erlebnisse aus Sicht der Studierenden in Verbindung mit dieser Laborübung betreffen folgende Punkte:

- Die fehlende Möglichkeit HSLU Geräte für die Übung zu nutzen. Damit würde die zeitaufwändige Installation der benötigten Software auf den eigenen Maschinen der Studierenden wegfallen
- Der inhaltliche Unterbruch zwischen MATLAB/Simulink und Siemens/NX. Das CAD-Programm scheint nur zur Visualisierung zu dienen und Anpassungen an den Reglerkonfigurationen benötigen mehrere Arbeitsschritte um erneut mittels Siemens/NX simuliert zu werden.

Dem gegenüber stehen folgende positiven Erlebnisse aus Sicht der Studierenden:

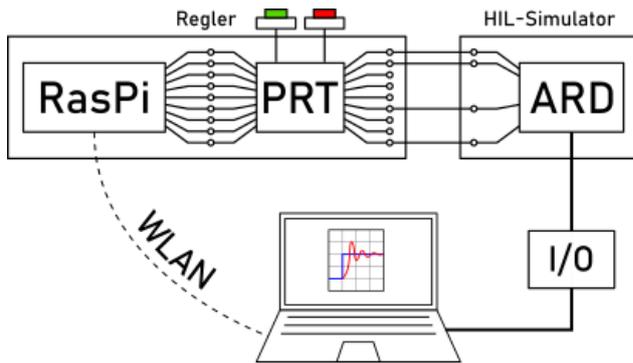
- «Es bewegt sich was». Das bisher sehr theoretische Modell des Förderbandes erlangt nun eine visuell fassbare Dimension.
- Nicht-lineare Effekte (Haft-Gleitreibung zwischen Förderband und Wasserglas) werden sichtbar und der Einfluss der Reglerparameter auf diesen Effekt können quantifiziert werden

Aus Sicht der Assistenz und dem beteiligten Dozierenden sind folgende Punkte aufgefallen: Das Erreichen der Lehr- und Lernziele ist nicht ortsabhängig. Wichtig ist, dass die Studierenden die Übung selbstständig bearbeiten können. Dabei fallen insbesondere grosse Unterschiede in folgenden Punkten auf

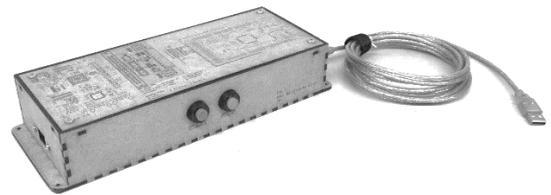
- Installationsaufwand variiert nach Vorkenntnissen (=Studierende haben die Software bereits für andere Projekte installiert) und verfügbaren privaten Maschinen
- Das individuelle Lerntempo in Form der Bearbeitungsdauer schwankt je nach Teilnehmende zwischen 2 h und >4 h (=mehr als der verfügbare Nachmittag). Dies ist insbesondere bei der Besprechung der Zwischenresultate kritisch, da diese für die einen zu spät und für die anderen zu früh erfolgt

### 2.3. Hardware-in-the-Loop Förderband (MECH)

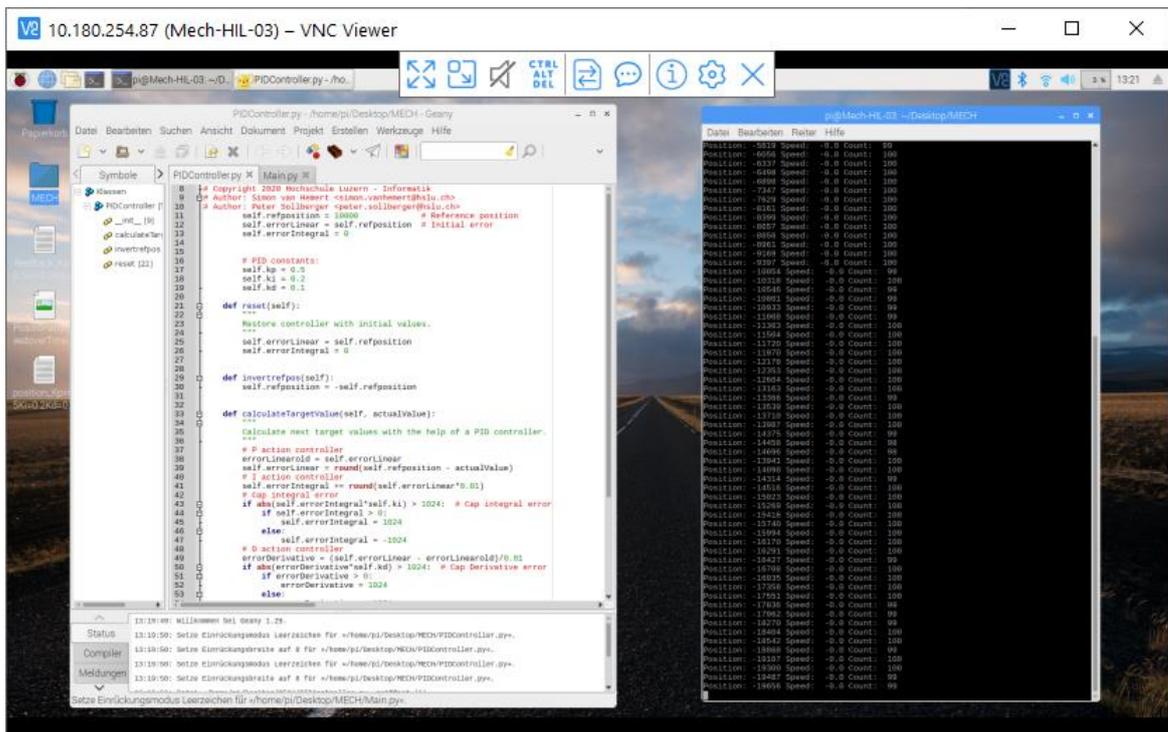
In Semesterwoche 12 haben die Teilnehmenden von MECH einen eigenen Regler entwickelt und auf einem RasPi implementiert. Dieser Regler soll mittels eines HIL-Testes in der Funktion verifiziert werden. Dazu stehen die HIL-Simulatoren aus [Abbildung 5](#) zur Verfügung.



a) Schematischer Aufbau der Übung



b) Verwendete Hardware



c) Übungsinterface auf dem RasPi

*Abbildung 5: Details zur Laborübung «HIL Förderband»*

### 2.3.1. Lehr- und Lernziele

Die für diese Lehr- und Lernveranstaltung spezifischen Ziele, wie auch die relevanten allgemeinen Lehr- und Lernziele gemäss Modulbeschreibung sind wie folgt:

<b>Modulbeschreibung</b>	Die Studierenden ...
	F3: kennen die wichtigsten Aspekte von Regelkreisen und deren Auslegung
	F5: kennen Echtzeitsysteme und die Prinzipien.
	F6: sind mit dem Vorgehen für SW- und HW-in-the-loop vertraut
	F7: können einfache Testverfahren von mechatronischen Komponenten durchführen
	M3: können Aktoren ansteuern.
	M4: können Sensoren auslesen.
	M6: können mittels eines RaspberryPI's, einer geeigneten Schnittstelle und Programmiersprache (z.B. Python) ein einfaches mechatronisches System ansteuern, auswerten, und simulieren.
	P2: Die Studierenden können in Teams technische Fragestellungen bearbeiten

#### **Spezifisch für die Lehr- und Lerneinheit**

Die Studierenden ...
1. kennen die Möglichkeiten für eine SIL/HIL-Simulation
2. können den Einsatz von SIL/HIL in einem Entwicklungsprojekt ökonomisch (qualitativ) bewerten und rechtfertigen
3. können eine Testprozedur und eine Signalliste für eine HIL-Simulation entsprechend den gängigen Industrie-Standards entwickeln und validieren
4. können ihre (bereits implementierte) Steuerung selbstständig auf dem zur Verfügung gestellten HIL-Simulator in der Laborübung verifizieren.

### 2.3.2. Ist-Zustand

Für die HIL-Übung stehen sechs HIL-Modulen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um einen Verbund aus einem Arduino-Board (=HIL-Simulator) und einem RasPi inkl. des peripheren Schaltkreis und dem HMI. Die RasPis sind im EEE-Netzwerk in einer Gerätekollektion eingebunden. Die Studierenden können so auf die Geräte remote zugreifen. Bedingung dafür ist, dass Sie sich im HSLU-Netzwerk befinden – entweder im lokalen WLAN oder über VPN. In der Aktuellen Version. Für die Übung steht ein Übungsskript bereit und die Übung wird in Teams (2-3 Personen) bearbeitet. Die Übung wird vor Ort im Vorlesungsraum durchgeführt. Auf Grund der begrenzten Verfügbarkeit der HIL-Module werden an einem Übungsnachmittag zwei bis drei Wiederholungen der Übung eingeplant. Damit haben alle Teilnehmenden eine begrenzte Bearbeitungszeit. Die Übung wird einmal pro Semester durchgeführt

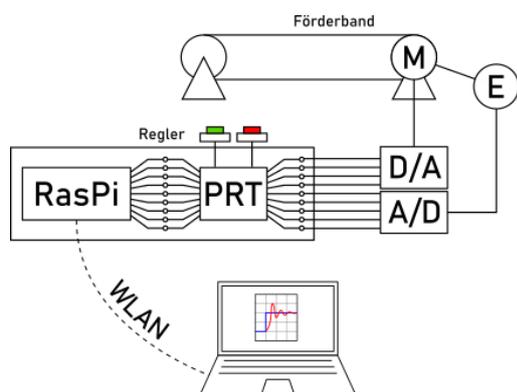
### 2.3.3. Charakteristische Erlebnisse

Aus Sicht der Studierenden war ca. 1/3 der Teilnehmenden zu Beginn der Übung klar, dass es sich hier um eine Übung mit realer HW und damit auch mit realen elektrischen Signalen handelt. Einem weiteren Drittel

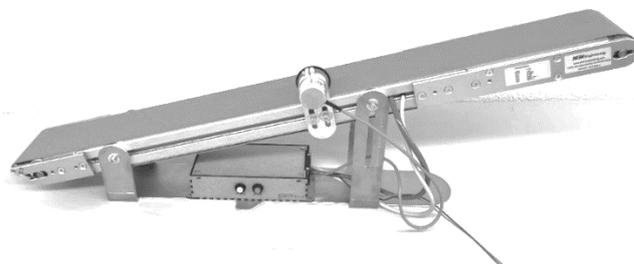
wurde dieser Fakt während der Übung klar. Dem letzten Drittel erst bei der Nachbearbeitung<sup>4</sup>. Der direkte Kontakt mit der Übungshardware wird dabei von den Studierenden nicht als besonderes Erlebnis genannt. Aus Sicht der Assistierenden und Dozierenden fallen auch hier starke Unterschiede in der benötigten Bearbeitungszeit auf. Schnelle Teams haben die Aufgabe in 40 Minuten bearbeitet, wohingegen langsamere Team 90 Minuten und mehr brauchen.

## 2.4. Laborübung Förderband (MECH)

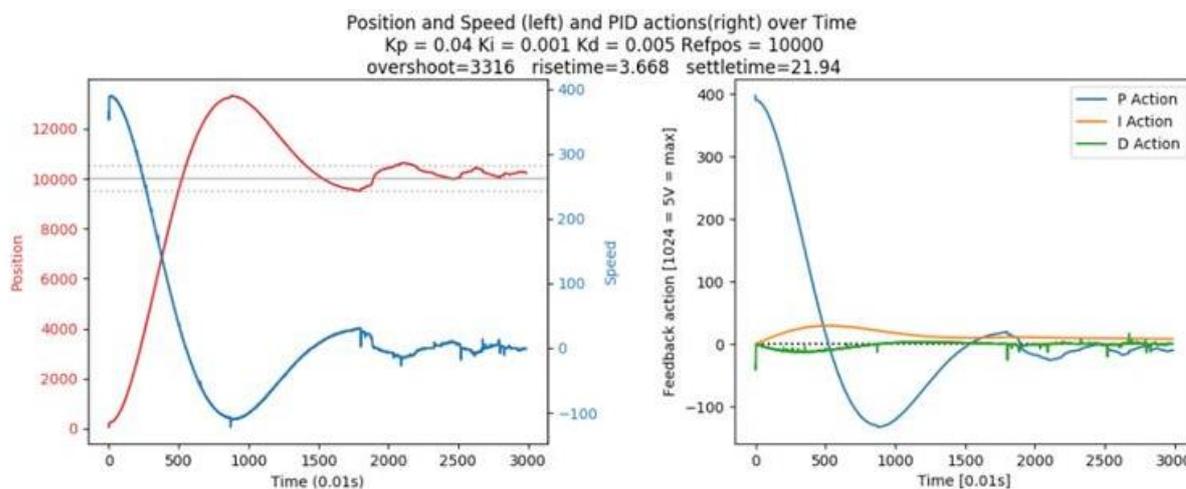
Aufbauend auf den Resultaten der HIL-Übung (verifizierter implementierter Regler) wird in der Laborübung Förderband der selbst entwickelte und implementierte Regler der Studierenden an einem realen System getestet. Der verwendete Übungsaufbau ist in Abbildung 6 zu sehen.



a) Schematischer Aufbau der Übung



b) Verwendete Hardware



c) Übungsinterface auf dem RasPi

Abbildung 6: Details zur Laborübung «Förderband»

### 2.4.1. Lehr- und Lernziele

Die für diese Lehr- und Lernveranstaltung spezifischen Ziele, wie auch die relevanten allgemeinen Lehr- und Lernziele gemäss Modulbeschreibung sind wie folgt:

<sup>4</sup> Dies ist ein Problem des Übungsaufbaus: Es handelt sich bei den HIL-Modulen um geschlossene Boxen, welche den RasPi, den Arduino und peripheren Elemente beinhaltet. Neu ist dieser Deckel transparent gestaltet, was das Verständnis bei den Studierenden signifikant verbessert (Erfahrung HS21 gegenüber FS22).

<b>Modulbeschreibung</b>	Die Studierenden ...
	F3: kennen die wichtigsten Aspekte von Regelkreisen und deren Auslegung
	F5: kennen Echtzeitsysteme und die Prinzipien.
	F7: können einfache Testverfahren von mechatronischen Komponenten durchführen
	M3: können Aktoren ansteuern.
	M4: können Sensoren auslesen.
	M6: können mittels eines RaspberryPI's, einer geeigneten Schnittstelle und Programmiersprache (z.B. Python) ein einfaches mechatronisches System ansteuern, auswerten, und simulieren.
	P2: Die Studierenden können in Teams technische Fragestellungen bearbeiten
<b>Spezifisch für die Lehr- und Lerneinheit</b>	«Ziel dieser Übung ist, dass Sie Ihren Regler an der realen Hardware einsetzen können. Weiter haben Sie die Möglichkeit, den Regler für verschiedene Anwendungsfälle zu optimieren.» (Aus dem Übungsskript)

#### 2.4.2. Ist-Zustand

Analog zur HIL-Übung stehen für die Förderband-Übung vier Module zur Verfügung. Jedes dieser Module besteht aus einem Förderband mit Antrieb und Drehgeber zur Positionsbestimmung, sowie einem RasPi mit entsprechender Peripherie und Leistungsversorgung. Wie auch für die HIL-Übung sind die RasPis der Förderbandübung in das EEE-Netzwerk eingebunden. Die Studierenden können so über das HSLU-Netzwerk (WLAN vor Ort oder per VPN) auf ihre jeweilige Übungshardware zugreifen. Der Übungsablauf ist in einem Skript vorgegeben und wird von den Studierenden in denselben Teams wie bei der HIL-Übung absolviert. Je Gruppe steht ein fixer Zeitpunkt und eine beschränkte Bearbeitungsdauer zur Verfügung. Der mechanische Aufbau der Übung wird vor jedem Versuch durch die Studierenden in eine Ausgangslage gebracht (z.B. Positionieren der Last an einer definierten Stelle auf dem Förderband).

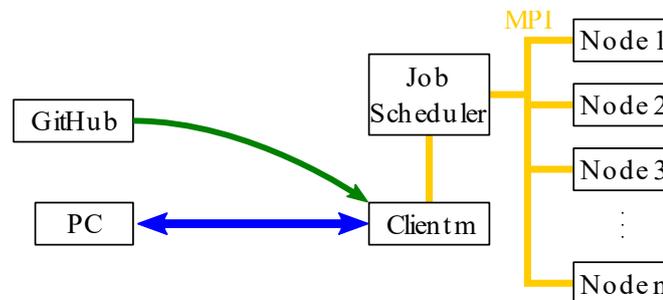
#### 2.4.3. Charakteristische Erlebnisse

Die wichtigste Rückmeldung von Seiten der Studierenden betrifft das Erfolgserlebnis «Ich habe ein reales System gesteuert!». Dieses Erlebnis wird von den Studierenden als deutlich wichtiger gewichtet, als ein erfolgreich absolvierter HIL-Test – welcher in diesem Kontext technisch äquivalent ist. Aus Sicht der Assistenz und den Dozierenden ist diese Übung besonders geeignet, um die Effekte der Haft-Gleitreibung und den verschiedenen Anteilen eines PID-Reglers nochmals zu rekapitulieren und das Wissen darüber zu festigen.

Ein interessanter Nebeneffekt ist das kompetitive Verhalten der Studierenden. Bestimmte Regelaufgaben werden gezielt besser gelöst als von den anderen anwesenden Teams. Die teilnehmenden Studierenden gehen dabei in der Optimierung der Einstellungen weiter als in der eigentlichen Aufgabenstellung gefordert.

## 2.5. Parallelrechner (DIST\_SYS)

Das Modul DIST\_SYS ist in zwei Teile unterteilt. Im ersten Teil lernen und festigen die Studierenden die Grundlagen von Verteilten Systemen. Im zweiten Teil wenden Sie das erlernte Wissen in praxisrelevanten Szenarien gezielt an. Eines dieser Szenarien ist ein Parallelrechner. Hier müssen die Teilnehmenden verschiedene Aufgaben auf einem bereitgestellten Cluster (Abbildung 7) lösen.



*Abbildung 7: Details zur Laborübung «Parallelrechner»*

### 2.5.1. Lehr- und Lernziele

Die für diese Lehr- und Lernveranstaltung spezifischen Ziele, wie auch die relevanten allgemeinen Lehr- und Lernziele gemäss Modulbeschreibung sind wie folgt:

#### Modulbeschreibung

Die Studierenden ...

- F1: kennen die heutigen und zukünftigen Einsatzgebiete, Bedeutung und die Relevanz von Ver-teilten Systemen (VS) in der heutigen Gesellschaft und Wirtschaft.
- F5: kennen die relevanten Einsatzgebiete von VS im Bereich Telekommunikation, Industrielle Steuerungstechnik, Parallelrechner und dem Internet of Things
- M3: können vorhandene Software-Bibliotheken für Aufgaben in VS auswählen, sich selbstständig darin einarbeiten und erfolgreich anwenden.
- P1: können bei technischen Fragestellungen im Bereich VS Anforderungslisten erarbeiten und die Realisierung begleiten.
- P2: können über an Fachdiskussionen zu aktuellen Trends im Bereich VS beteiligen.

#### Spezifisch für die Lehr- und Lerneinheit

Die Studierenden ...

1. kennen und verstehen die Anwendungsfelder von Parallelrechner
2. können den Nutzen von parallelisierten Programmen abschätzen und bewerten
3. kennen den Aufbau von Parallelrechner und können diesen in einer praktischen Übung anwenden

### 2.5.2. Ist-Zustand

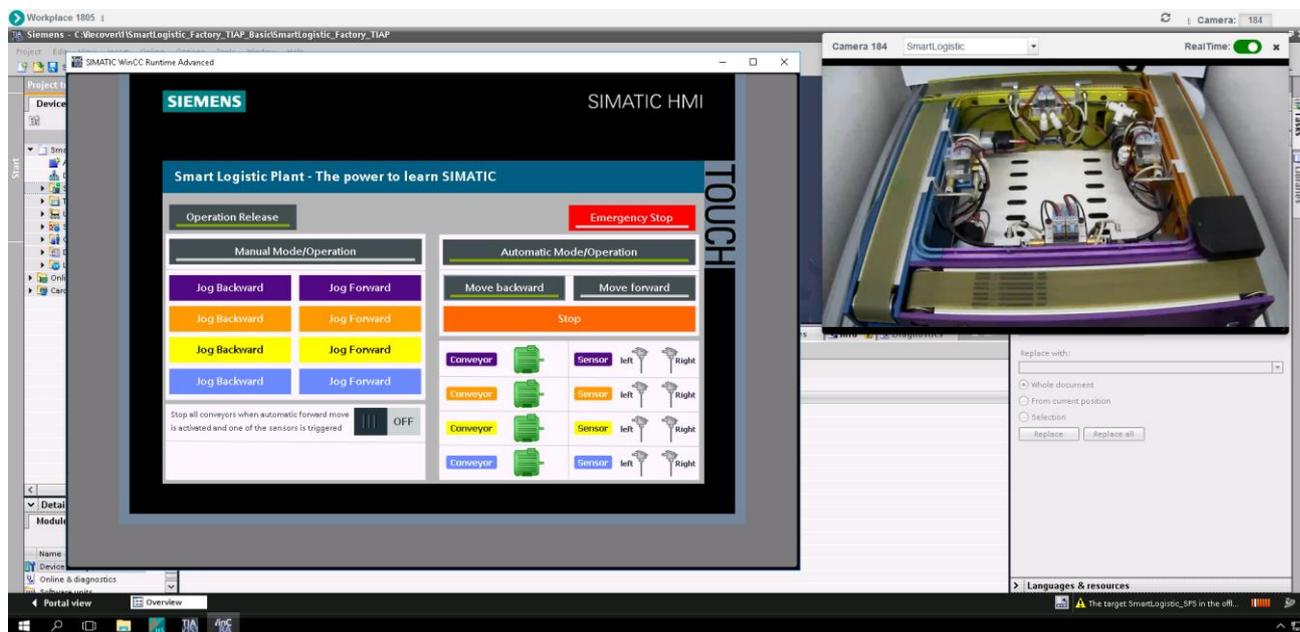
Für die Übung steht ein Cluster von 18 RasPis bereit. Davon sind 8 Stück als Clients eingesetzt. Die restlichen 10 RasPis agieren als Nodes des Parallelrechners, wobei einer dieser RasPis zugleich die Funktion des Job-Schedulers übernimmt. Der eigentliche Parallelrechnerteil baut auf dem Packet dispy auf. Die Clients sind im IEEE-Netzwerk registriert und die Studierenden können analog zu den oben beschriebenen Laborübungen auf diese zugreifen. Zusätzlich können die benötigten Übungsunterlagen über GIT bezogen werden. Der eigentliche Übungsablauf ist in einem Skript beschrieben, welchem die Studierenden selbstständig folgen können. Aktuell wird die Übung von einem Jahrgang (ca. 40 Studierende) gleichzeitig bearbeitet. Dazu teilen sich die Studierenden selbstständig in Teams ein.

### 2.5.3. Charakteristische Erlebnisse

Das wichtigste Erlebnis für die Studierenden ist, dass die erlernte Theorie des Speed-ups hier exemplarisch nachvollziehbar ist. Ebenso wird erwähnt, dass das praktische Umsetzen einer Aufgabe auf einem Parallelrechner durch den Versuchsaufbau sehr plastisch nachvollzogen werden kann. Auch hier fällt wieder der signifikante Unterschied im Bearbeitungstempo auf. Dieser ist primär – so die Vermutung der Assistierenden und Dozierenden – den unterschiedlichen Programmierkenntnissen geschuldet.

### 2.6. SPS (DIST\_SYS)

Wie auch die Parallelrechner-Übung findet die SPS-Übung im zweiten Teil von DIST\_SYS statt. Ziel ist hier, dass die Studierenden in Kontakt mit einer Industriesteuerung kommen und ein einfaches Projekt auf einem solchem umsetzen können. Dazu wird auf die Plattform eines externen Anbieters zurückgegriffen ([Abbildung 8](#)). Da diese Plattform von Grund auf, auf einen asynchronen remote Unterricht ausgelegt ist und mit realer Hardware funktioniert, dient diese hier als Benchmark.



*Abbildung 8: Details zur Laborübung «SPS». Links ist ein virtualisiertes HMI zu sehen, rechts das Kamerabild der realen mechanischen Baugruppe. Im Hintergrund die Programmiersoftware.*

#### 2.6.1. Lehr- und Lernziele

Die für diese Lehr- und Lernveranstaltung spezifischen Ziele, wie auch die relevanten allgemeinen Lehr- und Lernziele gemäss Modulbeschreibung sind wie folgt:

## **Modulbeschreibung**

Die Studierenden ...

F1: kennen die heutigen und zukünftigen Einsatzgebiete, Bedeutung und die Relevanz von Verteilten Systemen (VS) in der heutigen Gesellschaft und Wirtschaft.

F5: kennen die relevanten Einsatzgebiete von VS im Bereich Telekommunikation, Industrielle Steuerungstechnik, Parallelrechner und dem Internet of Things

M3: können vorhandene Software-Bibliotheken für Aufgaben in VS auswählen, sich selbstständig darin einarbeiten und erfolgreich anwenden.

P1: können bei technischen Fragestellungen im Bereich VS Anforderungslisten erarbeiten und die Realisierung begleiten.

P2: können über an Fachdiskussionen zu aktuellen Trends im Bereich VS beteiligen.

## **Spezifisch für die Lehr- und Lerneinheit**

Die Studierenden ...

1. kennen die Funktionsweise von SCADS und SPS und können diesen eine Rolle in einem Verteilten System zuordnen
2. können erste Erfahrungen mit der Anwendung und Programmierung einer SPS sammeln

### **2.6.2. Ist-Zustand**

Die verwendete Plattform wird von einem externen Dienstleister – myLiveZone – bereitgestellt und umfasst folgende Elemente:

- Eine Lernplattform mit der Möglichkeit Kursspezifische Unterlagen und Videos bereitzustellen
- Remote-Zugriff auf eine virtualisierte Maschine mit Siemens TIA-Portal (SPS-Programmiersoftware), welche als Programmiergerät agiert
- Siemens SPS mit mehreren Interfacemodulen, welche mit dem Programmiergerät verbunden ist
- Vier Förderbänder, welche in einem Quadrat angeordnet sind und dessen Aktuatoren und Sensoren mit den Interfacemodulen der SPS verbunden sind
- Steuerbare Videokamera, welche remote wahlweise auf die SPS und die Förderbänder gerichtet werden kann

Speziell an diesem Aufbau ist, dass der physische Aufbau «regenerativ» ist: Der Schlitten, welche von den Förderbändern transportiert wird, wird von einem Förderband an das nächste weitergegeben. Das System kann also nicht so angesteuert werden, dass ein manueller «Reset» notwendig ist.

Im verwendeten Übungssetting arbeiten die Studierenden in dreier bis vierer Gruppen an der Übung. Dafür registrieren Sie sich auf der Lernplattform und erhalten über einen Zugangscode Zugriff auf die virtualisierten Maschinen und die Videoübertragung der realen Förderbänder.

### **2.6.3. Charakteristische Erlebnisse**

Analog zur Förderbandübung beschrieben die Studierenden das Erlebnis ein reales System zu steuern als ein sehr positives Erlebnis. Als negativ fällt der teils grosse ( $\geq 3$  s) Zeitverzug bei der Videoübertragung und die langsame Reaktion der zugrundeliegenden Webseite auf. Durch den hohen Zeitverzug verlieren einigen

Studierenden das Gefühl einer Livesteuerung der Förderbänder. Die langsame Reaktion der Webseite reduziert die effektive Bearbeitungszeit der Aufgabe.

Aus Sicht der Assistierenden und Dozierenden handelt es sich um ein sehr effizientes Übungssetting. Zum einen reduziert sich der Aufwand für den Aufbau der Übung frappant. Weiter steht während der Übung viel Zeit für Studierende zur Verfügung, welche effektiv Unterstützung brauchen. Die anderen Studierenden können dabei parallel selbstständig weiterarbeiten.

## 2.7. Zwischenfazit

Die Analyse der bestehenden Laborübungen lässt in zweierlei Hinsicht ein Zwischenfazit zu: (1) In Bezug auf die Eigenschaften der vorhandenen Laborübungen und einer ersten Clusterung, sowie (2) in Bezug auf die Anforderungen an eine digitalisierte Laborübung anhand der erhaltenen Rückmeldungen und des Benchmarks der SPS-Übung.

Generell lassen sich die vorhandenen Laborübungen entlang den Domänen eines mechatronischen Systems charakterisieren. Die erste Domäne – welche auch in allen Laborübungen vertreten ist, ist die Informationstechnik. Elemente daraus sind Software, Datenübertragungsprotokolle, Mikrokontroller und weitere. Übungen, welche nur diese Domäne abdecken sind reine SW-Übungen. Darunter fällt die Simulations-Übung aus MECH. Charakteristisch für solche reine SW-Übungen sind:

- Fokus auf der Bedienung von Ingenieurstools; nicht die Ausbildung am Tool steht im Vordergrund, sondern ein bestimmter Anwendungsfall
- Übung wird durch die Studierenden primär mit dem eigenen Laptop bearbeitet
- Ortsunabhängig: Keinen wesentlichen Unterschied ob vor Ort oder remote (hybrid war auch erfolgreich)
- Ev. Einschränkungen durch SW-Verfügbarkeit (v.a. Lizenzen)
- Gut für *blended learning*: Studierende arbeiten mit einem Skript und einer Videoanleitung (ursprünglich für remote Unterricht erstellt), und erhalten parallel dazu wo notwendig Fachunterstützung

Mit der Domäne Elektrotechnik kommen zusätzlich die Element Elektrotechnik, Leistungselektronik, etc. hinzu. Übungen, welche diese beiden Domänen abdecken, benötigen typischerweise dedizierte HW-Komponenten zusammen mit SW-Elementen. Es handelt sich also um kombinierte HW/SW-Übungen. In diesen Abschnitt fallen die HIL- und die Parallelrechner-Übung. Charakteristisch für diese Übungen sind:

- Übung braucht eine dedizierte HW (z.B. RasPi)
- Der physische Kontakt zur HW bildet keine besonderes «Erlebnis»
- Gruppengröße und Bearbeitungszeit je StudentIn aktuell durch HW-Verfügbarkeit vorgegeben
- Übungen konnten mit dem gleichen Setup in Präsenz und remote durchgeführt werden. Teilweise wären dabei in der heutigen Konfiguration Eingriffe durch die Assistierenden (z.B: «HW-Knopf drücken) notwendig

Nimmt man zusätzlich noch die Domäne Maschinenbau hinzu – also alle Domänen eines mechatronischen Systems – werden auch Übungen mit dedizierten mechanischen Aufbauten abgedeckt. D.h. hier die Förderband- und die SPS-Übung. Die Charakteristiken solcher Übungen sind:

- Nicht-lineare Effekte aus den mechanischen Baugruppen (z.B. Reibung) wesentlich für den Lernerfolg
- «Erlebnis» durch die mech. Baugruppen wird als sehr positiv empfunden

- Bei nicht regenerativen mechanischen Aufbauten kann ohne Unterstützung der Studierenden ein/e Dozent/in oder Assistent/in nicht mehr als zwei Stationen gleichzeitig bedienen

Dieser erste Versuch der Clusterung nach Charakteristik der Laborübung in reine SW-Übungen, HW/SW-Übungen und HW/SW-Übungen mit mechanischen Baugruppen ist in Tabelle 2 nochmals kompakt zusammengefasst.

*Tabelle 2: Clusterung der Laborübungen nach Thema und Laborart*

Fachbereich	Charakterisierung	Reine SW-Übungen	HW/SW-Übungen		HW/SW-Übungen mit mech. Baugruppen	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ortsunabhängig</li> <li>- Ev. Einschränkungen durch SW-Verfügbarkeit</li> <li>- Gut für blended Learning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ohne mech. Baugruppen</li> <li>- Übung braucht eine dedizierte HW (z.B. RasPi)</li> <li>- Der physische Kontakt zur HW bildet keine besonderes «Erlebnis»</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nicht-lineare Effekte aus den mech. Baugruppen(z.B. Reibung) wesentlich für den Lernerfolg</li> <li>- «Erlebnis» durch die mech. Baugruppen wird als sehr positiv empfunden</li> </ul>
<b>Informationstechnik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Software</li> <li>- µC</li> <li>- Protokolle</li> <li>- ...</li> </ul>		Simulation (MECH)	HIL (MECH)	Parallelrechner (DIST_SYS)	SPS (DIST_SYS)	Labor Förderband (MECH)
<b>Elektrotechnik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektronik</li> <li>- Leistungsel.</li> <li>- ...</li> </ul>						
<b>Maschinenbau</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanik</li> <li>- Thermodyn.</li> <li>- Fluidodynamik</li> <li>- ...</li> </ul>						

Ergänzend zu diesen Charakteristiken und den daraus abgeleiteten Anforderungen an eine Digitalisierung dieser Laborübungen (weitere Detail dazu im nächsten Kapitel), ermöglicht die SPS-Übung auch Einblicke in weitere Anforderungen an Digitalisierte Laborübungen. Im speziellen geht es hier um die Anforderungen an eine vollständig automatisierte digitalisierte Laborübung mit realer Hardware. Konkret handelt es sich um folgende ergänzende Anforderungen:

- **Booking und Broker-Plattform:** Die Teilnehmenden Studierenden müssen selbstständig eine frei Hardware-Station buchen und remote in Betrieb nehmen können. Dies umfasst die Autorisierung (ist Person x berechtigt die Ressource y zum Zeitpunkt z zu nutzen), wie auch das Auffinden einer freien Ressource (welche Ressource y ist frei?) und das Blockieren der vormals freien Ressourcen. Idealerweise handelt es sich hier um eine Webplattform.

- Reset-Funktion: Die Übungsressourcen (HW, mechanische Baugruppen, ...) müssen vor Beginn einer Übung (=beim Reservieren der Ressource) in einen definierten Anfangszustand gebracht werden. Zusätzlich muss solch ein Reset wahlweise durch die Studierenden ausgelöst werden können. Die Reset-Funktion für die mechanische Baugruppe entfällt, wenn diese regenerativ designt wird. D.h. sie kann aus jedem möglichen Betriebszustand remote in jeden anderen beliebigen Betriebszustand überführt werden.
- Latenzzeit: Remote Laborübungen mit mechanischen Baugruppen benötigen eine Videoübertragung. Experimente mit den Studierenden haben gezeigt, dass dabei die Latenzzeit 1 s nicht überschreiten sollte. Diese ist hier gemessen als der Zeitunterschied zwischen dem Drücken eines SW-Knopfes und der sichtbaren Reaktion darauf im Videobild.
- Reaktionszeit: Die Reaktionszeit bei Tätigkeiten auf remote Arbeitsplätzen muss mit der Reaktionszeit der gleichen Tätigkeiten auf der lokalen Maschine vergleichbar sein. Ansonsten reduziert sich bei den Studierenden das subjektive Qualitätsempfinden der Übung<sup>5</sup>.

Die wichtigste Anforderung leitet sich jedoch aus der aus der Prozessoptimierung sinnbildlich übertragenen Aussage « eine schlechte Übung digitalisieren bedeutet eine schlechte digitale Übung zu erhalten» ab. Damit eine sinnvolle Digitalisierung einer Übung stattfinden kann, muss die Übung entsprechende didaktische und strukturelle Anforderungen erfüllen. Eine Digitalisierung der Übung mit dem Ziel einer Remote-Übung führt zu mehr räumlicher Distanz. Wo in einer Präsenzdurchführung sehr schnell auf die Stimmungslage im Raum auf Grund einer Unklarheit in der Übungsanweisung reagiert werden kann, wird dies durch die räumliche Trennung im Remote-Unterricht erschwert. Dies geschieht erfahrungsgemäss oft bei sogenannten Schlüsselementen. D.h. bei Übungsabschnitten wo die zuvor eingeführten Elemente kombiniert werden müssen. Die Übungen müssen deshalb so gestaltet sein, dass die Studierenden systematisch auf die Schlüsselemente vorbereitet werden und ihren Lernfortschritt auch selbstständig prüfen können. Dies ohne die eigentliche Schwierigkeit – und damit die Lernziele – zu beeinträchtigen.

Damit ist folgendes Zwischenfazit möglich:

- 1) Die bestehenden Laborübungen können auf Grund ihrer Eigenschaften in «reine SW-Übungen», «HW/SW-Übungen» und «HW/SW-Übungen mit mechanischen Baugruppen» unterteilt werden
- 2) Eine vollständige Digitalisierung von Laborübungen hinsichtlich einer Automatisierung bedingt eine (a) Booking und Broker-Plattform mit bestimmten Anforderungen an Latenz- und Reaktionszeit, sowie (b) einer Reset-Funktion des HW-Aufbaus
- 3) Eine Digitalisierung bestehender Übungen bedingt einen durchdachten didaktischen Aufbau der Übung. Kurzfristige Korrekturen und Hilfeleistungen sind bei Remote-Übungen nicht im gleichen Rahmen wie bei Präsenz-Übungen möglich

---

<sup>5</sup> Bei Durchführungen mit extern zugekauften remote Übungen reduzierte sich die Teilnehmerquote im Verlauf des Nachmittags proportional schneller mit der Anzahl durch die Studierenden bemerkten Reaktionsproblemen.

### 3. Lösungsansätze für eine Digitalisierung der Laborübungen

Im Folgenden wird ein erster Vorschlag für einen generalisierten Digitalisierungsansatz für Laborübungen entwickelt. Dieser Orientiert sich an den oben definierten drei Clustern von Laborübungen. In einem ersten Schritt werden dazu mögliche Beiträge von Digitalisierungsmaßnahmen an eine Verbesserung der Laborübung diskutiert. Die Nachfolgenden Digitalisierungsstrategien werden mit Blick auf diese möglichen Verbesserungen analysiert und bewertet. Die Datenbasis dafür bilden die Erfahrungen in Durchführungen der Übungen im FS21, HS21 und FS22. In diesen wurde u.A. mit verschiedenen Modi (Präsenz, hybrid, remote) experimentiert.

#### 3.1. Mögliche Verbesserungen durch eine Digitalisierung

Grundsätzlich sind zwei mögliche Verbesserungen durch eine Digitalisierung denkbar: (1) Ein besseres Lernerlebnis für die Studierenden und/oder (2) ein geringerer Ressourcenaufwand für die Durchführung der Übungseinheit. Ein besseres Lernerlebnis kann subjektiv oder objektiv sein. Mögliche Stossrichtungen sind hier:

- Studierende können mehr Zeit auf der Übungsplattform verbringen
- Studierende können die Übung mehrmals absolvieren
- Die Lerninhalte können effizienter vermittelt werden<sup>6</sup>
- Studierende können gezielter (d.h. nach individuellem Lernfortschritt) betreut werden
- Flexibilität im Zeitpunkt und Ort der Übungsteilnahme

In Bezug auf den Ressourcenaufwand ist insbesondere der Zeitaufwand der Assistierenden und Dozierenden interessant:

- Wieviel Zeit braucht die Übungsvorbereitung je Durchführung?
- Wieviel Zeit braut die Betreuung der Studierenden je Durchführung (und Person)?

Demgegenüber müssen einmalige Aufwendungen – z.B. für die eigentliche Digitalisierung der Übung – berücksichtigt werden.

#### 3.2. Reine Software-Übungen

Bei Reinen SW-Übungen können die Vorteile eines Blended-Learnings genutzt werden. Dies bedeutet:

- Reine SW-Übungen werden mittels Video-Anleitungen durchgeführt
- Fokus der Dozierenden / Assistierenden liegt auf der Unterstützung bei Problemen

Die Durchführung kann sowohl vor Ort, wie auch remote durchgeführt werden. Dabei müssen folgende Punkte bedacht werden

- Präsenz bei Arbeit in Gruppen: Mehrere Gruppen in einem Raum → Jedes Gruppenmitglied muss die Videos auf eigenem Gerät mit Kopfhörern anschauen können
- Remote: Jede Gruppe muss sich einen eigenen Arbeitsplatz suchen, falls am selben Tag Präsenzunterricht in einem anderen Modul erfolgt.

Noch offen ist die Option zur asynchronen Durchführung. Erfahrungen zeigen, dass die Studierenden die direkte Betreuung und Unterstützung bei Fragen während der Bearbeitung der Übung sehr schätzen und

---

<sup>6</sup> Bemerkung: Im Rahmen der Datenerhebung für dieses Arbeitspaket wurden mehrere Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt und umgesetzt, welche nicht direkt etwas mit der Digitalisierung der Übungen zutun hatten.

auch nutzen wollen. Bei den versuchsweise Durchgeführten remote und Präsenz-Durchführungen konnte subjektiv kein Unterschied im Unterstützungsbedarf festgestellt werden.

**Fazit 1:** Reine SW-Übungen werden von den Studierenden anhand von kurzen Lernvideos und ein Skript selbstständig bearbeitet. Parallel dazu steht Unterstützung durch die Assistenz und/oder die Dozierenden auf Anfrage bereit.

### 3.3. HW/SW-Übungen

HW/SW-Übungen sind insofern für eine Digitalisierung interessant, da hier durch gezielte Massnahmen ein geringerer Ressourcenaufwand bei gleichzeitig mehr Bearbeitungszeit für die Studierenden (=besseres Lernerlebnis) möglich ist. Dazu werden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Möglichst immer dieselben technischen Tools (z.B. pyCharm, VNC, Git, ...) einsetzen und deren Umgang systematisch in den Unterricht einbetten
- HW/SW-Übungen werden – sofern möglich – auf Basis des EEE-Netzwerkes aufgebaut, so dass eine Durchführung vor Ort oder remote möglich ist
- Übungen mit HW-Tastern, Schaltern, etc. werden durch entsprechende SW-Taster, Schalter, etc. ergänzt
- Die HW/SW wird so konfiguriert, dass ein Reset der Übungsumgebung möglich ist (Übungsressource kann remote für die nächsten Studierenden auf den Anfangszustand zurückgesetzt werden)
- Für den Austausch zwischen Studierenden, Assistierenden und Dozierenden während der Übung kommt Zoom zum Einsatz.

Eine Videoübertragung bei der Remote-Teilnahme ist hier nicht notwendig, das der Kontakt zur Hardware i.A. nicht als besonderes Erlebnis betrachtet wird. Bei einem Übergang auf eine automatisierte Remote-Übung würde der Ressourcenaufwand für die Durchführung nochmals reduziert und die Studierenden könnten die Ressource mehrfach nutzen und damit ein besseres Lernerlebnis erfahren. Jedoch wird der Aufwand für die Implementierung der notwendigen Plattform Buchungssystem, Brokersystem, etc. als zu aufwändig erachtet.

**Fazit 2:** HW/SW-Übungen so weit digitalisiert, dass diese in Präsenz und remote angeboten werden können. Grundlage dafür bildet der Einbau von SW-Schaltern, sowie eine Reset-Funktion.

### 3.4. HW/SW-Übungen mit mechanischen Baugruppen

Analog zu den HW/SW-Übungen bieten hier die Digitalisierung Möglichkeiten, den Ressourcenaufwand zu reduzieren und das Lernerlebnis zu verbessern. Notwendig dazu sind:

- Übungen mit mechanischen Baugruppen müssen von Anfang an als Remote-Übungen geplant sein; je nach Ausführung bedingt eine spätere Umrüstung konstruktive Anpassungen
- Bereitstellung zusätzlicher HW (PC+Kamera)
- Weiter gelten die gleichen Punkte wie oben bei HW/SW-Übungen
- Für die Übertragung des Videos der Strecke, wie auch des Remotezugriffs wird Zoom eingesetzt. Dieses hat sich in Versuchen in Bezug auf die Latenz- und Regenerationszeit als geeignet herausgestellt

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Kritisch sind Anlagen mit Sicherheitsschaltungen (z.B. Notaus). Solche können nur bei Anwesenheit einer Aufsicht vor Ort mit einer Remoteteilnahme der Studierenden betrieben werden.

- Ist die mechanische Baugruppe nicht selbst regenerierend wird die Anwesenheit von Personen für die Regeneration der Baugruppe notwendig. Z.B. für das Wiederaufladen einer Last auf dem Förderband, nachdem diese über den Wendepunkt hinaus transportiert wurde. In der Testdurchführung eines Remote-Szenarios war eine 1:1 Betreuung notwendig. In der Präsenzveranstaltung können zwei Personen 5 Stationen betreuen.
- Mit derselben Begründung wie bei den HW/SW-Übungen wird auf eine vollständige Automatisierung verzichtet.

Fazit 3: HW/SW-Übungen, welche eine selbstregenerierende Funktion haben, werden so weit digitalisiert, dass diese in Präsenz und remote angeboten werden können. Grundlage dafür bildet der Einbau von SW-Schaltern, sowie eine Reset-Funktion.

### 3.5. Fazit

In allen drei Arten von Laborübungen eignet sich unter bestimmten Bedingungen eine Digitalisierung für den Remote- und den Präsenzunterricht. In beiden Fällen bedeutet diese Anpassung einen reduzierten Vorbereitungsaufwand. Weiter kann durch das Remoteangebot ein besseres Lernerlebnis ermöglicht werden. Bei mechanischen Baugruppen lohnt sich eine Anpassung in bestimmten Fällen nicht. Hier wird auf eine Remote-Durchführung im Regelfall verzichtet. Abbildung 9 fasst diese Entscheidungsstrategie und die notwendigen Massnahmen nochmals grafisch zusammen. Die Digitalisierung der untersuchten Laborübungen würde auch eine vollständige Automatisierung erlauben. Dafür wäre eine Plattform nach Abbildung 10 notwendig, welche, Stand heute, noch nicht existiert, bzw. mit den zur Verfügung stehenden Mittel nicht implementiert werden kann. Ein solche Plattform würde den Studierenden einen Überblick der verfügbaren Übungshardware geben, Reservationen dieser HW erlauben, sowie den Zugriff auf die Hardware ermöglichen. Sie erfüllt damit Buchungs- und Broker-Funktionen.

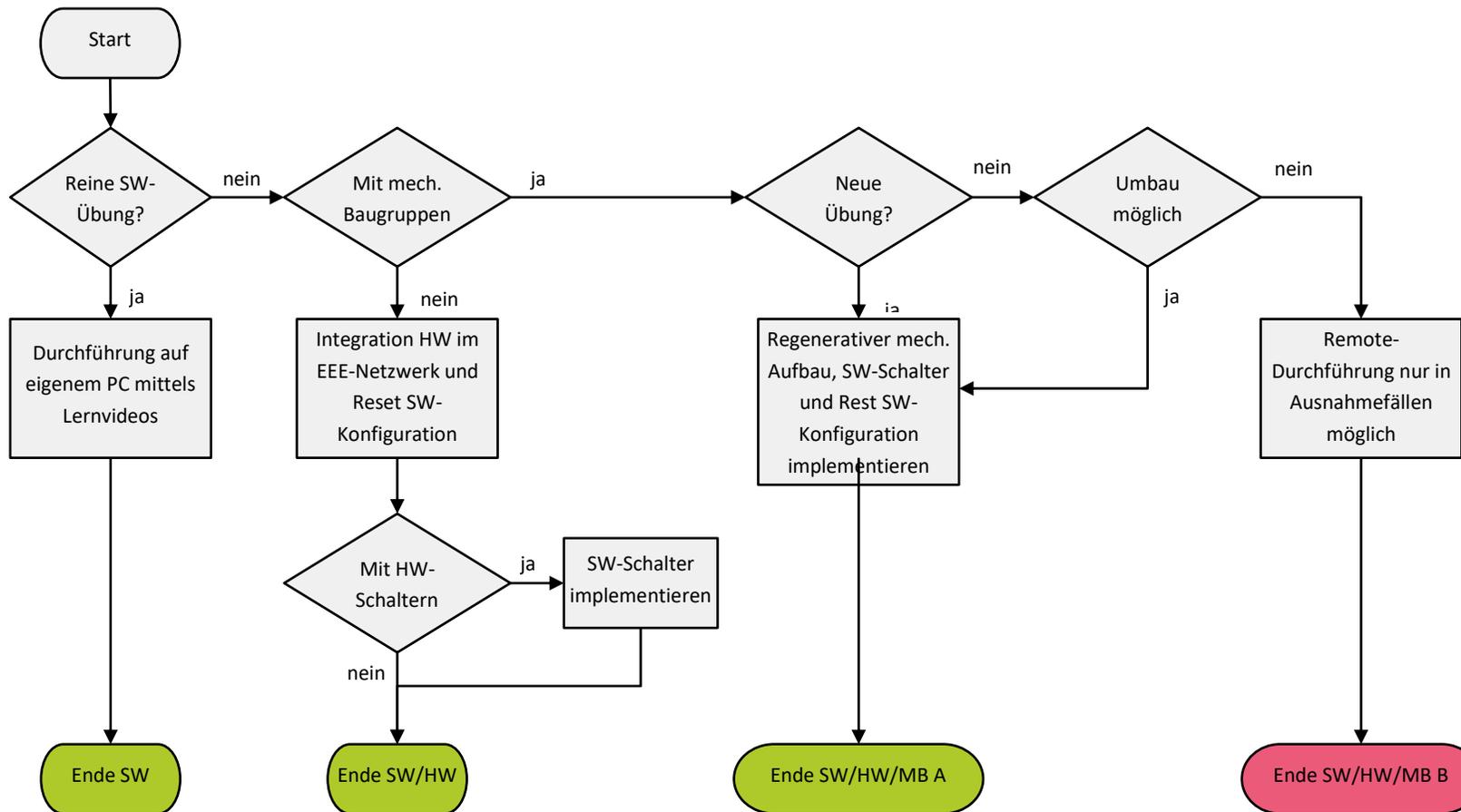
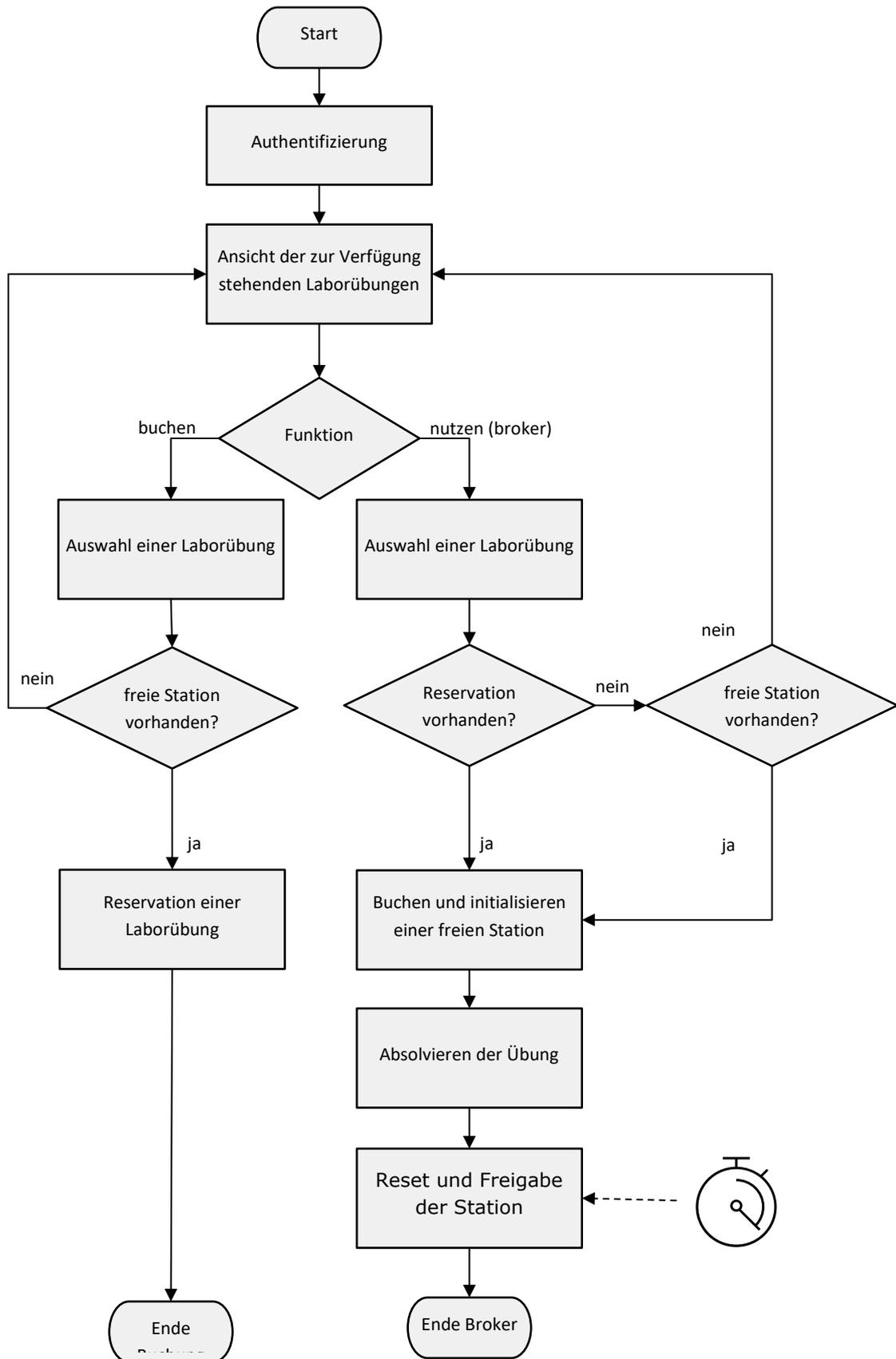


Abbildung 9: Verwendeter Entscheidungsbaum für den Umbau / die Modifikation der Übungen



*Abbildung 10: Konzept für eine Buchung- und Broker-Plattform für die Automatisierung von digitalisierten Übungen*

## 4. Umsetzung der angepassten Laborübungen

Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten die umgesetzten Massnahmen hinsichtlich Digitalisierung der Laborübungen. Die Auswahl der Massnahmen erfolgt dabei nach [Abbildung 9](#). Das Testen der Änderungen erfolgte in den Semestern H21 und FS22. In dem daraus resultierenden Setting arbeiten die Studierenden vermehrt in ihrem individuellen Tempo D.h. die Studierenden stärker in selbstständigem Lernen und Bearbeiten der Aufgabe gefordert. Dies setzt eine klare Strukturierung des Unterrichtes und der Übung voraus: Bekannte Probleme und/oder Hürden können nicht schnell noch im Plenum diskutiert werden. Vielmehr müssen die Studierenden schrittweise befähigt werden, diese Probleme selbstständig zu lösen. Deshalb werden bei der Umsetzung der Digitalisierungsmassnahmen parallel auch die Übungen inhaltlich überarbeitet. Besondere Beachtung fällt dabei auf einen einheitlichen Einsatz von Tools während dem ganzen Modul. Dadurch soll ein höherer Grad an Selbstständigkeit und mehr Sicherheit im Umgang mit den entsprechenden Tools zur Verfügung stehen.

### 4.1. Simulation Förderband (MECH)

Da es sich um eine reine SW-Übung handelt, wird hier das Selbststudium durch entsprechende Lernvideos ermöglicht. Inhaltlich wird die Aufgabe besser an die vorangegangene MATLAB/Simulink-Übung angepasst. In dieser entwickeln die Studierenden das Model des Förderbandes und des Reglers. Neu findet eine echte Simulation statt: Das Model des Reglers wird mit einer Festkörpersimulation in Siemens/NX kombiniert. Mit diesem Prozess kann gleich das Model-in-the-Loop-Konzept erklärt und praktisch umgesetzt werden. Damit wird das Wissen für die Software-in-the-Loop- (SIL) und HIL-Übung bereits schrittweise aufgebaut.

Basis dafür ist ein neues Skript und neue kurze Videoanleitungen, welche das Vorgehen Schritt für Schritt erklären. Die neue Laborübung kann durch das neue Setting hybrid durchgeführt werden. Studierende können wahlweise mit dem eigenen Laptop im Unterrichtsraum oder von zuhause, aber auch aus einem der Computerräume auf dem Campus teilnehmen. Unterstützung erfolgt dabei direkt vor Ort oder über die jeweilige Breakeout Session.

Im Testdurchgang mit Hilfsassistierenden erhielt das neue Setting viel Zustimmung. Insbesondere die direkte Kopplung der beiden Simulationstools («ich ändere was an den Reglereinstellungen und sehe gleich den Effekt auf die Bewegung des Förderbandes») wurde positiv bewertet. Während der Durchführung der Übung im Unterricht im FS22 kam es zu grösseren Problemen: Ca. eine Woche vor der Durchführung hat das Lizenzmodel der HSLU für Siemens/NX gewechselt. Dadurch stehen benötigte Funktionen für die Simulation nicht mehr zur Verfügung. Die Übung musste an dieser Stelle abgebrochen werden. Für die Durchführung im HS22 findet eine Anpassung der Übung an das neue Lizenzmodel statt. In der Durchführung vom FS22 konnten die Teilnehmenden anhand der Lernvideos verfolgen, wie das Resultat der Laborübung ausgesehen hätte. Interessant war dabei, dass das Verständnis für in-the-Loop-Tests im FS22 besser war als in den vorangegangenen Durchführungen. Dies äussert sich in der besseren Bewertung von Ilias-Lernkontrollen, wie auch in der MEP. Welcher Effekt hier das neue Übungssetting und welcher Effekt Covid19 hatte, kann hier noch nicht abschliessend gesagt werden.

### 4.2. Hardware-in-the-Loop Förderband (MECH)

Für die HIL Übung wurde sowohl die Organisation wie auch die technische Umsetzung der Übung angepasst. Auf Seite Organisation wird neu eine SIL-Übung vorgeschoben. Diese ermöglicht den Studierenden das Prinzip eines in-the-Loop-Tests vorgängig mit dem bereits vorhandenen MATLAB/Simulink-Model durchzuführen. Zusätzlich werden technische Anpassungen im Rahmen der Digitalisierung durchgeführt:

- SW-Knöpfe: Die beiden Knöpfe «Start» und «Stop» werden Software-seitig durch eine einfache GUI ergänzt ([Abbildung 11](#)). Damit kann das HIL-Modul sowohl vor Ort (Modul liegt auf dem Tisch) wie auch remote (Modul an der HSLU, Teilnehmende an einem anderen Ort) verwendet werden. Die Anpassungen an der Übung sind minimal. Zum einen braucht es die neue Klasse `VirtualButtons`:

```

from tkinter import *

class VirtualButtons:
    def __init__(self, start_action, stop_action):
        window = Tk()

        window.title("Foerderband")
        btn_start = Button(window, text="START", command=start_action,
                           bg="green", fg="white", font=('Verdana', 20))
        btn_stop = Button(window, text="STOP", command=stop_action, bg="red",
                           fg="white", font=('Verdana', 20))

        window.geometry("430x170")

        btn_start.place(x = 10, y = 10, width=200, height=150, )
        btn_stop.place(x = 220, y = 10, width=200, height=150)

        window.mainloop()

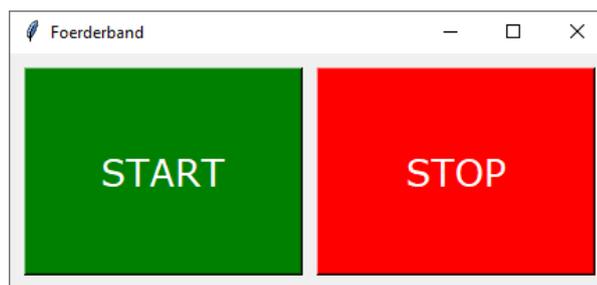
```

Weiter muss das Main-Skript der Übung ein wenig angepasst werden (Funktionen `startPressed` und `stopPressed` sind bereits im vorhandenen Code implementiert):

```

# Define virtual buttons
virtual_buttons = VirtualButtons(startPressed, stopPressed)

```



*Abbildung 11: Beispiel für die SW-Knöpfe in der HIL-Übung*

- **Reset-Funktion:** Um die Station nach Gebrauch durch Studierende wieder in den Ausgangszustand zu versetzen, werden auf den HIL-Modulen einfach Shell-Skripte hinterlegt. Über diese wird der Arbeitsordner der Studierenden bereinigt und die originalen Übungsunterlagen über ein git-Repository bezogen.

Den Studierenden wird die Übung in Präsenz, hybrid und remote angeboten. Die Wahl wird den Studierenden überlassen. Bei einem Präsenzbesuch der Übung sind alle Gruppenmitglieder vor Ort. Analog dazu sind bei einer Remote-Durchführung alle Gruppenmitglieder an einem anderen Ort. Bei einem hybriden Besuch ist ein Teil der Gruppenmitglieder vor Ort und ein Teil an einem anderen Ort tätig. In den letzten beiden Fällen erfolgt der Austausch zwischen den Studierenden untereinander, wie auch mit der Assistenz und den Dozierenden über Zoom-Brakeout-Sessions. In der Präsenzausführung erfolgt die Bedienung über die HW-Knöpfe und in der Remoteausführung über die SW-Knöpfe. In der hybriden Ausführung werden sowohl HW—wie auch SW-Knöpfe verwendet. Von den Studierenden wird dieses Angebot rege genutzt. Im FS22 besuchten 3 Gruppen die Übung in Präsenz, 4 Gruppen hybrid und eine Gruppe remote.

Durch die Software-seitigen Anpassungen wird der Aufwand für die Durchführung erheblich reduziert. Der Aufbau der Übung besteht nun nur aus dem Aufstellen der Module (<5 min) und dem Anschliessen an die Stromversorgung (<3 min). Der Reset – d.h. auch der Aufwand zwischen den Gruppen für die Wiederherstellung der Ausgangslage der Übung – dauert nun noch Sekunden. Damit steht während einem Nachmittag mehr effektive Übungszeit bei einem Geringeren Zeitaufwand durch die Assistenz und die Dozierenden zur Verfügung. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die aktuelle Arbeit der Studierenden

(=Anzeige auf dem Bildschirm) sehr einfach und effizient über eine VNC-Verbindung zu der Übungs-HW eingesehen werden kann. Dieser Vorteil besteht in allen Durchführungsformen. In der Präsenz-Durchführung kann damit sogar schneller auf die Probleme der Studierenden reagiert werden.

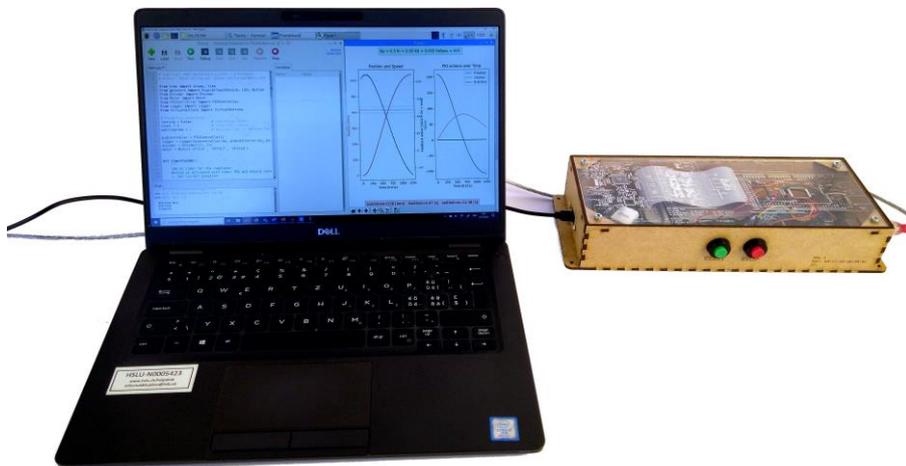


Abbildung 12: Aufbau der HIL-Übung vor Ort. Anmerkung: Der HIL-Simulator rechts hat hier bereits die transparente Deckplatte, was das Verständnis der Studierenden für dessen Aufbau fördert.

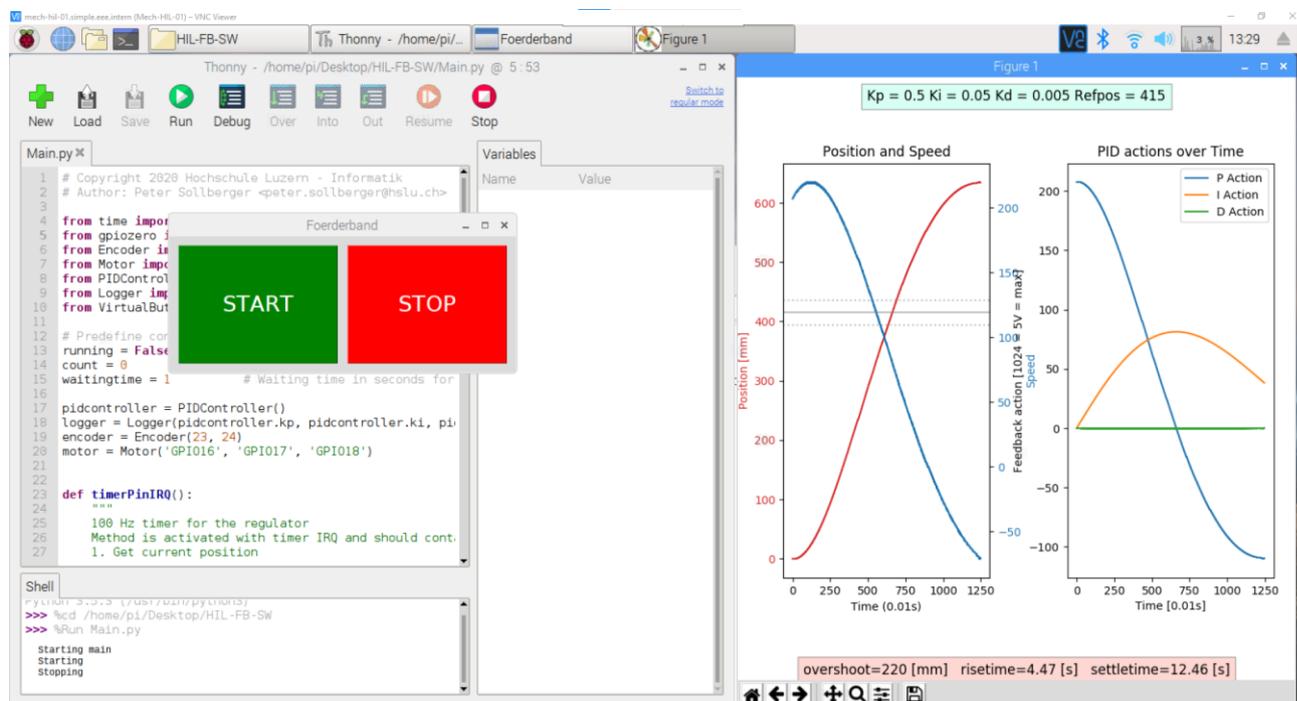


Abbildung 13: Remote Ansicht der HIL-Übung mit SW-Knöpfen

### 4.3. Laborübung Förderband (MECH)

Die Anpassungen der Förderband-Übung erfolgen analog zur HIL-Übung. Für die Förderband-Übung wird aktuell eine Präsenz und eine hybride Durchführung angeboten. Wie bei der HIL-Übung sind dabei entweder alle Gruppenmitglieder oder mindestens ein Gruppenmitglied vor Ort an der Übungshardware anwesend. Eine reine remote Durchführung wird nur in Ausnahmefällen angeboten. Grund dafür ist der hohe Zeitaufwand. Da sich der mechanische Teil des Förderbandes nicht selbstständig zurücksetzen kann, muss eine Person fast durchgehend neben dem mechanischen Aufbau sitzen und diesen aus Anweisung/Wunsch der Studierenden manuell zurücksetzt. Dieses Zurücksetzen beinhaltet zum Beispiel das Positionieren einer Last auf dem Förderband. Dies ist nur mit einem erheblich höheren Zeitaufwand möglich.



*Abbildung 14: Aufbau der Förderbandübung vor Ort. Anmerkung: Die Kamera für den Remote- und Hybrid-Unterricht steht hinter dem Blickpunkt und ist deshalb nicht zu sehen.*

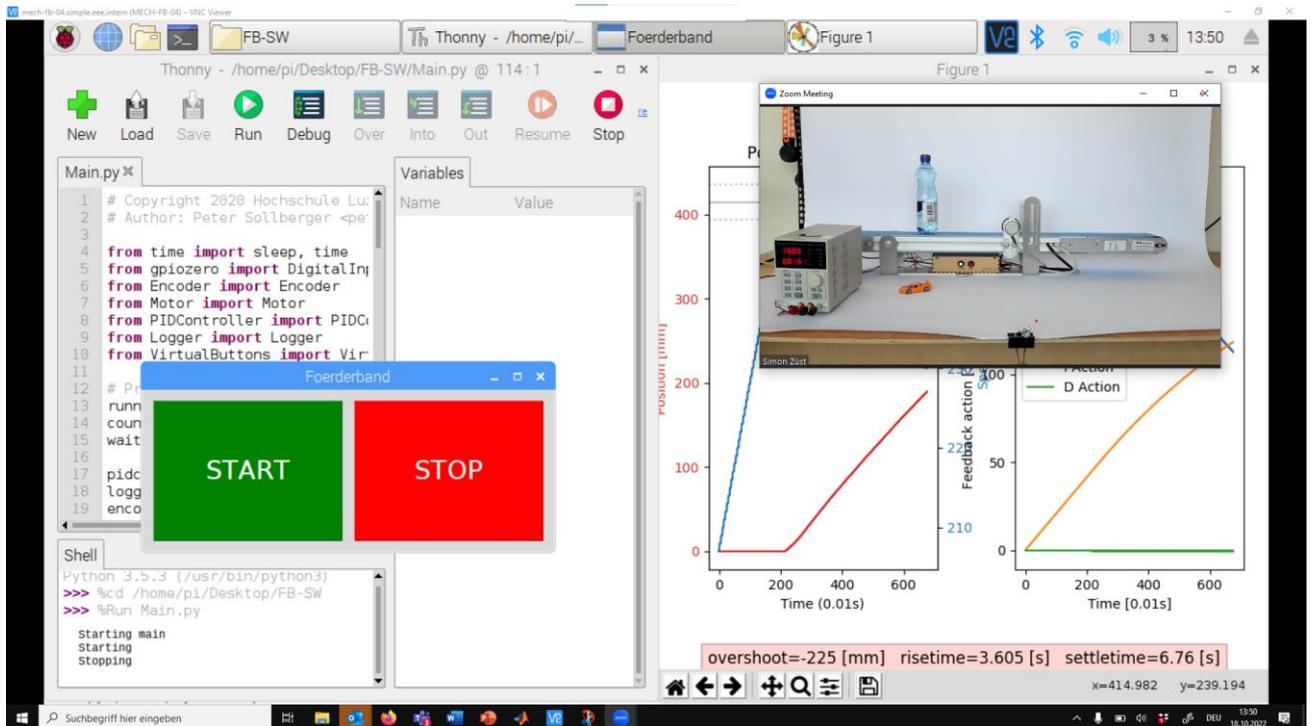


Abbildung 15: Remote Ansicht der Förderband-Übung mit Videoübertragung und SW-Knöpfen

#### 4.4. Parallelrechner (DIST\_SYS)

Die Parallelrechner-Übung beinhaltet keine HW-Knöpfe, weshalb sich die Änderungen auf die Reset-Funktion analog zu den obigen Übungen beschränkt. Diese wird analog zu den obigen Übungen über entsprechende Shell-Skripts, einem Git-Repository und einer SSH-Shell gesteuert. Die Remote-Teilnahme der Studierenden erfolgt über das HSLU VPN gemäss [Abbildung 16](#) (vergl. dazu auch [Abbildung 7](#)).

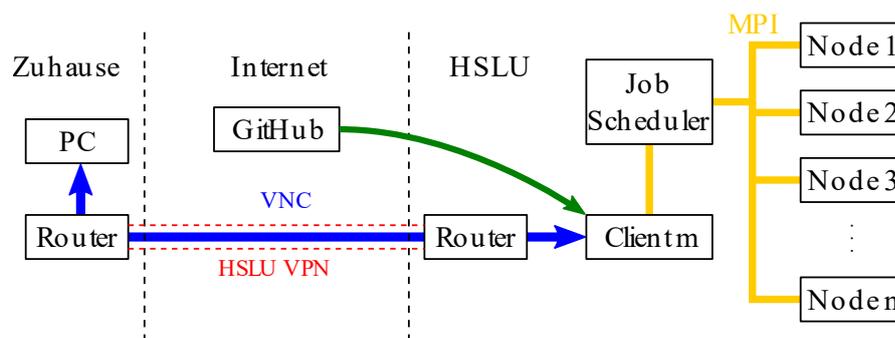


Abbildung 16: Konfiguration für eine remote Durchführung der Parallelrechner-Übung

Der Testlauf dieser Konfiguration fand im FS21 statt. Als Vergleich dazu wurde im FS22 eine Präsenz-Durchführung veranstaltet. An dieser Veranstaltung nahmen von acht Gruppen zwei Gruppen hybrid teil. D.h. jeweils mindestens ein Gruppenmitglied war vor Ort und mindestens eines remote anwesend. Die Einbindung der Remote-Teilnehmenden erfolgte immer über zoom.

Ausgehend von den Rückmeldungen der Studierenden und den Erfahrungen bei der Beantwortung von Fragen während dem Unterricht sind keine Unterschiede zwischen der Präsenz-, Hybrid- und Remote-Teilnahme feststellbar. Aus technischer Sicht ist der Aufbau für eine Remote-Teilnahme jedoch nicht trivial:

Bedingt durch den Aufbau der des Parallelrechners müssen die IP-Adressen der einzelnen teilnehmenden Geräte bekannt sein:

- Clients - Scheduler: Für das «Einreichen» der Berechnungsaufträge muss die Adresse des Scheduler bekannt sein. Da das Gerät im EEE-Netzwerk eingebunden ist, wechselt diese bei jeder Durchführung. Die Anpassung der Adresse in den Code-Vorlagen kann als didaktisches Element – z.B. Rekapitulation «Aufgabe Scheduler» - in die Übung eingebaut werden und von den Studierenden umgesetzt werden.
- Scheduler - Nodes: Für die Organisation der Jobs muss dem Scheduler funktionsbedingt die IP-Adresse jedes Nodes bekannt sein. Diese ändern bei jeder Durchführung. Entweder wird diese Liste vor der Übung generiert und manuell eingepflegt, oder durch den Scheduler mittels eines Pollings (Scan des Netzwerkes) realisiert. Letztere Variante ist aber mit den geltenden Nutzungsanweisungen des EEE-Netzwerkes nur bedingt kompatibel. Eine sehr einfache Lösung für diese Herausforderungen ist die Nutzung eines Gratis-VPN-Dienstes.

Zur Visualisierung der aktuellen Auslastung des Parallelrechners wurde ein entsprechendes Web-Interface genutzt. Dessen Ansicht wird den Teilnehmenden Studierenden über den Kommunikationskanal (Zoom) geteilt.

#### 4.5. Zwischenfazit

Alle vier intern produzierten Laborübungen konnten erfolgreich in Präsenz, sowie in Hybrider- und Remote-Durchführung umgesetzt werden (siehe [Tabelle 3](#)). Dabei beschreibt eine Hybride-Durchführung das Szenario indem Teile einer Übungsgruppe vor Ort an der HSLU anwesend sind und weitere Teile remote an der Übung teilnehmen. Die Teilnehmenden bearbeiten die Übung dabei als Gruppe (2-4 Studierende). Für die Laborübung Förderband bindet eine Remote-Durchführung sehr viel Personal: Eine Person aus der Assistenz oder dem Dozierenden Team kann sinnvollerweise nur eine bis maximal zwei Gruppen gleichzeitig betreuen. Grund dafür ist die ständige Bereitschaft für einen mechanischen Reset des Aufbaus (z.B. andere Last auf dem Förderband positionieren). In der Präsenz- und Hybrid-Durchführung übernehmen die anwesenden Studierenden diese Funktion. Diese Übung wird deshalb in Zukunft nur als Präsenz- und Hybrid-Durchführung angeboten. Eine reine Remote-Durchführung ist nur noch in Ausnahmefällen möglich (z.B. Quarantäne der Studierenden).

*Tabelle 3: Übersicht der mittels der Digitalisierung durchgeführten Übungs-Formate*

	Durchführung			Bemerkungen
	Präsenz	hybrid	remote	
Simulation Förderband	X	X	X	Probleme mit den Lizenzen
HIL Förderband	X	X	X	
Laborübung Förderband	X	X	(X)	Remotedurchführung bindet sehr viel Personal
Parallelrechner	X	X	X	Einsatz von externen VPN Anbietern

In den versuchsmässigen Durchführungen gab es bei der Simulationsübung Förderband Probleme mit den Lizenzen. Das verwendete Lizenzmodell der HSLU für die benötigte Software hat wenige Tage vor der Durchführung geändert. Diese Änderung war nicht bekannt. Neu wird mit den Verantwortlichen für die Softwarelizenzierung vorgängig der Kontakt gesucht, um solche Probleme in der Zukunft zu vermeiden.

## 5. Diskussion der Resultate

Ziel dieser Untersuchung ist eine Digitalisierung von bestehenden Laborübungen im Bereich der Technikschiene des Studiengangs Wirtschaftsingenieur|Innovation. Dies ohne eine Beeinträchtigung der Lehr- und Lernziele, bzw. deren Erfüllungsgrad. Dieses Ziel konnte in insgesamt fünf Laborübungen erfolgreich umgesetzt werden. Die Digitalisierung kann dabei den Aufwand in der Durchführung der Laborübung reduzieren, den Studierenden mehr effektive Bearbeitungszeit an der Übungsinfrastruktur erlauben, sowie den einzelnen Studierenden ein individuelles Lerntempo und Unterstützung ermöglichen.

Der entscheidende technische Erfolgsfaktor für dieses Gelingen ist die Einbindung der Übungsinfrastruktur in das EEE-Netzwerk als Gerätekollektionen. Damit ist die ganze Übungsinfrastruktur aus dem HSLU-Netzwerk aus erreichbar. Somit können die Studierenden sowohl vor Ort wie auch von extern (über VPN) auf die Geräte zugreifen. Zudem wird dadurch die Zugriffsart über alle Übungen hinweg vereinheitlicht.

Prinzipiell können die Übungen durch die Digitalisierung in drei Versionen angeboten werden: (1) Präsenz; die Studierenden sind vor Ort anwesend und bedienen die HW und mechanischen Baugruppen selbstständig. (2) Remote; die HW ist an der HSLU aufgebaut und die Studierenden greifen remote darauf zu. Die Bedienung erfolgt über SW-Knöpfe und die Teilnehmenden erhalten bei mechanischen Baugruppen eine Videoübertragung. Die Bedienung der mechanischen Baugruppen erfolgt durch die Assistenz und/oder Dozierenden. (3) Hybrid; mindestens ein Mitglied einer Übungsgruppe ist vor Ort und mindestens eines anwesend. Die Gruppenmitglieder bearbeiten die Übung gemeinsam. Die Bedienung erfolgt wahlweise über die HW- und SW-Knöpfe. Mechanische Baugruppen werden durch die Studierenden vor Ort bedient.

Bei reinen SW- oder HW/SW-Übungen hält sich der Aufwand für den technischen Umbau der Übung in Grenzen: HW-Knöpfe werden durch SW-Knöpfe ergänzt und eine Reset-Funktion, bzw. Initialisierung der Übungsumgebung wird mittels einfacher Shell-Skripte in Kombination mit einem Git-Repository umgesetzt. Eine Herausforderung bilden jedoch mechanische Aufbauten in der Remote-Ausführung. In der heutigen Konfiguration müssen z.B. bei der Förderbandübung verschiedene Lasten aufgelegt werden. Dazu muss eine Person vor Ort anwesend sein.

Die Digitalisierung dieser Übungen hat ein kritisches Hinterfragen des bestehenden didaktischen und technischen Übungsaufbaus angestoßen: Damit die Vorteile einer Digitalisierung der Übungen genutzt werden kann, müssen die Übungen so gestaltet sein, dass diese von den Teilnehmenden weitgehend selbstständig bearbeitet werden können. Grund dafür ist die räumliche Distanz: Die Stimmung im Raum kann nicht mehr einfach gelesen werden. Dasselbe gilt für den aktuellen Fortschritt der Studierenden. Diese sind hier stärker auf sich selbst gestellt und müssen deshalb den Lernfortschritt auch selbstständig prüfen könne.

Als abschliessendes Fazit wird für die Digitalisierung das Vorgehen aus [Abbildung 17](#). Als erstes sind die bestehenden Problemfelder im Ist-Zustand zu ermitteln: Wo bleiben die Studierenden hängen? Wo muss oft im Verständnis, in der Anwendung der Theorie, ... nachgeholfen werden? Etc. Basierend auf diesen Erkenntnissen sollte die Übung didaktisch aufbereitet werden. Anschliessend können die Digitalisierungsmassnahmen nach [Abbildung 9](#) erfolgen. Optional kann weiter eine Automatisierung der digitalisierten Übung erfolgen (siehe [Abbildung 10](#)). Diese Massnahme würde neben dem Ort auch den Zeitpunkt der Übung flexibilisieren. Innerhalb dieser Fallstudien wurde diese Massnahme aber aus Kosten- und Zeitgründen nicht umgesetzt.



*Abbildung 17: Vereinfachtes Vorgehen für die Digitalisierung einer Laborübung*

## **6. Verweise**

Steffen, D. (2021). *Projektantrag P8 («Digitale Lehre – Digitale Präsenz – Digitales Studium»)*.