

Abschlussbericht zum Projekt

Entwicklung von digitalen Ausbildungskonzepten zur
realitätsnahen Anlagensimulation für den Einsatz von
Sicherheits-SPSen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung



(FF-FP0397A+B)

Projektlaufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

verlängert bis

29.02.2020

Berichtszeitraum

01.09.2016 – 29.02.2020

Bericht vom

02.03.2020

Prof. Dr.-Ing. Rainer Herpers,
Timur Saitov, MSc, Anton Sigitov, MSc
und
Prof. Dr. Michael Heister, Dr. Michael Härtel

2020

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung deutsch	4
Kurzfassung englisch.....	5
1 Problemstellung.....	6
1.1 Hochfrequenz-Testsignale	6
1.2 Probleme bei der Implementierung/Ausführung.....	7
2 Forschungszweck/-ziel.....	8
3 Methodik.....	13
3.1 Ablaufdiagramm	14
3.2 Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan.....	16
4 Ergebnisse des Gesamtvorhabens	18
4.1 Projektkonzept.....	18
4.2 Hardware und Embedded Software	20
4.2.1 Adapter Version 1.....	20
4.2.2 Adapter Version 2.....	21
4.3 Software Framework.....	23
4.3.1 GUI-System: Hauptmenü / Szenenlader / Einstellungen.....	23
4.3.2 Framework für die interaktive Begleitung der Benutzer durch die Übungsaufgaben ..	25
4.3.3 Modul für das Import der Autodesk Eagle Dateien.....	25
4.3.4 Connectivity Matrix	26
4.3.5 Simulation der elektrischen Schaltungen	27
4.3.6 2D-Schaltplaneditor	27
4.3.7 Signaloszilloskop und Signalhervorhebung.....	29
4.3.8 Fehlerinjektion	30
4.3.9 Erstellung von 2D und 3D Modelle von relevanten Sicherheitskomponenten.....	33
4.3.10 3D Szenen Import: Automatische Namensverknüpfung.....	35
4.4 Szenen (Lernszenarien)	36
4.4.1 Eaton Szenen.....	36
4.4.2 Siemens Szenen	40
4.5 Physikalisches Anlage-Modell	44
4.6 Kleinserienanfertigung / Schulklassenausstattung	45
4.7 Didaktisches Konzept AP5 (BIBB)	47
4.7.1 Zielgruppen (Berufsschule, Bachelor Studium).....	47
4.7.2 Grundlegende Gestaltung der Didaktik	47
4.7.3 Benötigtes Vorwissen	47
4.7.4 Harmonisierung mit geltenden Lehrplänen	50
4.7.5 Didaktisches Konzept	55
4.7.6 Lernzielkatalog	59
4.7.7 Beispiel für den Ausbilderleitfaden „Programmierung spezieller SPS“	61
4.7.8 Vorläufiges Planungsgerüst für die Erprobungsphase	62

4.8	Zusammenfassung der Ergebnisse aus der letzten Berichtsperiode	64
4.9	Nutzertests und Evaluierung	65
4.10	Dokumentation der erstellten Lehr- und Lernmaterialien	66
5	Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen	67
6	Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen.....	68
7	Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan	69
7.1	Tag der Forschung 2017	69
7.2	H-BRS CtW Workshop Ausbildung und Training in VR	70
8	Anhang/Anhänge	72
Anhang A	Einführung in die Maschinensicherheit	72
Anhang B	SafetySim Bedienungsanleitung.....	72
Anhang C	Kurzeinführung für die praktische Erprobung, SafetySim Erste Schritte	72
Anhang D	Hinweise zum Lernbaustein für Auszubildende	72
Anhang E	SafetySim Ausbilderleitfaden „Programmierung spezieller SPS“	72
Anhang F	Evaluationsfragebogen	72
Anhang G	Evaluationsergebnisse	72
Anhang H	Erklärung für das Berichtswesen in Kooperationsprojekten.....	73

Kurzfassung deutsch

Zielsetzung: In der elektrotechnischen Berufsausbildung fehlen gerade im besonders sicherheits-sensitiven Bereich der digitalen Maschinensteuerungen geeignete Ausbildungsmaterialien, die eine sachgerechte und sichere Planung, Installation und Nutzung der mittlerweile in der industriellen Praxis vorherrschenden Sicherheitssteuerungen vermitteln helfen. Diese Lücke soll das Forschungsvorhaben SafetySim mit einer Simulation von Anlagen zum einfachen realitätsnahen Training des Einsatzes von Sicherheits-SPS (SPS: speicherprogrammierbare Steuerung) in der Ausbildung schließen.

Das kooperative Forschungsvorhaben des Instituts für Visual Computing der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (HBRS) und des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) mit Unterstützung von gewerblichen Partnern aus der Branche der Lehr- und Ausbildungsmittel für die berufliche Bildung hat zum Ziel, exemplarisch eine Simulations- und Trainingsanwendung zum Erlernen sicherheitsrelevanter Aspekte beim Betrieb speicherprogrammierbarer Maschinen und Anlagen in elektrotechnischen Ausbildungsberufen anzubieten.

Aktivitäten/Methoden: Zur Erreichung der oben genannten Ziele soll ein 3D-simulationsbasiertes Mehrbenutzer-Trainingssystem entwickelt werden, das den Einsatz von Sicherheits-SPSen bei der Realisierung von Sicherheitsfunktionen unterstützt. Dafür wird eine 3D-Simulationssoftware entwickelt, welche Schutzeinrichtungen (inkl. zugehöriger Sensoren/Aktoren) einer Maschine in physikalisch und elektromechanisch korrekter Weise simuliert. Die zugehörigen Signale sollen durch den zu entwickelnden E/A-Adapter so aufbereitet werden, dass diese von handelsüblichen Sicherheits-SPSen gelesen bzw. über den E/A-Adapter in die Simulationssoftware ausgegeben werden können. Der didaktische Ansatz erfordert das Einstreuen von Fehlern in die simulierten Schutzeinrichtungen und Aktoren, z. B. Kontaktdiskrepanzen, Drahtbruch, Festschweißen von Schützen, Kurz- und Querschlüsse. Die Realisierung dieses Verhaltens stellt aber eine weitere technische und wissenschaftliche Herausforderung dar, da dies in Echtzeit auf Standard-Rechnertechnik erfolgen muss. Anschließend sollen die (beabsichtigten) Reaktionen der Sicherheits-SPS auf die induzierten Fehler unter Echtzeitbedingungen von den Auszubildenden beobachtet und analysiert werden können. Die Einbeziehung moderner didaktischer Lernkonzepte, die damit verbundenen Evaluationsmöglichkeiten der Lernerfolge und die gezielte Fokussierung auf das Erlernen sicherheitsrelevanter Fehleraspekte (z. B. Drahtbruch, defekte Schütze/Relais o. ä.) bilden dabei Alleinstellungsmerkmale.

Die Simulation soll zunächst exemplarisch in den drei IHK-Ausbildungsgängen "Elektroniker/in für Geräte und Systeme", "Mechatroniker/in" und "Elektroniker/in für Betriebstechnik" diejenigen fortgeschrittenen Lernmodule ergänzen, in denen die Auszubildenden Fähigkeiten zum Umgang mit elektrischen Anlagen, Fehlererkennung, Maschinensicherheit, räumlich-logische Zusammenhänge und gründlichem Vorgehen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten erwerben.

Die Entwicklung soll fortlaufend durch Nutzertests evaluiert und anhand der Ergebnisse die Vorgehensweise entsprechend angepasst werden.

Kurzfassung englisch

Aims: In the field of electro-technical vocational training, in particular in the safety-related area of digital machine controls, appropriate training materials that help to convey a correct and safe planning of the installation and use of safety controls in prevailing industrial practice are absent. The SafetySim research project aims to bridge these open issues with machinery simulation for more realistic training experience in the area of Safety-PLCs applications (PLC: Programmable Logic Controller).

This cooperative research project of the Institute of Visual Computing of the Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Sciences (HBR) and the Federal Institute for Professional Training (BIBB) with the support of industrial partners in teaching resources for vocational training, aims at development of machinery simulations and training applications to learn safety-relevant aspects in the operation of machines equipped with programmable logic controllers (PLCs) in the field of electrical engineering.

Activities/Methods: To achieve the above objectives, a multi-user 3D simulation-based training system supporting functionality of the Safety-PLC is about to be developed. Simulation system, which can realistically mimic environment for the safety devices (incl. necessary sensors/actuators) in a physically and electro-mechanically correct way, need to be realized. The corresponding signals should be processed through the I/O adapter under development, in a way that the signals can be exchanged between standard commercially available Safety-PLC and the simulation software.

The didactic approach should allow multiple "faults injection" in simulated safety devices and actuators e.g. contact gaps, broken wires, welded contactors and short circuits. The realization of this kind of physically-correct behaviour represents further technical and scientific challenge as it should be executed in real-time on a standard PC. Additionally, all reactions of the Safety-PLC to the induced faults should be enabled for monitoring and analysis for the trainees under real-time conditions. Incorporating modern didactic learning concepts with existing possibilities in evaluation of the learning outcomes and the targeted focus on learning safety-related errors (e.g. broken wires, faulty contactors / relays, etc.) provides unique selling points of the system.

The simulator prototype should be developed and implemented in three IHK training courses "Elektroniker/in für Geräte und Systeme" (Electronics technician for devices and systems), "Mechatroniker/in" (Mechatronics technician) und "Elektroniker/in für Betriebstechnik" (Electronics technician for industrial engineering), in order to complement those advanced learning modules, in which the trainees do work with electrical installations, track and detect errors, train machine safety, train spatial and logical relationships and learn thorough approaches to safety-related issues.

The development should be continuously evaluated by means of usability tests and, if needed, adjusted accordingly based on these results.

1 Problemstellung

1.1 Hochfrequenz-Testsignale

Sicherheitsbezogene Systeme und insbesondere Sicherheits-SPSen verfügen neben mehr oder weniger standardmäßigen Fähigkeiten zum Erkennen von Kurzschlüssen zwischen Ein-/Ausgängen sowie Leistung/Masse auch über Fähigkeiten zum Erkennen von Querschlägen zwischen bestimmten Eingängen, wenn sie in Verbindung mit speziellen "Test"-Ausgängen verwendet werden. Die richtige Unterstützung solcher Testmethoden stellt hohe Anforderungen an ein Simulationssystem. Ein genauer Blick auf diese Testsignale zeigt schnell, dass herkömmliche Methoden der interaktiven Simulation nicht über die notwendigen Reaktionszeiten verfügen (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Der typische Reaktionskreis "Erfassung - Verarbeitung - Ausgabe" ist nicht schnell genug, um die gestellten zeitlichen Anforderungen zu erfüllen.

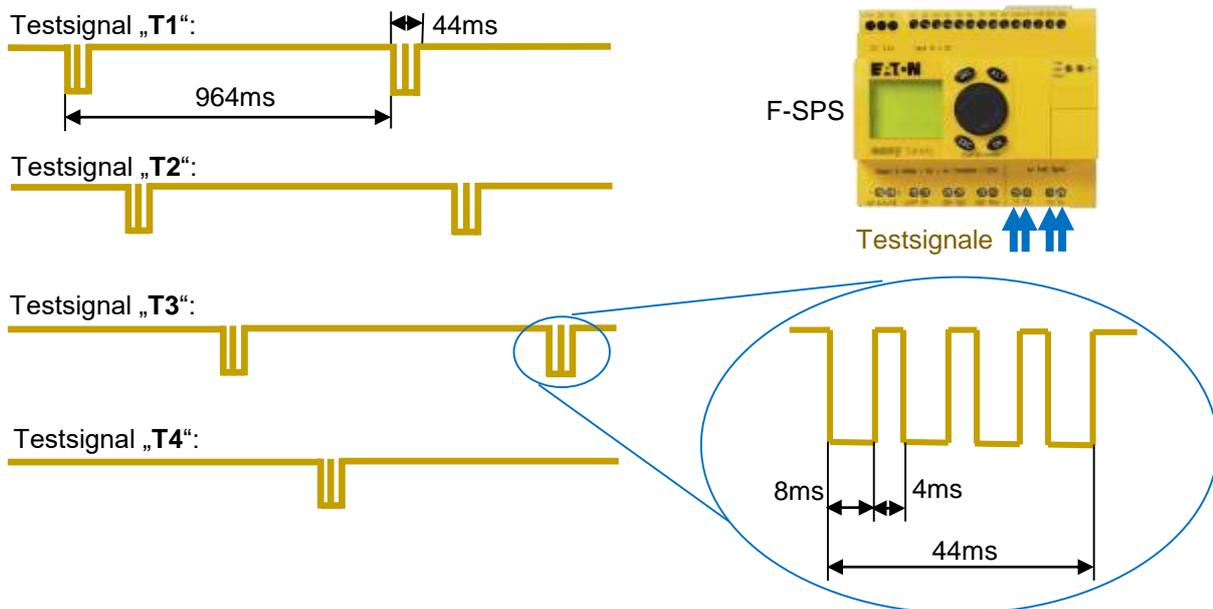


Abbildung 1. Ein zeitversetztes Testsignal am Beispiel einer EATON easy Safety SPS.

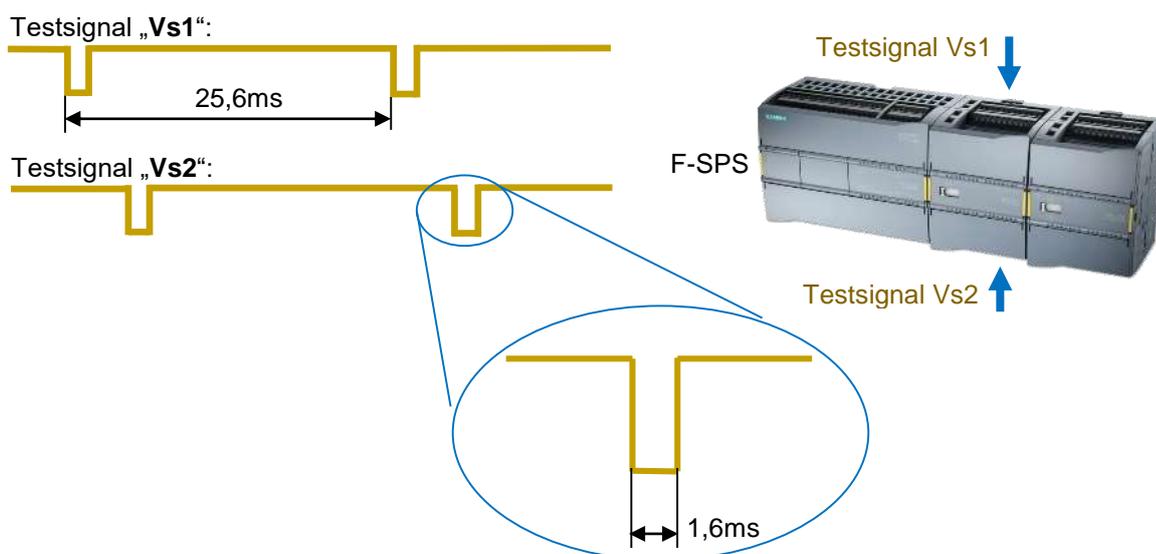


Abbildung 2. Ein zeitversetztes Testsignal am Beispiel einer Siemens S7-1200F Safety SPS.

Um das kürzeste Signalintervall von 1,6 ms korrekt zu erfassen, sollte das maximal zulässige Erfassungsintervall gemäß Nyquist-Rate unter 0,8 ms liegen. Innerhalb dieser 0,8 ms sind die folgenden Schritte durchzuführen:

- Signale müssen von der SPS erfasst werden
- die Daten müssen vom Adapter zum PC übertragen werden
- alle Komponenten im Schaltplan müssen auf den neuen Daten simuliert werden
- Signale müssen zurück zum Adapter übertragen werden
- dann liest die SPS die Werte aus dem Adapter

Die zielgerichtete Durchführung dieser Schritte stellt grundsätzlich eine große technische Herausforderung dar. Eine einfache Lösung zur Reduzierung der Simulationszeit und der Transferzeit usw. ist nicht umsetzbar. Es wurde jedoch eine korrekt funktionierende Lösung für dieses Problem realisiert. Die Lösung umfasst eine Embedded-Software für den Adapter, die entsprechende Kommunikationsschicht in der PC-Anwendung sowie einen weiteren Lösungsansatz für die elektrische Simulation. Weitere Details zu dieser Lösung befinden sich in den folgenden Kapiteln.

1.2 Probleme bei der Implementierung/Ausführung

Das nach wie vor zu langsame Rendering der 3D Simulation wurde zu einem wiederkehrenden Problem im 2D Schaltplaneditor und Signaloszilloskop. Aufgrund einer großen Anzahl von Polygonen (Linien), die gleichzeitig gerendert werden müssen, ist nicht jede Technik schnell genug, um ein flüssiges Rendering zu garantieren. Ursprünglich wurde beabsichtigt, das Bild in eine Textur zu rendern und dann auf dem Bildschirm zu präsentieren. Dieser Ansatz erwies sich jedoch als ineffizient, da zu viele Informationen zwischen GPU und RAM kopiert werden mussten.

Der zweite Ansatz, der gewählt wurde, verwendet das von Unity eingebaute GL-basierte Rendering-System. Trotz der Tatsache, dass GL-Befehle in der Natur schnell sind, werden diese in Unity vom Wrapper verändert und einige Zeit sogar in DirectX-Befehle anstelle von OpenGL übersetzt. Dieser Ansatz funktionierte aufgrund der Geschwindigkeitsbegrenzung der GL-Aufrufe nicht korrekt, da es keine Möglichkeit gab, diese GL-Befehle im Batchbetrieb zu verwenden. Somit konnten die gewünschten Frameraten auch mit dieser Realisationsoption nicht erreicht werden.

Der dritte verfolgte Ansatz für das gleiche Problem bestand darin, für jedes einzelne Objekt algorithmisch ein 3D-Netz zu erstellen. Dieser Ansatz erzeugte bessere Ergebnisse als die beiden vorhergehenden, beinhaltet jedoch immer noch mehrere Nachteile, z.B. bei einem sich ändernden Zoomfaktor wird eine gesamte Netzregeneration erforderlich, die den Prozess bis zu einem gewissen Grad verlangsamt.

Der nächste und aktuelle Ansatz besteht darin, einen in Unity integrierten Line Renderer in Verbindung mit einem zusätzlichen Skalierungsskript zu verwenden. Dieser Ansatz erscheint schnell genug, um den Anforderungen des aktuellen Projekts gerecht zu werden. Der Line Renderer wurde zunächst nicht berücksichtigt, da er in früheren Versionen von Unity nicht einwandfrei funktionierte. Durch die neuesten Software-Updates der Unity-Software wurde der Line Renderer vor kurzem so verbessert, so dass er für das SafetySim-Projekt eingesetzt werden kann.

2 Forschungszweck/-ziel

SafetySim richtet sich an Auszubildende und Studierende, die sich aufgrund der jeweiligen Ausbildungsordnungen, Rahmenlehrpläne oder Studienordnungen im Zuge ihrer Berufsausbildung oder ihres Studiums u.a. mit den Fachthemen „Mechatronik“, „Elektrotechnik“ und „Automatisierungstechnik“ auseinandersetzen. Dies vor dem Hintergrund der komplexen Anforderungen des Arbeitsschutzes und der Maschinensicherheit in der Aus- und Weiterbildung technischer Berufe. Durch das Projekt erhalten sie die Möglichkeit, mittels einer Anlagensimulation den Einsatz von sicherheitsgerichteten speicherprogrammierbaren Steuerungen (Sicherheits-SPS), die den aktuellen Normen DIN EN ISO 13849 und DIN EN 62061 entsprechen, realitätsnah und selbstorganisiert zu üben.

Grundsätzliches und übergeordnetes Ziel ist die Sensibilisierung für die Notwendigkeit der gezielten Vermittlung des Themas und dafür ein multimedial aufbereitetes Set an Materialien zu nutzen, das durch Ausbildungsverantwortliche im Ausbildungs- und Unterrichtsalltag eingesetzt werden kann. Die Selbstorganisations- und -entscheidungsfähigkeit der Auszubildenden, der Schülerinnen und Schüler an beruflichen Schulen soll mit diesem Konzept unterstützt werden, um ihre berufliche Handlungskompetenz zu fördern. „. Weiterführende Teilziele sind:

- Auf die jeweiligen Zielgruppen abgestimmte didaktische Konzepte mit der Intention, die Qualität der Ausbildung zu verbessern und bekannte Lücken zu schließen. Dabei sollen Niveau und Umfang der in die bestehende Ausbildung zu integrierenden Lehrinhalte nicht zu Überforderungen führen und in bestehende Ausbildungs- bzw. Unterrichtskonzepte zu integrieren sein.
- Bundesweite Evaluierung der zu entwickelnden Konzepte durch anerkannte Gutachter.
- Konzipierung von mehreren exemplarischen Lehrinhalten unter Einsatz aktuell verfügbarer Techniken der digitalen Medien, die an konkreten Beispielen erstellt werden und in umfangreichen Feldtests evaluiert werden.
- Einsatz neuartiger Lehr-, Lernkonzepte unter Verwendung moderner (digitaler) Medienformen zur Vermittlung von Sicherheitskonzepten im Arbeitsschutz.
- Informations- und Einführungsveranstaltungen in ausgewählten Einrichtungen im Rahmen eines „Train the Trainer“-Konzeptes.

Die 3D-Simulationsanwendung „SafetySim“

Zur Erreichung der oben genannten Ziele soll ein 3D-simulationsbasiertes Mehrbenutzer-Trainingssystem entwickelt werden, das den Einsatz von Sicherheits-SPSen bei der Realisierung von Sicherheitsfunktionen unterstützt. Das wesentliche Grundprinzip zeigt Abbildung 9 auf Seite 23. Die 3D-Simulationssoftware simuliert Schutzeinrichtungen (inkl. zugehöriger Aktorik) einer Maschine in physikalisch und elektro-mechanisch korrekter Weise. Eine physikalisch und elektro-mechanisch korrekte Simulation in Echtzeit stellt eine große Herausforderung für das Vorhaben dar, da erst dadurch eine Übertragung der Sicherheitsfunktionen von einem Modell auf die Realität gegeben ist. Die zugehörigen Signale werden durch den E/A-Adapter so aufbereitet, dass diese von handelsüblichen Sicherheits-SPSen gelesen bzw. über den E/A-Adapter in die Simulationssoftware ausgegeben werden können. Die Sicherheits-SPS „merkt“ dabei nicht, dass die Schutzeinrichtungen der Maschine und die zugehörigen Aktoren nur simuliert werden. Die Steuerungsprogramme könnten also 1:1 auf eine entsprechende reale Maschine bzw. reale Schutzeinrichtungen umgesetzt werden.

Eine Simulation der Sicherheits-SPS auf dem PC und eine Kombination mit der PC-Simulationsanwendung ist nicht realistisch, da nicht klar ist, wie die PC-Simulationsanwendung mit dem simulierten SPS-Sicherheitsprogramm kommunizieren kann. Die SPS-Simulation ist herstellereinspezifisch und nicht offengelegt. Weiterhin gibt es Sicherheits-SPSen von namhaften Herstellern, die nicht simuliert werden können!

Es sollen handelsübliche, häufig verwendete Sicherheits-SPSen von verschiedenen Herstellern zum Einsatz kommen. Die Kopplung der PC-Simulationsanwendung mit der Sicherheits-SPS über einen zu entwickelnden E/A-Adapter ist unerlässlich. Dieser E/A-Adapter ist nicht auf dem Markt erhältlich, sondern muss spezifisch entwickelt werden.

Mit diesem Konzept lassen sich die folgenden Ziele verbinden:

- Aufbereitung einer didaktisch sinnvollen Einführung in die moderne Sicherheitstechnik durch mehrere einfache und didaktisch aufeinander abgestimmte Lehreinheiten, wie in Abbildung 46 auf Seite 57 veranschaulicht ist.
- Entwicklung eines digitalen Konzeptes, das die Durchführung von wiederholten Übungen der Lehreinheiten mittels der simulierten Schutzeinrichtungen und den zu programmierenden Sicherheits-SPSen unterstützt.
- Entwicklung einer preiswerten und platzsparenden, aber gleichzeitig realitätsnahen Simulation der relevanten Maschinenteile und Schutzeinrichtungen. Die Simulation soll die Interaktion mit den Schutzeinrichtungen durch Benutzereingaben und Test des Programmes der Sicherheits-SPS ermöglichen.
- Der didaktische Ansatz erfordert das Einstreuen von Fehlern in die simulierten Schutzeinrichtungen und Aktoren, z. B. Kontaktdiskrepanzen, Drahtbruch, Festschweißen von Schützen, Kurz- und Querschlüsse. Kontaktdiskrepanzen und das Festschweißen von Schützen können in der Simulationssoftware simuliert werden. Die restlichen Fehler simuliert der Universaladapter in Hardware. Der Universaladapter wird weiterhin zur didaktisch wichtigen herstellerunabhängigen Anbindung von realen preiswerten Sicherheits-SPSn verwendet. Die Realisierung dieses Verhaltens stellt aber eine weitere technische und wissenschaftliche Herausforderung dar, da dies in Echtzeit auf Standard-Rechnertechnik erfolgen muss. Anschließend sollen die (beabsichtigten) Reaktionen der Sicherheits-SPS auf die induzierten Fehler unter Echtzeitbedingungen von den Auszubildenden beobachtet und analysiert werden können. Damit wird die Erkennung von bewusst eingestreuten Fehlern in der sicherheitsrelevanten Anlagenperipherie durch die Sicherheits-SPS veranschaulicht. Fehler in der Sicherheits-SPS-Software werden zusätzlich durch systematische Tests aufgedeckt (s. nächster Punkt).
- Berücksichtigung der aktuellen Ergebnisse des neuen IFA-Reports „Sicherheitsbezogene Anwendungssoftware von Maschinen“ und des vom IFA entwickelten und ab 2016 erhältlichen „SOFTEMA-Tool für sicherheitsgerichtete Anwendungsprogrammierung an Maschinen“ in den Lehreinheiten. Damit werden sämtliche modernen fehlervermeidenden Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Softwareentwicklung berücksichtigt, z. B. Spezifikation der Sicherheitsfunktionen und der Sicherheitssoftware, Programmierregeln, systematische Tests der Software, Validierung.

Bisher existierende Systeme erlauben solche Simulationen unter Echtzeitbedingungen nicht für Budgets, wie sie üblicherweise in der beruflichen Bildung und an den Hochschulen zur Verfügung stehen. Dadurch bleibt der praktische Einsatz dieser Systeme aus.

Im Rahmen des hier beschriebenen Vorhabens soll auf die Erkenntnisse eines in einem Vorprojekt entwickelten Prototypen einer Simulation („SimuBridge“) aufgebaut werden. Im Rahmen des SimuBridge-Projektes konnte exemplarisch gezeigt werden, dass eine physikalisch korrekte Simulation von elektro-mechanischen Komponenten auf handelsüblicher PC-Technologie in Echtzeit möglich ist und die Verwendung von Maschinen- bzw. Anlagensimulationen unter Einsatz von handelsüblichen SPSen gelingen kann.

Dabei soll das dort entwickelte Konzept um einen universellen (generischen) E/A-Adapter in Verbindung mit handelsüblichen Sicherheits-SPS erweitert und auf seine Verwendung in der beruflichen Ausbildung ausgerichtet werden. Besonderer Mehrwert des zu entwickelnden Systemansatzes für die berufliche Ausbildung wird erreicht durch den Einsatz von digitalen Medien und insbesondere durch eine realistische 3D-Darstellung, motivierende Elemente (in Form von auf

dem Bildschirm dargestellten Fortschrittsbalken, Smileys oder positive textuelle Kommentierung), Fehlerauswertung, exakte Stromverlaufssimulation, Mehrplatzfähigkeit (Schüler/Lehrer) und Kostenvorteile gegenüber bisher verfügbaren Angeboten.

Die Einbeziehung moderner didaktischer Lernkonzepte, die damit verbundene Evaluationsmöglichkeiten der Lernerfolge und die gezielte Fokussierung auf das Erlernen sicherheitsrelevanter Fehleraspekte (z. B. Drahtbruch, defekte Schütze/Relais o. ä.) bilden dabei Alleinstellungsmerkmale. Die Konzeptionierung und Entwicklung erfolgt auf Basis neuester Lehr-Lern-Methoden. Die Auszubildenden bzw. Schülerinnen und Schüler (SuS) an Berufsschulen lernen mithilfe schriftlicher Handlungsempfehlungen und Lernmaterialien möglichst selbstständig in Kleingruppen an einem praxisrelevanten Problem. Die Lehrperson steht jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung und gibt auf Anfrage spezifische Hilfestellungen etwa mit Blick auf programmiertechnische Fragen. Die Lernmaterialien werden auf einer Webseite zur Verfügung gestellt und können unter Einsatz moderner digitaler Medien wie beispielsweise mobiler Endgeräte nach Bedarf abgerufen werden. Die Lerninhalte werden dazu in kleine Lerneinheiten aufgeschlüsselt, sodass punktuelles Lernen an den Stellen, wo es individuell notwendig erscheint, ermöglicht wird. Durch Binnendifferenzierung wird der Heterogenität von Lerngruppen Rechnung getragen, indem verständnisstärkere Auszubildende bzw. SuS durch Zusatzaufgaben und schwächere durch tutorielle Unterstützung der Mitschüler gefördert werden.

Die Simulation soll zunächst exemplarisch in den drei IHK-Ausbildungsgängen „Elektroniker/in für Geräte und Systeme“, „Mechatroniker/in“ und „Elektroniker/in für Betriebstechnik“ diejenigen fortgeschrittenen Lernmodule ergänzen, in denen die Auszubildenden Fähigkeiten zum Umgang mit elektrischen Anlagen, Fehlererkennung, Maschinensicherheit, räumlich-logische Zusammenhänge und gründlichem Vorgehen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten erwerben. Ein weiteres Anwendungsszenario ist die Anwendung in der Ingenieurausbildung innerhalb der Automatisierungstechnik und der Mechatronik.

Das „Train the Trainer“-Konzept

Die didaktisch methodische Aufbereitung des „Train the Trainer“-Konzepts als netzgestützter Lernbaustein muss folgende Kriterien erfüllen, um als Lehr-/Lernmedium im geplanten Projektkontext eingesetzt werden zu können:

- praxisnah
- verwertbar
- verständlich
- variantenreich
- medien- und methodengerecht

Der Lernbaustein muss die Ausbilder unterstützen, eine den Vorgaben entsprechende handlungsorientierte, arbeits- und geschäftsbezogene Ausbildung zu ermöglichen. Dafür wird insbesondere das didaktisch-methodische Konzept der „Lern- und Arbeitsaufgaben“ einbezogen, mit dessen Hilfe berufliche Handlungskompetenz gefördert werden kann.

Bei den zu entwickelnden und zu erprobenden Materialien handelt es sich um einen Medien-Mix, bestehend aus multimedialen Medien, insb. 3D-Animationen, Broschüren und Arbeitsblättern. Das Konzept gliedert sich wie folgt:

- Kurzdarstellung des handlungsorientierten Lernkonzepts „SafetySim“; Darstellung des Zusammenspiels zwischen dem Aneignen von „Wissen“ mit Hilfe einer multimedialen eLearning-Anwendung und „Können“ durch fachpraktisches Training an der konkreten Anlage.
- Kurze Beschreibung der Lern- und Arbeitsaufgabe mit seinen spezifizierten Lernsituationen mit Bezug zu den beruflichen Handlungsfeldern der jeweiligen Ausbildungsberufe.

- Kurze Darstellung der Medien und Materialien inklusive der realen SafetySim Anlage, die zur Umsetzung eines handlungsorientierten Unterrichts verwendet werden können.
- Die technische Umsetzung der Arbeitsblätter und Broschüren erfolgt im PDF-Format zur online-Ansicht sowie zum Download.

Um die vielfältigen methodisch/didaktischen Einsatzmöglichkeiten der SafetySim-Materialien und Medien im Rahmen der beruflichen Aus- und Weiterbildung aufzuzeigen, sollen an bis zu drei Anwendungsbeispielen deutlich unterscheidbare Lern- und Arbeitsaufgaben entwickelt werden.

1. Blended Learning Konzept

Auszubildende erhalten ein Blended-Learning-Angebot zu SafetySim. Dargestellt wird, wie

- das Blended-Learning-Angebot inhaltlich und im zeitlichen Ablauf aussieht;
- wie und wann die Auszubildenden den Zugang zu den Inhalten als e-Learning erhalten;
- wie die Präsenzzeiten gestaltet sind und umgesetzt werden;
- wie die Auswertung erfolgt usw.

2. *Lernortkooperation* Die Lernorte des dualen Systems, Betriebe und Berufsschulen, können parallel in die Ausbildungsaktivitäten mit einbezogen werden., Materialien/Medien werden im Rahmen der Erprobung zwischen Berufsschule und dem Betrieb sowie für das mobile Lernen (z. B. von zuhause) eingesetzt. Ausgearbeitet wird, wie

- die Abstimmung zwischen den Lernorten erfolgt;
- die Auszubildenden darüber informiert und evtl. auch einbezogen werden;
- die Auszubildenden die Angebote der Lernorte zur Kenntnis nehmen und damit umgehen;
- der Abschluss und die Auswertung erfolgen usw.

3. Selbstorganisiertes Lernen

Auszubildende führen beim selbstorganisierten Lernen im Verlauf ihrer dreieinhalbjährigen Ausbildung festgelegte Versuche mit den SafetySim-Lernmodulen eigenständig durch. Ausgearbeitet wird dazu:

- das Lernkonzept,
- die Vereinbarung und die Übergabe der Lern- und Arbeitsaufgabe an die Auszubildenden,
- die Vorgehensweise der Auszubildenden bzw. der Auszubildendengruppe(n),
- der Einsatz der multimedialen Versuchsdarstellungen,
- eine Zertifizierung.

Unterschiedliche Leistungsstufen der Auszubildenden können mit diesem Konzept berücksichtigt und individuell gefördert werden.

Zielgruppen

Die Hauptzielgruppe sind die Auszubildenden vom 1. bis 3. Ausbildungsjahr in den elektrotechnischen Ausbildungsgängen mit Bezug zu SPS, exemplarisch zunächst ausgerichtet auf die IHK-Ausbildungsgänge „Mechatroniker“, „Elektroniker Betriebstechnik“ sowie „Elektroniker Geräte und Systeme“. Diese sind in der Regel bei Beginn ihrer Ausbildung zwischen 16 und 18 Jahre alt. Der Anteil von weiblichen Auszubildenden variiert von ca. 15 % bei den Ingenieursberufen bis zu knapp unter 50 % bei den (elektro-)technischen Berufen, wobei leider ein Großteil des weiblichen Fachkräftepotenzials auf dem Weg von der Schule in den Beruf „verloren geht“. Der Anteil an Auszubildenden mit Hochschulzugangsberechtigung (d. h. Abiturienten oder Abgänger mit Fachhochschulreife der Jahrgangsstufen 11/12 sowie Studienabbrecher) beträgt bundesdurchschnittlich etwa 15-20 %. Der Anteil von Auszubildenden aus dem Ausland (in erster Linie aus den europäischen Staaten mit hoher Jugendarbeitslosigkeit) beträgt ca. 4%.

Zur Qualifizierung dieser Zielgruppen soll für das Ausbildungspersonal ein multimedialer Lehr-/Lernbaukasten mit den relevanten Fachinhalten konzipiert und erprobt werden. Auch für das universitäre Ausbildungsumfeld sollen geeignete Konzepte erarbeitet werden, hier gezielt für die Bachelor-Studiengänge Elektrotechnik, Maschinenbau sowie Mechatronik, die u. a. auch an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg akkreditiert sind.

3 Methodik

Aufgabenverteilung innerhalb der Forschungskooperation

Projektleitung: Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (HBRS), Institut für Visual Computing, Fachbereich Informatik, Prof. Dr.-Ing. Rainer Herpers und Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau und Technikjournalismus, Automatisierungstechnik, Funktionale Sicherheit im Maschinenbau, Prof. Dr.-Ing. Norbert Becker.

Das Institut für Visual Computing übernimmt unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rainer Herpers neben der Gesamtprojektleitung in erster Linie alle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die sich auf die technische Ausführung der Simulationsanwendung und damit auf ihre Software und Hardware-Komponenten beziehen. Unterstützt wird das Institut dabei von Prof. Dr.-Ing. Norbert Becker (Fachbereich EMT, Automatisierungstechnik, Funktionale Sicherheit im Maschinenbau), vor allem hinsichtlich der Thematik Sicherheits-SPS. Das Bundesinstitut für Berufsbildung BIBB übernimmt im Projekt federführend die Entwicklung des didaktischen Konzepts und deren spätere Evaluierungen sowie die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Nutzertests. Im Rahmen der Evaluierungen ist evtl. das Einholen von Expertisen externer Gutachter erforderlich, deren Einbindung auch vom Partner BIBB gesteuert wird.

Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Es wird ein projektbegleitendes QM-Konzept einbezogen, welches auf den seit langen Jahren gelebten hohen Qualitätsstandards des Projektpartners BIBB beruht und unter dessen Führung adäquat umgesetzt wird. Dazu werden kompetente Partner aus dem Ausbildungswesen wie die VDW Nachwuchsstiftung in Frankfurt als externe Berater gewonnen.

Nach Maßgabe der DGUV-Förderverträge wird die Einrichtung eines Forschungsbegleitkreises vereinbart. In enger Zusammenarbeit mit den Antragstellern werden von der DGUV als Experten beauftragte qualifizierte Personen das Vorhaben mit beratender Funktion begleiten und bereits bei Konzepterstellung und in allen Phasen des Projektfortschrittes das Vorhaben unterstützen. Der Forschungsleiter organisiert Sitzungen und berichtet dort regelmäßig über den jeweiligen Projektverlauf und die erreichten (Teil)-Ergebnisse.

Die Einbeziehung der Zielgruppen wird bereits bei Projektbeginn im Zuge eines nutzerzentrierten Entwicklungsansatzes primär über die Einbindung der assoziierten Ausbildungsorganisationen.

3.1 Ablaufdiagramm

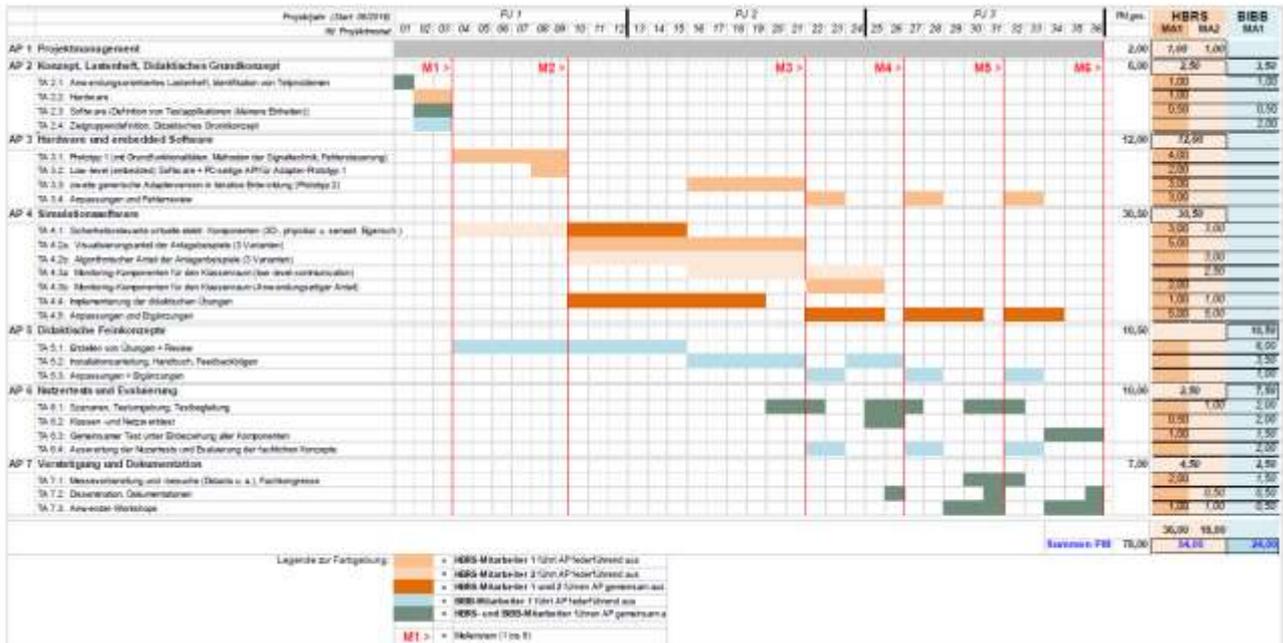


Abbildung 3: Grafischer Arbeitsplan mit Darstellung der Ressourcenverteilung in Personenmonaten (PM), getrennt nach Projektpartner, pro individuelm Arbeitspaket (AP) und Teilaufgaben (TA).

Beschreibung der Arbeitspakete im Detail:

AP 1 Projektmanagement		AP-Leader: HBR5	PM gesamt: 2,0
TA 1.1	Klassisches Projektmanagement, Organisation der Arbeitstreffen, Kontrolle der Zeitvorgaben und Lieferung von Arbeitsergebnissen, Berichterstattung gegenüber der DGUV, Betreuung und Organisation des Forschungsbegleitkreises, Finanzkontrolle, Beschaffungsvorgänge, Öffentlichkeitsarbeit		
Ergebnis(se)	Zwischenberichte, Veröffentlichungen	Dauer: Projektmonate 01 – 36	
AP 2 Konzept, Lastenheft, Didaktisches Grundkonzept		AP-Leader: HBR5	PM gesamt: 6,0
TA 2.1	- Erstellen eines anwendungsorientierten Lastenheftes - Festlegen von Entwicklungsumgebung, einzusetzenden Komponenten und Schnittstellen, wobei Open-Source-Angebote vorrangig berücksichtigt werden - Problemanalyse, Identifikation von Teilaufgabenstellungen		
TA 2.2	Erstellen eines Realisationskonzeptes für die erforderliche Hardware-Komponenten, bestehend aus dem E/A-Adapter, Verbindungskomponenten u. Übungsobjekten (im realen Modell)		
TA 2.3	- Erstellen eines Grob- und Feinkonzeptes für die Software (Simulationsanwendung inkl. Laufzeitumgebung u. evtl. weitere Module) - Definition kleiner Einheiten von Testapplikationen, die schrittweise in ihrer Komplexität gesteigert werden sollen		
TA 2.4	Zielgruppendefinitionen, didaktisches Grundkonzept (→ Feinkonzepte: siehe AP 5)		
Ergebnis(se)	Lastenheft, Hard- und Softwarekonzept, didaktisches Grobkonzept	Dauer: Projektmonate 01 – 03	
Meilenstein	M1	Eintritt: Ende Projektmonat 03	
AP 3 Hardware und embedded Software		AP-Leader: HBR5	PM gesamt: 12,0
TA 3.1	Entwicklung des Prototyp 1 mit Grundfunktionalitäten einschließlich Methoden der Signaltechnik und Fehlersteuerung		
TA 3.2	- Entwicklung der erforderlichen Low-Level-Softwarekomponenten (embedded) - Entwicklung der PC-seitigen API für einen ersten Adapter-Prototyp		
TA 3.3	Iterative Entwicklung einer zweiten generischen Adapterversion (Prototyp 2)		
TA 3.4	Anpassungen und Fehlerreviews, die sich aus den Erkenntnissen der Nutzertests ergeben		
Ergebnis(se)	prototypische Anwendung mit Hardwarekomponenten	Dauer: Projektmonate 04 – 33	

Meilenstein	TA 3.1+3.2: M2 / TA 3.3: M3 / TA 3.4: M6	Eintritt: Ende Projektmonat 09 / 21 / 36
AP 4 Simulationssoftware		AP-Leader: HBRS PM gesamt: 30,5
TA 4.1	Erforschung und Neuentwicklung notwendiger Algorithmen für die sicherheitsrelevanten virtuellen elektrischen Komponenten (mit 3D- und physikalische Eigenschaften) sowie Implementierung der semantischen Komplexität	
TA 4.2a+b	Anlagenbeispiele (3 Varianten) mit geeigneten Visualisierungskonzepten; hierbei müssen die Visualisierungsanteile und die algorithmischen Anteile parallel und Hand in Hand entwickelt werden	
TA 4.3a+b	Monitoring-Komponenten für einen Einsatz des SafetySim-Systems im Klassenraum; auch hier findet eine parallele Bearbeitung der hardwarenahen Komponenten und der Nutzersteuerungsanteile statt.	
TA 4.4	Implementierung der didaktischen Übungen	
TA 4.5	Anpassungen Softwarekomponenten und mögliche Ergänzungen, die sich aus den Erkenntnissen der Nutzertests ergeben	
Ergebnis(se)	3 prototypische Simulationsmodule mit 2 exemplarischen Übungen	Dauer: Projektmonate 04 – 34
Meilenstein	TA 4.1-4.4: M3 / TA 4.5: M6	Eintritt: Ende Projektmonat 21 / 36
AP 5 Didaktische Feinkonzepte		AP-Leader: BIBB PM gesamt: 10,5
TA 5.1	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellen der didaktischen Feinkonzepte - Erstellen von Übungen nach den ermittelten zielgruppenspezifischen Anforderungen (differenzierende Ausbildungsinhalte) - Konzeption des „Train the Trainer“-Lernbausteins - Review 	
TA 5.2	<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeitung der Installationsanweisungen für den Klassenraum und Erstellen der Handbücher (als PDF- und Html-Varianten) - Erstellen von Feedbackbögen und Evaluierungsanleitungen 	
TA 5.3	Verfeinerungen und notwendige Anpassungen des didaktischen Konzepts, die sich aus den Erkenntnissen der Nutzertests ergeben	
Ergebnis(se)	evaluierbare Konzepte, exemplarische Übungen und Lehranweisungen	Dauer: Projektmonate 04 – 36
Meilenstein	iterativ: M2, M3, M4, M6	Eintritt: Ende Projektmonat 09, 21, 26, 36
AP 6 Nutzertests und Evaluierung		AP-Leader: BIBB PM gesamt: 10,0
TA 6.1	<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeiten der jeweiligen Testszenarien und Ablaufpläne - organisatorische Vorbereitung (inkl. Einrichten der Testumgebungen) und Durchführung sowie Vor-Ort-Betreuung der externen Nutzertests 	
TA 6.2	Vorbereitung und Durchführung des Klassentests (Netzwerkkomponententest)	
TA 6.3	Gemeinsamer Test von Simulation und Netzwerkfähigkeit	
TA 6.4	Auswertung der Nutzertests und Evaluierung der fachlichen Konzepte	
Ergebnis(se)	Dokumentierte Evaluierungsergebnisse	Dauer: Projektmonate 20 – 36
Meilenstein	M3, M4, M6	Eintritt: Ende Projektmonat 21, 26, 36
AP 7 Verstetigung und Dokumentation		AP-Leader: HBRS PM gesamt: 7,0
TA 7.1	<ul style="list-style-type: none"> - Präsentationen auf den bedeutenden Publikumsmessen (Didacta 2018 in Hannover, Industriemesse Hannover, SPS IPC Drives in Nürnberg) - Präsentationen von Projektergebnissen auf einschlägigen Fachkongressen (ab 2018, z. B. Forum Funktionale Sicherheit in München) 	
TA 7.2	<ul style="list-style-type: none"> - wissenschaftliche Veröffentlichungen beider Partner nach Projektfortschritt - fortlaufende Dokumentation der Projektarbeiten und (Zwischen-) Ergebnisse in einer entsprechend zu konfigurierenden Themenbox auf dem Internetportal des BIBB für Ausbilderinnen und Ausbilder www.foraus.de 	
TA 7.3	Durchführung von Anwenderworkshops, Schulungs- und Einführungsveranstaltungen (zusammen mit und bei den assoziierten Partnern Feltron-Zeissler und Lucas Nülle)	
Ergebnis(se)	Literaturliste, wiss. Dokumente	Dauer: Projektmonate 25 – 36
Meilenstein	M4, M5, M6	Eintritt: Ende Projektmonat 26, 31, 36

3.2 Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 (AP2) wurde gemeinsam mit den Projektpartnern das Lastenheft erstellt und ein didaktische Grundkonzept skizziert. Auf dieser Grundlage wurde ein Softwarekonzept für die Simulationssoftware (AP4) erarbeitet und eine erste Bewertung möglicher Hardwarelösungen für den zu entwickelnden E/A-Adapter durchgeführt. In einer frühen Phase der Bewertung des Hardware-Konzepts (in AP2.TA2.2, siehe Abbildung 3) wurde deutlich, dass möglicherweise die Entwicklung einer hochentwickelten Umschalt-Hardware durch eine vereinfachte akquisitionsbasierte Lösung auf Basis von einer sehr effizienten Softwaresimulationsschleife ersetzt werden kann. Im Rahmen des Begleitkreistreffens wurde diese Option vorgestellt und diskutiert und letztendlich vereinbart, dass zunächst bestehende Hardwarekomponenten verwendet werden sollen und erst zu einem späteren Projektzeitpunkt die Frage einer Eigenentwicklung neu diskutiert werden soll. Damit verlagerte sich zunächst der Schwerpunkt der Entwicklung von der Hardware (TA3.1, TA3.2) auf die Hochgeschwindigkeits-Echtzeitsimulation und Datenübertragung (TA4.2a, TA4.2b). Die Entwicklung der Hardware-Prototypen (TA3.1, TA3.2) wurde somit auf die zweite Entwicklungsphase (TA3.3) verschoben.

Die detaillierte Softwareplanung (TA 2.3) ergab den Bedarf an zusätzlichen Datenstrukturen zur Speicherung der zugrundeliegenden Schaltpläne zur Erfüllung der entwickelten didaktischen Anforderungen (TA 2.4). Dies wird im Rahmen der vollständigen Implementierung des sogenannten Main Software Frameworks geschehen. Dies war für TA 4.4 geplant und sollte in PM10 starten. Die Entscheidung, die Arbeit an dem PM04 zu verschieben, wurde dadurch begründet, dass sie sich auf den Simulations- und Visualisierungsteil (TA4.2a, TA4.2b) auswirkt, der auch früher im Projekt, genauer gesagt in der PM04 gestartet.

Mit dem Einsatz eines weiteren Mitarbeiters (Anton Sigitov), der dem Projekt im PM04 beigetreten ist, wurde schnell deutlich, dass der ursprüngliche Plan, einen Entwickler-PC zwischen den Entwicklern zu teilen, nicht effizient funktioniert, da mehr Softwareentwicklung als geplant (TA4.2a, TA4.2b) in PM04-PM09 durchgeführt wurde. Deshalb wurde ein zweiter Entwickler-PC, der nicht im ursprünglichen Finanzierungsplan enthalten war, angeschafft. Das verursachte zusätzliche Kosten im Rahmen des Gesamtbudgets an anderer Stelle eingespart werden können.

Eine Änderung der Herangehensweise, die zu einer stärkeren Hinwendung zu einer Software-Lösung und weg von einer spezifischen aufwändigen Hardware-Entwicklung (wie in Kapitel 2 erwähnt) führte, wird eine mögliche Senkung der Produktionskosten für den Hardware-Adapter zur Folge haben. Dennoch werden zusätzliche Arbeitsaufwände notwendig werden, da immer mehr Arbeitsleistung in die Entwicklung der elektrischen Simulationssoftware verlagert wird.

Auf der Grundlage des letzten Begleitkreistreffens wurde die Entwicklung eines Moduls zur Fernüberwachung und -zusammenarbeit (TA 4.3) zunächst verschoben. Stattdessen wurde mehr Wert auf Benutzertests und deren Auswertung gelegt (AP 6). Im Rahmen der Vorbereitungen für die Benutzertests wurde das physikalische Modell eines Bedienfeldes einer industriellen Anlage entwickelt und realisiert. Diese Teilaufgabe war zunächst nicht im Projektplan enthalten, kann aber als TA 6.5 betrachtet werden.

Die technische Dokumentation des Simulationssystems stellte eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der Didaktik dar. Die technische Dokumentation für den Simulator wurde im Berichtszeitraum von der HBRS fertiggestellt. Die erste Version der Dokumentation für den Simulator in Form einer "Bedienungsanleitung" mit Installation und Verkabelung (für beide SPS Variante Eaton und Siemens) sowie einer "Schnellstart"-Fibel für die Eaton SPS wurde von der HBRS fertig gestellt (TA 5.2).

Während der kostenneutralen Verlängerung wurden folgenden Arbeitspakete abgeschlossen: Erstellung und Integration eines 3D Modell der Beispielanlage; Verbesserung und Optimierung des Programcodes; Implementierung und Integration der Sicherheitstür- und Lichtschranke-Szenarien.

Die Entwicklungsarbeiten am didaktisch-methodischen Konzept erforderten einen vertieften Informationsaustausch mit potenziellen betrieblichen und berufsschulischen Erprobungspartnern. Neben der fachlich-inhaltlichen Konzeption standen besonders auch Überlegungen zum Zeitrahmen des mit SafetySim verbundenen Qualifizierungsansatzes im Zentrum der Diskussionen. Angesichts der curricular verbindlich in den Ausbildungsordnungen und Rahmenlehrplänen vorgegebenen Vermittlung fachlicher Inhalte stellte sich der mit SafetySim verbundene zusätzliche Zeitaufwand als anspruchsvolle Herausforderung an die adressierten Lernorte dar. Das „Train the Trainer“ Konzept, das zusammen mit Lehrern des Hans-Böckler-Berufskollegs und einem Medienpartner, der DEKRA Media GmbH, in mehreren Treffen entwickelt wurde, war vor diesem Hintergrund nur im Rahmen mehrerer Rückkoppelungsschleifen zu erarbeiten und musste dafür entsprechend im Zeitplan berücksichtigt werden (AP 5.1 und 5.3).

Die Planungen zur Erprobung von SafetySim mit Auszubildenden im laufenden Ausbildungsjahr 2017 / 2018 musste vor dem Hintergrund der Prüfungsvorbereitungen angepasst werden. Die Erprobungsphase konnte daher erst sechs Monate nach der ursprünglich angedachten Projektplanung durchgeführt und evaluiert werden (AP 6). Der Transfer der Ergebnisse soll mithilfe eines Erklärvideos erfolgen, mit dem das Konzept von SafetySim operationalisiert wird. Die dafür zu nutzenden Lehr-, Lernmaterialien werden im Kontext des Videos als Ausbildungs- und Unterrichtshilfen deklariert. Das Erklärvideo, in der ursprünglichen Meilensteinplanung nicht enthalten, wurde als konkrete Unterstützung und als breitenwirksames Vermarktungsinstrument zum Schluss des Projekts eingeschätzt und vom BIBB und dem Medienpartner erarbeitet. Diese Arbeiten erfolgten im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung des Projekts SafetySim (AP 7). Das Posting dieser nun vorliegenden Arbeitsergebnisse erfolgt über das Portal des BIBB für Ausbilderinnen und Ausbilder, www.foraus.de. Weiterhin werden die Informationen über die Startseite des BIBB, weitere Webauftritte der Verbände und Sozialpartner, der Berufsbildungsöffentlichkeit zugänglich gemacht. Ebenso soll ein Teaser im entsprechenden Webauftritt der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg sowie der DGUV auf die Materialien hinweisen.

4 Ergebnisse des Gesamtvorhabens

4.1 Projektkonzept

Detaillierte Projektanforderungen/Spezifikationen wurden im Rahmen von Arbeitspaket 2 bearbeitet. Diese umfassen; die Projektübersicht, ein interaktiver Prototyp des Systems, ein erstes didaktisches Konzept mit einem Beispiel einer Benutzerschnittstelle, Arbeitsraumanforderungen, eine Liste der sicherheitsrelevanten Komponenten, und ein E-Teaching-Groupware-Konzept mit optionaler Virtual Reality/Digital Presence.

Als Ergebnis wurde das detaillierte Konzept des SafetySim Systems entworfen. Das Konzept umfasst folgende Punkte:

- Gesamtaufbau des Systems
- Hardware-Adapter
- Simulationssoftware
- Didaktik / Aufgaben
- Grafische Benutzeroberfläche
- Varianten der Arbeitsbereichsorganisation

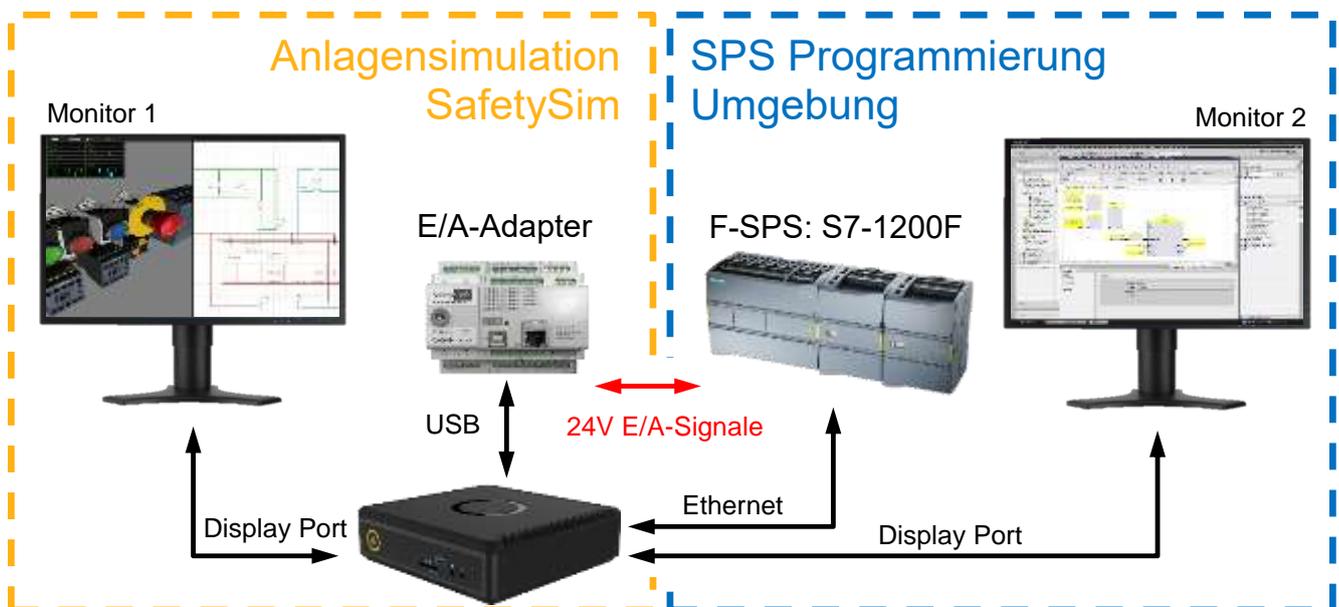


Abbildung 4. Übersicht des SafetySim-Konzepts: Eine fehlersichere speicherprogrammierbare Steuerung (F-SPS) wird über die Standard 24V E/A-Ebene an den SafetySim E/A-Adapter angeschlossen; programmiert wird diese über eine herstellereigenspezifische Programmierungsumgebung.

SafetySim ist ein Simulationssystem, das die Umgebung für die Sicherheitseinrichtungen (inkl. der notwendigen Sensoren/Aktoren) physikalisch und elektromechanisch korrekt abbilden kann, und das mit der vorhandenen SPS mit einer eigenen Programmierungsumgebung verbunden werden kann. Die entsprechenden Signale werden über den in der Entwicklung befindlichen E/A-Adapter so aufbereitet, dass sie zwischen handelsüblicher Safety-SPS und der Simulationssoftware ausgetauscht werden können (siehe Abbildung 4) (digitaler Zwilling).

Das Konzept, das für den Hardware-Adapter ausgewählt wurde, beinhaltet die Realisation einer schnellen hardwarebasierten Antwortschleife, die periodisch (mit Simulationsgeschwindigkeit) aus dem PC-basierten Teil des Simulators programmiert wird. Dieser Ansatz ermöglichte, eine Echtzeit-Reaktionsfähigkeit auf der Signalebene und gleichzeitig Flexibilität in der Schaltungssimulation auf der semantischen Ebene.

Der didaktische Ansatz sollte eine mehrfache "Fehlerinjektion" in simulierten Sicherheitseinrichtungen und Aktoren unterstützen, z.B. veränderbare Kontaktabstände, Drahtbrüche, festgeschweißte Schütze und Kurzschlüsse. Darüber hinaus sollen alle Reaktionen der Sicherheits-SPS auf die induzierten Fehler für die Auszubildenden unter Echtzeitbedingungen zur Überwachung und Analyse freigegeben werden. Dies ermöglichte die Einbindung moderner didaktischer Lernkonzepte mit den vorhandenen Möglichkeiten zur Bewertung der Lernergebnisse und der gezielten Fokussierung auf sicherheitsrelevante Fehler (z.B. Drahtbruch, fehlerhafte Schütze/Relais, etc.).

Eine der bevorzugten Varianten in der Arbeitsbereichsorganisation ist ein Setup, das aus zwei separaten PCs besteht. Auf dem ersten PC läuft der SafetySim Simulator und auf dem zweiten PC die herstellereigene SPS-Programmierungsumgebung (Abbildung 4).

4.2 Hardware und Embedded Software

4.2.1 Adapter Version 1

Als Kernsystem für den Adapter wurde die offene Hardwareplattform Arduino gewählt. Seine Offenheit, breite Verfügbarkeit und Bekanntheit in den Bildungseinrichtungen macht die zu einem guten Kandidaten für das Projekt. Jedoch konnte diese Hardware nicht ohne Weiteres in die industrielle Umgebung einer SPS integriert werden. Aus Hardware-Sicht musste der E/A-Adapter die nachstehenden Kriterien erfüllen.

Es muss 24 V-Eingangssignale in TTL- oder die CMOS-Pegel umwandeln, kurzschlussfeste 24 V-Ausgangssignale erzeugen und über eine Standard-Datenschnittstelle, z. B. einen USB-Anschluss mit einem PC kommunizieren können. Als Basis für die ersten Hardware-Adapter wurde der 24V E/A Adapter verwendet.



Abbildung 5. Realisierte Version 1 des Prototyps des E/A-Adapters verbunden mit einer EATON easy Safety SPS (links) und einer SIEMENS S7-1200F Safety SPS (rechts).

Der Adapter, der über Standard-E/A-Leitungen mit der SPS verbunden ist, versorgt eine SPS mit den notwendigen Leistung- und Masseanschlüssen. Entsprechende Pin-Belegungen und Anschlusspläne befinden sich im Installationsabschnitt der Bedienungsanleitung (siehe SafetySim Handbuch/Bedienungsanleitung). Das System wurde mit den zwei in dem Projekt in den Fokus genommenen SPSen erfolgreich getestet: EATON easy Safety (ES4P-221-DMXD1) und SIEMENS S7-1200 Safety (CPU 1212FC DC/DC/DC/DC, SM 1226 F-DI DC, SM 1226 F-DQ DC) (siehe Abbildung 5).

Für die Embedded-Software des Adapters sowie den entsprechenden Teil der PC-Anwendung wurde ein spezielles Datenerfassungs-Framework entwickelt. Der eingebettete Teil der Software ist vollständig Interrupt-basiert aufgebaut und beinhaltet die folgenden Funktionen:

- Es implementiert ein Kommunikationsprotokoll (für die Kommunikation zwischen Adapter und PC-Simulator), das die Übertragung der Connectivity Matrix in den Adapter ermöglicht
- Es simuliert in Echtzeit (0,1 ms) die virtuellen schematischen Reaktionen über Ein- und Ausgänge unter Verwendung der Connectivity Matrix. Es führt die Datensignalerfassung parallel zur Simulation (auf Anfrage) durch und ermöglicht so reaktionsschnelle Datenvisualisierungen auf der PC-Anwendungsseite.
- Automatische Erkennung von An- und Abkopplung des I/O-Adapters auch während des Anwendungsablaufs.

Unter Berücksichtigung der notwendigen Kleinserienproduktion für die Durchführung der Evaluationstests im Unterricht wurden acht Adapter geplant. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass diese Version, obwohl sie vielseitig einsetzbar ist, dem Projekt einen erheblichen Produktionsaufwand hinzufügen würde. Daher wurden weitere Alternativen untersucht. Das führte zur Entwicklung der zweiten Hardware-Version des Adapters.

4.2.2 Adapter Version 2

Die frühe projektbezogene Entscheidung, das Datenlieferungs-Framework auf der Basis der Arduino-Plattform zu entwickeln, brachte ihr Vorteile bei der Entwicklung der zweiten (Kleinserienfertigung) Version des E/A-Adapters. Ein Adapter mit nahezu allen notwendigen Hardware-Elementen wurde auf dem Markt gefunden. Es handelt sich um ein Controllino MAXI Automation Modul. Da es auf der Arduino-Plattform basiert, war die zuvor entwickelte Embedded-Software-Lösung aus der Adapter-Version 1 eine Zukunftsinvestition und hat sich in dieser Entwicklungsphase vollständig amortisiert, da es mit kleinen Änderungen im Quellcode auf der Adapter Version 2 eingesetzt werden kann. Der einzige Teil, der nicht im Controllino-Modul enthalten war, ist das Stromversorgungs- und Verteilungsmodul. Das Stromverteilungsmodul wurde entwickelt und in einer Kleinserie von 8 Stück produziert (siehe Abbildung 1, Abbildung 6).

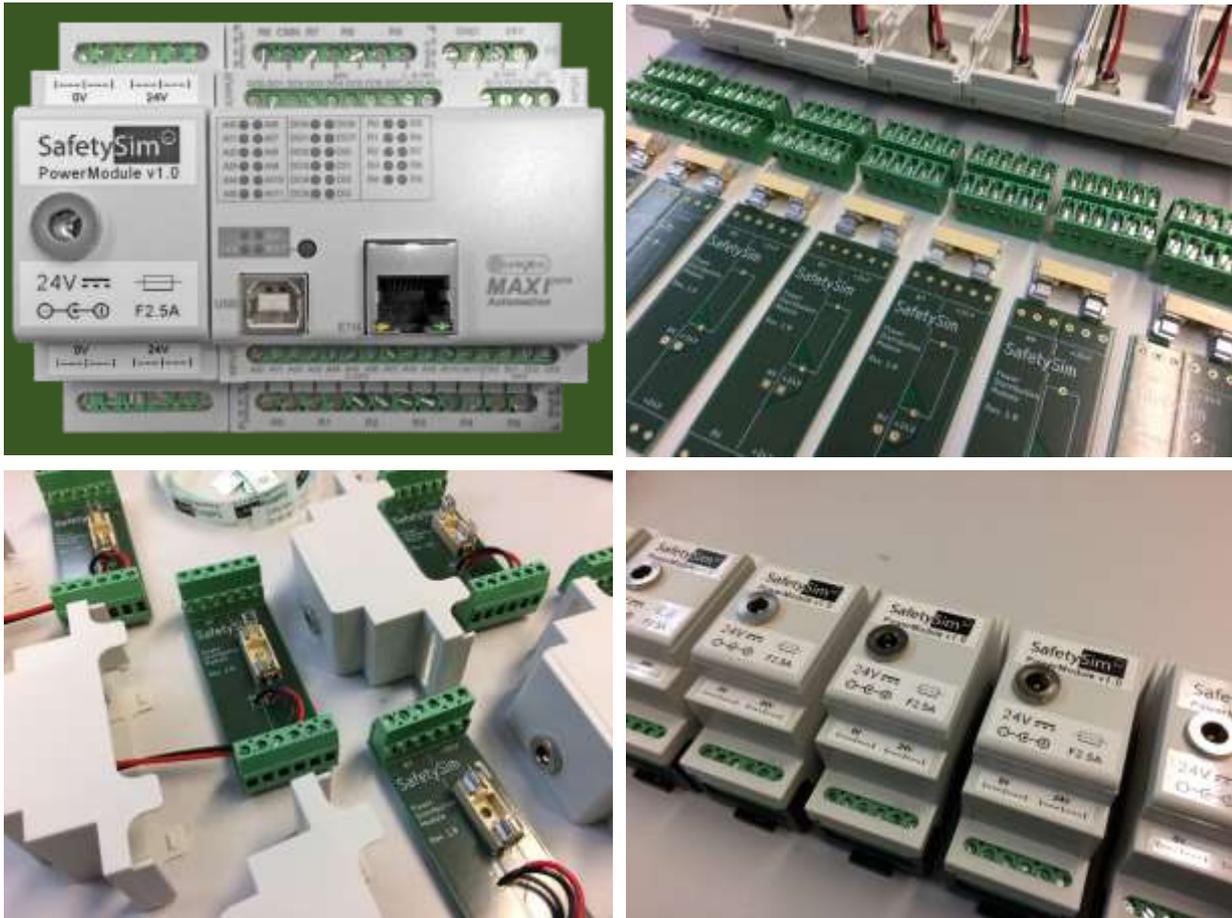


Abbildung 6. Letzte Version des SafetySim-E/A-Adapters (oben links). Prozess der Montage des Stromverteilungsmoduls (oben links, unten rechts). Die Kleinserienproduktion von acht Modulen ist abgeschlossen (unten rechts).

Das externe 24V DC-Netzteil wurde separat gekauft und im SafetySim-Paket mitgeliefert. Die E/A-Adapter wurden zusammen mit den Sicherheits-SPS's auf einem durchsichtigen Acryl-Ständer montiert. Die klare Sicht und die farblich gekennzeichneten Kabel erhöhen die Übersichtlichkeit der Verbindungen zwischen Safety-SPS und einem E/A-Adapter, was das Verständnis des Systemaufbaus weiter verbessert. Ein Exemplar wurde auf Basis der EATON Safety-PLC aufgebaut (siehe Abbildung 7). Sieben weitere Exemplare wurden auf Basis einer SIEMENS Sicherheits-SPS aufgebaut (siehe Abbildung 8).

Wie bei der Vorgängerversion wird die automatische Erkennung und das "hot-swap" An- und Abkoppeln des E/A-Adapters von der SafetySim-Applikation unterstützt und ohne jeglichen Anwenderaufwand ausgeführt.

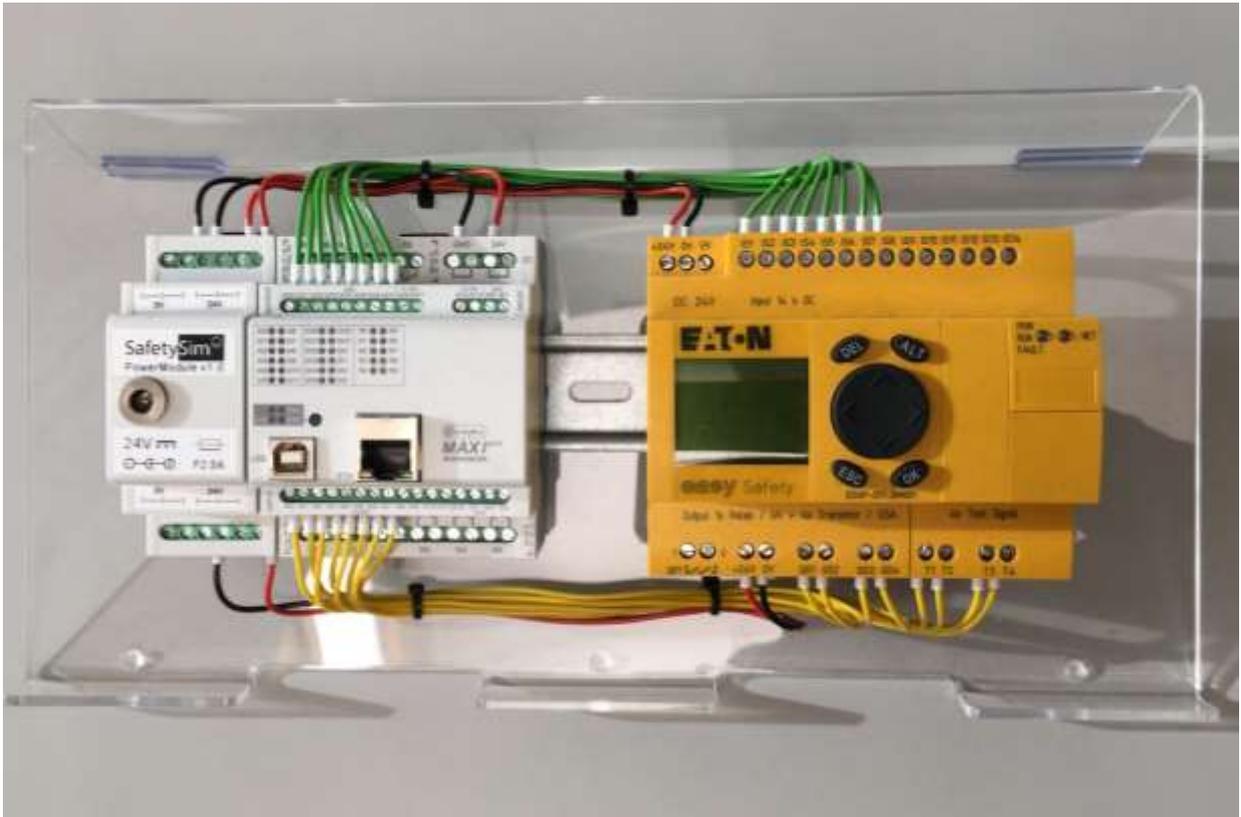


Abbildung 7. Vollständig konfektionierte Ausführung von SafetySim E/A-Adapter auf der Basis von EATON easy Safety Sicherheits-SPS.

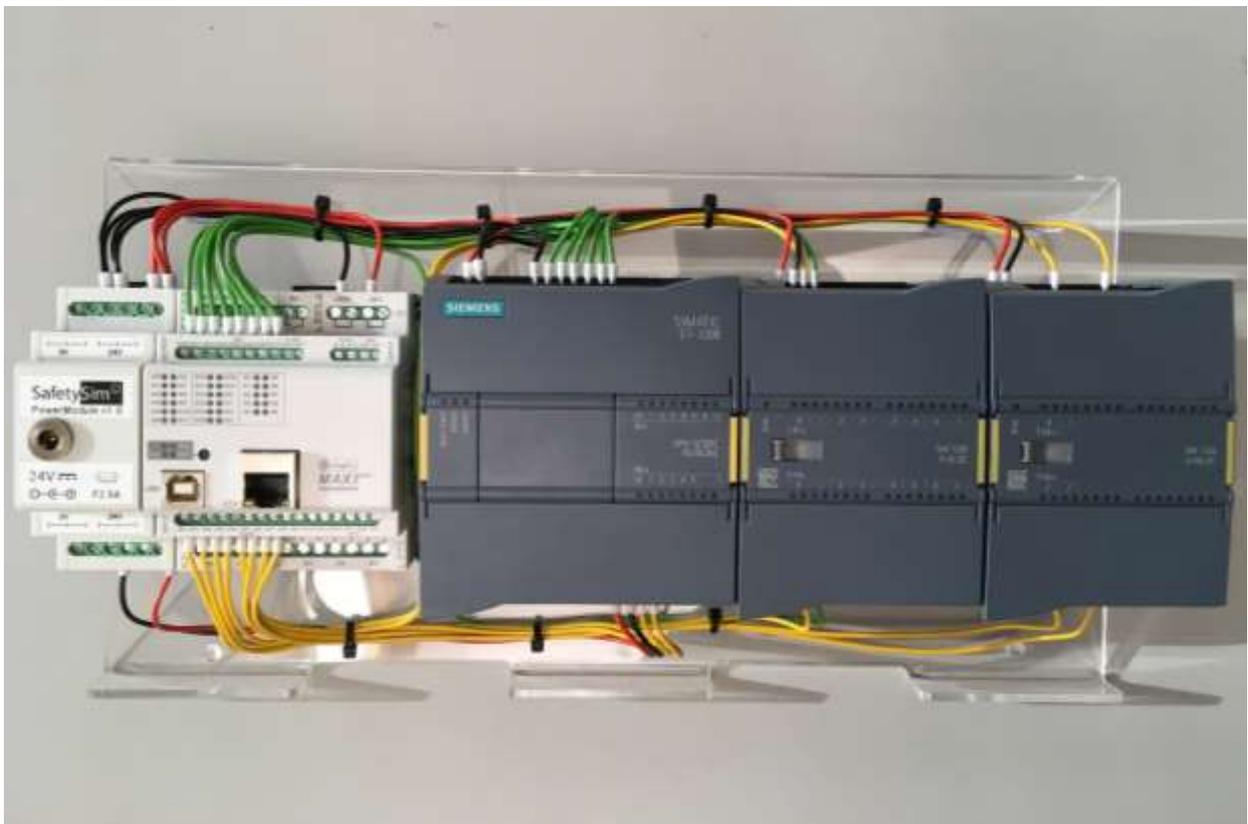


Abbildung 8. Vollständig konfektionierte Ausführung von SafetySim E/A-Adapter auf der Basis von SIEMENS s7-120F Sicherheits-SPS.

4.3 Software Framework

Das Main Software Framework umfasst mehrere Hauptfunktionsblöcke: einen Simulator für Elektroschaltungen, ein Framework für die interaktive Begleitung des Benutzers durch Trainingsaufgaben, eine Software-Komponente für die Visualisierung von 3D-Anlagen, und ein interaktives Benutzerinterface (GUI-System).

Das GUI-System beinhaltet die folgenden Software-Komponenten: ein graphisches Multi-Fenster-Menü, einen Szenenlader, ein System für die Verwaltung von Benutzereinstellungen, sowie mehrere Hilfs- und Organisationsmodule.

4.3.1 GUI-System: Hauptmenü / Szenenlader / Einstellungen

Abbildung 9 zeigt das Begrüßungsfenster des SafetySim Systems. Das Begrüßungsfenster bietet dem Benutzer fünf interaktive Lerneinheiten.

Maschinensicherheit: Dieser Abschnitt im Dialogmenü enthält die Referenzdokumente zu den allgemeinen Grundsätzen der Maschinensicherheit.

SafetySim Handbuch: Dieser Abschnitt im Dialogmenü enthält Informationen über die SafetySim-Anwendung. Der Benutzer findet hier nützliche Informationen zur Bedienung des Systems.

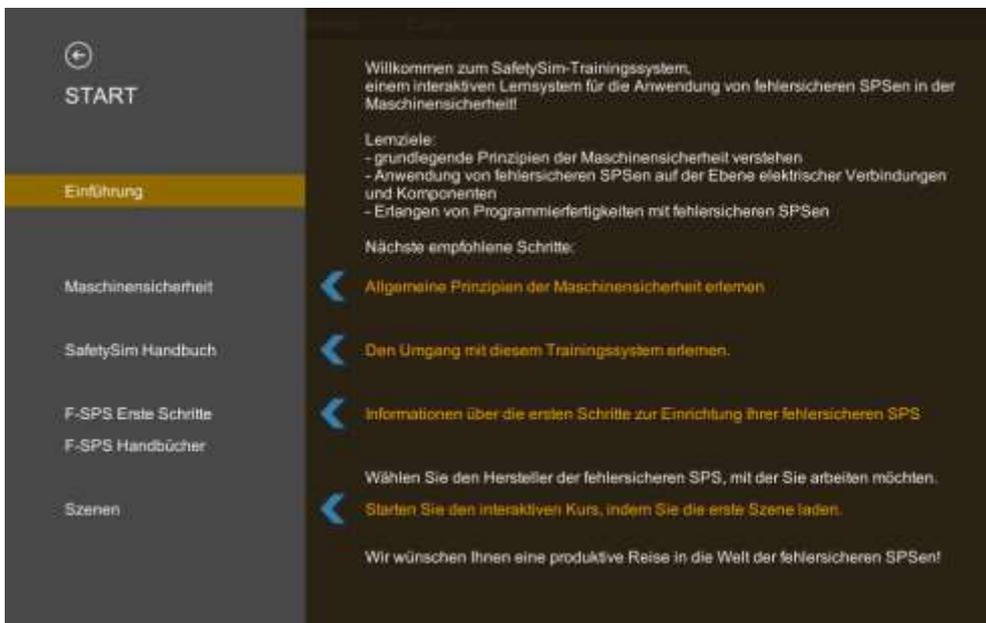


Abbildung 9. Das Begrüßungsfenster: Einführung in das System.

F-SPS Erste Schritte: Dieser Abschnitt im Dialogmenü enthält herstellerspezifisches Informationen zu F-SPS-Anwendungen und detaillierte Hardware-Konzepte.

F-SPS Handbücher: Ausführlichere und umfassendere Informationen über jedes herstellerspezifische PLC-Modell. Von den Herstellern zur Verfügung gestellte Unterlagen. Die meisten relevanten Informationen über die Baustein-Hardware, deren Programmierung und Anwendungsbeispiele der Sicherheits-SPSen.

Szenen: Dieser Abschnitt im Dialogmenü enthält mehrere Aufgabenszenen für verschiedene SPS-Typen. Interaktive Anlagensimulationen können hier gestartet werden und sind nach den PLC-Herstellern gruppiert.

Abbildung 10 zeigt das Menüfenster für das Selektieren eines spezifischen SPS-Typs. Die herstellerunabhängige Interoperabilität ist ein wichtiger Aspekt und ein wesentliches Merkmal unseres Systems. In Absprache mit dem Begleitkreis wurde die Entwicklung auf Eaton SPSen und auf Siemens-Produkte konzentriert.

Nach der SPS-Auswahl wird eine Liste der verfügbaren Szenen angezeigt. Jede Szene enthält dabei mehrere Aufgaben, die während der Übung bearbeitet werden müssen.

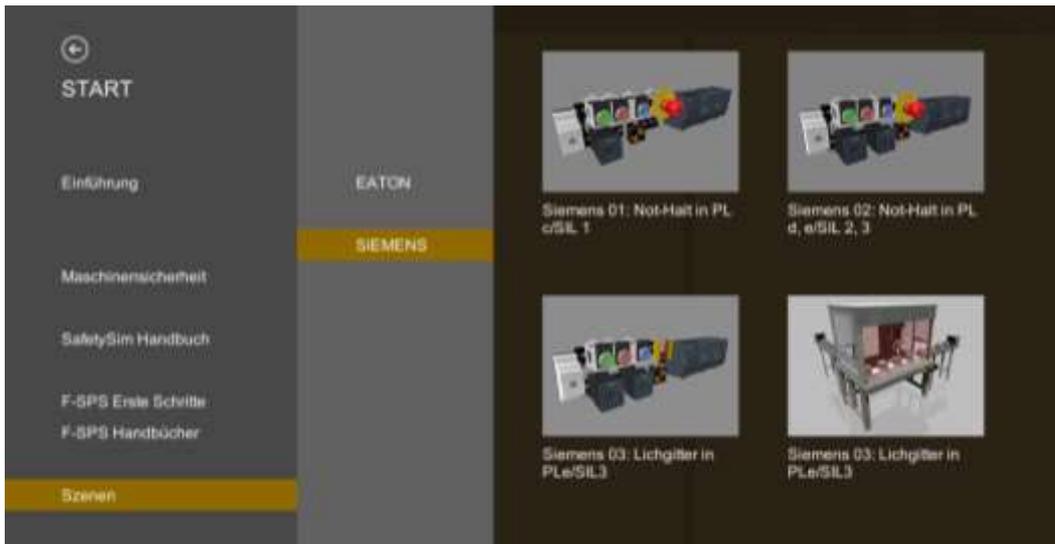


Abbildung 10. Das Menüfenster für die Auswahl von einem speziellen SPS-Typ: Unterschiedliche Szenen für den ausgewählten Typ des Herstellers SIEMENS sind aufgelistet.

Abbildung 11 stellt das Hauptmenüfenster der Simulationsanwendung dar. Es besteht aus zwei Hauptbestandteilen: einer 3D-Ansicht (links) und einem 2D-Schema (rechts). Die Schaltelemente sind interaktiv und reagieren auf die Benutzereingaben. Jede 2D-Darstellung einer sicherheitsrelevanten interaktiven Komponente auf dem Schaltplan wird in der linken Ansicht mit einem 3D-Gegenstück versehen. Dadurch ermöglicht das System Interaktion mit 3D-Tasten, Lichtvorhängen und anderen virtuellen Geräten in der 3D-Ansicht. Die Schaltungssignale werden während der Simulation in Echtzeit angezeigt. Das Dokument, das die Aufgaben enthält, kann vom oberen Menü des Hauptfensters geöffnet werden.

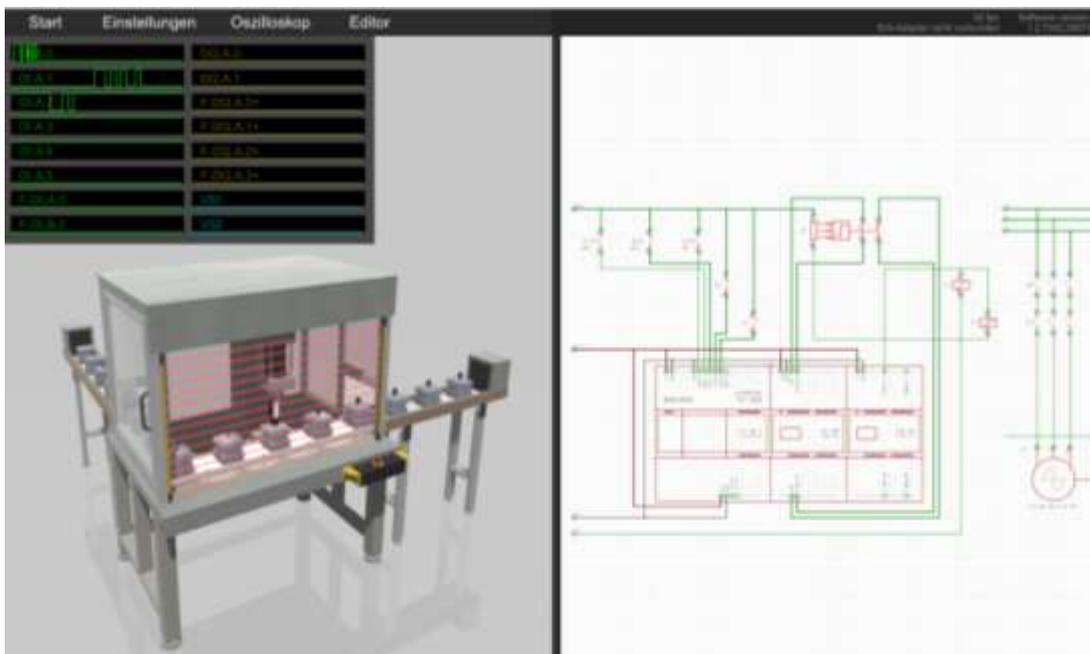


Abbildung 11. Beispielansicht des Hauptfensters: 3D Visualisierung einer industriellen Anlage (links), die mehrere Sicherheitskomponenten beinhaltet; 2D Visualisierung des zugrundeliegenden Schaltplans (rechts); das virtuelle digitale Oszilloskop (oben links) zeigt.

Neben diesen beiden Ansichten wird ein zusätzliches Fenster mit einem virtuellen Digitaloszilloskop (linke obere Ecke) angezeigt. In dem virtuellen Oszilloskop werden Echtzeitinformationen über die aktuellen Signale von und zur SPS visualisiert.

4.3.2 Framework für die interaktive Begleitung der Benutzer durch die Übungsaufgaben

Das Framework für die interaktive Begleitung eines Benutzers durch die Übungsaufgaben wurde implementiert. Das Framework umfasst mehrere Komponenten, die in zwei Kategorien zu unterteilen sind: Zustände und Bedienungen. Die relevanten 3D und 2D Komponenten in einer Szene werden mit mehreren Zustandskomponenten ausgestattet. Die Zustände werden mit Hilfe von Bedingungskomponenten mit einander verknüpft. Wenn eine Bedingung erfüllt ist (der Benutzer hat eine bestimmte Aktion ausgeführt, z.B. zwei Kabel miteinander verbunden), führt das System den Übergang von einem Zustand in den anderen Zustand aus. Dadurch können anspruchsvolle Benutzeraufgaben umgesetzt werden. Die Entscheidung, einen solchen Low-Level-Mechanismus einzuführen, ist von der Projektdidaktik vorgegeben. In späteren Phasen des Projekts wurde nicht mehr in dieser Form verwendet und durch einen automatischen Namensabgleich-Lader der externen Aufgabenbeschreibung im PDF-Format ersetzt (siehe Abbildung 12). Dies ermöglichte die unabhängige parallele Entwicklung von Software und Didaktik durch die verschiedenen Teams des Projekts.

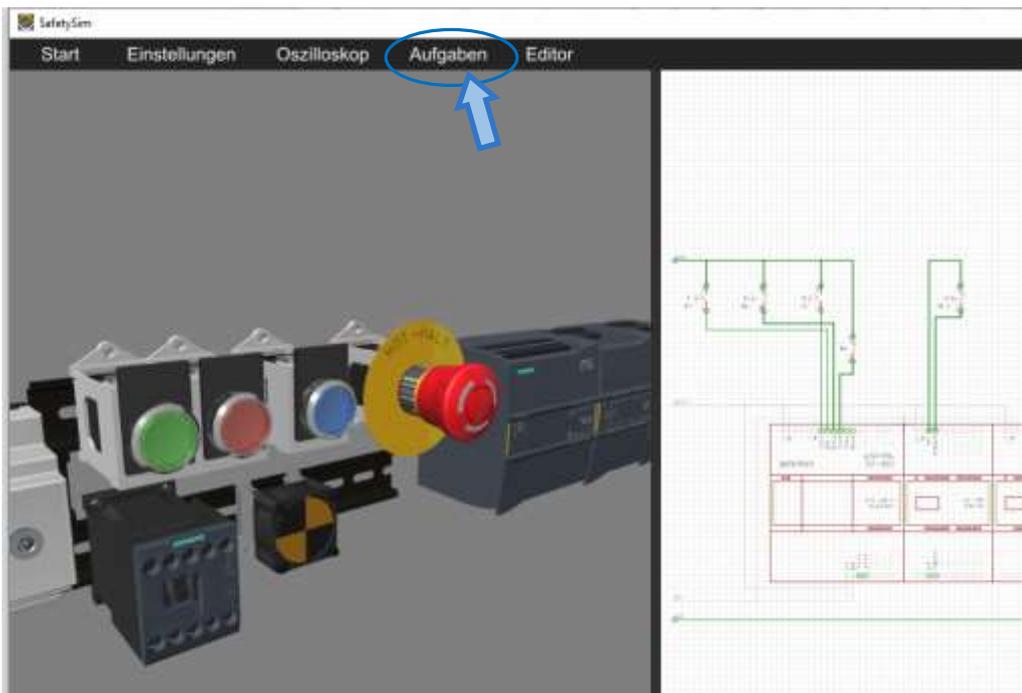


Abbildung 12. Die relevanten Aufgaben können jeder Szene individuell zugeordnet werden. Die externe übereinstimmende PDF-Datei wird dann angezeigt.

4.3.3 Modul für das Import der Autodesk Eagle Dateien

Für den Import des Schaltplans (Drähte) sowie elektrische Komponenten wie SPS, Taster, Relais, Schalter, Lichtvorhänge usw. wurde ein zusätzliches Modul entwickelt. Dieses Modul ermöglicht das Lesen des Schaltplans im nativen Eagle Datenformat. Dies erlaubt Anpassungen der Übungsaufgaben auf eine neue, sehr viel flexiblere Ebene.



Eine Bibliothek der verfügbaren Komponenten (einschließlich visueller Repräsentation und Semantik) wurde entwickelt. Der Schwerpunkt wurde auf die Kompatibilität zu den nativen Eagle-Bibliotheken gelegt, um die Flexibilität beim Design von Benutzeraufgaben zu gewährleisten.

4.3.4 Connectivity Matrix

Um die Aufteilung des Datenerfassungszyklus in zwei miteinander verbundenen Zyklen zu erreichen, wurde die Idee der so genannten Connectivity Matrix umgesetzt.

Auf der Seite der SPS beschreibt die Connectivity Matrix, welche Eingänge an welche Ausgänge angeschlossen sind, und simuliert somit die gesamte virtuelle Schaltung auf der anderen Seite (siehe Abbildung 13). Diese Matrix ermöglicht es der SPS, ihre Ausgangssignale an den Adapter zu senden und eine Antwort auf ihre Eingänge mit einer bestimmten festen Zeit von 0,1 ms zu erhalten.

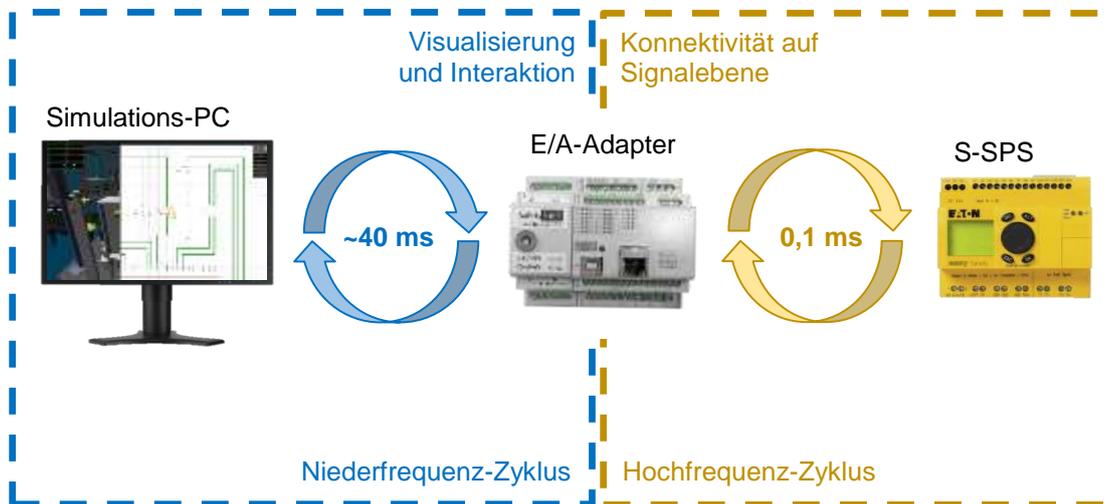


Abbildung 13. Zwei miteinander verbundene Zyklen werden verwendet, um die Anforderungen der hochfrequenzbeanspruchten Seite der SPS und gleichzeitig der berechnungsintensiven Seite (Niederfrequenz-Zyklus) des elektrischen Simulators zu erfüllen.

Eine solche Connectivity Matrix kann als reduzierte Darstellung (auf Ein- und Ausgänge) des gesamten virtuellen Schaltplans angesehen werden (siehe Abbildung 14). Für den einfachen Fall, dass keine Testsignale im Schaltplan vorhanden sind und er von einer einzigen Stromquelle angesteuert wird, erfordert die Berechnung einer solchen Connectivity Matrix eine einzige Ausführung einer elektrischen Simulation des Schaltplanes und dessen Auflösung für Spannungen an den Ausgängen unter Berücksichtigung der Eingänge.

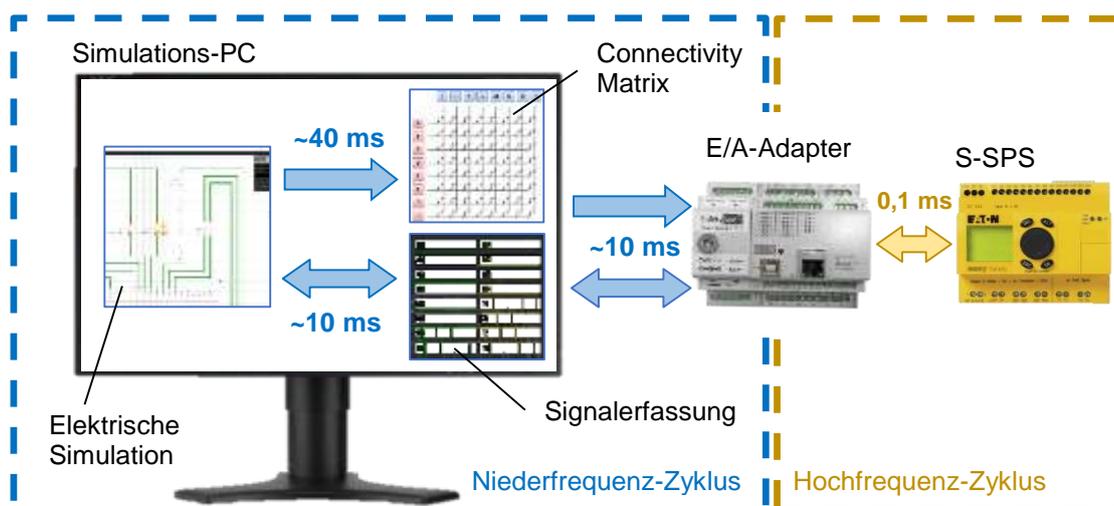


Abbildung 14. Daten-/Signalfluss innerhalb von zwei miteinander verbundenen Zyklen. Diese Anordnung dient dazu, die Anforderungen der hochfrequenzbeanspruchten Seite der SPS und gleichzeitig der rechenintensiven Seite der elektrischen Simulation zu erfüllen.

4.3.5 Simulation der elektrischen Schaltungen

Für die Simulation der elektrischen Schaltungen wurde eine Open-Source C# Bibliothek namens Circuits verwendet. Damit die Bibliothek in die SafetySim Anwendung integriert werden konnte, wurden die entsprechenden Schnittstellen und Datenstrukturen implementiert, die die Kommunikation zwischen der Bibliothek und der Anwendung ermöglichen. Mit dieser Lösung konnten wir die temporalen Anforderungen erfüllen.

Die Simulation eines Schaltplans stellte eine Herausforderung dar, da in einem Schaltplan mehrere (bei SIEMENS zwei, bei EATON vier) Testsignale vorhanden sind. Diese Testsignale werden zu verschiedenen Zeitpunkten ausgelöst, wodurch virtuell mehrere Instanzen des Schaltplans mit unterschiedlichen Stromquellen entstehen. Dieses Problem wurde gelöst, indem nacheinander so viele elektrische Simulationen durchgeführt werden wie Testsignale berechnet werden müssen, plus das ursprüngliche für die herkömmliche Stromversorgung. Die Ergebnisse aller Simulationen werden dann in einer Connectivity Matrix zusammengefasst, die an den Adapter übertragen werden kann. Dadurch konnte die Anwendung die Visualisierungsfrequenz über 30 Hz beibehalten und trotzdem die Schaltpläne vollständig auflösen.

4.3.6 2D-Schaltplaneditor

Der 2D-Editor wurde so konzipiert, dass er „Autodesk Eagle“ (eine PCB-Entwurfs- und Schaltplansoftware) repliziert. Die Anlehnung an diese PCB-Entwurfs- und Schaltplansoftware wurde aus dem Grund realisiert, um den Benutzern, die mit der Eagle-Software schon Erfahrung haben, eine erleichterte Erlernung ins das SafetySim System zu ermöglichen.

Der Schaltplaneditor ermöglicht Änderungen am Schaltplan einer geladenen Szene. Ein Beispielschaltplan, der in einen 2D-Editor geladen wird, ist in der Abbildung 15 dargestellt.

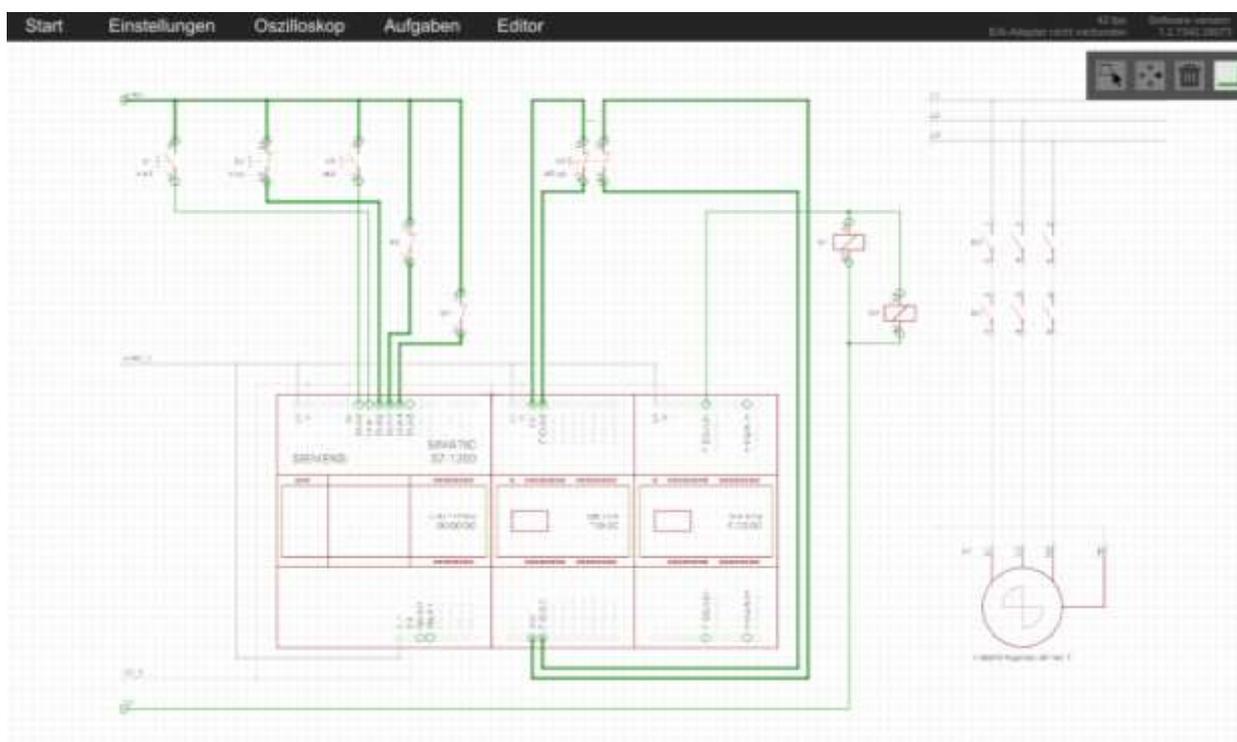
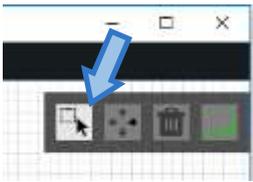
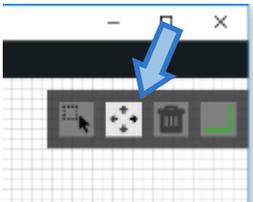


Abbildung 15. Ein Beispiel für einen Schaltplan, wie er im der 2D-Schaltplaneditor der SafetySim-Anwendung realisiert worden ist. Aktive elektrische Signale werden mit dickeren Linien dargestellt. Die Darstellung ist interaktiv: Änderungen in den Signalen werden im Schaltplan in Echtzeit abgebildet.

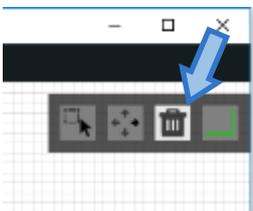
Die folgenden Editor-Modi wurden im Berichtszeitraum realisiert und in der aktuellen Version der Software verfügbar:



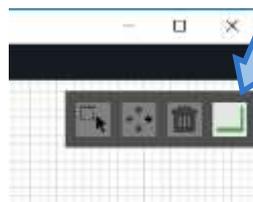
Drähte auswählen. Mit dem Modus „Drähte auswählen“ können die Drähte/Verbindungen im Schaltplan ausgewählt werden, um anschließend weitere Aktionen an den Drähten durchzuführen. Die aktuelle Version des Simulators unterstützt nur das Löschen ausgewählter Drähte/Verbindungen.



Drähte verschieben. Mit dem Modus „Drähte verschieben“ können die Drähte/Verbindungen im Schaltplan frei bewegt werden. Diese Bewegung bewahrt die Verbindung zwischen dem zu bewegenden Segment und dem Rest des Drahtes. Logische Verbindungen (Semantik) bleiben während dieser Operation erhalten. Selbst übereinanderliegende Drähte werden in diesem Modus nicht miteinander verbunden. Auf der elektrischen Ebene (Semantik) bleiben sie daher getrennt.



Drähte löschen. Mit dem Modus „Drähte löschen“ können die Drähte/Verbindungen mit einem einzigen Klick mit der linken Maustaste gelöscht werden. Eine weitere Methode zum Löschen von Drähten ist, den Modus „Drähte auswählen“ einzuschalten, den zu löschenden Draht auszuwählen und dann die Entfernung-Taste auf der Tastatur zu drücken.



Drähte erstellen/zeichnen. Der Editor-Modus „Drähte erstellen/zeichnen“ ermöglicht die Erstellung neuer Draht-/Verbindungselemente. Nach der Aktivierung dieses Modus startet ein einfacher Klick mit der linken Maustaste das Zeichnen eines neuen Drahtes/Verbindung. Der Zeichenmodus kann mit der rechten Maustaste ausgewählt werden. Jede Betätigung der rechten Maustaste wechselt in den nächsten Zeichenmodus, bis alle Zeichenmodi durchlaufen sind (siehe Abbildung 16).



Abbildung 16. Verfügbare Drahtziehverfahren. Von links nach rechts: Freier Modus (diagonal), rechte 90°-Ecke, linke 90°-Ecke. Mit der rechten Maustaste wählbar.

Die Schaltpläne können mit dem externen Schaltplaneditor Autodesk Eagle bearbeitet oder erstellt werden. Nur Komponenten aus einer speziellen SafetySim-Bibliothek können zur Erstellung der Schaltpläne verwendet werden (Abbildung 25), die vom SafetySim Simulator korrekt simuliert werden. Diese Bibliothek der SafetySim-Komponenten wird mit dem System mitgeliefert.

4.3.7 Signaloszilloskop und Signalhervorhebung

Ein virtuelles digitales Signaloszilloskop wurde realisiert (siehe Abbildung 17). Dieses virtuelle Digitaloszilloskop zeigt in Echtzeit alle Ein- und Ausgangssignale der angeschlossenen Sicherheits-SPS an.

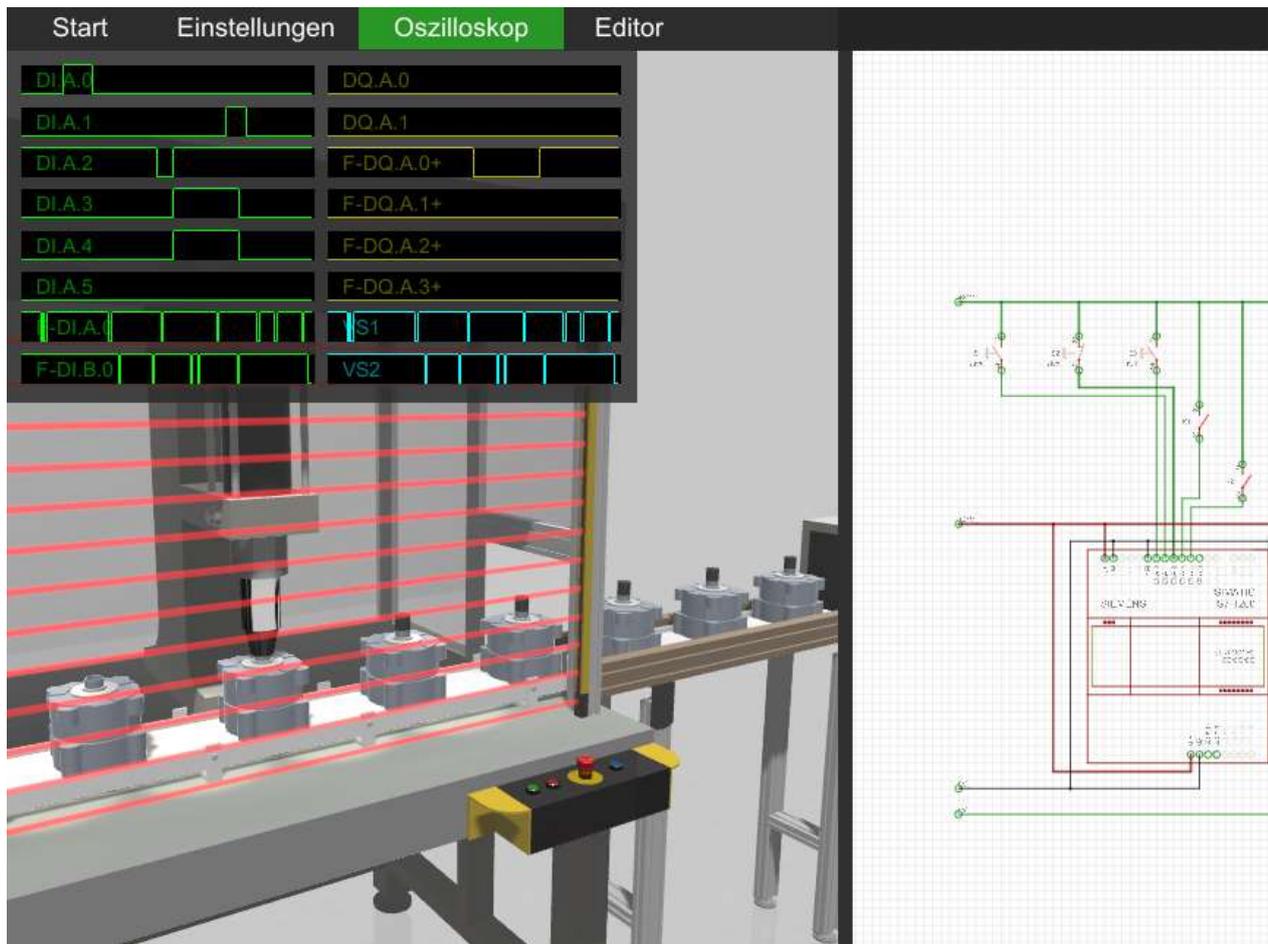


Abbildung 17. Virtuelles digitales Oszilloskop, das die Signale der Sicherheits-SPS in Echtzeit anzeigt (in diesem Fall Signale von Siemens S7-1200F F-SPS).

Als Beispiel werden hier Signale einer Siemens S7-1200F Safety SPS dargestellt. Die SPS-Eingangssignale DI.A.0 bis DI.A.5 und F-DI.A.0, F-DI.B.0 werden in der linken Hälfte des Oszilloskopfensters in grüner Farbe angezeigt. Die SPS-Ausgangssignale DQ.A.0, DQ.A.1 und F-DQ.A.0+ bis F-DQ.A.3+ werden in der rechten Hälfte des Oszilloskopfensters in gelber Farbe angezeigt. Die Testsignale VS1 und VS2 werden unten rechts in blau Farbe angezeigt.

Für das Beispiel im Abbildung 17 wurde ein virtueller Schaltkreis in den Simulator geladen. Er verfügt über einen zweikanaligen Not-Aus-Taster. Der Taster wird an die SPS-Testsignalausgänge VS1 und VS2 angeschlossen. Wie in der Abbildung 17 zu sehen ist, entsprechen die SPS-Eingangssignale F-DI.A.0 und F-DI.B.0, die als Rückmeldung vom Taster zurückkommen, genau den ursprünglichen VS1- und VS2-Signalen. Jede Änderung der Signale wird sofort auf dem Oszilloskop reflektiert und gibt dem Anwender ein echtes visuelles Feedback in Echtzeit.

Zusätzlich werden alle Signale in Echtzeit auf dem Schaltplan (siehe Abbildung 15) selbst angezeigt. Drähte mit aktiven Signalen (mit auf 24 V eingestellte m Potential) werden durch die erhöhte Dicke der Linien angezeigt. Leitungen mit passiven Signalen (mit Potential auf 0 V) werden als dünne Linien angezeigt. Diese Live-Darstellung der Signale im Schaltplan ist ein sehr nützliches Feature bei der Fehlerdiagnose.

4.3.8 Fehlerinjektion

Eine der einzigartigen Eigenschaften, die der SafetySim Simulator bietet, ist der Fehlerinjektionsmechanismus. Der SafetySim Simulator ist in der Lage, mehrere verschiedene Fehler zu simulieren, die im Falle einer Fehlfunktion einer Industriemaschine während des Betriebs auftreten können. Folgende sicherheitstechnische Störungen können durch den Anwender ausgelöst werden:

- Kontaktverschweißungen
- Kontaktbrüche
- Querkurzschlüsse

Die Anzahl der gleichzeitigen Fehler, die im Schaltplan eingefügt werden können, ist nur durch die Anzahl der fehlerhaft verbundenen bzw. konfigurierten Komponenten begrenzt. Dadurch können komplexere Störungen durch unterschiedliche Fehler an verschiedenen Kontakten desselben Schützes hervorgerufen werden.

Ein Rechtsklick auf das Kontaktpaar des Schützes zeigt das Auswahlmenü des Fehlers, siehe rechte obere Ecke von Abbildung 18.

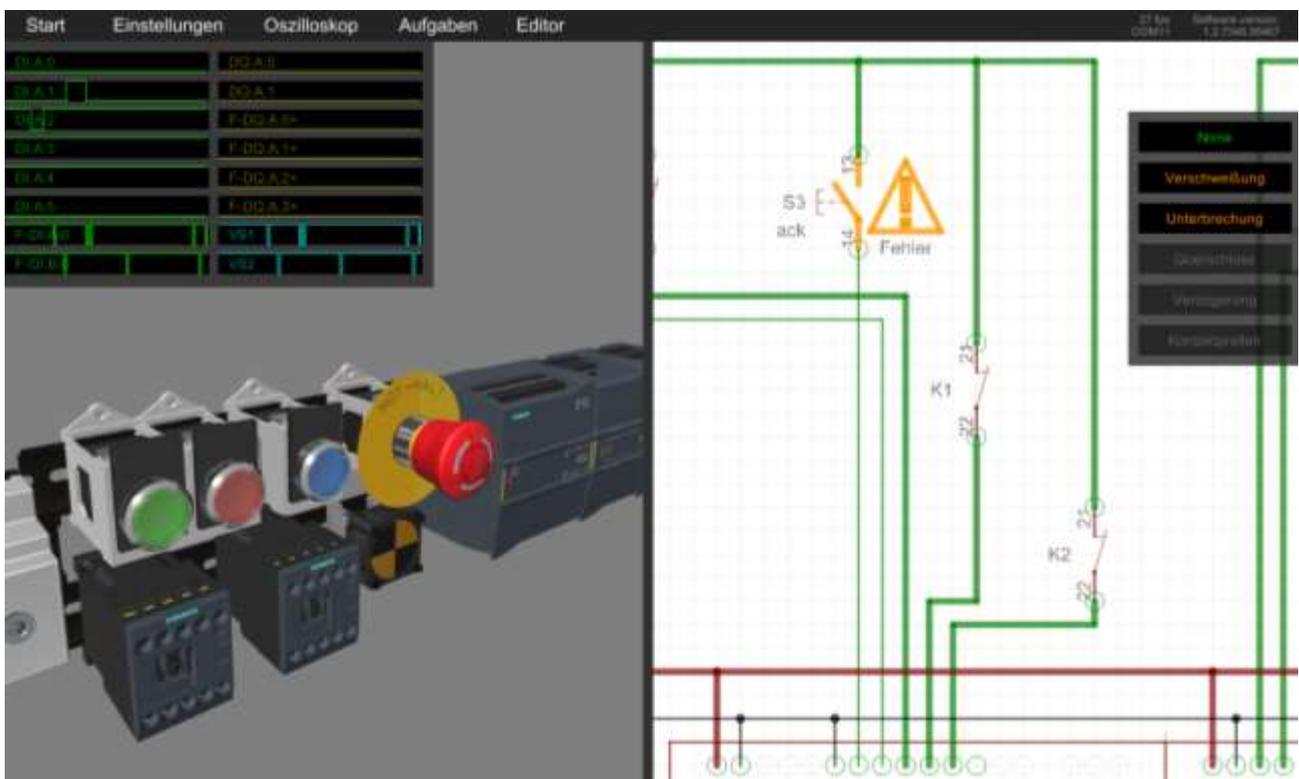


Abbildung 18. Das Fehlerinjektionsmenü in der rechten oberen Ecke. Dieses kann durch Rechtsklick auf die Schaltplankomponente, welche die Fehlerinjektion unterstützt, aufgerufen werden.

4.3.8.1 Kontaktverschweißung

Eine Kontaktverschweißung kann in virtuellen Schützen oder Relais induziert werden. Es betrifft das gesamte Schütz und nicht nur ein einziges Kontaktpaar. Dies imitiert eine typische Fehlfunktion, wenn ein einzelnes Kontaktpaar verschweißet und das gesamte Schütz in dieser Position hält.

Ein Kontaktverschweißungsfehler schaltet alle Kontakte des gleichen Typs (z. B. Schließer, NO) unabhängig vom Zustand zum Zeitpunkt der Fehlerinjektion, und alle Kontakte des anderen Typs (z. B. Öffner, NC) werden unabhängig von ihrem Ausgangszustand in den offenen Zustand gebracht (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20).

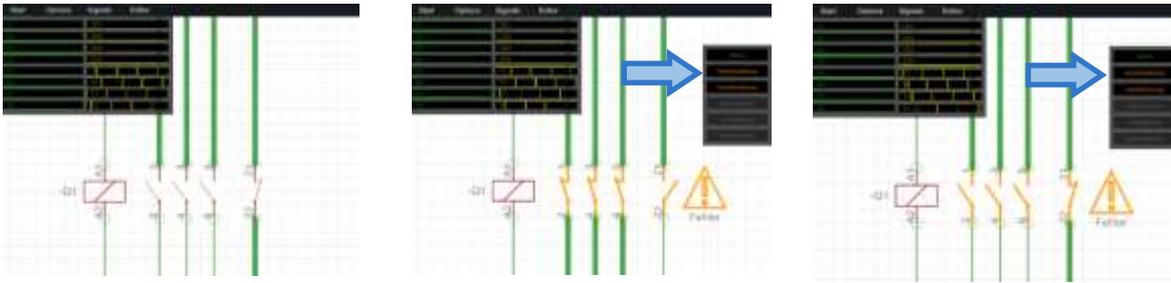


Abbildung 19. Reaktion verschiedener Kontaktarten (NO oder NC) auf die Kontaktverschweißung bei einem Schütz im passiven Zustand (Spule A1-A2 im stromlosen Zustand). Links: keine Fehler; Mitte: Kontaktverschweißungsfehler an einem der drei Schließerkontakte; Rechts: Kontaktverschweißungsfehler am Öffnerkontakt.

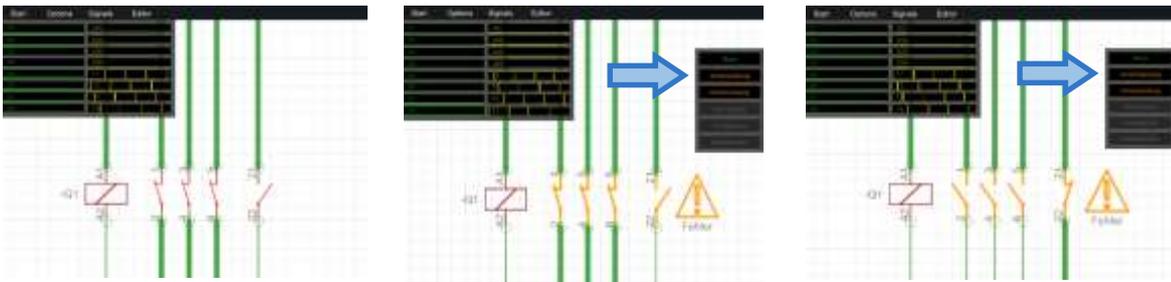


Abbildung 20. Reaktion verschiedener Kontaktarten (NO oder NC) auf die Kontaktverschweißung bei einem Schütz im aktiven Zustand (Spule A1-A2 unter Spannung). Links: keine Fehler; Mitte: Kontaktverschweißungsfehler an einem der drei Schließerkontakte; Rechts: Kontaktverschweißungsfehler am Öffnerkontakt.

4.3.8.2 Kontaktbruch

Im Gegensatz zum Kontaktverschweißungsfehler wirkt der Kontaktbruchfehler auf ein einzelnes Kontaktpaar des Schützes. Er muss individuell auf jedes Kontaktpaar angewendet werden, wenn mehr als ein Fehler pro Schütz eingestellt werden soll. Ein rechter Mausklick auf das Kontaktpaar des Schützes zeigt das Auswahlménü des Fehlers, wie es in der rechten oberen Ecke der Abbildung 18 zu sehen ist. Ein Kontaktöffnungsfehler öffnet das Kontaktpaar unabhängig vom Ausgangszustand (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22).

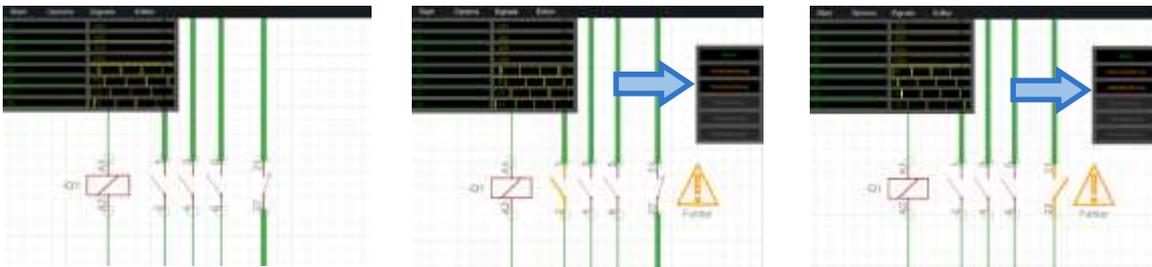


Abbildung 21. Reaktion verschiedener Kontaktarten (NO oder NC) auf den Kontaktbruch bei einem passiven Schütz (Spule A1-A2 im stromlosen Zustand). Links: keine Fehler; Mitte: Kontaktbruch am ersten der drei Schließer; Rechts: Kontaktbruch am Öffner.

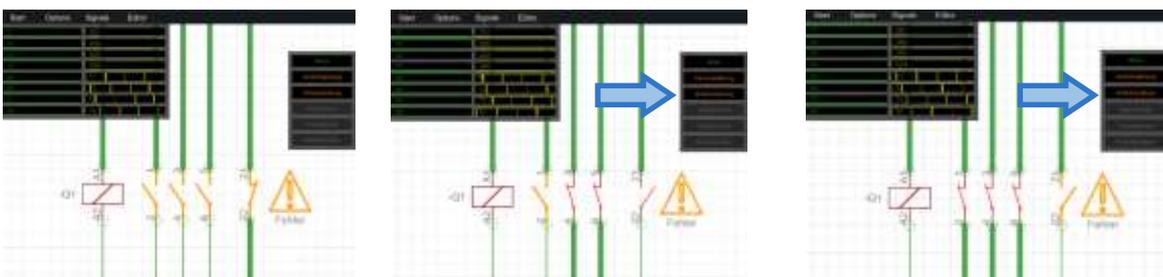


Abbildung 22. Reaktion verschiedener Kontaktarten (NO oder NC) auf die Kontaktbruchfehler-Einspeisung bei einem passiven Schütz (Spule A1-A2 unter Spannung). Links: keine Fehler; Mitte: Kontaktbruch am ersten der drei Schließer; Rechts: Kontaktbruch am Öffner.

4.3.8.3 Querschlüsse

Die Erstellung eines Querschchlussfehlers erfordert die Verwendung des Editor-Modus des Simulators. Er kann aus dem Hauptmenü der Anwendung unter „Editor“ ausgewählt werden. Es erscheint das Editor-Menü, wie es in der oberen rechten Ecke von Abbildung 23 links zu sehen ist.

Um zwei Stromkreise zu kreuzen, muss ein neuer Draht/Verbindung gezogen werden, der sie wie in Abbildung 23 dargestellt verbindet. Die Testsignaleingänge IS7 und IS8 weisen aufgrund eines Querschusses keine negativen Signalspitzen auf (siehe Oszilloskop im rechten Teil von Abbildung 23).

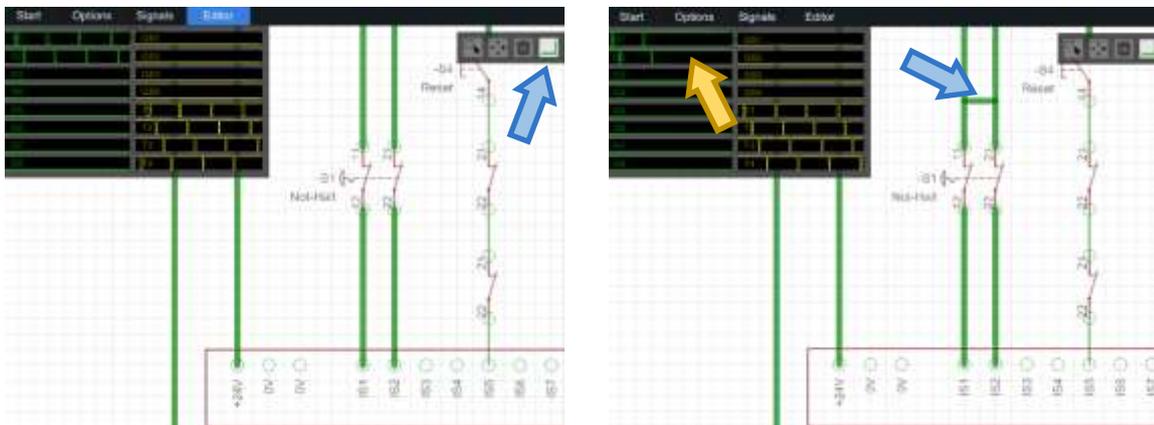


Abbildung 23. Links: Editor-Menü mit ausgewähltem Verdrahtungsmodus (grüne Linie); Rechts: Einführung eines Querschusses. Die Testsignaleingänge IS7 und IS8 weisen aufgrund eines Querschusses keine negativen Signalspitzen auf.

4.3.8.4 Kombination mehrerer Fehler

Ein Beispiel für einen kombinierten Fehler kann die Anwendung eines Schweißkontaktfehlers (der das gesamte Schütz betrifft) sein, gefolgt von einer einzigen Kontaktunterbrechung. Dieses Szenario hat jedoch eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit, im realen Betrieb aufzutreten (siehe Abbildung 24).

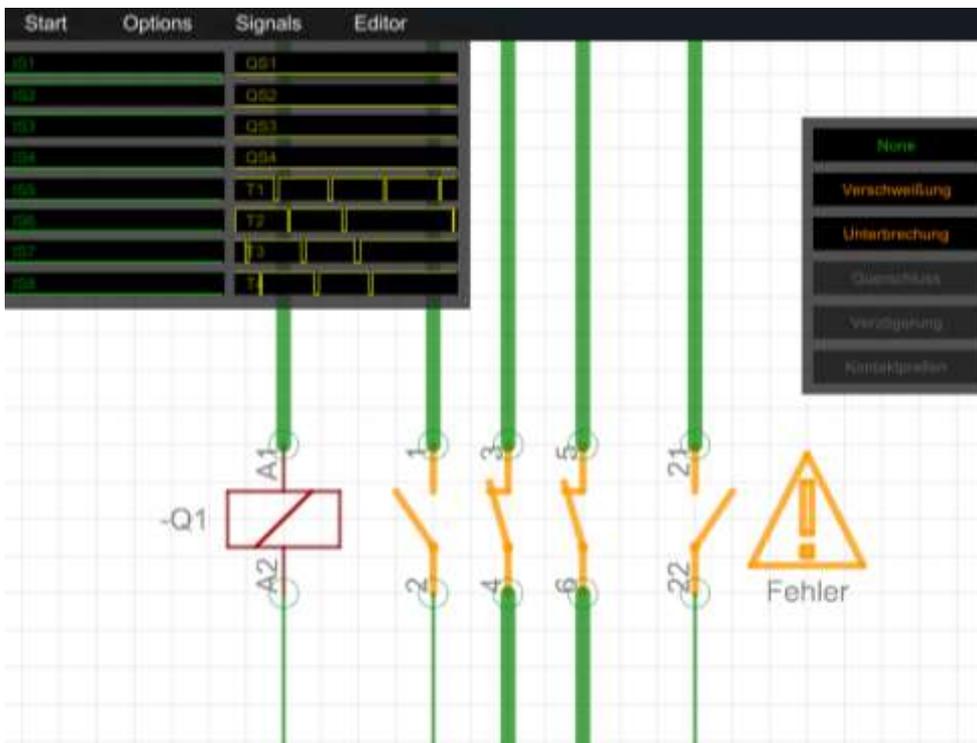


Abbildung 24. Kontaktverschweißung kombiniert mit Kontaktbruch.

4.3.9 Erstellung von 2D und 3D Modelle von relevanten Sicherheitskomponenten

Mehrere virtuelle, elektrische/mechanische Komponenten wurden während der Berichtsperiode entwickelt: SPS EATON easy Safety, SPS Siemens S7-1200 Safety, NOT-HALT, NO-Drucktaste, NC-Drucktaste, Schütz, Schutztür, Motor (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26).

Interaktive 2D-Darstellung von Komponenten für den Schaltplan-Editor:

3D-Modell von Komponenten im CAD-Editor:

Interaktives, 3D-gerendertes Modell der Komponente:

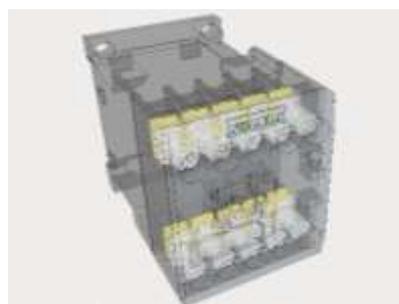
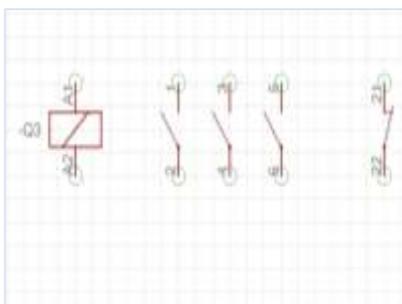
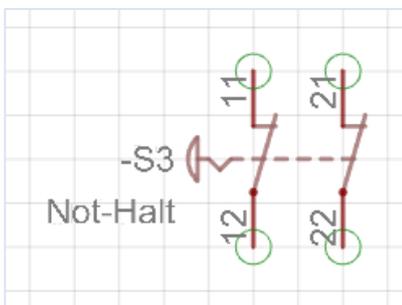
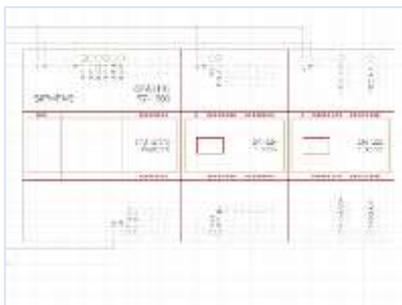
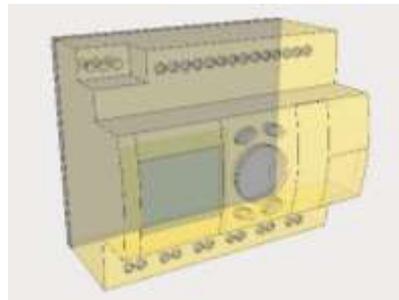
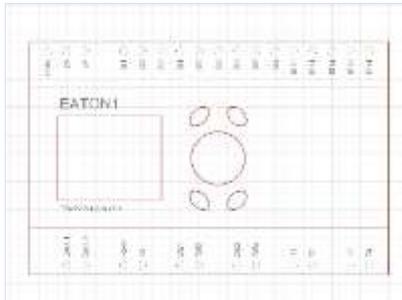


Abbildung 25. Entwickelte aktive Komponenten, die 2D-, 3D- und Semantische (Elektroniksimulations-relevante) Repräsentationen unterstützen. 1. Reihe: Eaton Easy Safety F-SPS Eaton-ES4P-221-DMXD1; 2. Reihe: Siemens S7-1200F F-SPS SIEMENS S7-1200 CPU 1212FC DC-DC-DC, SM1226 F-DI DC, SM1226 F-DQ DC; 3. Reihe: Siemens SIRIUS ACT NOT-HALT Schalter, 4. Reihe: Schütz SIEMENS SIRIUS 3RT2015-1KB42.

Interaktive 2D-Darstellung von Komponenten für den Schaltplan-Editor:

3D-Modell von Komponenten im CAD-Editor:

Interaktives, 3D-gereinigtes Modell der Komponente:

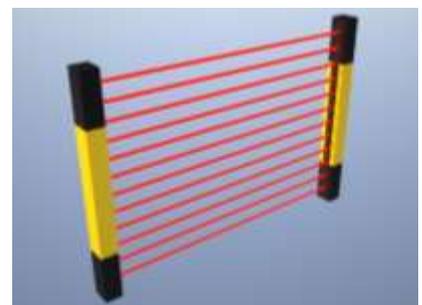
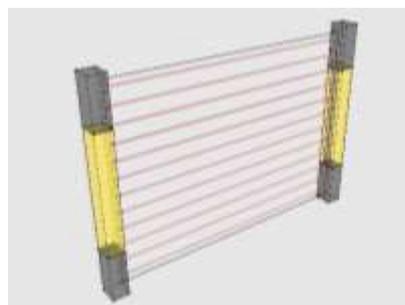
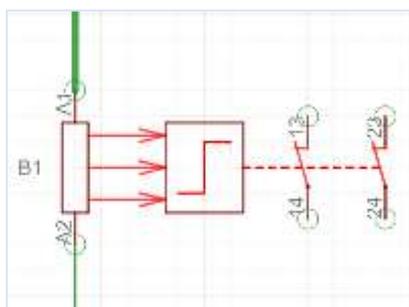
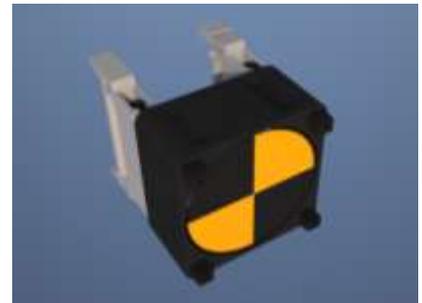
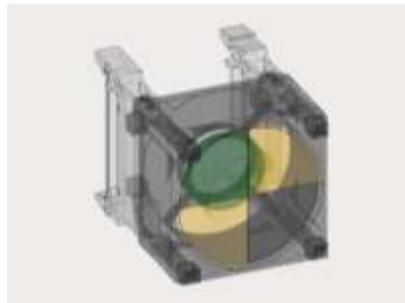
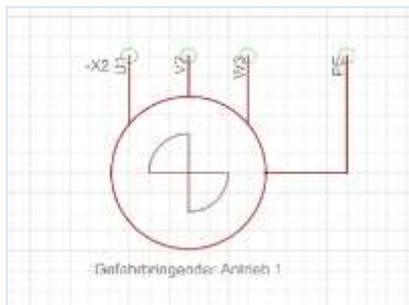
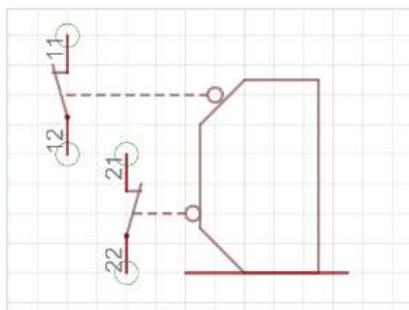
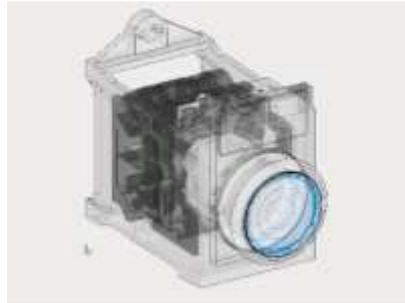
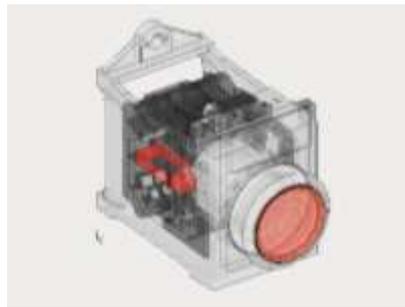
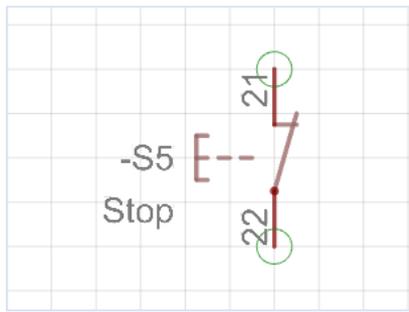


Abbildung 26. Entwickelte aktive Komponenten, die 2D-, 3D- und Semantische (Elektroniksimulations-relevante) Repräsentationen unterstützen. 1. Reihe: Siemens SIRIUS ACT NC-Taste rot; 2. Reihe: Siemens SIRIUS ACT NO-Taste blau; 3. Reihe: Schutztür als mechanischer Schutzvorrichtung an der virtuellen Anlage; 4. Reihe: Abstrakter virtueller Motor, exemplarisch basierend auf einem Mini-Lüfter; 4. Reihe: Abstrakter virtueller Lichtvorhang mit zwei externen Testsignaleingängen.

Je nach interaktiver Komponente (Taster mit Federrückstellung oder rastend Not-Halt-Schalter (siehe Abbildung 27)) löst er den Zustand aus oder bleibt bei Betätigung aktiv.

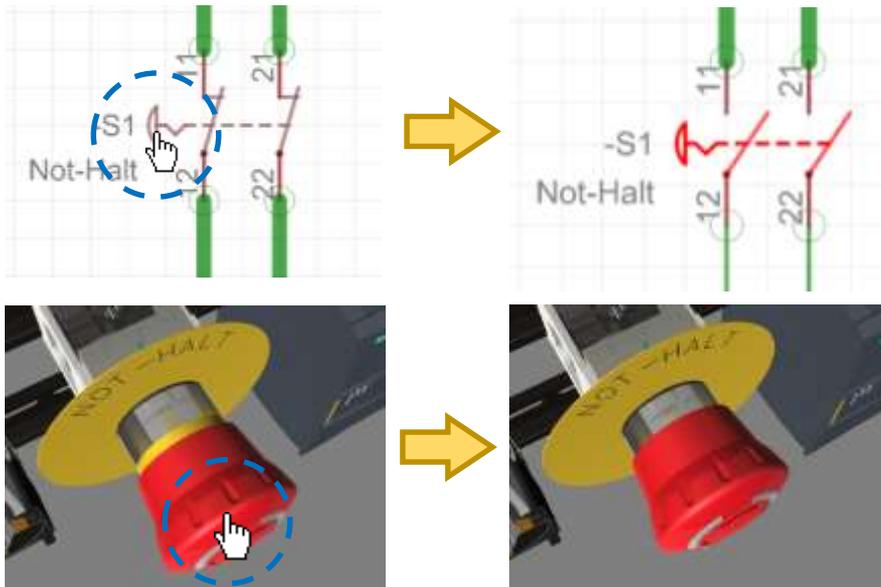


Abbildung 27. Änderung des Mauszeigers während der Interaktion mit dem Not-Halt-Schalter.

4.3.10 3D Szenen Import: Automatische Namensverknüpfung

Um den Prozess der Erstellung neuer Szenen zu optimieren, wurde ein Softwaremodul erstellt, das es ermöglicht, automatisch nach den entsprechenden Namen in dem 3D-Eingangsmodell, das direkt aus SketchUp Make 2015 geladen wurde, und einem entsprechenden 2D-Schaltplan, der aus dem Autodesk Eagle 9.2.0 importiert wurde, zu suchen. Die richtige Übereinstimmung erzeugt eine virtuelle semantische Kopplung zwischen 2D- und 3D-Ansichten, so dass beide Ebenen in Echtzeit für den Benutzer vollständig interaktiv sein können (siehe Abbildung 28).

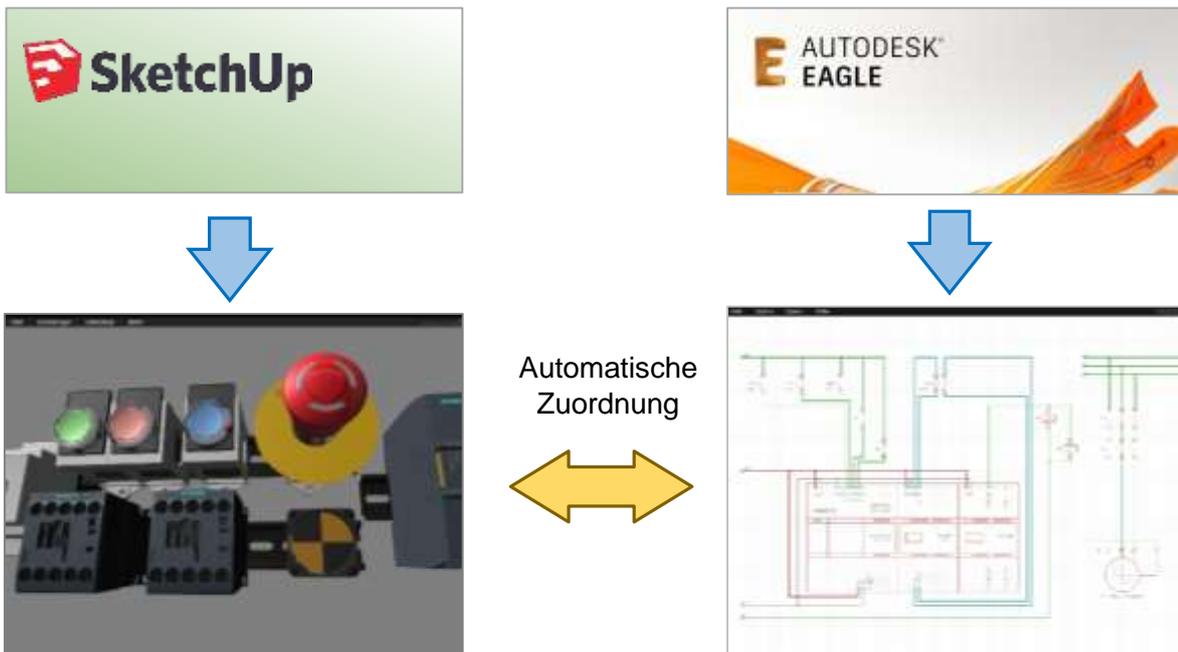


Abbildung 28. Automatische Zuordnung zwischen 2D-Schema und 3D-Maschinenmodell.

4.4 Szenen (Lernszenarien)

Für die beiden SPS-Hersteller Eaton und Siemens wurden jeweils einige Szenen erstellt. Unter Szene ist das gesamte Simulationsszenario, das entsprechende interaktive 3D-Modell und die Live-Darstellung des 2D-Schaltbildes einschließlich der Aufgaben zu verstehen. Nach Auswahl der Szene erkennt das Simulationssystem automatisch den angeschlossenen E/A-Adapter und emuliert oder imitiert von diesem Moment an die virtuelle Maschine in Echtzeit, so dass die angeschlossene SPS genauso reagiert wie bei einer realen Maschine.

4.4.1 Eaton Szenen

- **Eaton Szene 01:** Stillsetzen im Notfall (siehe Abbildung 29).
 - Was wird in der Szene für die Schülerinnen und Schüler (SuS) vorbereitet?
In der Szene ist eine einfache Motorsteuerung mit einem Bedienelement (Quittier- bzw. Reset-Taster) sowie einem Not-Halt-Taster aufgebaut. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 3. Das bedeutet u. a., dass die sicherheitsrelevanten Funktionen zweikanalig realisiert sind.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Um den Vorteil eines höheren Sicherheitslevels erkennen zu können, sollen die Schüler Fehler einbauen, z. B. die Simulation der Verschweißung von Kontakten eines der Motorschütze.
 - Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Schüler können die Fehler mithilfe der Maus-Bedienung im Schaltplan erzeugen. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
 - Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweierteams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.
 - Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
Aufgrund des hohen Sicherheitslevels (SIL 3) kann der Motor trotz des Fehlers (in unserem Beispiel Kontaktverschweißungen an einem Schütz) über den Not-Halt-Taster stillgesetzt werden. Das wäre bei einer Steuerung, die lediglich SIL 1 entspricht, nicht möglich. Das heißt, dass sich in diesem Falle der Motor mit den verfügbaren Bedienelementen nicht mehr stillsetzen ließe.
 - Was lernen sie aus der Aufgabe?
Die Aufgabe sensibilisiert die Schüler für die Bedeutung und die Vorteile eines möglichst hohen Sicherheitslevels. Das trifft vor allem beim Auftreten von Fehlern zu. Grundsätzlich gilt: Je höher das Sicherheitslevel einer Steuerung ist, umso sicherer bzw. fehlertoleranter ist sie. Die Sicherheit der Nutzer erhöht sich also mit steigendem Sicherheitslevel.

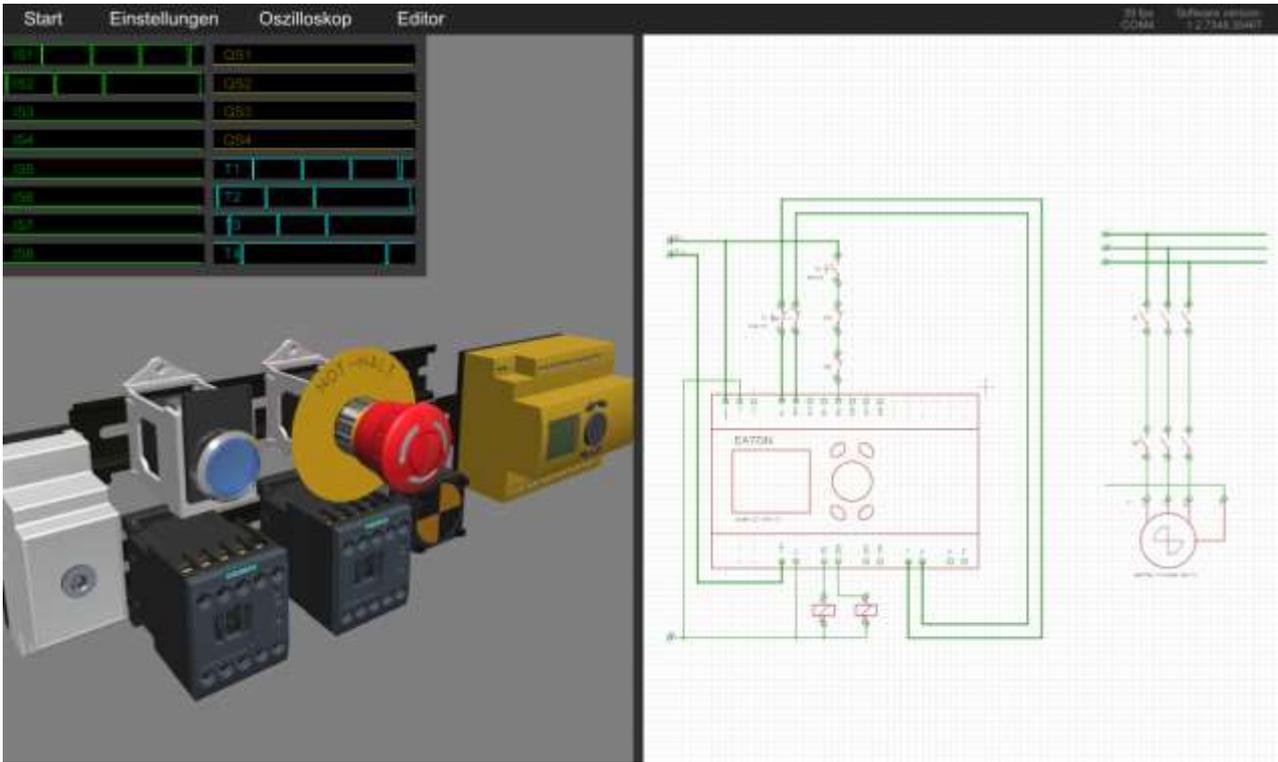


Abbildung 29. Eaton Intro Szene: Stillsetzen im Notfall. Die Szene visualisiert PLe/SIL3 Sicherheitslevel. Enthält die folgenden Komponenten: eine Eaton F-SPS, ein Not-Halt Pilz, zwei Schützen, eine Quittierung-Taste, und ein Motor.

- **Eaton Szene 02:** Bewegliche Schutzeinrichtung (siehe Abbildung 30).
 - Was wird in der Szene für die SuS vorbereitet?
In der Szene ist eine Motorsteuerung mit einem Bedienelement (Quittier- bzw. Reset-Taster), einem Not-Halt-Taster sowie einer Tür-Sicherung aufgebaut. Werden entweder der Not-Halt-Taster oder der Tür-Endschalter, was einer Öffnung der Tür gleichkommt, betätigt, wird der Motor stillgesetzt. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 3. Das bedeutet u. a., dass die sicherheitsrelevanten Funktionen zweikanalig realisiert wurden.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Auch in dieser Szene werden die Schüler Fehler einbauen, z. B. die Simulation der Verschweißung von Kontakten eines der Motorschütze.
 - Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Fehler werden auch in diesem Szenario mithilfe der Maus im Schaltplan erzeugt. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
 - Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweier-teams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.
 - Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
Aufgrund des hohen Sicherheitslevels (SIL 3) kann der Motor trotz der beispielhaften Kontaktverschweißung an einem Schütz beispielsweise über den Not-Halt-Taster stillgesetzt werden. Darüber hinaus ist auch die Absicherung der Tür weiterhin

funktionsfähig. Beides wäre bei einer Steuerung, die nur SIL 1 entspricht, nicht möglich. Das heißt, dass sich in diesem Falle der Motor mit den verfügbaren Bedienelementen nicht mehr stillsetzen ließe.

- Was lernen sie aus der Aufgabe?
Auch diese Aufgabe sensibilisiert die Schüler für die Bedeutung und die Vorteile eines möglichst hohen Sicherheitslevels. Das trifft vor allem beim Auftreten von Fehlern zu. Grundsätzlich gilt: Je höher das Sicherheitslevel einer Steuerung ist, umso sicherer bzw. fehlertoleranter ist sie. Die Sicherheit der Nutzer erhöht sich also mit steigendem Sicherheitslevel.

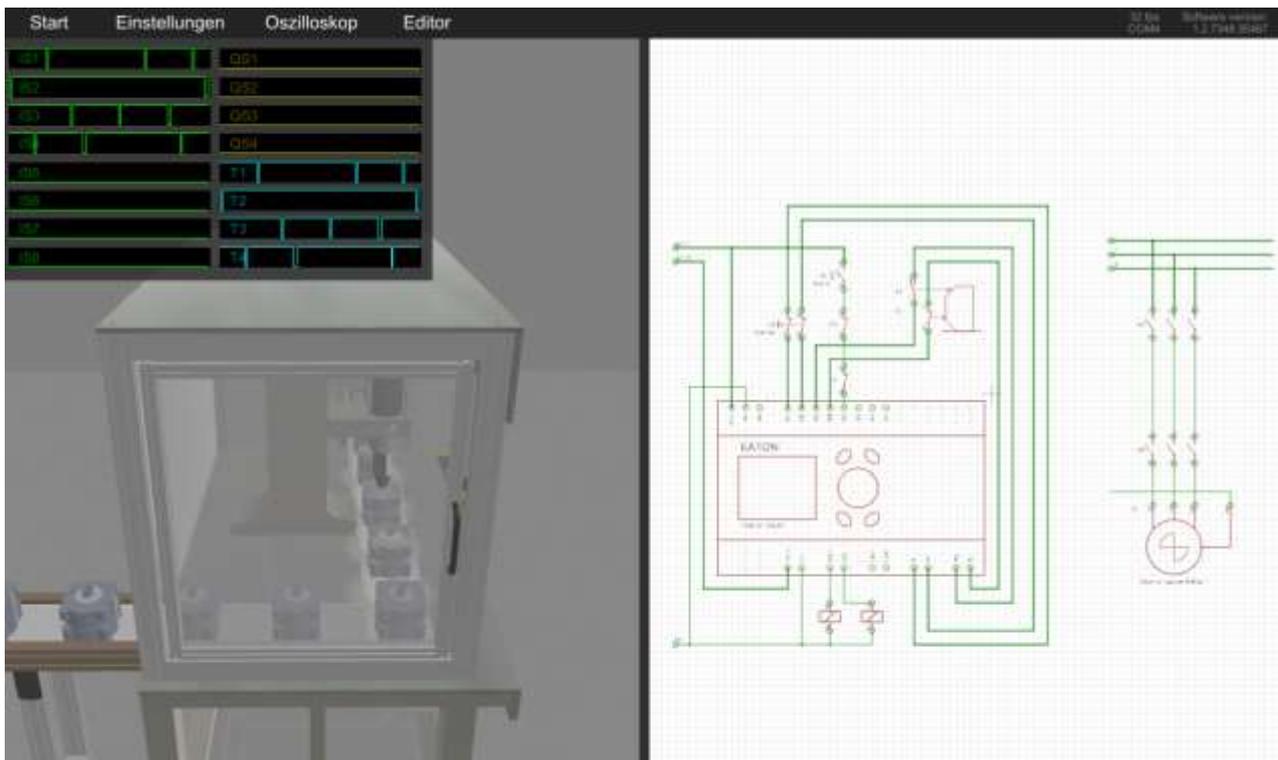


Abbildung 30. Eaton Szene 01: Bewegliche Schutzeinrichtung. Die Szene visualisiert PLe/SIL3 Sicherheitslevel. Enthält die folgenden Komponenten: eine Eaton F-SPS, ein Not-Halt Pilz, zwei Schützen, eine Quittierung-Taste, eine Sicherheitstür, und ein Motor.

- **Eaton Szene 03:** Stillsetzen im Notfall mit zwei Antrieben (siehe Abbildung 31).
 - Was wird in der Szene für die SuS vorbereitet?
In der Szene ist die Steuerung von zwei Motoren mit jeweils den üblichen Bedienelementen (Start- und Stopp-Taster) sowie einem Quittier- und einem Not-Halt-Taster aufgebaut. Über die Stopp- sowie den Not-Halt-Taster können die Motoren stillgesetzt werden. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 3. Das bedeutet u. a., dass die sicherheitsrelevanten Funktionen zweikanalig realisiert wurden.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Diese Szene ist ebenfalls dazu geeignet, dass die Schüler Fehler einbauen, wie etwa die Simulation der Verschweißung von Kontakten eines der Motorschütze, um dann anschließend die Auswirkungen nachvollziehen zu können.

- Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Fehler werden auch in diesem Szenario mithilfe der Maus im Schaltplan erzeugt. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
- Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweierteams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.
- Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
Durch das Sicherheitslevel SIL 3 können die Motoren, trotz der Kontaktverschweißungen an einem Schütz, beispielsweise über den Not-Halt-Taster stillgesetzt werden.
- Was lernen sie aus der Aufgabe?
Diese Aufgabe sensibilisiert die Schüler ebenfalls für die Bedeutung und die Vorteile eines möglichst hohen Sicherheitslevels. Das trifft vor allem beim Auftreten von Fehlern zu. Grundsätzlich gilt: Je höher das Sicherheitslevel einer Steuerung ist, umso sicherer bzw. fehlertoleranter ist sie. Die Sicherheit der Nutzer erhöht sich also mit steigendem Sicherheitslevel.

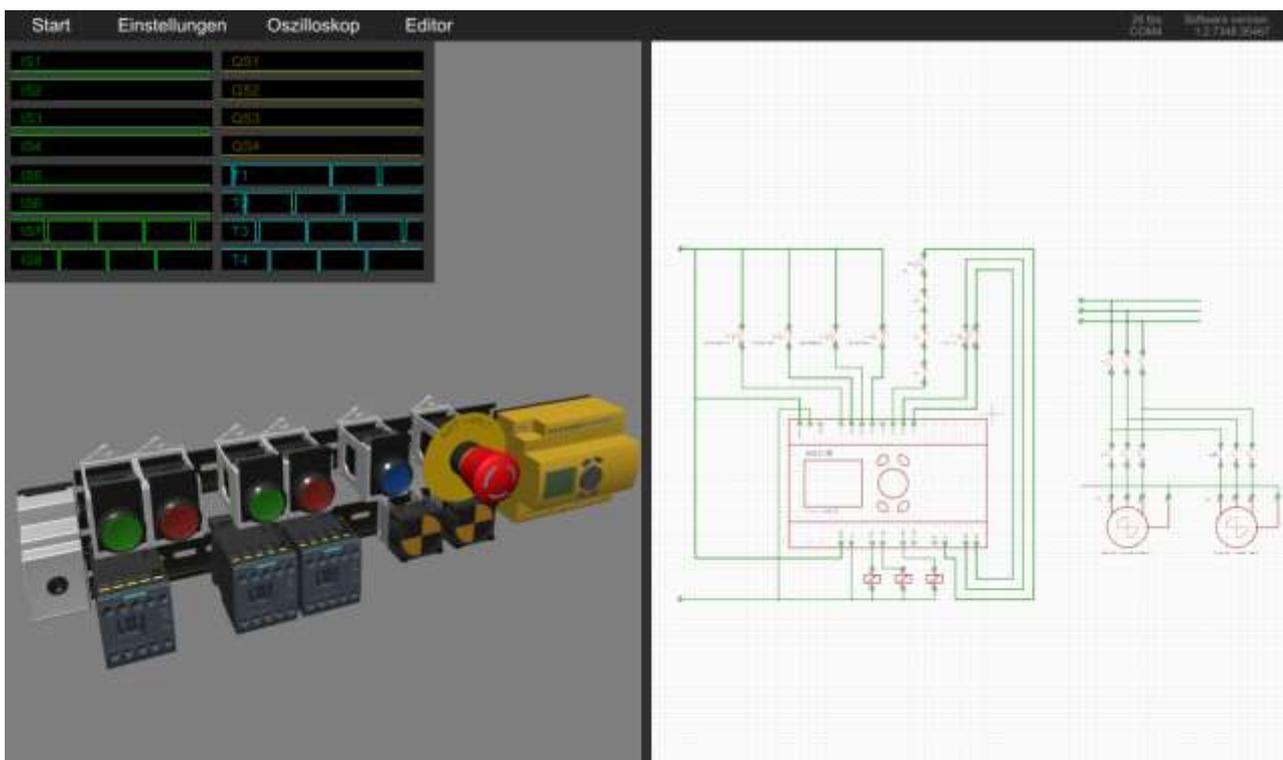


Abbildung 31. Eaton Szene 02: Stillsetzen im Notfall mit zwei Antrieben. Die Szene visualisiert PLe/SIL3 Sicherheitslevel. Enthält die folgenden Komponenten: eine Eaton F-SPS, ein Not-Halt Pilz, drei Schützen, zwei Start-Tasten, zwei Stopp-Tasten, eine Quittierung-Taste, und zwei Motoren.

4.4.2 Siemens Szenen

- **Siemens Szene 01:** Not-Halt in PL c / SIL1 (siehe Abbildung 32).
 - Was wird in der Szene für die SuS vorbereitet?
In der Szene ist eine einfache Motorsteuerung mit den üblichen Bedienelementen (Start- und Stopp-Taster) sowie einem Quittier- und einem Not-Halt-Taster aufgebaut. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 1. Die sicherheitsrelevanten Funktionen sind also lediglich einkanalig realisiert.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Um die Nachteile eines niedrigen Sicherheitslevels zu erkennen, sollen die Schüler Fehler erzeugen, z. B. die Simulation einer Kontaktverschweißung am Motorschütz.
 - Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Fehler werden auch in diesem Szenario mithilfe der Maus im Schaltplan erzeugt. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
 - Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweiertteams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.

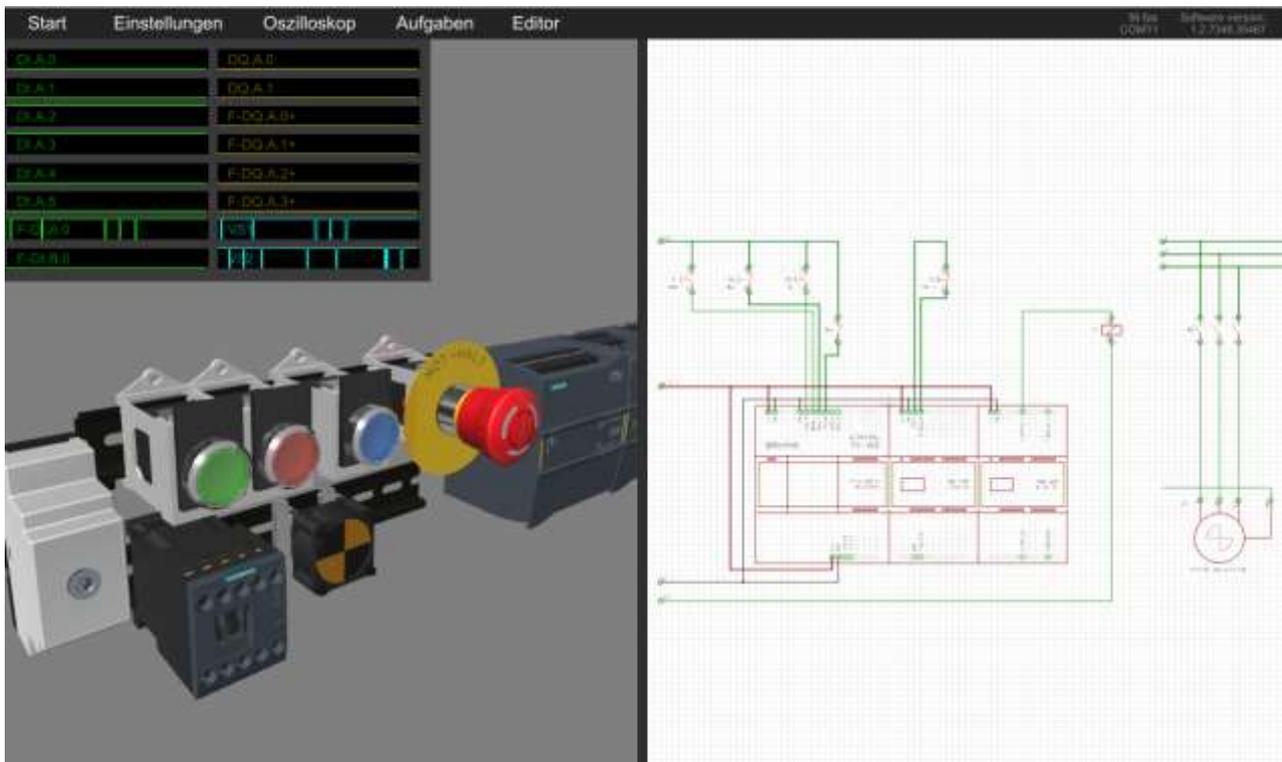


Abbildung 32. Siemens Scene 01: Not-Halt in PL c / SIL1 Sicherheitslevel. Die Szene enthält die folgenden Komponenten: eine Siemens F-SPS, ein Not-Halt Pilz (nur einkanalig verdrahtet), ein Schütz, eine Quittierung-Taste, eine Start-Taste, eine Stopp-Taste, und ein Motor.

- Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
Aufgrund des niedrigen Sicherheitslevels (SIL 1) kann der Motor bei einer Kontaktverschweißungen am Schütz weder über die Bedienelemente noch über den Not-Halt-Taster stillgesetzt werden. Das ist nur noch durch Abschalten der Stromversorgung möglich.
- Was lernen sie aus der Aufgabe?
Anhand dieses Beispiels ist deutlich zu erkennen, dass ein niedriger Sicherheitslevel einen nur geringen funktionalen Schutz bietet. Das trifft vor allem beim Auftreten von Fehlern zu. Grundsätzlich gilt: Je niedriger der Sicherheitslevel einer Steuerung ist, umso unsicherer bzw. fehleranfällig ist sie.
- **Siemens Szene 02: Not-Halt in PL d, e / SIL 2, 3 (siehe Abbildung 33).**
 - Was wird in der Szene für die SuS vorbereitet?
In der Szene ist eine einfache Motorsteuerung mit den üblichen Bedienelementen (Start- und Stopp-Taster) sowie einem Quittier- und einem Not-Halt-Taster aufgebaut. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 2/3. Die sicherheitsrelevanten Funktionen sind also zweikanalig realisiert.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Wie in den vorherigen Szenen geht es auch in diesem Fall darum, die Vorteile eines hohen Sicherheitslevels zu erkennen. Deshalb sollen die Schüler Fehler erzeugen, z.B. die Simulation einer Kontaktverschweißung am einem der Motorschütze, und anschließend die Auswirkungen nachvollziehen.
 - Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Fehler werden auch in diesem Szenario mithilfe der Maus im Schaltplan erzeugt. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
 - Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweierteams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.
 - Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
In diesem Beispiel wurde ein hohes Sicherheitslevel (SIL 2/3) realisiert. Deshalb lässt sich der Motor, trotz eines Fehlers wie zum Beispiel einer Kontaktverschweißung an einem Schütz, über den Not-Halt-Taster stillsetzen. Das wäre bei einer Steuerung, die lediglich SIL 1 entspricht, nicht möglich.
 - Was lernen sie aus der Aufgabe?
Das Sicherheitslevel spielt eine entscheidende Rolle für die Sicherheit einer Steuerung. Das trifft vor allem beim Auftreten von Fehlern zu. Grundsätzlich gilt: Je höher der Sicherheitslevel einer Steuerung ist, umso sicherer bzw. fehlertoleranter ist sie.

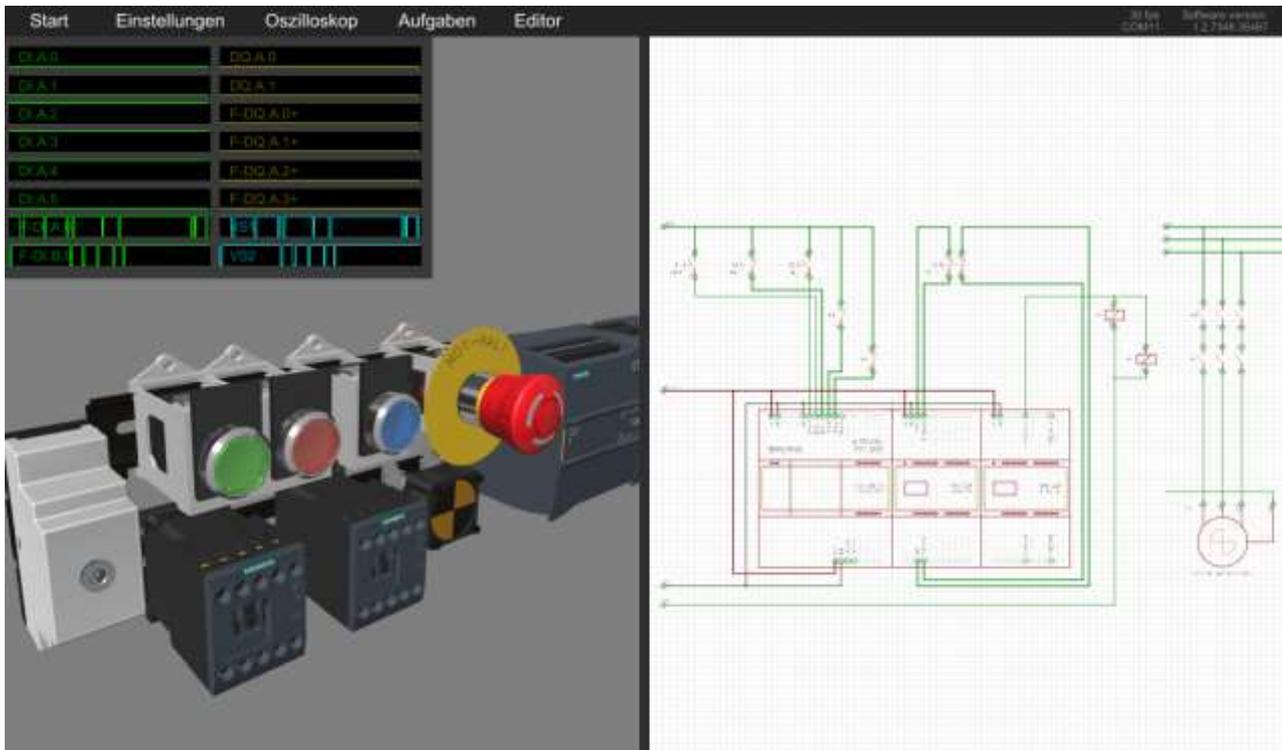


Abbildung 33. Siemens Szene 02: Not-Halt in PL d, e / SIL 2, 3 Sicherheitslevel. Die Szene enthält die folgenden Komponenten: eine Siemens F-SPS, ein Not-Halt Pilz, zwei Schütze, eine Quittierung-Taste, eine Start-Taste, eine Stopp-Taste, und ein Motor.

- **Siemens Szene 03:** Eine Maschine der Produktionslinie mit Lichtgitter in PL e / SIL 3 (siehe Abbildung 34).
 - Was wird in der Szene für die SuS vorbereitet?
In der Szene ist eine einfache Motorsteuerung mit den üblichen Bedienelementen (Start-, Stopp- und Quittier-Taster) sowie einem Lichtgitter aufgebaut. Die Steuerung entspricht dem Sicherheitsintegritätslevel SIL 3. Das bedeutet u. a., dass die sicherheitsrelevanten Funktionen zweikanalig realisiert sind.
 - Welche Aufgabe sollen sie in der Szene lösen?
Auch bei dieser Aufgabe geht es für die Schüler darum, Fehler erzeugen, um die Vorteile eines hohen Sicherheitslevels zu erkennen. Ein solcher Fehler könnte z. B. die Simulation einer Kontaktverschweißung am einem der Motorschütze sein.
 - Wie genau sollen sie sie lösen?
Die Fehler werden auch in diesem Szenario mithilfe der Maus im Schaltplan erzeugt. Als Hilfestellung könnte eine Schritt-für-Schritt-Anleitung dienen.
 - Welche Methoden sind anwendbar?
Es sind mehrere Methoden denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler Zweierteams bilden. Dadurch würde sich für die Schüler die Möglichkeit eröffnen, kleinere Herausforderungen im direkten Austausch zu meistern bzw. selbst Lösungen zu erarbeiten. Außerdem würden sie auf diese Weise auch ihre Sozialkompetenz stärken. Bei größeren Schwierigkeiten könnte eine Lehrkraft als Coach bereitstehen und Hilfestellungen geben.
 - Welche Ergebnisse sind zu erwarten?
Aufgrund des hohen Sicherheitslevels (SIL 3) kann der Motor trotz der Kontaktverschweißungen an einem Schütz mithilfe des Stopp-Tasters bzw. bei Unterbrechung der Strahlen am Lichtgitter stillgesetzt werden. Das bedeutet

insbesondere, dass die Sicherheitsfunktionen des Lichtgitters nach wie vor aktiv sind. Das wäre bei einer Steuerung, die lediglich SIL 1 entspricht, nicht möglich. Dann ließe sich der Motor mit den verfügbaren Bedienelementen nicht mehr stillsetzen, sondern nur noch durch Abschalten der Stromversorgung.

- Was lernen sie aus der Aufgabe?
Das Lernziel ist auch in diesem Fall, die Schüler dafür zu sensibilisieren, wie entscheidend das Sicherheitslevel einer Steuerung für deren Sicherheit ist.

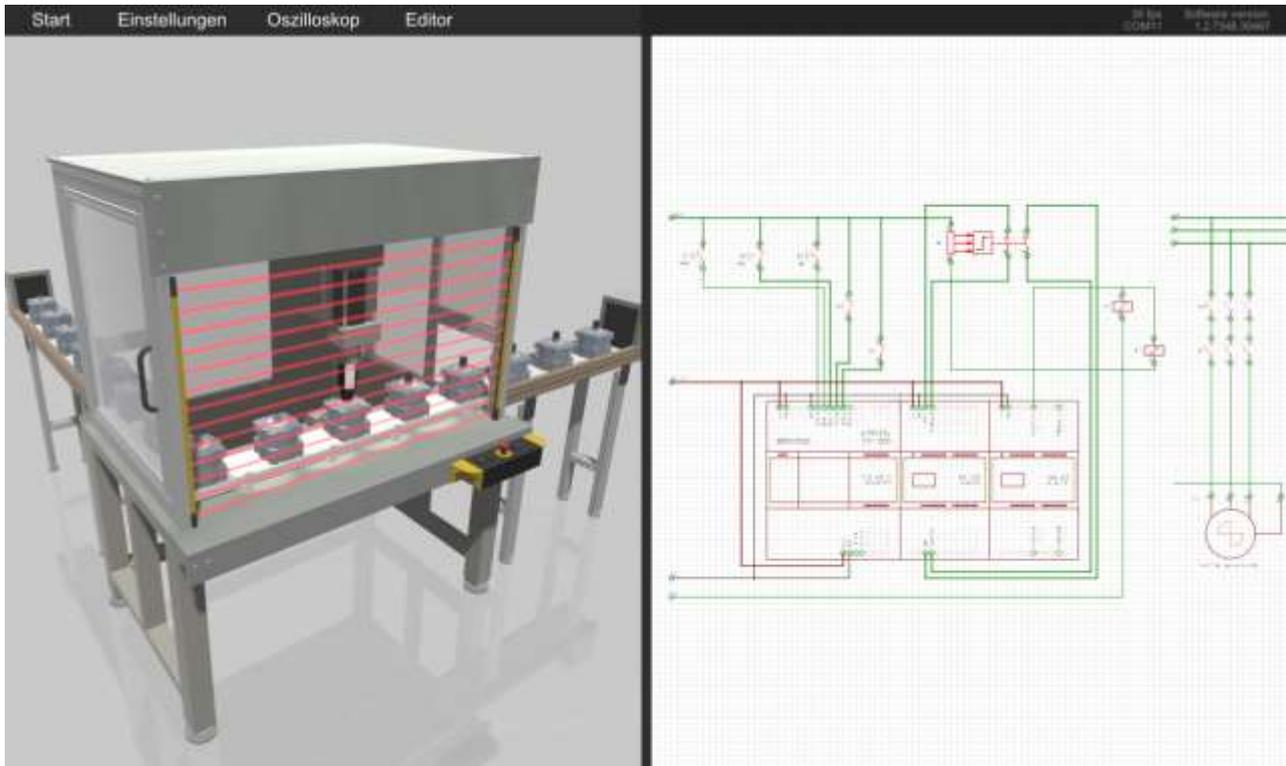


Abbildung 34. Siemens Szene 03: Lichtgitter in PL e / SIL 3. Blick auf die Maschine. Die Szene simuliert eine Maschine, die einen Produktionsprozess initiiert. Die simulierten mechanischen Vorgänge sind auf einkanalige Steuerung abstrahiert. Enthält die folgenden Komponenten: eine Siemens F-SPS, ein Not-Halt Pilz, ein Schütz, eine Quittierung-Taste, eine Start-Taste, eine Stopp-Taste, ein Lichtgitter, und ein Motor. Die 3D-Szene mit Lichtvorhang Modul an der Maschine der Produktionslinie wurde im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung des Projekts fertiggestellt (TA4.2a).

Weitere Informationen zu den Siemens-Szenen 01 bis 03 befinden sich im Foliensatz „Kurzeinführung für die praktische Erprobung, SafetySim Erste Schritte“ (siehe Anhang C)

4.5 Physikalisches Anlage-Modell

Es wurde ein physisches Modell des einfachen Demonstrationsstandes errichtet. Es ermöglicht eine kürzere Einarbeitungszeit für die Schülerinnen und Schüler, damit sie dem simulierten Modell besser vertrauen können und die dimensionalen Verhältnisse besser verstehen. Es dient dem Zweck einer ersten Brücke zwischen der Realität und der virtuellen Welt. Die realitätsnahe Darstellung des Bedienfeldes erhöht die Immersion und verbessert die Wahrnehmung des virtuellen Modells.

Es wurde nur ein einziges Demonstrationsmodell vorbereitet. Es stellte sich heraus, dass es ausreichend ist, ein Modell im Klassenzimmer zu haben und die Schülerinnen und Schüler nach Bedarf sehen und anfassen zu lassen. Der Tisch-Demonstrationsstand verfügt über ein Stromverteilungsmodul, Drucktasten Start (grün), Stopp (rot), Quittierung (blau), Nothalt-Pilz, zwei Schützen und einen Motor mit farbigem Drehrad zur besseren Erkennung.

Es ist elektrisch an eine Siemens S7-1200F Sicherheits-SPS angeschlossen (in voller Konfiguration mit Hardware-Erweiterungsmodulen für Sicherheitseingänge und Sicherheitsausgänge). Die Verdrahtung im Modell und die vorprogrammierte Logik entsprechen dem Sicherheitsniveau PL d/SIL3. Dies ist das Sicherheitsniveau, das die Studierenden nach der korrekten Umprogrammierung der gegebenen Logik für den virtuellen Schaltplan von PL c/SIL1 als Teil ihrer Aufgabe erreichen sollten (siehe Abbildung 35).

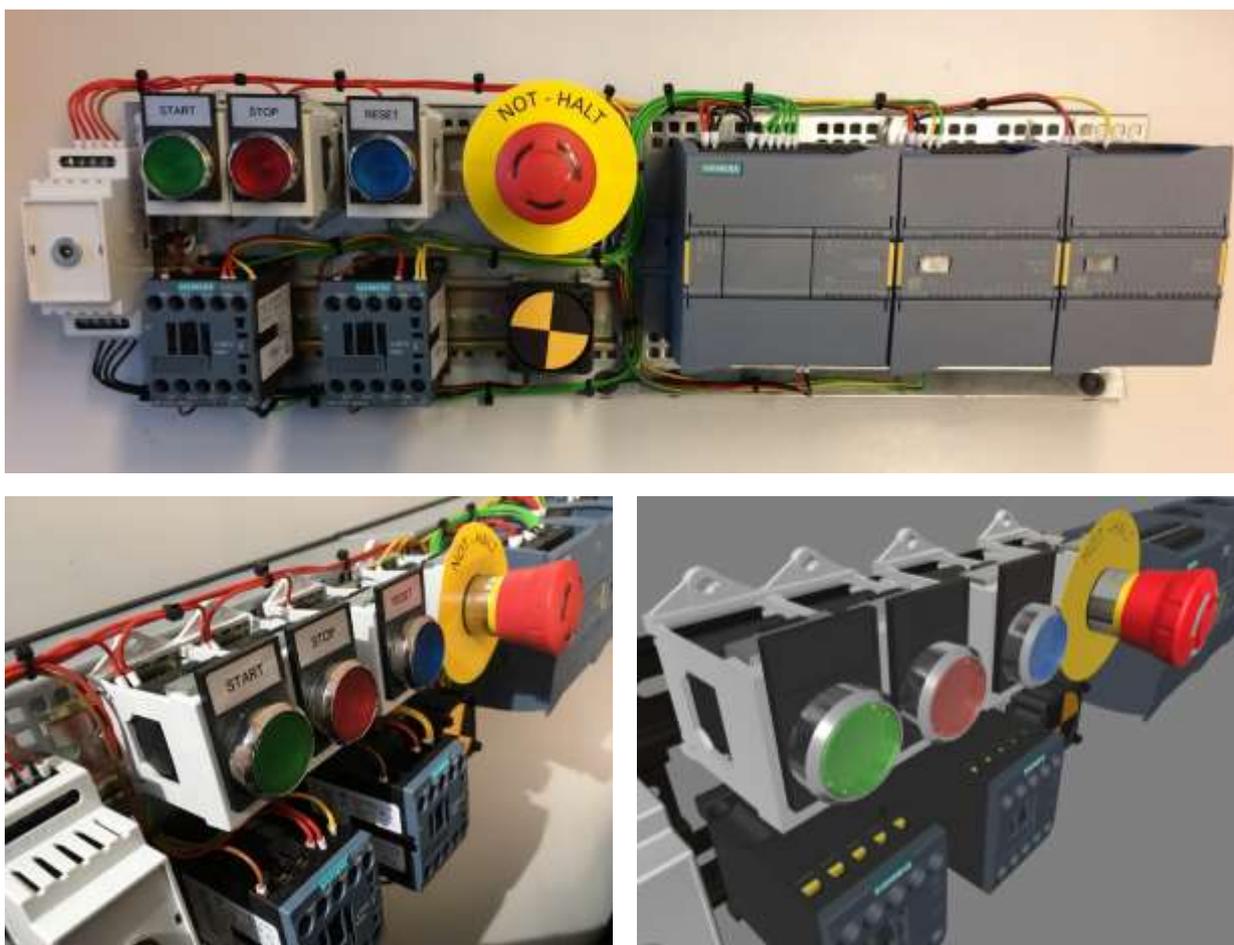


Abbildung 35. Physikalisches Demo-Modell, zusammengestellt als eine Baueinheit auf Basis der Siemens S7-1200F Sicherheits-SPS. Verdrahtet und programmiert auf dem Sicherheitslevel PL d/SIL3 (oben). Vergleich zwischen einem realen physischen Modell (unten, links) und einem digitalen Zwilling in der virtuellen Realität (unten rechts).

4.6 Kleinserienanfertigung / Schulklassenausstattung

In Vorbereitung auf die Evaluationsversuche am Hans-Böckler-Berufskolleg in Köln wurde die Kleinserie (siehe Abbildung 36) von acht SafetySim-Systemen im Unterrichtsraum montiert (siehe Abbildung 37). Ein komplettes SafetySim System besteht aus den folgenden Komponenten:

- SafetySim Hardware-Komponenten:
 - SafetySim E/A-Adapter auf Basis der Siemens S-SPS
 - Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212FC DC/DC/DC
 - Siemens SM-1226 F-DI DC, Siemens SM-1226 F-DQ DC
 - Controllino MAXI Automation pure, SafetySim PowerModule v1.0
 - Acrylständer, DIN-Schiene, Verlegtem Kabel
 - AC/DC-Adapter 24V Salcar
 - USB 2.0 A auf B Kabel, 2m, UTP-Kabel der Kategorie 6, 1 m
 - 6-fach Mehrfach-Steckdose
- SafetySim PC
 - Mini-PC Zotac Magnus EN1060K
 - 2x Monitor BENQ BL2205, 2x DisplayPort Kabel, 2m
 - Tastatur Logitech K280e, Maus-Logitech M500
- SafetySim Software
 - SafetySim Simulationssoftware
 - Windows 10 Education (H-BRS Lizenz)
 - Siemens SIMATIC STEP 7 Basic V15.1 (Software)
 - Siemens SIMATIC STEP 7 Safety Basic V15.1 (Software)
 - Siemens Bibliothek S7_1200F_LIB_V14



Abbildung 36. Kleinserienfertigung des kompletten Systems. Letzte Charge von fünf Einheiten vor dem Versand.

Im Mittelpunkt des Klassenraumkonzeptes steht die „Handlungsorientierung“ im Sinne des Modells der vollständigen Handlung. Konkret sollen die Schülerinnen und Schüler mithilfe schriftlicher Handlungsempfehlungen und Lernmaterialien selbstständig in Zweier-Teams arbeiten. Dadurch verbessern sie nicht nur ihre Problemlösungskompetenz, sondern auch ihre Sozialkompetenz. Ergänzt wird dieser Ansatz durch ein Coaching-Konzept. Eine Lehrkraft steht jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung und gibt bei Bedarf spezifische Hilfestellungen, zum Beispiel wenn programmiertechnische Fragen nicht von den Schülern gelöst werden können.

Weitere Informationen zum didaktischen Gesamtkonzept befinden Sie unter im folgenden Unterkapitel 4.7.



Abbildung 37. Unterrichtsraum im Hans-Böckler-Berufskolleg mit installierten Systemen, die zur Evaluierung bereitstehen.

4.7 Didaktisches Konzept AP5 (BIBB)

4.7.1 Zielgruppen (Berufsschule, Bachelor Studium)

Als Hauptzielgruppen der Anwendung wurden folgende Personengruppen in enger Absprache mit den Mitgliedern des Begleitkreises identifiziert:

- Die Ausbilder und Auszubildende der Berufe "Elektroniker/in für Geräte und Systeme", "Mechatroniker/in" und "Elektroniker/in für Betriebstechnik".
- Die Studierende und Professoren des Studienfaches "Automation".

4.7.2 Grundlegende Gestaltung der Didaktik

- Allgemeine Einführung in die Sicherheit von Maschinen (PDF und/oder Video)
- Erste Schritte mit Modulen (SPS herstellerspezifische PDFs)
- Interaktive didaktische Einheiten, die auf mehreren virtuellen Szenen oder Anwendungen basieren.

Abbildung 38 zeigt ein Übersichtsdiagramm der unterschiedlichen zu realisierenden didaktischen Einheiten

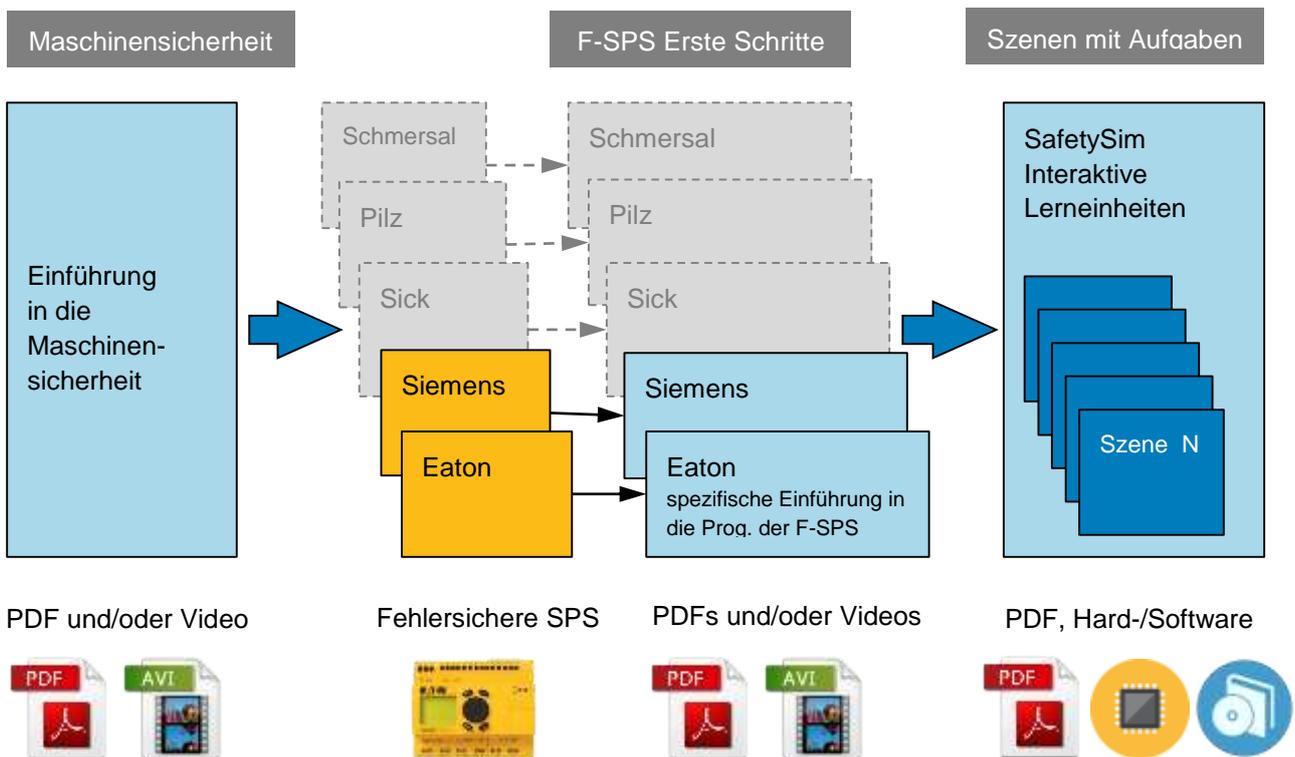


Abbildung 38. Übersichtsdiagramm der didaktischen Einheiten: didaktische Einheiten (blau); unterschiedliche Typen von Sicherheits-SPSen (orange); weitere potentielle Hersteller von Sicherheits-SPS sind in grau dargestellt; virtuelle Szenen (dunkel blau).

4.7.3 Benötigtes Vorwissen

Seit dem letzten Zwischenbericht konnte in diesem Projektsegment ein schlüssiges methodisch-didaktisches Konzept zur Integration des Themas „Safety SPS“ in die Berufsausbildung, fokussiert zunächst auf den Unterricht in der Berufsschule, erarbeitet werden. Die mediale Aufbereitung folgt dabei den zurzeit akzeptierten Rahmenbedingungen eines on- und offline gestützten Medienmixes, der einerseits Auszubildende / Berufsschüler/-innen anspricht, aber andererseits an das Bildungspersonal auch neue Ansprüche hinsichtlich ihrer Medien- und IT Kompetenz stellt.

Die zu entwickelnde Unterrichtsreihe „Maschinensicherheit“ muss bei einem geplanten Umfang von 4 Unterrichtseinheiten mit je 90 Minuten und mit Blick auf die Menge der zu vermittelnden Lerninhalte (siehe „Lernzielkatalog“, Kapitel 4 in dieser Ausarbeitung) **auf umfassendem Vorwissen der Auszubildenden aufbauen**.

Im Rahmen dieser Konzeption wird das laut **Rahmenlehrplan** vermittelte Wissen des jeweiligen Ausbildungsberufes **vorausgesetzt** (siehe auch „Harmonisierung mit geltenden Lehrplänen“, Kapitel 2 in dieser Ausarbeitung).

Die folgende Darstellung des benötigten Vorwissens bezieht sich daher mit angestrebtem höchstmöglichen Konkretisierungsgrad auf den **Themenkomplex Programmierung/Grundlagenwissen SPS allgemein** (nicht: Safety-SPS). Soweit hier vorausgesetztes Wissen im weiteren Projektverlauf als nicht voraussetzbar definiert wird, ist eine Überführung der Inhalte in den Lernzielkatalog der Unterrichtsreihe „Maschinensicherheit“ grundsätzlich denkbar, wobei dann die Einhaltung des gesetzten Zeitrahmens neu validiert werden muss.

Benötigtes Vorwissen für die Nutzung von SafetySim		
	Thema	Lerninhalt
	<i>Die/der Auszubildende sollte...</i>	<i>Die/der Auszubildende sollte...</i>
1.1	die Signalarten in der Steuerungstechnik kennen	wissen, welche Signalzustände binäre Signale annehmen können
		die Begriffe „Binärstellen“, „Bit“, „Code“, „digitales Signal“ und deren Bedeutung kennen
		die Besonderheiten analoger Signale in der Steuerungstechnik kennen
		Beispiele für analoge Größen in der Steuerungstechnik kennen
		wissen, wie analoge Größen mit einer SPS verarbeitet werden
1.2	verschiedene Zahlensysteme und deren Umwandlungsregeln kennen	das Dezimalsystem kennen
		wissen, dass für die Bearbeitung durch eine SPS das duale Zahlensystem verwendet wird
		die Systematik des dualen Zahlensystems verstehen
		die Systematik des BCD-Codes verstehen
		das hexadezimale Zahlensystem kennen
		die Regeln für die Umwandlung der einzelnen Zahlensysteme untereinander kennen

1.3	wichtige Begriffe aus der Informatik kennen	wissen, was ein Bit ist
		wissen, was ein Byte ist
		wissen, was „Wort“ als Begriff der Informatik bedeutet
		wissen, was ein Doppelwort ist
		wissen, was eine Bitadresse ist
		wissen, was eine Byteadresse ist
		wissen, was eine Wortadresse ist
		wissen, was eine Doppelwortadresse ist
1.4	den grundsätzlichen Aufbau einer SPS kennen	wissen, welche Baugruppen grundsätzlich zu einer SPS gehören (Automatisierungsgerät, Signalgeber, Stellgeräte/Leuchtmelder)
		den grundlegenden Aufbau eines Automatisierungsgerätes kennen (Zentralbaugruppe/CPU, Programmspeicher, Stromversorgung, Bus, Ein- und Ausgabe)
		die folgenden SPS-Bauweisen und deren Besonderheiten kennen: modulare SPS, Kompakt-SPS, Slot-SPS, Soft-SPS
1.5	die grundsätzliche Funktionsweise einer SPS kennen	wissen, nach welchen Prinzipien die Zentralbaugruppe CPU arbeitet
		wissen, wie die Bussysteme funktionieren (Adressbus, Datenbus, Steuerbus)
		die Funktion der folgenden Baugruppen kennen: Stromversorgung, Programmspeicher, RAM, Memory Card
		wissen, wie eine Memory Card gesteckt und gezogen wird
1.6	Grundwissen über die SPS-Normung nach DIN EN 61131 besitzen	die Definition „SPS“ nach DIN EN 61131 kennen
		wissen, was von der DIN EN 61131 genormt wird: Funktionsmerkmale, Begriffsbestimmungen, elektrische, mechanische und funktionelle Anforderungen, Programmiersprachen, Anwenderrichtlinien, Kommunikation von SPS verschiedener Hersteller
		das SPS-Softwaremodell nach DIN EN 61131 kennen
		die Programmorganisationseinheiten nach DIN EN 61131 kennen: Programm, Funktionsbaustein, Funktion
		die Programmiersprachen nach DIN EN 61131 kennen: AWL, KOP (!) , ST, FBS, AS
		grundlegende Anwenderkenntnisse zu den genannten Programmiersprachen besitzen
		wissen, dass die aktuellen Programmiersprachen der Hersteller Siemens (Step7/Tia) und Eaton/Moeller (Xsoft Codesys) normkonform mit DIN EN 61131 sind

4.7.4 Harmonisierung mit geltenden Lehrplänen

4.7.4.1 Elektroniker/in für Geräte und Systeme

Elektroniker für Geräte und Systeme/Elektronikerinnen für Geräte und Systeme stellen elektronische Komponenten, Geräte und Systeme nach Kundenanforderungen her und halten sie in Stand. Ziele und Inhalte des Rahmenlehrplans beziehen sich auf die beruflichen Qualifikationen und das Ausbildungsberufsbild des Elektrikers/der Elektronikerin für Geräte und Systeme (siehe Abbildung 39).

- 11 -

Lernfeld 3: Steuerungen analysieren und anpassen	I. Ausbildungsjahr Zeitrichtwert: 80 Stunden
Zielformulierung: Die Schülerinnen und Schüler planen Änderungen und Anpassungen von Steuerungen nach Vorgabe. Die Schülerinnen und Schüler analysieren Anlagen und Geräte und visualisieren den strukturellen Aufbau sowie die funktionalen Zusammenhänge. Sie bestimmen Steuerungen und unterscheiden zwischen Steuerungs- und Regelungsprozessen. Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden Techniken zur Realisierung von Steuerungen und bewerten deren Vor- und Nachteile auch unter ökonomischen und sicherheitstechnischen Aspekten. Die Schülerinnen und Schüler ändern Steuerungen und wählen dazu Baugruppen und deren Komponenten nach Anforderungen aus. Sie nehmen die gesteuerten Systeme in Betrieb, prüfen die Funktionsfähigkeit, erfassen Betriebswerte messtechnisch und nehmen notwendige Einstellungen vor. Sie dokumentieren die technischen Veränderungen unter Nutzung von Standard-Software und anwendungsspezifischer Software. Die Schülerinnen und Schüler organisieren ihre Lern- und Arbeitsaufgaben selbstständig sowie im Team. Sie analysieren, reflektieren und bewerten dabei gewonnene Erkenntnisse. Sie werten englischsprachige Dokumentationen unter Nutzung von Hilfsmitteln aus und wenden auch englische Fachbegriffe zur schriftlichen Darstellung von Sachverhalten der Steuerungstechnik an.	
Inhalte: Blockschaltbild, EVA-Prinzip, Sensoren, Aktoren, Schnittstellen Wiederholte Funktionsbeschreibungen Verbindungs- und speicherprogrammierte Signalverarbeitung Logische Grundverknüpfungen, Speicherfunktionen Normen, Vorschriften und Regeln Technische Dokumentationen	

Abbildung 39. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Elektroniker/in für Geräte und Systeme

4.7.4.2 Mechatroniker/in

Mechatroniker/innen konstruieren aus mechanischen, elektrischen und elektronischen Bestandteilen komplexe mechatronische Systeme. Sie stellen die einzelnen Komponenten her und montieren sie zu Systemen und Anlagen. Ziele und Inhalte des Rahmenlehrplans beziehen sich auf die beruflichen Qualifikationen und das Ausbildungsberufsbild des Mechatronikers/der Mechatronikerin für Geräte und Systeme (siehe Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42).

Lernfeld 7:	2. Ausbildungsjahr
	Zeitrichtwert in Stunden:
Realisieren mechatronischer Teilsysteme	100
Zielformulierung: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Strukturen mechatronischer Teilsysteme. Sie erklären die Wirkungsweise von Sensoren und Wandlern und justieren Sensoren. Sie kennen Möglichkeiten zur Realisierung von Linear- und Rotationsbewegungen mittels elektrischer, pneumatischer und hydraulischer Komponenten und wenden Kenntnisse über Steuerungen und Regelungen an, um Weg- und Bewegungsrichtung zu beeinflussen. Anhand von Signaluntersuchungen prüfen sie die Funktion von Komponenten und beseitigen Fehler. Sie entwerfen grundlegende Schaltungen und beschreiben deren Wirkungsweise auch in englischer Sprache. Einfache Programmierverfahren werden beherrscht.	
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Steuerkette und Regelkreis, Blockschaltbilder • Kenngrößen von Steuerungen und Regelungen • Wirkungsweise von Sensoren und Wandlern • Signalverhalten von Sensoren und Wandlern • Programmierung von einfachen Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen • Entwurf von Schaltungen • Grafische Darstellungen von Steuerungs- und Regelungsabläufen • Messen von Signalen • Grundsicherungen und Wirkungsweise von Antrieben • Darstellung von Antriebseinheiten und Funktionsplänen 	

Abbildung 40. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Mechatroniker/in Lernfeld 7

Lernfeld 8:	2. Ausbildungsjahr
	Zeitrichtwert in Stunden:
Design und Erstellen mechatronischer Systeme	140
Zielformulierung: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Struktur und den Signalverlauf eines aus mehreren Komponenten bestehenden mechatronischen Systems. Sie analysieren den Einfluß wechselnder Betriebsbedingungen auf den Prozeßablauf. Sie erkennen Fehler durch Signaluntersuchungen an Schnittstellen und beseitigen die Fehlerursachen. Sie nutzen Verfahren zur meßtechnischen Erfassung von Steuerungs- und Regelungsabläufen, bereiten die Ergebnisse auf und dokumentieren sie. Sie wenden Kenntnisse der Steuerungs- und Regelungstechnik an, um Geschwindigkeit bzw. Drehzahl von Bewegungen zu beeinflussen. Sie sind befähigt, Antriebseinheiten anzuschließen, wählen Kopplungsvarianten zwischen Antriebseinheiten und Arbeitsmaschinen aus und setzen diese zielgerichtet ein. Ihnen sind Ursachen und Auswirkungen von Überlastungssituationen bekannt. Sie bestimmen die technischen Parameter erforderlicher Schutzeinrichtungen und wählen diese aus. Schaltungsänderungen werden in die technischen Unterlagen eingearbeitet. Gefahrenquellen sind ihnen bekannt. Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes werden von ihnen beachtet. Sie könne steuerungs- und regelungstechnische Zusammenhänge und die Funktionsweise ausgewählter Antriebseinheiten in englischer Sprache beschreiben. Programmierverfahren werden beherrscht.	
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Betriebskennwerte und Kennlinien von Antrieben • Funktionsweise, Auswahl und Einstellung von Schutzeinrichtungen • Steuern und Regeln von Antrieben • Positionierungsvorgänge, Freiheitsgrade • Prüf- und Meßverfahren zur Positionsbestimmung • Getriebe, Kupplungen • Programmieren von Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen • Computersimulation • Meßwerterfassung an Schnittstellen 	

Abbildung 41. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Mechatroniker/in Lernfeld 8

Lernfeld 11:	3. Ausbildungsjahr
Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung	Zeitrichtwert in Stunden: 160
Zielformulierung:	
<p>Die Schülerinnen und Schüler stellen die Gesamtfunktion und die Teilfunktion eines Systems einschl. seiner Schutzeinrichtungen dar. Dazu entnehmen sie Informationen aus technischen Unterlagen. Sie erklären den Einfluß von Komponenten auf das Gesamtsystem und überprüfen anhand von Schnittstellenuntersuchungen deren Funktion. Die dafür erforderlichen Meßverfahren werden von ihnen beherrscht und zielgerichtet angewandt.</p> <p>Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Verfahren zur Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen und legen die Vorgehensweise für die Inbetriebnahme eines Gesamtsystems fest. Sie nutzen die Möglichkeiten von Diagnosesystemen und interpretieren Funktions- und Fehlerprotokolle. Die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen wird von ihnen überprüft.</p> <p>Sie justieren Sensoren und Aktoren, überprüfen Systemparameter und stellen sie ein. Ergebnisse werden in Unterlagen dokumentiert. Sie grenzen Fehler systematisch ein beseitigen Störungen. Sie könne sich in englischer Sprache verständigen.</p>	
Inhalte:	
<ul style="list-style-type: none"> • Blockschaltbilder, Wirkungs- und Funktionspläne von mechatronischen Systemen • Überprüfung und Einstellung von Sensoren und Aktoren • Systemparameter • BUS Parametrierung • Softwareinstallation • Verfahren zur Fehlersuche in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Systemen • Störungsanalyse • Strategien der Fehlersuche • Elektrische und mechanische Schutzmaßnahmen, Schutzvorschriften • Elektromagnetische Verträglichkeit • Prozeßvisualisierung, Diagnosesysteme, Ferndiagnose • Inbetriebnahmeprotokoll, Fehlerdokumentation, Instandsetzungsprotokoll • Qualitätsmanagement • Behebung von Programmfehlern • Berücksichtigung von Normen und Anforderungen • Einflüsse von mechatronischen Systemen auf ökonomische, ökologische und soziale Bedingungen 	

Abbildung 42. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Mechatroniker/in Lernfeld 11

4.7.4.3 Elektroniker/in für Betriebstechnik

Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerinnen für Betriebstechnik montieren Systeme und Anlagen der Energieversorgungstechnik, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Kommunikationstechnik, Meldetechnik, Antriebstechnik sowie Beleuchtungstechnik. Sie nehmen diese Systeme und Anlagen in Betrieb, halten sie in Stand und betreiben diese Systeme und Anlagen. Ziele und Inhalte des Rahmenlehrplans beziehen sich auf die beruflichen Qualifikationen und das Ausbildungsberufsbild des Elektronikers für Betriebstechnik/der Elektronikerin für Betriebstechnik (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

Lernfeld 3: Steuerungen analysieren und anpassen	1. Ausbildungsjahr Zeitrichtwert: 80 Stunden
Zielformulierung: <p>Die Schülerinnen und Schüler planen Änderungen und Anpassungen von Steuerungen nach Vorgabe. Die Schülerinnen und Schüler analysieren Anlagen und Geräte und visualisieren den strukturellen Aufbau sowie die funktionalen Zusammenhänge. Sie bestimmen Steuerungen und unterscheiden zwischen Steuerungs- und Regelungsprozessen. Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden Techniken zur Realisierung von Steuerungen und bewerten deren Vor- und Nachteile auch unter ökonomischen und sicherheitstechnischen Aspekten. Die Schülerinnen und Schüler ändern Steuerungen und wählen dazu Baugruppen und deren Komponenten nach Anforderungen aus. Sie nehmen die gesteuerten Systeme in Betrieb, prüfen die Funktionsfähigkeit, erfassen Betriebswerte messtechnisch und nehmen notwendige Einstellungen vor. Sie dokumentieren die technischen Veränderungen unter Nutzung von Standard-Software und anwendungsspezifischer Software. Die Schülerinnen und Schüler organisieren ihre Lern- und Arbeitsaufgaben selbstständig sowie im Team. Sie analysieren, reflektieren und bewerten dabei gewonnene Erkenntnisse. Sie werten englischsprachige Dokumentationen unter Nutzung von Hilfsmitteln aus und wenden auch englische Fachbegriffe zur schriftlichen Darstellung von Sachverhalten der Steuerungstechnik an.</p>	
Inhalte: <p>Blockschaltbild, EVA-Prinzip, Sensoren, Aktoren, Schnittstellen Wiederholte, Funktionsbeschreibungen</p>	
<p>Verbindungs- und speicherprogrammierte Signalverarbeitung logische Grundverknüpfungen, Speicherfunktionen Normen, Vorschriften und Regeln Technische Dokumentationen</p>	

Abbildung 43. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Elektroniker/in für Betriebstechnik Lernfeld 3

Lernfeld 7: Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren	2. Ausbildungsjahr Zeitrichtwert: 80 Stunden
Zielformulierung: <p>Die Schülerinnen und Schüler planen Steuerungen für Anlagen. Sie analysieren Steuerungen bestehender Anlagen, um diese an veränderte Kundenanforderungen anzupassen. Die Schülerinnen und Schüler erfassen und analysieren Steuerungsabläufe. Sie wenden Werkzeuge zur Programmentwicklung an, konfigurieren und parametrieren die notwendigen Hard- und Softwarekomponenten. Dabei wählen sie Darstellungsarten unter Einhaltung der Normen und Vorschriften. Die Schülerinnen und Schüler nehmen Steuerungen unter Berücksichtigung der Anlagenfunktionen in Betrieb. Sie überprüfen selbstständig die Funktion von Steuerungen, auch unter sicherheitsrelevanten Aspekten, und nutzen geeignete Prüf- und Messverfahren zur Fehlersuche. Sie beheben Fehler in den von ihnen erstellten Steuerungsprogrammen. Die Schülerinnen und Schüler ergänzen oder erstellen steuerungstechnische Dokumentationen und präsentieren ihre Arbeitsergebnisse. Die Schülerinnen und Schüler verwenden im Arbeitsprozess Fachsprache und Fachtermini, auch in englischer Sprache. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten selbstständig und übernehmen Verantwortung im Team. Sie beurteilen dabei gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse.</p>	
Inhalte: <p>Anforderungskatalog Rechnergestützte Informationsbeschaffung Sensoren, Aktoren</p>	
<p>Funktionsgruppen einer Steuerung Programmdokumentation Funktionen, Funktionsbausteine</p>	
<p>Speicher-, Zeit- und Zählfunktionen Schrittketten</p>	
<p>Programmtest, Fehlersuche Prüfprotokolle, technische Dokumentation und Programmarchivierung Normen, Vorschriften und Regeln</p>	
<p>Präsentationstechniken mit Standard-Software Moderationstechniken</p>	

Abbildung 44. Auszug aus dem Rahmenlehrplan für Elektroniker/in für Betriebstechnik Lernfeld 7

4.7.4.4 Studiengänge

Neben den bereits genannten Ausbildungsberufen gehören auch Bachelor-Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik und Maschinenbau (B. Eng.) zur Zielgruppe. Konkrete Empfehlungen für eine Studienplan-Harmonisierung sind nur unter Rückgriff auf die jeweiligen Modulpläne der Hochschule für diesen Studiengang, jeweils im Bereich Mechatronik/Anlagenautomatisierung, möglich. Am Beispiel der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (siehe Abbildung 45):

Modulhandbuch Maschinenbau 2017 (B.Eng.)

Stand: Juli 2017

B4 M Mikroprozessoren/SPS					
Kenn-Nr.	Workload	Credits	Semester	Häufigkeit	Dauer
MB B4 M	150 h	5 CP	4. Semester	SoSe	1 Semester
1	Lehrveranstaltung: a) Programmierbare Logik 1 (SPS) Vorlesung Übung Praktikum b) Prog. Logik 2 (Mikrocontroller) Vorlesung Übung Praktikum		Kontaktzeit 1 SWS / 12 h 1 SWS / 12 h 1 SWS / 12 h 1 SWS / 12 h 1 SWS / 12 h 1 SWS / 12 h	Selbststudium insgesamt 39 h insgesamt 39 h	Gruppengröße 50 50 25 50 50 25
2	Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen a) Programmierbare Logik 1 (SPS) Die Studierenden kennen die wichtigsten Methoden der Steuerungstechnik im Bereich der Anlagenautomatisierung und deren Realisierung mittels Automatisierungsrechner (SPS). Sie erlernen Verknüpfungsfunktionen sowie Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen und können diese auf einem Automatisierungsrechner mittels einer grafischen Programmiersprache realisieren. b) Programmierbare Logik 2 (Mikrocontroller) Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse über den Aufbau und Anwendungsbereich von Mikrocontrollern. Sie erlernen welche Peripherie-Einheiten bei heutigen Mikrocontrollern allgemein vorhanden sind und für welche Aufgaben diese Einheiten verwendet werden können. Die Studierenden können einfache Mikrocontroller-Programme in „C“ entwickeln, testen und mögliche Fehler erkennen und beseitigen.				
3	Inhalte a) Programmierbare Logik 1 (SPS) Grundlegende Methoden der Steuerungstechnik: - Verknüpfungsfunktionen, - Verknüpfungssteuerungen, - Ablaufsteuerungen - Realisierung auf Automatisierungsrechnern in der grafischen Programmiersprache FBS (Funktionsbausteinsprache) nach DIN EN 61131-3				

Abbildung 45. Modulbeschreibung einer Lehrveranstaltung im Bachelorstudiengang Maschinenbau der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

4.7.5 Didaktisches Konzept

4.7.5.1 Allgemeine didaktische Vorgaben

Die Konzeptionierung und Entwicklung erfolgt auf Basis neuester Lehr-Lern-Methoden. Die Schülerinnen und Schüler lernen mithilfe schriftlicher Handlungsempfehlungen und Lernmaterialien möglichst selbstständig in Kleingruppen an einem praxisrelevanten Problem. Die Lehrperson steht jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung und gibt auf Anfrage spezifische Hilfestellungen etwa mit Blick auf moderierender programmieretechnische Fragen. Die Lernmaterialien werden auf einer Webseite zur Verfügung gestellt und können unter Einsatz moderner digitaler Medien wie beispielsweise mobiler Endgeräte nach Bedarf abgerufen werden. Die Lerninhalte werden dazu in kleine Lerneinheiten aufgeschlüsselt, sodass punktuelles Lernen an den Stellen, wo es individuell notwendig erscheint, ermöglicht wird. Durch Binnendifferenzierung wird der Heterogenität von Lerngruppen Rechnung getragen, indem verständnisstärkere Schülerinnen und Schüler durch Zusatzaufgaben und schwächere durch tutorielle Unterstützung der Mitschüler gefördert werden. Unser Konzept basiert auf folgenden Prämissen und Empfehlungen:

- **Modell der vollständigen Handlung:** Im Mittelpunkt steht die „Handlungsorientierung“. Sie bedeutet in diesem Zusammenhang zugleich auch die Berücksichtigung des Modells der vollständigen Handlung. Jede Unterrichtseinheit bezieht sich – falls sinnvoll – auf einzelne oder mehrere Aspekte dieses Modells.
- **Ganzheitlichkeit:** Das Unterrichtskonzept basiert auf einer realitätsnahen Problemstellung, die im Ganzen so präsentiert wird, wie sie in der Praxis auftritt. Die Schülerinnen und Schüler werden schrittweise an die Lösung des komplexen Problems herangeführt, indem nach Schwierigkeit gestaffelte Aufgaben eingesetzt werden.
- **Berufsschule:** Die Unterrichtseinheit wird für Berufsschulen in den IHK-Ausbildungsgängen „Elektroniker/in für Geräte und Systeme“, „Mechatroniker/in“ und „Elektroniker/in für Betriebstechnik“ konzipiert. Sie wird inhaltlich jedoch in sich geschlossen gestaltet, sodass eine Übertragbarkeit auf weitere Ausbildungsgänge und Einsatzgebiete wie etwa die überbetriebliche Ausbildung sichergestellt ist. Ferner wird Grundwissen vermittelt, auf das durch aufbauende Unterrichtseinheiten, etwa über Bussysteme, aufgebaut werden kann.
- **Betriebliche Praxis:** Die Inhalte richten sich nach den in der betrieblichen Praxis relevanten Themen. Nothaltsysteme und Schutztüren dienen als Beispiele von Schutzeinrichtungen, die in Betrieben an verschiedenen Maschinen zum Einsatz kommen. Die speicherprogrammierbaren Steuerungen der Firmen Eaton und Siemens sind als Lerngegenstand gewählt, da sie einerseits auf der Programmierenebene einen erleichterten Einstieg ermöglichen (Eaton) und andererseits als Marktführer in der Breite am häufigsten in der Praxis anzutreffen sind (Siemens).

4.7.5.2 Über die Unterrichtsreihe „Maschinensicherheit/SafetySim“

SafetySim richtet sich an Auszubildende und Studierende, die sich aufgrund der jeweiligen Rahmenlehrpläne oder Studienordnungen im Zuge ihrer Berufsausbildung oder ihres Studiums u.a. mit den Fachthemen „Mechatronik“, „Elektrotechnik“ und „Automatisierungstechnik“ auseinandersetzen. Durch das Projekt erhalten sie die Möglichkeit, mittels einer Anlagensimulation den Einsatz von sicherheitsgerichteten speicherprogrammierbaren Steuerungen (Sicherheits-SPS), die den aktuellen Normen DIN EN ISO 13849 und DIN EN 62061 entsprechen, realitätsnah zu üben. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Konfiguration und Programmierung der Systeme.

Als Basis dient ein 3D-simulationsbasiertes Mehrbenutzer-Trainingssystem, das die Anwenderin oder den Anwender dabei unterstützt, Sicherheitsfunktionen mittels einer Sicherheits-SPS zu realisieren. Software simuliert hierzu in physikalisch und elektromechanisch korrekter Weise die einzelnen Schutzeinrichtungen einer Maschine bzw. Anlage, und zwar inklusive der zugehörigen Sensoren und Aktoren. Ein ebenfalls speziell hierfür konzipierter E/A-Adapter wandelt die über die Simulation erzeugten Signale dann so um, dass eine handelsübliche Sicherheits-SPS, beispiels-

weise von Siemens oder Eaton, die Daten anschließend auslesen kann. Hierdurch sind die Anwenderinnen und Anwender in der Lage, mittels der durch die Simulation erzeugten Sensordaten eine realitätsnah simulierte Maschine zu steuern.

Um den Auszubildenden und Studierenden das zum Einsatz von Safety-SPSen notwendige Wissen zu vermitteln, kommt das Modell der vollständigen Handlung zum Einsatz, welches ein handlungsorientiertes Lernen ermöglicht.

Das Modell selbst und arbeitsprozessorientiertes besteht aus sechs Handlungsstufen:

1. Informieren
2. Planen
3. Entscheiden
4. Ausführen
5. Kontrollieren
6. Beurteilen

Die Auszubildenden und Studierenden sollen sich das erforderliche Wissen daher weitestgehend selbstständig und eigenorganisiert in Einzel- und Gruppenarbeit aneignen, können sich jedoch bei Bedarf an eine Lernbegleiterin oder einen Lernbegleiter wenden.

Um das zu ermöglichen, sind in die einzelnen Simulationen Fehler eingestreut, die die einzelnen Lerngruppen in Form von Gruppenarbeit beheben sollen. Dazu zählen beispielsweise das Auftreten von Kontaktdiskrepanzen und Drahtbruch sowie das Festschweißen von Schützen oder Kurz- und Querschläüssen. Dabei simuliert SafetySim auch die Reaktionen der Sicherheits-SPS auf die simulierten Fehler unter Echtzeitbedingungen, damit die Auszubildenden und Studierenden diese beobachten und analysieren können.

SafetySim vermittelt Auszubildenden und Studierenden den Umgang mit elektrischen Anlagen sowie die zugehörige Fehlererkennung und Maschinensicherheit. Darüber hinaus sollen die Anwenderinnen und Anwender auch die Kompetenz erwerben, räumlich-logische Zusammenhänge zu erfassen und bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten besonders gründlich und systematisch vorzugehen.

Um diese Kenntnisse und Fertigkeiten zu vermitteln, gliedert sich SafetySim in vier verschiedene Lernbausteine von je 90 Minuten Länge. Die Sequenzierung der Unterrichtseinheiten ist (noch) variabel (Schaubild unten: bisherige Planung, alternativer Vorschlag: siehe Lernzielkatalog, Kapitel 4 in dieser Ausarbeitung). Auf jeden Fall ist jeder Lernbaustein in kleinere Lerneinheiten aufgeschlüsselt, sodass ein punktuelles Lernen an den Stellen, an denen es individuell notwendig erscheint, möglich ist. Auch sind die Aufgaben, die in die einzelnen Bausteine integriert sind, so gestaltet, dass der Schwierigkeitsgrad variabel und individuell anpassbar ist. Dadurch erhalten Auszubildende und Studierende genau die Unterstützung, die sie beim Lernen benötigen. Die Ausbilder/-innen, Berufsschullehrer/-innen und Dozent/-in übernehmen hierbei eine Coaching-Funktion und stehen den Anwenderinnen und Anwendern als Lernbegleiter beratend zur Seite.

4.7.5.3 Bausteine

Der globalisierungsbedingte Strukturwandel in Wirtschaft und Gesellschaft hat dazu beigetragen, dass sich die Anforderungen an die Fachkräfte stetig verändern. Schnelle technologische Entwicklungen führen zu hochflexiblen betrieblichen Fertigungs- und Dienstleistungsprozessen. Beschäftigte in Fachkräftepositionen sind gefordert, eigenständig zu planen, zu koordinieren, zu kontrollieren und zu entscheiden – dies auf Basis eines breiteren Verständnisses des Zusammenwirkens von Aufgaben im Arbeitsprozess über alle früher getrennten Bereiche der Planung, Fertigung und der Services. Von Fachkräften werden verstärkt Kompetenzen, die ihnen eigenständige Arbeitsorganisation und Entscheidungsfähigkeit ermöglichen, sowie die dafür erforderlichen sozial-kommunikativen Kompetenzen erwartet. Die intensivere Integration früher getrennter

Funktionsbereiche lässt den Bedarf an Interaktionen mit unterschiedlichen Personengruppen und weiteren Funktionsbereichen, real und virtuell, ansteigen. Mithilfe des didaktisch-methodischen Konzepts werden Selbstorganisations-, Selbstlern- und Selbstentscheidungsfähigkeiten der Auszubildenden gezielt unterstützt. damit werden Sie entsprechend der Leistungserwartungen für eine Facharbeit in komplexen technischen sowie netzgestützten Arbeitsumgebungen vorbereitet. Die Umsetzung der geplanten Unterrichtseinheiten geschieht auf mehreren Abstraktionsebenen, beginnend mit der Konzeption des didaktischen Grundgerüsts daher gezielt und endend mit der Entwicklung konkreter Lehr- und Lerngegenstände. Dafür sind folgende Bausteine (siehe Abbildung 46) geplant:

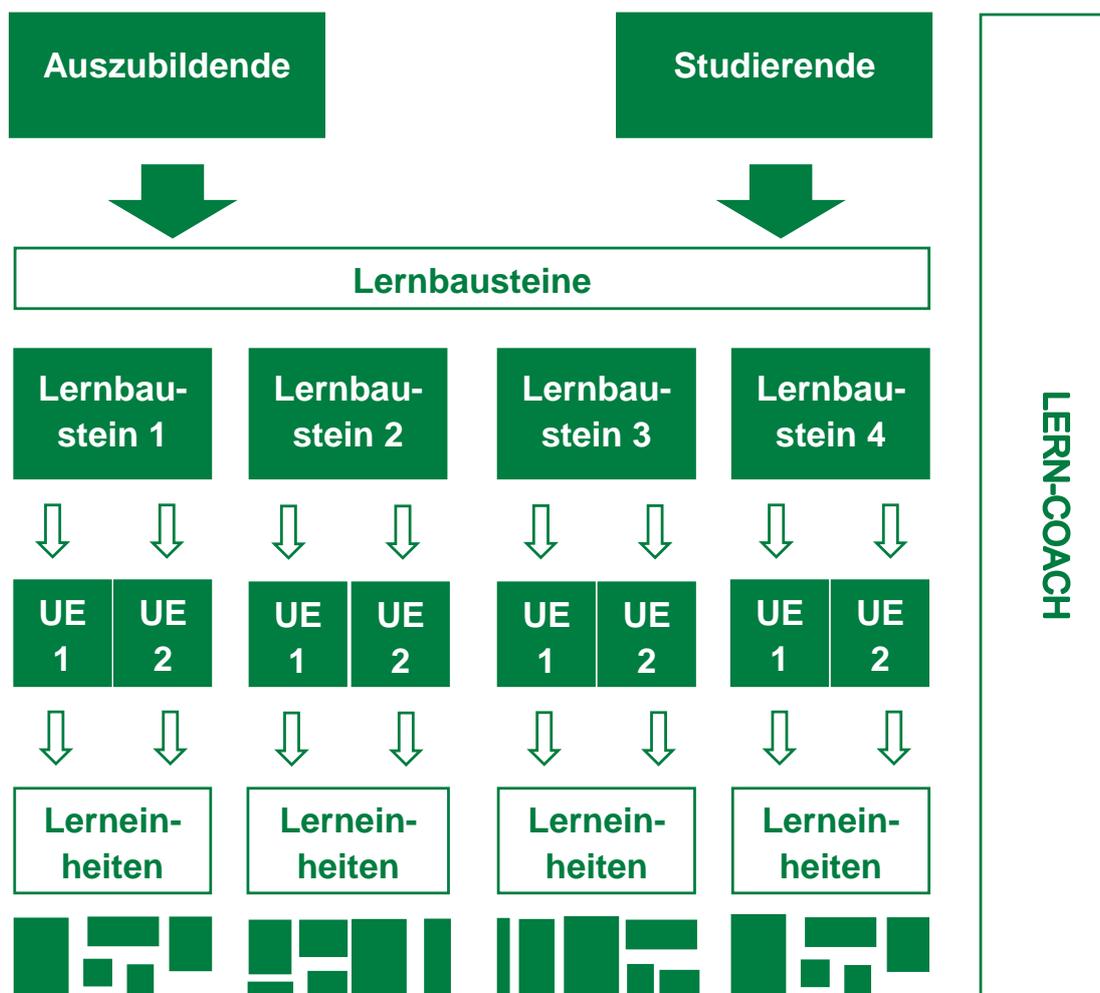


Abbildung 46. Konzeption des didaktischen Grundgerüsts

- **Didaktisches Gesamtkonzept**
 - Schriftliche Darstellung des Fachwissens
 - Schriftliche Darstellung des didaktischen Gesamtkonzepts
 - Anlehnung an Rahmenlehrpläne und Kompetenzanforderungen
 - Beschreibung der Zielgruppe, insb. benötigtes Vorwissen
 - Darlegung des Lernzielkatalogs (Groblernziele)
 - Sequenzierung der Unterrichtseinheiten
- **Unterrichtsmaterial je Unterrichtseinheit**
 - didaktische Begründung der eingesetzten Methoden, insb. didaktische Prinzipien
 - Verlaufsplan mit
 - Feinlernzielen
 - Zeitverlauf
 - Lehrer-/Schüleraktivität inklusive Binnendifferenzierung

- Sozialform
- Medieneinsatz
- Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler
 - Aufgabenpool und Musterlösungen
 - Arbeitsblätter
 - Erklärvideos aus moderierten Erklärfilmen und Icontechnik
- Arbeitsmaterial für Lehrerinnen und Lehrer
 - Didaktischer Leitfaden
 - Beschreibung der Bedienung der digitalen Medien (Benutzerhandbuch)
 - Präsentationsfolien
 - Zusammenstellung sämtlicher Unterrichtsmaterialien

4.7.5.4 Beispielhafte Umsetzung eines Lernbausteins von 45 Minuten

2.	Einstieg in das Simulationsprogramm - 0,5 UE (1 UE = 90 min)			
	Groblernziel	Feinlernziel	Sozialform	Medien
	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>		
	Das Simulationsprogramm grundlegend bedienen können	mit dem Hauptmenü/ Startbildschirm des Trainingssystems vertraut sein die Hardwarekomponenten des Trainingssystems kennen die Grundlagen der Bedienung des Trainingssystems kennen und entsprechende Abläufe selbst ausführen können	Einzelarbeit	Selbstlernheft, Erklärfilme, Arbeitsblätter

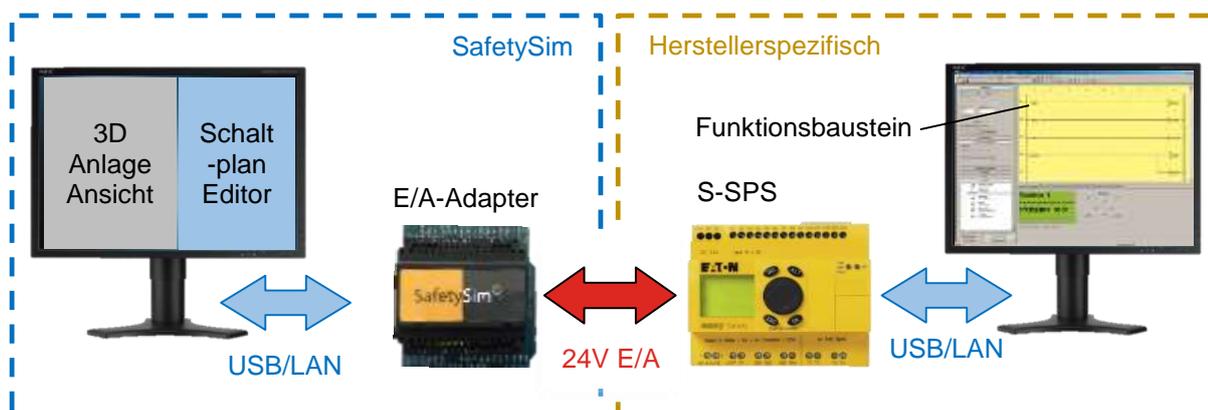


Abbildung 47. Übersicht des SafetySim-Konzepts: Eine fehlersichere speicherprogrammierbare Steuerung (S-SPS) wird über die Standard 24V E/A-Ebene an den SafetySim E/A-Adapter angeschlossen; programmiert wird diese über eine herstellereigene Programmierumgebung.

Aufgabenbeispiel. Der Schaltplan der fehlersicheren, speicherprogrammierbaren Steuerung muss um einen Funktionsbaustein erweitert werden, um das Nothaltesystem zu vervollständigen (siehe Abbildung 47):

- Analysieren Sie den Schaltplan
- Wählen Sie den passenden Funktionsbaustein aus
- Erweitern Sie den Schaltplan im Anwenderprogramm entsprechend

- Testen Sie Ihr Anwenderprogramm ausführlich in der 3D-Simulation
- Nehmen Sie gegebenenfalls Korrekturen vor

4.7.5.5 Gestalterische Umsetzung der Medienbausteine

Printmedien

Das Lehr- und Lernmaterial wird in einem modernen medientechnischen Format umgesetzt. Didaktisch werden die Inhalte in allgemeinverständlicher Sprache verfasst. Die Auszubildenden werden anhand eines symbolischen Leitsystems durch das Arbeitsmaterial begleitet. Darin sind Bezüge zur eingesetzten Hard- und Software sowie zu den Erklärfilmen ein wesentlicher Baustein. An didaktisch sinnvollen Stellen werden Inhalte graphisch visualisiert (siehe auch Anhang D).

Präsentationsfolien

Die Präsentationsfolien für Lehrerinnen und Lehrer werden textlich auf das minimal Notwendige reduziert. Komplexere Inhalte werden grafisch mit kurzen Erläuterungen dargestellt. Die Folien werden im Lehrerleitfaden für den Unterrichtseinsatz kommentiert (siehe auch Anhang C).

Erklärfilme in Icontechnik

In Erklärfilmen in Icontechnik sind Lerninhalte auf das Wesentliche reduziert. Sie werden in einer iconbasierten Bildwelt auf einem puristischen Hintergrund visualisiert und in einem vertonten Animationsfilm montiert. Kleine Lernpakete werden so anschaulich und effizient vermittelt (siehe auch Kap. 4.10).

Moderierte Erklärvideos

Moderierte Erklärfilme sind auf die Seh- und Lerngewohnheiten jüngerer Zielgruppen mit starker Affinität zu sozialen Netzwerken zugeschnitten. Professionelle Moderatorinnen und Moderatoren geben in frei gestaltbaren virtuellen Umgebungen Informationen, die durch die Einblendung von Grafiken, Tabellen, Texttafeln usw. ergänzt werden. Das Format ist dabei nicht nur modern, sondern auch flexibel und vergleichsweise kostengünstig (siehe auch Kap. 4.10).

4.7.6 Lernzielkatalog

Grundsätzliches und übergeordnetes Ziel der Unterrichtsreihe „Maschinensicherheit“ ist die Sensibilisierung und Erhöhung des Bewusstseins für Arbeitsschutz und Maschinensicherheit in der Aus- und Weiterbildung technischer Berufe.

1. Einführung in die Maschinensicherheit - 1 UE (1 UE = 90 min)				
	Groblernziel	Feinlernziel	Sozialform	Medien
	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>		
1.1 45 min	sich mit der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG vertraut machen	einen Überblick über die Maschinenrichtlinie und das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) erhalten	Lehrervortrag	Folien
		grundlegende Sicherheitsanforderungen an Maschinen kennen		
		die Anforderungen der Maschinenrichtlinie an die Risikobeurteilung kennen	Einzelarbeit	Selbstlernheft, Erklärfilme, Arbeitsblätter
		wissen, welche Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen sich aus der Risikobeurteilung ergeben		

		den Zusammenhang zwischen Maschinenrichtlinie und DIN EN ISO 13849-1 sowie DIN EN 62061 kennen		
		Wissen, dass die DIN EN ISO 13849 auch Anforderungen an die Software eingesetzter S-SPSen enthält.		
1.2 45 min	sich mit wichtigen Inhalten der Norm DIN EN ISO 13849-1 vertraut machen	die folgenden Typen von Software-sprachen kennen: Full Variability Language (FVL), z.B. C, C++; Limited Variability Language (LVL), z.B. Funktions-Blockdiagramm o. KOP nach DIN EN 61131-3	Einzelarbeit	Selbstlernheft, Erklärfilme, Arbeitsblätter
		wissen, welcher Zusammenhang zwischen Softwaresprachen, Softwarearten und anzuwendenden Normen besteht		
		die folgenden Software-Arten unterscheiden können: SRESW, SRASW, Parametrier-Software		
		wissen, welche Anforderungen an sicherheitsbezogene Anwendersoftware (SRASW) bestehen (Performance Level, PL)		
		wichtige Programmierrichtlinien (lesbarer und verständlicher Code) kennen		
		die Regeln für die Trennung von sicherheitsbezogener und nicht sicherheitsbezogener Software kennen		
		die Bedeutung von Tests und Dokumentationen kennen		
1.3. Einstieg in das Simulationsprogramm - 0,5 UE (1 UE = 90 min)				
	Groblernziel	Feinlernziel	Sozialform	Medien
	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>		
45 min	Das Simulationsprogramm grundlegend bedienen können	mit dem Hauptmenü/ Startbildschirm des Trainingssystems vertraut sein	Einzelarbeit	Selbstlernheft, Erklärfilme, Arbeitsblätter
		die Hardwarekomponenten des Trainingssystems kennen		
		die Grundlagen der Bedienung des Trainingssystems kennen und entsprechende Abläufe selbst ausführen können		
2. Programmierung spezieller SPS - 2 UE (1 UE = 90 min)				

	Groblernziel	Feinlernziel	Sozialform	Medien
	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>		
2.1 90 min	die Grundlagen der Programmiermöglichkeiten bei EATON-Steuerungen kennen und diese anwenden können	in der Lage sein, einen bestehenden Schaltplan durch Einzelbausteine zu erweitern: 1) Programmierung NOT-HALT-Abschaltung 2) Programmierung bewegliche Schutzeinrichtung (Schutztür) 3) Programmierung Überwachung offener Gefahrenbereich (Lichtgitter)	Gruppen- und Projektarbeit	Simulation, Erklärfilme, Arbeitsblatt
2.2 90 min	die Grundlagen der Programmiermöglichkeiten bei Siemens-Steuerungen kennen und diese anwenden können	in der Lage sein, einen bestehenden Schaltplan durch Einzelbausteine zu erweitern: 1) Programmierung NOT-HALT-Abschaltung 2) Programmierung bewegliche Schutzeinrichtung (Schutztür) 3) Programmierung Überwachung offener Gefahrenbereich (Lichtgitter)	Gruppen- und Projektarbeit	Simulation, Erklärfilme, Arbeitsblatt
3.	Einsatzszenarien von SPS - 0,5 UE (1 UE = 90 min)			
	Groblernziel	Feinlernziel	Sozialform	Medien
	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>	<i>Die/der Auszubildende soll...</i>		
45 min	Wissen, welche Vorteile der Einsatz von SPS bietet und in welchen Szenarien/ Unternehmensumgebungen SPSen am sinnvollsten eingesetzt werden können	die Vorteile von SPS gegenüber herkömmlichen Steuerungsmöglichkeiten kennen (Kosten, Flexibilität, Standardisierungsgrad etc.)	Internet-recherche	Arbeitsblätter
		argumentativ begründen können, welche Einsatzszenarien zum jeweiligen Steuerungskonzept passen	Diskussion, Talkshow, Workshop	Arbeitsblätter

4.7.7 Beispiel für den Ausbilderleitfaden „Programmierung spezieller SPS“

Im Rahmen des Forschungsprojektes SafetySim soll anhand des 2. Lernbausteins „Programmierung spezieller SPS“ exemplarisch das weitere Vorgehen im Bereich einzusetzender Medien erarbeitet werden. Dabei wird zunächst „nur“ die Aufgabe gegeben, die Not-Halt-Funktion einer vorhandenen Steuerung, die einer niedrigeren Sicherheitsanforderungsstufe entspricht, in eine der Klasse 3 umzuwandeln. Hierzu ist das vorhandene Anwender-Programm einer Siemens-Sicherheits-SPS S7-1200 entsprechend zu ergänzen bzw. zu ändern.

Es wird das in diesem Konzept beschriebene Vorwissen vorausgesetzt. Insgesamt wird in dieser Hinsicht davon ausgegangen, dass die generelle Nutzung und Programmierung von Siemens-SPSen sowie der Einsatz eines entsprechenden Programmiersystems (Rechner mit Programmiersoftware) bekannt ist. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass die ersten beiden Lernbausteine erfolgreich bearbeitet wurden.

Aufgrund der gewünschten Zweigleisigkeit bezüglich der einzusetzenden Steuerungen ist vorgesehen, dass die jeweilige Lehranstalt entscheiden kann, mit welchem der beiden Systeme sie arbeiten will. Insofern müssen später die Lehrmaterialien im Wesentlichen jeweils für EATON- und Siemenssteuerungen ausgelegt sein.

Unter Beachtung der obigen Voraussetzungen wird ein Vorschlag für die Struktur der bereitzustellenden Unterrichtsmaterialien für Lehrkräfte sowie deren Inhalte unterbreitet (siehe Beispiel eines „SafetySim Ausbilderleitfaden“ Anhang E).

4.7.8 Vorläufiges Planungsgerüst für die Erprobungsphase

4.7.8.1 Kooperationspartner Berufsschule

Nach verschiedenen Auswahl- und Vorgesprächen bringt aus Sicht der SafetySim-Projektpartner das Lehrerteam des Kölner Hans-Böckler-Berufskollegs¹ sehr gute Voraussetzungen mit, um die praktische Erprobung von SafetySim zu unterstützen. Von Seiten der Verantwortlichen beim Berufskolleg besteht das starke Interesse und die Bereitschaft, die praktische Erprobung von SafetySim zu unterstützen und zu begleiten. Entsprechende Gespräche auf Führungs- und Fachebene wurden geführt und erste Schritte zur praktischen Umsetzung vereinbart.

4.7.8.2 Vorläufige Ablauf- und Zeitplanung

Die praktische Erprobung von SafetySim wird nach Beratung mit dem Erprobungspartner auf Basis von Hard- und Software des Marktführers Siemens durchgeführt, da sie sich aufgrund ihres Verarbeitungsgrades in Berufsschulen und der damit bereitstehenden Infrastruktur ein breiterer Transfer initiieren lässt. Eine der Klassenstärke entsprechende Ausstattung (ideal: maximal 2 Teilnehmer/innen pro Arbeitsplatz) sollte für die Praxiserprobung zur Verfügung gestellt werden.

Um die Akzeptanz bei den Lernenden und auch die rechtzeitige Entwicklung der notwendigen Lehr- und Lernmedien vorab zu gewährleisten, ist geplant, SafetySim in Zusammenarbeit mit Herrn Stammes sowie zwei Auszubildenden des Hans-Böckler Berufskollegs vorab zu testen und die entsprechenden Abläufe auch zu filmen. Die gemeinsame Vorab-Erprobung soll dann nicht nur Validierungszwecken, sondern gleichzeitig auch als Intro- und Lernsequenz(en) eines der geplanten Erklärvideos und damit auch der zielgruppengerechten Ansprache der Auszubildenden dienen. Dieser Teil der Praxiserprobung findet – schon aus Gründen der Unterrichtsplanung – idealerweise zwischen Mitte November und Mitte Dezember 2018 statt.

Die eigentliche Erprobungsphase im Unterricht sollte dann idealerweise zwischen Anfang April und Ende Mai 2019 liegen.

Diese Zeitplanung wird unter anderem vor dem Hintergrund folgender Überlegungen präferiert:

1) Blockzeiten des Berufskollegs (siehe Abbildung 48, betreffender Jahrgang: gelb)

¹ Hans-Böckler-Berufskolleg, Eitorfer Str. 18-20, 50679 Köln, <http://www.hbbk-koeln.de/>

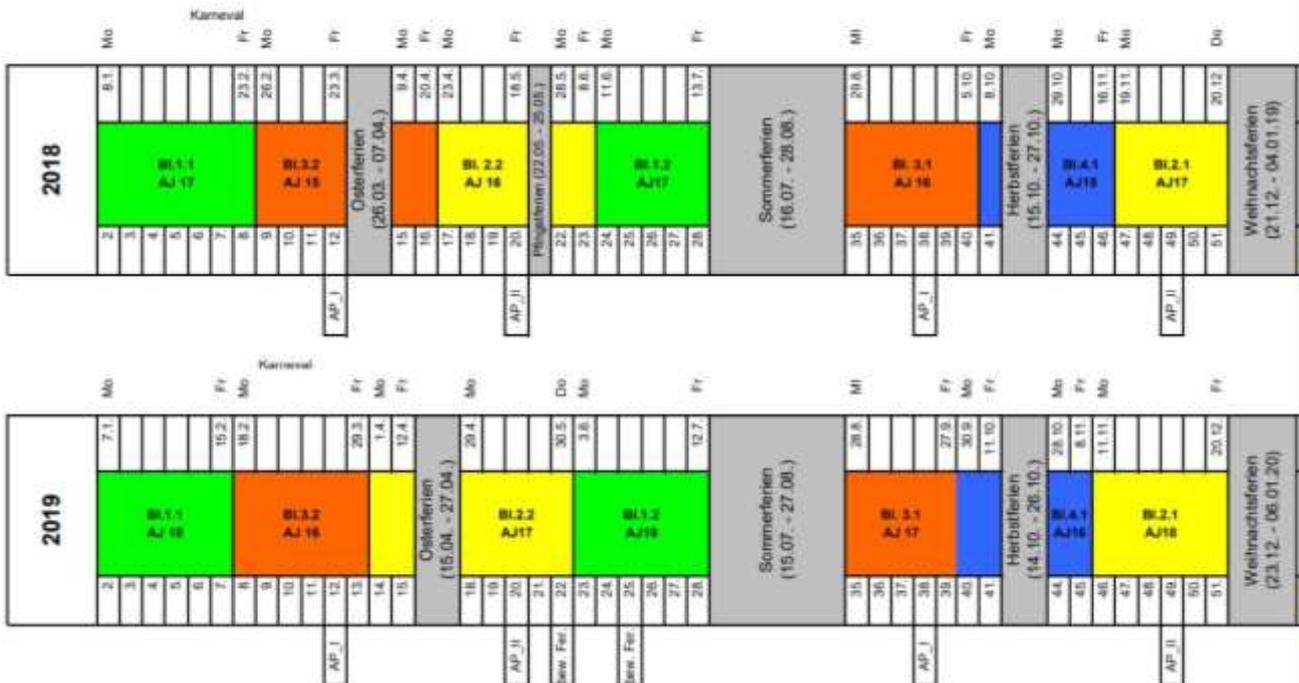


Abbildung 48. Beispiel der Blockzeiten des HBBKS

2) Prüfungsrelevanz vs. Auszubildendenmotivation

Das Thema Safety-SPS ist nach aktuellem Stand (noch) nicht in besonderem Maße prüfungsrelevant. Die Auszubildenden für die Bearbeitung des Themas zu motivieren, fällt vor allem dann nicht leicht, wenn die entsprechende Projektarbeit unmittelbar in die Zeit der Prüfungsvorbereitung der Auszubildenden fällt. Vor diesem Hintergrund wäre es beispielsweise schwierig, die gesamte Erprobung noch im vierten Quartal 2018 durchzuführen. Auch deshalb wird von den Projektpartnern die zweistufige Umsetzung (2018: Vorerprobung unter Einbeziehung der Medienentwicklung, 2019: Haupterprobung) präferiert. Perspektivisch wäre es überlegenswert, die Thematik auch unter dem Aspekt einer Prüfungsrelevanz mit zu betrachten, da damit durchaus eine signifikantere Berücksichtigung des entsprechend zu vermittelnden Wissens in der Ausbildung und im Unterricht zu erreichen sein sollte.

4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse aus der letzten Berichtsperiode

Als Ergebnis der ersten und der zweiten Projektphase (Meilenstein 1 und Meilenstein 2) wurde der erste Prototyp des SafetySim Systems realisiert. Der Prototyp umfasst folgende Bestandteile:

- Gesamtaufbau des Systems
- Hardware-Adapter
- Simulationssoftware
- Didaktik / Aufgaben
- Grafische Benutzeroberfläche
- Varianten der Arbeitsbereichsorganisation.

Im Verhältnis zum Projektstand dargestellt im vorherigen Zwischenbericht wurden die folgenden Ergebnisse erzielt:

Im Bereich der Hardwareentwicklung wurde der erste Prototyp des E/A-Adapters entwickelt und gebaut. Der Adapter wurde erfolgreich mit der EATON easy Safety SPS und der Siemens S7-1200 Safety SPS getestet. Für den E/A-Adapter wurde eine Embedded Software implementiert, die die Kommunikation zwischen SafetySim-Anwendung und der physischen SPS ermöglicht. Außerdem wurde im Rahmen der Vorbereitung der Nutzertestphase ein exemplarischer Prototyp eines physischen Benutzerbedienungsfeldes fertiggestellt.

Im Bereich der Softwareentwicklung wurde der Stromlaufplaneditor fertiggestellt. Für den Editor wurden die folgenden Module implementiert oder erweitert:

- Ein Simulator-Modul für die Berechnung des Stromlaufplans in der SafetySim Anwendung
- Ein Modul für das Laden der elektrischen Komponenten (inklusive Semantik, visuelle Darstellung und Interaktionsmöglichkeiten) und der gesamten Stromlaufpläne in den Simulator
- Ein Kommunikationsmodul für die Übertragung der Connectivity Matrix zum E/A-Adapter und für das Auslesen in Echtzeit der E/A-Signale vom E/A-Adapter
- Ein Modul, das die Funktionalität eines virtuellen digitalen Oszilloskops implementiert
- Ein Modul für die Berechnung der Connectivity Matrix
- Ein Modul für die Interaktion mit dem Stromlaufplan
- Ein Modul für die Fehlerinjektion in den Stromlaufplan, sowie die entsprechende Fehlersimulation.

Zusätzlich zu den erfolgten Arbeiten in den Bereichen Hard- und Softwareentwicklung wurde die erste Version der technischen Dokumentation fertiggestellt. Die Dokumentation umfasst das „SafetySim Bedienungsanleitung“ (siehe Anhang B) und „Kurzeinführung für die praktische Erprobung, SafetySim Erste Schritte“ (siehe Anhang C) sowie „Hinweise zum Lernbaustein für Auszubildende“ (siehe Anhang D).

4.9 Nutzertests und Evaluierung

Nutzertests wurden mit zwei Schulklassen am Hans-Böckler-Kolleg (BFS Schulklasse und Auszubildende zum Mechatroniker im 2. Lehrjahr) am 09. April 2019 (BFS, 13 Teilnehmer) und am 28. Mai 2019 (Mechatroniker, 12 Teilnehmer) (siehe auch Abbildung 49) durchgeführt.



Abbildung 49. Impressionen, die während des Evaluierungslaufs aufgenommen wurden. Die Studenten hören einem Lehrer bei der Erläuterung der Maschinensicherheitsrichtlinien zu.

Die Ausstattung bzw. Einrichtung eines Testlabors im HBBK entspricht den Inhalten wie es in Kapitel 4.6 Schulklassenausstattung im Detail beschrieben wurde.

Nach einer allgemeinen Einführung und Vorstellung des Projekttag wurden zunächst die einführenden Videos gezeigt (siehe Unterkapitel 4.10). Anschließend sollte der Lernbaustein 2.2 für die Siemens S7-1200 Safety SPS von den SuS bearbeitet, bzw. die didaktische Vorgehensweise exemplarisch evaluiert werden (siehe „Hinweise zum Lernbaustein für Auszubildende“ Anhang D, sowie „SafetySim Ausbilderleitfaden“ Anhang E). Die didaktische Begleitung wurde durch drei Berufsschullehrer des HBBK, durch die SafetySim-Projekt Mitarbeiter der H-BRS sowie durch Vertreter der DEKRA Media während der gesamten Projekttag geleistet. Im Anschluss wurde der Lernerfolg der Projekttag mit einem papierbasierten Fragebogen (siehe Anhang F) evaluiert.

Die Evaluationsergebnisse zeigen deutlich, dass die Schüler beider Schulklassen durch den Projekttag ihr allgemeines Verständnis zum Thema Maschinensicherheit haben entwickeln können bzw. dass eine Steigerung des Bewusstseins für die Bedeutung von Performance Level (PL) bzw. Sicherheits-Integritätslevel (SIL) für die Maschinensicherheit erzielt werden konnte. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass Kenntnisse und Fähigkeiten durch die Nutzung der Simulation "SafetySim" erworben werden konnten, die für die künftige Berufspraxis von Bedeutung sind. Eine vollständige Darstellung der erzielten Evaluationsergebnisse befindet sich in Anhang G. Aus Termingründen von Seiten des HBBKs war es leider nicht mehr möglich, eine zweite Lerneinheit mit dieser Ausbildungsklassen durchzuführen, obwohl dies der ursprüngliche und zuvor abgestimmte Plan war.

4.10 Dokumentation der erstellten Lehr- und Lernmaterialien

- SafetySim auf der H-BRS Website
<https://www.h-brs.de/de/safetysim>
- SafetySim auf der foraus.de Website
<https://www.foraus.de/de/safety-sim-multimediales-lehr-und-lernkonzept-zur-maschinen-und-anlagensicherheit-124638.php>
- 1 dokumentarischer Webcast über das Projekt Safety Sim - multimediales Lehr- und Lernkonzept zur Maschinen- und Anlagensicherheit (Video)
https://www.foraus.de/dokumente/video/SafetySim_V7_SD.mp4
- 1 Präsentationen zum Thema „Maschinensicherheit“ (Foliensatz) ((siehe Anhang A)
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-maschinensicherheit-de.pdf> oder
https://www.foraus.de/dokumente/pdf/LB_1_Maschinensicherheit.pdf
- 2 moderierte Erklärvideos zum Thema „Maschinensicherheit“
 - Video 1: Maschinensicherheit - Vorschriften und Risikobeurteilung
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-maschinensicherheit-video-01-de.wmv>
 - Video 2: Maschinensicherheit – Risikominderung
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-maschinensicherheit-video-02-de.wmv>
- 1 Dokument SafetySim Bedienanleitung (siehe Anhang B)
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-bedienungsanleitung-de.pdf>
- 1 Präsentation zur Einführung in das Projekt „SafetySim“ (Foliensatz) (siehe Anhang C)
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-erste-schritte-siemens-de.pdf> oder
https://www.foraus.de/dokumente/pdf/LB_2_Safety_Sim_Einführung_Erprobung.pdf
- 1 Dokument „Hinweise zum Lernbaustein für Auszubildende“ (siehe Anhang D)
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-aufgaben-siemens-de.pdf> oder
https://www.foraus.de/dokumente/pdf/Arbeitsbl%c3%a4tter_Azubis_LB_2.pdf
- 1 Dokument „Ausbilderleitfaden“ (siehe Anhang E)
<https://www.h-brs.de/files/related/safetysim-ausbilderleitfaden-de.pdf> oder
https://www.foraus.de/dokumente/pdf/Ausbilderleitfaden_SafetySim_LB_2.pdf
- 1 Teilnehmer-Fragebogen zur Evaluation (siehe Anhang F)
- SafetySim Projektvideo mit Eaton SPS Beispiel
https://www.h-brs.de/files/related/safetysim_project_eaton.wmv

Alle oben genannten Dokumente werden auf der Projektwebseite des SafetySim-Projekts (siehe <https://www.h-brs.de/de/safetysim> sowie <https://www.foraus.de/de/safety-sim-multimediales-lehr-und-lernkonzept-zur-maschinen-und-anlagensicherheit-124638.php>) digital zur Verfügung gestellt.

Die Quelldaten entwickelten Software sowie die Softwareapplikationen selbst sind auf dem GitLab Server des Instituts für Visual Computing hinterlegt und können bei Bedarf bzw. Anfrage zugänglich gemacht werden. Dort sind ebenfalls entsprechende Softwaredokumentationen beigefügt.
(siehe <https://skylab.vc.h-brs.de/tsaito2m/SafetySim>)

5 Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

Während der letzten Berichtsperiode wurden keine relevanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von anderen Arbeitsgruppen zu diesem spezifischen Thema festgestellt.

6 Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

Im Rahmen des SafetySim-Projektes konnten exemplarisch digitale Lehrkonzepte für sicherheitsgerichteten Speicherprogrammierte Steuerungen (Safety-SPSen) speziell für den Einsatz in berufsbildenden Schulen entwickelt werden. Diese Konzepte wurden im Rahmen erster Feldtests im Hans-Böckler Berufskolleg (HBBK) in Köln-Deutz in realen Berufsbildenden Unterrichtssituationen getestet und evaluiert. Im Rahmen dessen konnte nachgewiesen werden, dass die entwickelten Lehrkonzepte und Lerninhalte grundsätzlich geeignet sind, bestimmte sicherheitsrelevante Aspekte der Maschinensicherheit zu vermitteln.

Die entwickelten Lehreinheiten stellen somit einen Beitrag zur Reduzierung von Ausbildungsdefiziten beim Einsatz und der Verwendung von Sicherheitsfunktionen dar und tragen somit mittelbar zur Verhütung von Unfällen d.h. primär zur Prävention bei. Darüber hinaus unterstützen die Lehreinheiten gleichzeitig den sich bereits abzeichnenden Technologiewandel, dass einerseits nicht sicherheitsrelevante und sicherheitsrelevante Anteile von Speicherprogrammierbaren Steuerungen technisch zusammenwachsen. Zukünftig ist davon auszugehen, dass sowohl sicherheitsrelevante als auch nicht-sicherheitsrelevante Komponenten gemeinsam programmiert werden. Andererseits werden zunehmend digitale Lehrinhalte durch computerbasierte 3D-Simulationen Einzug in den beruflichen Ausbildungsalltag haben.

Somit ist davon auszugehen, dass langfristig die in dem SafetySim Projekt exemplarisch erzielten Ergebnisse einen positiven Einfluss auf die Qualität der beruflichen Ausbildung hinsichtlich der Fokussierung auch auf Sicherheitsfunktionalitäten auf die Unfallträchtigkeit von und an Anlagen insgesamt haben wird, da dadurch ein höheres Bewusstsein für die damit verbundene Problematik geschaffen wird. Durch die attraktive Umsetzung der Lerninhalte durch 3D-Simulationen konnten zudem Zugänge zu den Auszubildenden hergestellt werden, die sich nahe an deren Lebens- und Arbeitssituation anpassen. Dadurch ist zu erwarten, dass die Lerninhalte leichter verstanden und verinnerlicht werden können.

Ferner wurde dem dringenden Umsetzungsbedarf zur Anpassung der Ausbildungsinhalte im Sinne der Vermittlung der harmonisierten Normen DIN EN ISO 13849-1, DIN EN 62061 bzgl. der Anwendung von Fehlersichere-SPSen nachgekommen, was ebenfalls mittelbar einen Beitrag zur Unfallverhütung bzw. -prävention leistet.

Die im Rahmen des SafetySim Projekt exemplarisch realisierte Entwicklungs- und Simulationsumgebung (Schulumgebung siehe Kap. 4.6) war mehrere Monate im HBBK installiert und wurde dort partiell im Rahmen der regulären Lehrveranstaltung eingesetzt. Derzeit befindet sich die Arbeitsplatz- und Simulationssysteme wieder in der H-BRS im Computer Vision Labor des Instituts für Visual Computing und können dort im Rahmen der Ausbildung in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen (z.B. Elektrotechnik mit Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik) eingesetzt werden.

Erste Kontakte zu Lehrmittelherstellern wurden im Rahmen der Projektlaufzeit hergestellt. Jedoch konnten bis zur Erstellung dieses Abschlussberichtes keine Vereinbarung zur Aufnahme bzw. Weiterführung der SafetySim Projektideen getroffen werden (siehe dazu auch Kap. 7).

7 Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Derzeit bestehen keine konkreten weiteren Umsetzungspläne, obwohl bereits diverse Gespräche mit Lehrmittelherstellern geführt worden sind. Als eine wesentliche Hürde zur weiteren Vermarktung bzw. Kommerzialisierung der erzielten Projektergebnisse hat sich dabei das geschätzte Vermarktungspotential herausgestellt. Nichts desto trotz werden und wurden die erzielten Ergebnisse bereits mehrfach präsentiert und von einem Fachpublikum diskutiert.

7.1 Tag der Forschung 2017

Zum dritten Mal nach 2013 und 2015 veranstaltete die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg den Tag der Forschung an ihrem Campus in Sankt Augustin. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Fachbereiche stellen am 18. Mai sich und ihre Forschungsprojekte der Öffentlichkeit vor. Die große Bandbreite der Forschungsthemen zeigt sich an einer Vielzahl von Exponaten und Postern.

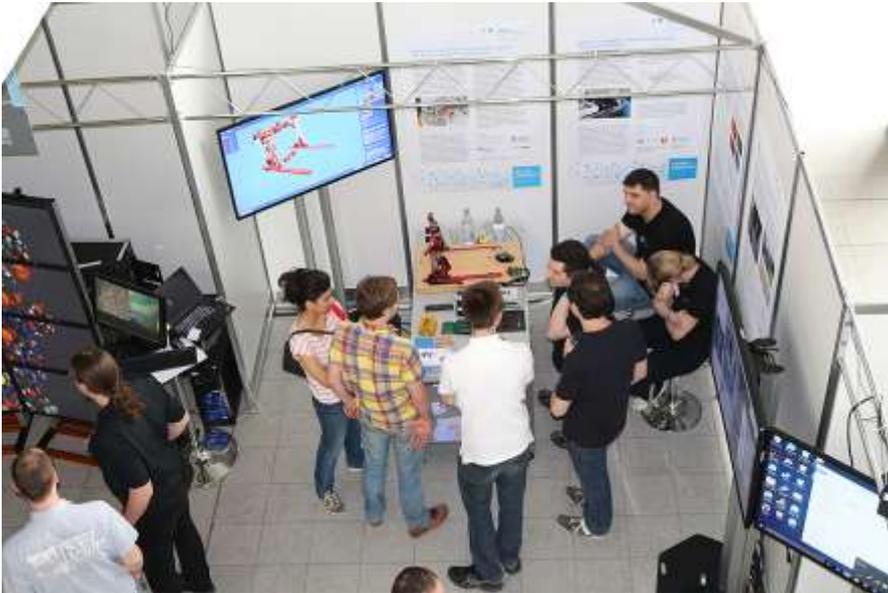


Abbildung 50. Der Projektstand zieht neue Besucher an. Die Fragen zur schematischen Echtzeit-Visualisierung werden gestellt.



Abbildung 51. SafetySim Projektkoordinator, Timur Saitov erklärt das Konzept des SafetySim-Projekts am bereits entwickelten Modell eines Portalkrans. Dieses Modell wurde in einem früheren, vergleichbaren Projekt entwickelt, das auf die Berufsausbildung im Bereich der SPS-Automatisierung zielte.

7.2 H-BRS CtW Workshop Ausbildung und Training in VR

Methoden der Virtuelle Realität (VR) sind schon lange nicht mehr nur im Bereich des Gamings von großer Bedeutung. Auch in der Industrie gibt es viele Anwendungsbereiche, die sich in virtuellen Umgebungen abbilden lassen. Im Showroom für Visualisierung der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg stehen wir in direktem Kontakt mit Vertretern aus Industrie und Wirtschaft und reagieren in diesem Zusammenhang im Rahmen des Campus-to-World (CtW) Projektes auf die aktuelle Nachfrage. Am 28. November 2019 fand an Hochschule Bonn-Rhein-Sieg am Campus Sankt Augustin ein CtW Workshop zum Thema „Ausbildung und Training in VR“ statt, auf dem das SafetySim Projekt präsentiert wurde (siehe Abbildung 52 und Abbildung 53).



Abbildung 52. SafetySim Projektkoordinator, Timur Saitov präsentiert das SafetySim-Projekt als innovatives Lernkonzept für Maschinensicherheit in der virtuellen Realität.

In einem Punkt waren sich alle Experten einig: Lernen mit VR aufbereiteten Inhalten wird zukünftig stärker in den Fokus rücken. Durch die Emotionalisierung von Lerninhalten werden diese intensiver wahrgenommen und bleiben besser in Erinnerung. Unterschiedliche Ansichten gab es im Hinblick auf die technische Umsetzung des visuell unterstützten Lernens. Es wurde darüber diskutiert, ob bzw. wie zukünftig Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR) oder Augmented Reality (AR) in Ausbildung und Training angewendet werden.

Nach einer kurzen Begrüßung durch den Leiter des Showrooms, Prof. André Hinkenjann, wurde durch eingeladene Vorträge die Bandbreite des Einsatzes von VR für Training und Ausbildung deutlich. Timon Vielhaber (World of VR) berichtete über die Praxiserfahrungen mit VR-Training in seinem Unternehmen, Pablo Olmos (ANIMA RES) gab einen Überblick über die Einordnung von AR, VR und MR und Timur Saitov (Institut für Visual Computing, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg) stellte die realitätsnahe Anlagensimulation, die für die Aus- und Weiterbildung an der Hochschule genutzt wird, vor.

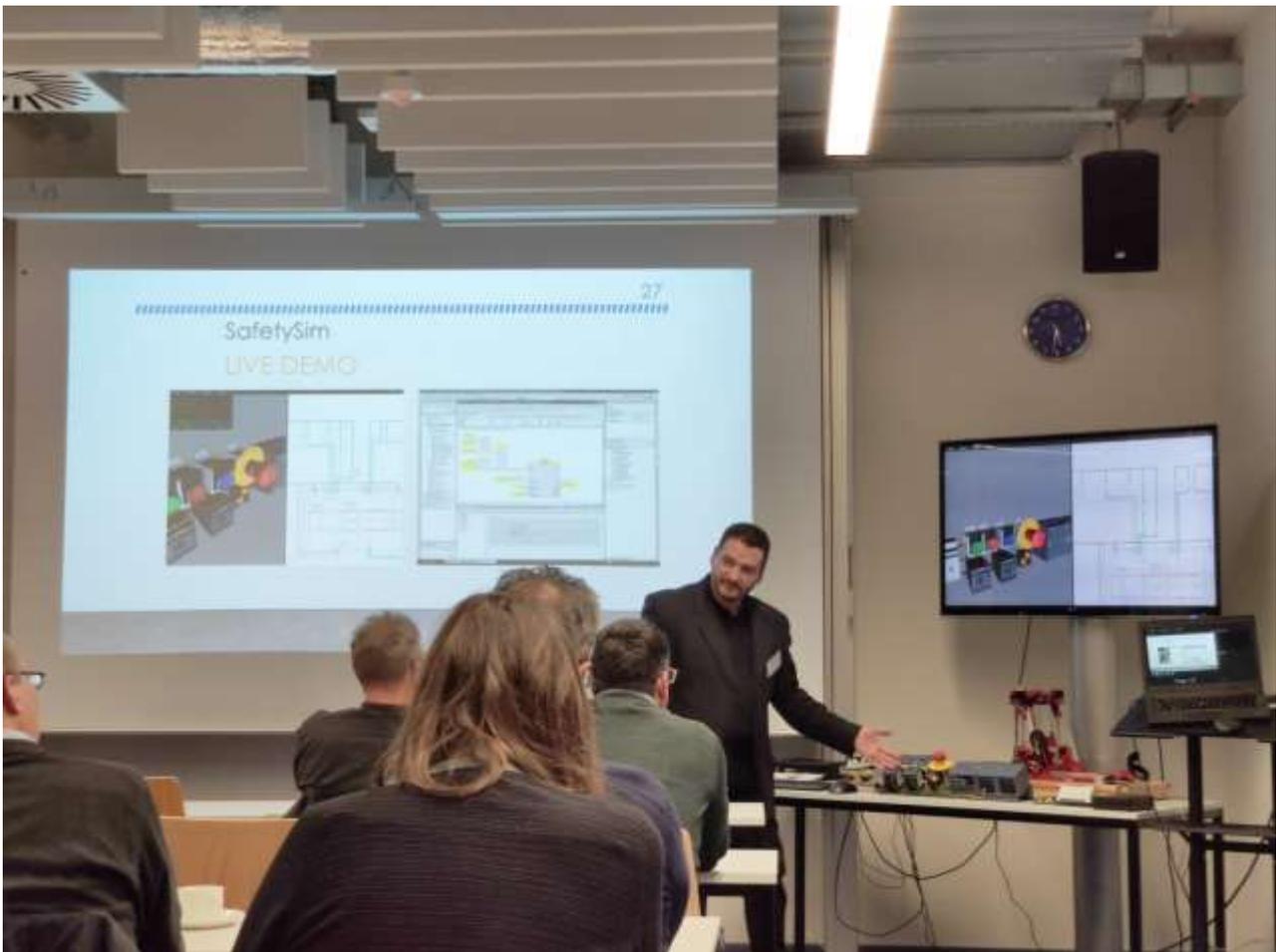


Abbildung 53. SafetySim Projektkoordinator, Timur Saitov führt eine Live-Demonstration des SafetySim-Projekts beim AR/VR-Workshop an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg durch.

Im Rahmen der CtW Aktivitäten werden weitere öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen in den nächsten Jahren an der H-BRS stattfinden, in denen gewerbliche Partner realitätsnahe Projektergebnisse aus dem Institut für Visual Computing präsentiert bekommen werden. In diesem Kontext wird das SafetySim Projekt sicherlich noch mehrfach demonstriert und diskutiert werden.

Darüber hinaus fand eine Vorstellung und Diskussion des SafetySim-Projektergebnisses außerhalb der Begleitkreistreffen mit Dr. h.c. Heinz Hundeloh, DGUV Fachbereich Bildungseinrichtungen (FB BE), Düsseldorf am 02.07.2019 statt. Am 29.08.2019 fand außerdem die Vorstellung und Diskussion der erzielten Projektergebnisse mit Dipl.-Ing. Carsten Diekel, Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz, statt.

Am 07.12.2020 ist eine Präsentation des SafetySim Projektes auf dem Jahreskongress Berufliche Bildung 2020 (<https://www.jakobb.de/>) im Rahmen eines Onlineformates geplant. Darüber hinaus sind Publikationen in unterschiedlichen wissenschaftlichen und betrieblichen Medien geplant.

8 Anhang/Anhänge

Anhang A Einführung in die Maschinensicherheit

Anhang B SafetySim Bedienungsanleitung

Anhang C Kurzeinführung für die praktische Erprobung, SafetySim Erste Schritte

Anhang D Hinweise zum Lernbaustein für Auszubildende

Anhang E SafetySim Ausbilderleitfaden „Programmierung spezieller SPS“

Anhang F Evaluationsfragebogen

Anhang G Evaluationsergebnisse

- Erste Erprobung im Hans-Böckler-Berufskolleg in Köln BFS Schulklasse mit 13 Teilnehmern
- Zweite Erprobung im Hans-Böckler-Berufskolleg in Köln Schulklasse Ausbildungsgang Mechatronik mit 12 Teilnehmern

Anhang H Erklärung für das Berichtswesen in Kooperationsprojekten

Projektnummer: FF-FP0397

Titel: Entwicklung von digitalen Ausbildungskonzepten zur realitätsnahen Anlagensimulation für den Einsatz von Sicherheits-SPSen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung (SafetySim)

Hiermit erklären die Unterzeichnenden, dass der zum __.__.2020 vorgelegte **Abschlussbericht** mit allen Kooperationspartnern abgestimmt ist.

Prof. Dr.-Ing. Rainer Herpers

Institute of Visual Computing, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (H-BRS) Datum: __.__.2020

Name, Institution

Prof. Dr. Michael Heister

Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) Datum: __.__.2020

Name, Institution