

Mobile Lernumgebung zur simulativen Gestaltung von Produktionssystemen

Mobile Learning Environment for the Simulation-supported Design of Production Systems

Bastian C. Müller, Günther Seliger, TU Berlin, Berlin (Germany),
mueller@mf.tu-berlin.de, seliger@mf.tu-berlin.de

Markus Kühn, Moritz Schele, UNITY AG, Berlin (Germany),
markus.kuehn@unity.de, moritz.schele@unity.de

Abstract: Throughout the years, the discrete-event simulation has proven to be a powerful decision support tool in the target system of minimizing throughput time, minimizing due date deviation, maximizing capacity utilization and minimizing inventory. However, prior knowledge, required for the use of software tools, is an obstacle in the wide use of software packages. A mobile learning environment for the simulation-supported design of production systems is presented. It is shown how a software tool can be learned by consultants and students, considering motivation as a conducive factor.

1 Einleitung

Bei der Neu- und Umplanung von Produktionssystemen ist es attraktiv, möglichst viele Alternativen in kurzer Zeit zu analysieren. Die ereignisdiskrete Simulation hat sich über viele Jahre als ein Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung im Zielsystem von Durchlaufzeitminimierung, Terminabweichung, Auslastungsmaximierung und Bestandsminimierung bewährt (VDI 3633 Blatt 1 2014). Allerdings sind Vorkenntnisse, welche für die Nutzung handelsüblicher Software erforderlich sind, ein Hindernis in der breiten Verwendung von Simulationsinstrumenten. Der vorliegende Beitrag zeigt Wege auf, wie Nutzer motiviert an den Einsatz von Simulationsinstrumenten zur Lösung von Planungsaufgaben herangeführt werden können.

Im Folgenden ist relevante Literatur mit Blick auf die Heranführung an Simulationsinstrumente analysiert. Eine Lernumgebung zur simulativen Gestaltung von Produktionssystemen ist daraufhin konzipiert. Die Beschreibung der prototypischen Umsetzung und einer Studie mit Beratern und Studierenden im Hinblick auf die Motivation und Lernförderlichkeit der Lernumgebung schließen den Beitrag ab.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Unerfahrene Anwender ereignisdiskreter Simulationsinstrumente lassen sich durch das Lösen von Fallstudien an die Nutzung spezifischer Instrumente heranzuführen. Beispielsweise veröffentlichten Bangsow (2015) und Eley (2012) umfangreiche Sammlungen, die ein Selbststudium eines spezifischen Instruments ermöglichen. Erklärungen und Diskussionen beispielhafter Lösungen sind oft abgedruckt. Solche Fallstudien können auch begleitend in Lehrveranstaltungen an Hochschulen sowie durch Simulationsdienstleister zur Schulung von Kunden genutzt werden.

Insbesondere junge Lernende erwarten jedoch zunehmend attraktive Lernangebote, auf die orts- und zeitunabhängig zugegriffen werden kann. Um die Aufmerksamkeit junger Lernender zu erhalten, scheinen mobile spielerische Ansätze geeignet zu sein. Padilla et al. (2016) beschreiben in diesem Kontext einen ersten Ansatz. Vor dem Hintergrund der Heranführung neuer Nutzer an das Simulationsinstrument ClouDES beschreiben sie den Einsatz von Simulationsspielen als eine zunächst unterhaltsame Lernaktivität. Bei ClouDES handelt es sich um einen Ansatz der Online-Simulation (Padilla et al. 2014). Die Benutzeroberfläche ist plattformunabhängig gestaltet und lässt sich im Webbrowser sowie als mobile Applikation darstellen. Das Instrument richtet sich an Schüler. Konkret werden durch die Autoren die zwei Spiele *Medieval Wars* und *Dystopian City* benannt, die in ClouDES implementiert sind (Padilla et al. 2016). Das Ziel beider Spielansätze besteht darin, Simulationsmodelle durch Instanziierung vorbereiteter Bausteine gemäß einer Spielbeschreibung aufzubauen. Im Vordergrund steht eine Geschichte, die Spielende zu gewissen Handlungen im Simulationsinstrument motivieren soll. Mit Blick auf das Ziel des jeweiligen Spiels müssen Nutzer die korrekten vordefinierten Bausteine wählen und parametrieren. Neben ClouDES sind den Autoren dieses Beitrags keine weiteren vergleichbaren Ansätze bekannt.

Im Kontext der Heranführung unerfahrener Anwender an ereignisdiskrete Simulationsinstrumente sind in diesem Beitrag die bislang nicht gelösten Herausforderungen adressiert. Es ist im Folgenden ein Spielkonzept entworfen worden, welches sich auf andere Simulationsinstrumente übertragen lassen kann, die zur Modellierung und Simulation komplizierter oder komplexer Systeme geeignet sind. Vor dem Hintergrund der Beschreibung spezifischer Logiken, die sich kaum oder gar nicht mit vordefinierten Objekten modellieren lassen, ist im Folgenden ein Ansatz zur Heranführung an eine Skriptsprache für objektorientierte Simulationsinstrumente dokumentiert. Die Erprobung des Konzepts ist in einem konkreten Szenario beschrieben.

3 Konzept

Nachfolgend ist eine experimentelle mobile Lernumgebung beschrieben. Wissen über die Anwendung ereignisdiskreter Simulationsinstrumente soll orts- und zeitunabhängig vermittelt werden. Der Versuchsaufbau besteht aus einer lernförderlichen mobilen Applikation (App), einer Datenbank und einem Simulationsinstrument. Schematisch ist das Zusammenspiel in Abbildung 1 aufgezeigt.

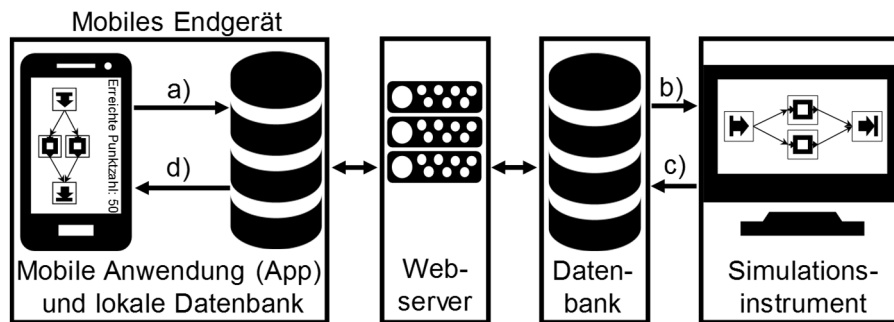


Abbildung 1: Zusammenspiel zwischen App, Datenbank und Simulationsinstrument

Die App, links in Abbildung 1 zu sehen, wird durch den Lernenden bedient. Spielerisch wird von ihm verlangt, Simulationsmodelle aufzubauen. Attribute der Objekte wie Typ, Position in x und y Richtung und Bearbeitungszeit, sowie des Projekts, z. B. Simulationslaufzeit, werden in eine lokale Datenbank übernommen, vgl. a). Die lokale Datenbank wird in einem definierten Zeitintervall unter Nutzung von Skripten, die auf einem Webserver hinterlegt sind, mit einer somit global erreichbaren Datenbank synchronisiert. Diese Architektur ermöglicht die Verwendung unterschiedlicher internetfähiger Endgeräte. Ein Algorithmus in dem Simulationsinstrument generiert basierend auf den in der Datenbank hinterlegten Daten automatisch ein Modell und startet die Simulationsläufe, vgl. b). Zum Ende der Simulation werden die Ergebnisdaten in die Datenbank übertragen, vgl. c). Schließlich kann der Lernende auf diese Daten zugreifen, um sie auszuwerten, vgl. d).

Kern des Aufbaus ist die *gamifizierte* App. Der Lernende baut *inkrementell komplizierter werdende Simulationsmodelle* in einer Modellierumgebung auf. Eine sogenannte *visuell-erziehungsorientierte Skriptsprache* kommt in der App zum Einsatz, um den Nutzern die Syntax einer beispielhaft gewählten Skriptsprache für objektorientierte Simulationsinstrumente zu vermitteln. Es wird ein *implizites Erlernen* eines objektorientierten Simulationsinstruments angestrebt, indem gezielt übereinstimmende Merkmale zwischen der Modellierumgebung in der App und einem exemplarischen Instrument gebildet werden.

Unter *Gamification* wird die Anwendung von Elementen des Spielens in einem nicht-spielerischen Kontext verstanden (Deterding et al. 2011). Elemente sind beispielsweise Belohnungen in Form von öffentlich sichtbaren Punkten, die für besondere Lernerfolge an die Lernenden vergeben werden. Gamification lässt sich hervorragend dazu einsetzen, die Motivation zu steigern, z. B. um Menschen zu einer häufigen Nutzung der Lernumgebung zu motivieren. Durch Punkte, die der Nutzer durch erfolgreiches Absolvieren von Levels erwirbt, soll seine Aktivität belohnt werden. Diese Punkte sind in einem sogenannten Leaderboard öffentlich sichtbar. Abzeichen werden für offensichtliche und überraschende Erfolge vergeben. Offensichtlich ist z. B. das Erreichen einer bestimmten Punktzahl, überraschend kann z. B. eine Belohnung für die zeitnahe Bearbeitung eines Levels sein.

Die Lernenden werden unter spielerischen Gesichtspunkten dazu motiviert, *inkrementell komplizierter werdende Simulationsmodelle* aufzubauen. Zu Beginn sind einfache Simulationsmodelle zu erstellen, beispielsweise bestehend aus einer Quelle, einer

Senke und einer Bearbeitungsstation. Levelbasiert wird die Schwierigkeit erhöht, indem neue Objekte eingeführt werden, z. B. eine Montagestation, mit der sich ein Teil auf ein anderes laden lässt. Auch das Erlernen einer Skriptsprache ist integraler Teil des spielerischen Lernprozesses. Der Lernende kann spätere Level nur lösen, wenn beschriebene Steuerungsstrategien mithilfe einer Skriptsprache modelliert werden.

Eine *visuell-erziehungsorientierte Skriptsprache für objektorientierte Simulationsinstrumente* entsteht durch die Verschmelzung von objektorientierter Skriptsprache mit einer sogenannten visuell-erziehungsorientierten Programmiersprache. Skriptsprachen unterstützen in Simulationsinstrumenten typische Funktionen wie die Ereignisverwaltung oder Datensammlung (VDI 3633 2014). Das Erlernen einer solchen Sprache ist in vielen Fällen unabdingbar. Dies trifft insbesondere zu, wenn individuelle Steuerungsstrategien in einem Simulationsmodell abgebildet werden sollen. Eine visuell-erziehungsorientierte Programmiersprache ist insbesondere dafür geschaffen, Programmieranfängern den Einstieg in die Programmierung zu ermöglichen. Ein Beispiel ist Scratch, ein Projekt der Lifelong-Kindergarten-Group am Media-Lab des MIT (Scratch 2017). Es handelt sich u. a. um eine Programmiersprache, die insbesondere für 8- bis 16-Jährige konzipiert ist. Es lassen sich visuelle Code-Bausteine durch Ziehen und Ablegen aneinanderfügen, um einfache Spiele oder Animationen zu erstellen. Eine *visuell-erziehungsorientierte Skriptsprache* ist eine prototypische Sprache, die im Hinblick auf die visuellen und erziehungsorientierten Eigenschaften von Scratch inspiriert ist. Das Ziel besteht darin, den zukünftigen Simulationsnutzer an die Programmierung am Beispiel der Syntax einer Skriptsprache für objektorientierte Simulationsinstrumente heranzuführen. Es ist ein Compiler erforderlich, der das vom Lernenden in der App entwickelte Programm in die vom Simulationsinstrument unterstützte Sprache übersetzt.

Implizites Lernen bezeichnet ein unbewusstes Aneignen von Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die App weist insbesondere zwei Ähnlichkeiten mit Simulationsinstrumenten auf. Einerseits ist das Erscheinungsbild der Modellierumgebung in beiden Umgebungen sehr ähnlich, andererseits die Programmiersprache.

4 Umsetzung und Erprobung

Nachfolgend ist die prototypische Umsetzung der Lernumgebung am Beispiel des Simulationsinstruments Tecnomatix Plant Simulation beschrieben. Anschließend ist die Studie mit Beratern und Studierenden dokumentiert.

4.1 Umsetzung der Lernumgebung

Abbildung 2 zeigt unterschiedliche Screenshots der App. Nach dem Öffnen der App wählt der Lernende, ob er im Experten- oder Levelmodus spielt (vgl. Abb. 2a, sogenannter „Pro Mode“ und „Game Mode“). Im Expertenmodus kann er ein neues Projekt anlegen und wird dann sofort zur Modellieroberfläche (vgl. Abb. 2d) weitergeleitet. Abbildung 2b zeigt die erste Lehreinheit, Levelpack 1, im „Game Mode“. Sie besteht aus zehn Leveln und einem Bonus-Level. Der Nutzer erhält für jedes abgeschlossene Level einen Stern in der Level-Übersicht. Abbildung 2c zeigt beispielhaft die Beschreibung von Level 1-2. In diesem Fall ist das Ziel, dass der Lernende mehrere Bearbeitungsstationen sequenziell miteinander verbindet und weiß,

dass Objekte umbenannt werden können. Abbildung 2d zeigt für diesen Fall die Modellieroberfläche, in der Lernende durch Ziehen und Ablegen die geforderten Objekte instanzieren. Durch viel Interaktion soll der Lernende belohnt werden. Zum Zweck der Motivation kann er virtuelle Abzeichen erhalten. Diese sind in der sogenannten „Hall of Fame“ für den Lernenden sichtbar. Abbildung 2e zeigt im Hintergrund die vom Lernenden erworbenen Abzeichen und im Vordergrund Details zum angetippten Abzeichen. Im gezeigten Fall hat der Nutzer dieses durch zehnmaliges Öffnen der App erhalten. Abbildung 2f zeigt schließlich das „Leaderboard“. Hierbei handelt es sich um ein global verfügbares Ranking, in dem die Lernenden gemäß ihren Punkten absteigend sortiert gelistet sind.

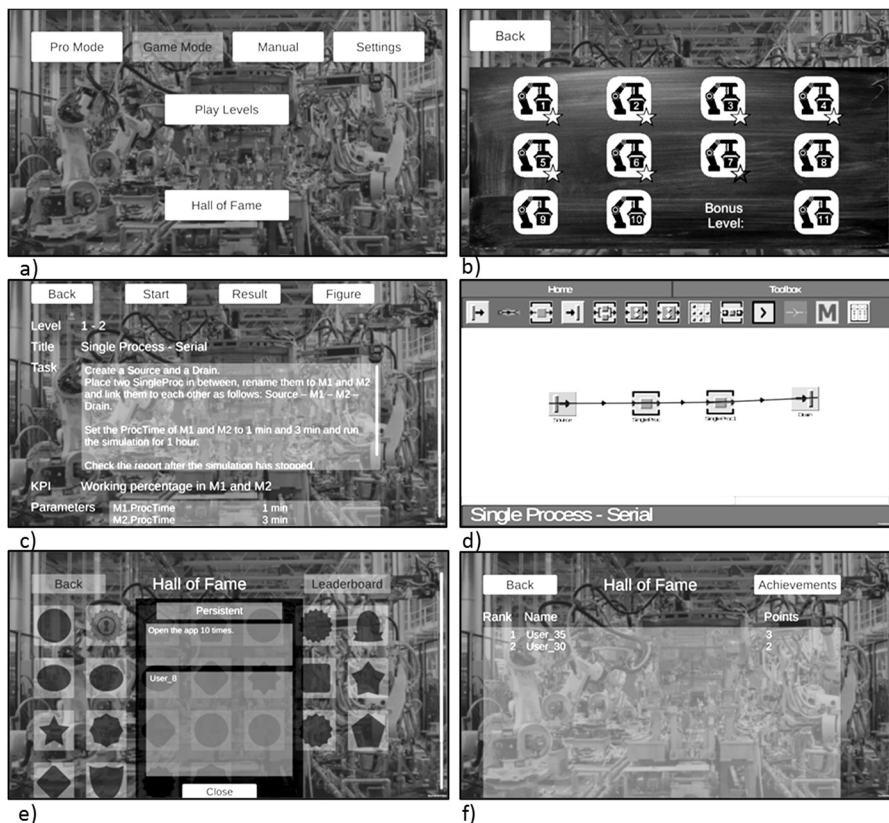


Abbildung 2: Bildschirmfotos der prototypischen App

Die visuell-erziehungsorientierte Skriptsprache ist am Beispiel der Sprache SimTalk des objektorientierten Simulationsinstruments Tecnomatix Plant Simulation umgesetzt. Die wichtigsten Konstrukte wie wenn-dann-Funktionen oder Schleifen sind in der App implementiert. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 3 die neuartige Skriptsprache links und SimTalk rechts gegenübergestellt.

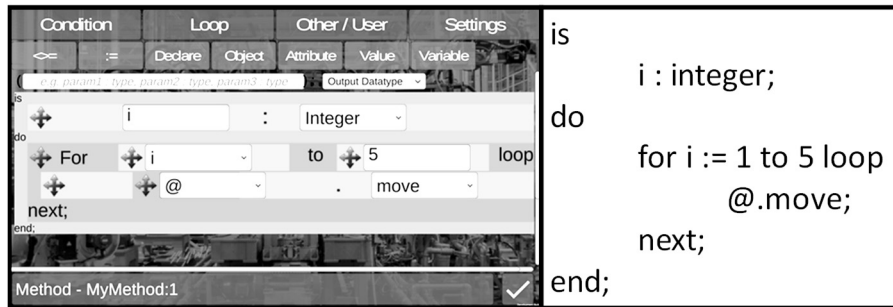


Abbildung 3: Bildschirmfoto der prototypisch implementierten visuell-erziehungsorientierten Skriptsprache für objektorientierte Simulationsinstrumente links; rechts zum Vergleich „SimTalk“

4.2 Experiment-Design für Erprobung

Die mobile Lernumgebung wurde von Beratern und Studierenden getestet. Die Berater sind Mitarbeiter der UNITY AG aus dem Competence Center Produktion und Digitale Planung. Die Stichprobe umfasst 22 freiwillige Berater. Die teilnehmenden Studierenden sind überwiegend in den Studiengängen Produktionstechnik und Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Berlin eingeschrieben. Begleitend zu einer Lehrveranstaltung über ereignisdiskrete Simulation wurde 31 Studierenden die App zur Nutzung auf ihren Smartphones angeboten. Die Berater und Studierenden konnten zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung kaum oder keine Vorkenntnisse mit Blick auf die ereignisdiskrete Simulation vorweisen. Die Probanden konnten die App ohne konkrete Vorgabe zur Nutzungsintensität testen. Während des 14-tägigen Versuchszeitraums wurde das Nutzungsverhalten der Probanden analysiert. Durch einen Fragebogen wurde das Empfinden der Probanden erfasst. Folgende Hypothesen stehen im Vordergrund:

- Hypothese 1 – Motivationsempfinden: Die Probanden empfinden die App als motivierend, um inkrementell komplizierter werdende Simulationsmodelle aufzubauen.
- Hypothese 2 – Nutzungsverhalten: Die Anwender nutzen die Lernumgebung mehrmals in kurzen Zeitabständen, z. B. während Reisezeiten, Wartezeiten oder kurzen Kreativpausen.
- Hypothese 3 – Wissensvermittlung: Nach der Nutzung der Lernumgebung sind die Probanden in der Lage, für einfache Problemstellungen Simulationsmodelle in Tecnomatix Plant Simulation aufzubauen und zu simulieren.

4.3 Ergebnisse

Von den 53 eingeladenen Probanden reichten 25 (47 %) mindestens ein Modell zur Simulation ein. 20 dieser aktiven Nutzer schafften es ein oder mehrere Level erfolgreich abzuschließen. Die Verteilung dieser 20 aktiven und erfolgreichen Nutzer zwischen den Probandengruppen ist stark unterschiedlich. Von den 22 eingeladenen Probanden der Unternehmensberatung nutzten lediglich sechs die App (27 %), während 19 der 31 eingeladenen Studierenden (61 %) mindestens ein Modell einreichten. Insgesamt wurden während der 14-tägigen Testphase über 400 Modelle in der mobilen Lernumgebung erstellt und an das Simulationsinstrument übergeben.

4.3.1 Hypothese 1: Motivationsempfinden

Abbildung 4 zeigt unterteilt für beide Probandengruppen je Level die Anzahl der eingereichten Modelle. Es ist ersichtlich, dass die Anzahl der eingereichten Modelle mit steigendem Level sinkt. Während der ersten Level ist die Anzahl der eingereichten Modelle relativ konstant, während diese ab Level 1_7 kontinuierlich abnimmt. Die besonders hohe Zahl eingereicherter Modelle zur Lösung von Level 1_10 stellt einen Ausreißer dar. Ein Proband übermittelte knapp 50 Modelle, bis er das richtige Ergebnis erzielte.

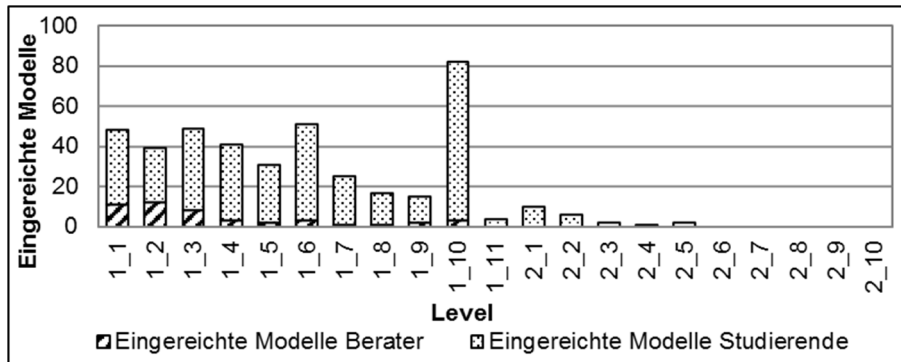


Abbildung 4: Eingereichte Simulationsmodelle je Level

Abbildung 5 zeigt für beide Gruppen die Anzahl erfolgreich abgeschlossener Level. Beispielsweise wurde Level 1_6 im Vergleich zu 1_5 halb so oft erfolgreich abgeschlossen (vier zu acht Probanden). Stellt man dazu die eingereichten Modelle gegenüber (vgl. Abb. 4) wird deutlich, dass Level 1_6 offenbar schwerer zu lösen ist als die vorangegangenen, da bei höherer Anzahl übermittelter Modelle eine geringere Erfolgsquote vorliegt. Dies könnte bei manchem Probanden eine demotivierende Wirkung gehabt haben. Gleichzeitig schlossen erneut acht Probanden die Level 1_7 bis 1_9 erfolgreich ab und benötigten dazu weniger Versuche (vgl. Abb. 4). Dieser Zusammenhang legt die Vermutung nahe, dass bereits ein Lerneffekt eingetreten ist.

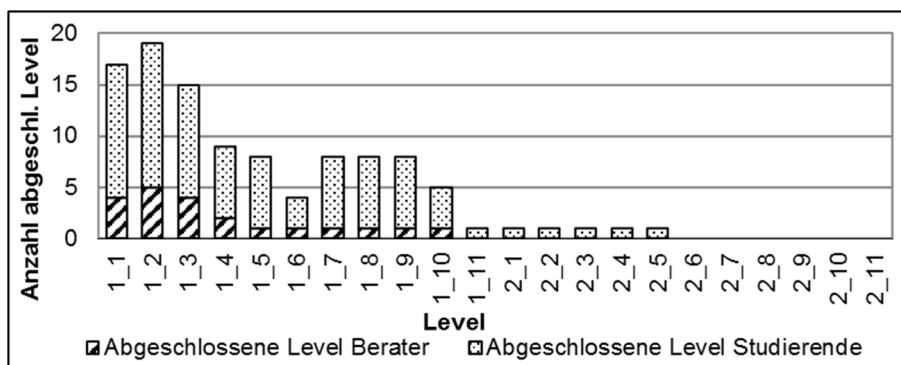


Abbildung 5: Erfolgreich abgeschlossene Level

Die Hypothese lässt sich durch zwei Aussagen stützen. Zum einen wurden über 400 Modelle zur Simulation übermittelt, obwohl den Probanden keine Vorgaben zur Intensität der Nutzung gemacht wurden. Zum anderen wird die Hypothese auch durch die Fragebögen gestützt. Hier geben etwa zwei Drittel der Probanden an, durch die Punktevergabe und der damit einhergehenden Position im Leaderboard (vgl. Abb. 2f), motiviert zu sein. Als demotivierend wurden Software-Fehler der App wahrgenommen, die teilweise den Levelabschluss verhinderten. Ein Großteil dieser Fehler wurde zwar noch während des Erprobungszeitraums behoben, aber dennoch als störend von den Probanden wahrgenommen.

Allgemeingültig lässt sich die motivierende Wirkung der Spielelemente durch das beschriebene Umsetzungsbeispiel nicht belegen. Dass sich jedoch die Lernenden intensiv und freiwillig mit der mobilen Umgebung beschäftigt haben, wird durch die hohe Anzahl eingereicherter Modelle deutlich.

4.3.2 Hypothese 2: Nutzungsverhalten

Abbildung 6 zeigt die Anzahl aktiver Probanden in Abhängigkeit von der Uhrzeit über alle Tage des Nutzungszeitraums hinweg. Es zeigen sich auch hier Unterschiede zwischen beiden Probandengruppen. Während die Berater relativ konstant zwischen 8 und 24 Uhr aktiv waren, traten bei den Studierenden im gleichen Zeitraum mehrere Häufungen auf: 11-12 Uhr, 14 Uhr und 17 Uhr.

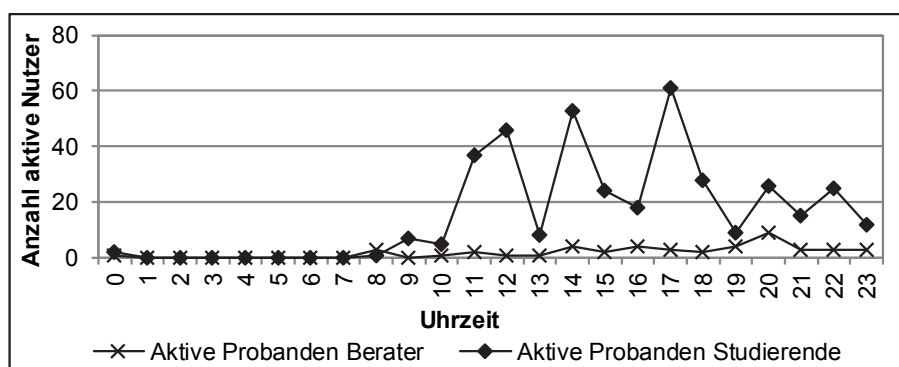


Abbildung 6: Summe aktiver Probanden je Stunde über den Studienzeitraum

Abbildung 7 zeigt die Nutzungsintensität in Abhängigkeit der Uhrzeit über alle Tage des Nutzungszeitraums. Es wird deutlich, dass die Berater in der Regel eine geringe Anzahl an Modellen je Stunde einreichten. Es kann also im Kern von einer mehrmaligen, kurzzeitigen Nutzung der mobilen Lernumgebung ausgegangen werden. Lediglich um 20 Uhr tritt eine Häufung auf, die mit dem vermuteten Ende ihres Arbeitstages zusammenfällt. Bei den Studierenden ist generell eine größere Aktivität festzustellen (\bar{x} 20 Modelle je Studierendem im Gegensatz zu \bar{x} 10 Modelle je Berater), welche sich auch in der Nutzungsintensität im Tagesverlauf zeigt. Die intensivsten Nutzungszeiträume bei den Studierenden zeigen sich in der Tagesmitte gegen 14 Uhr und spät am Abend um 22 Uhr.

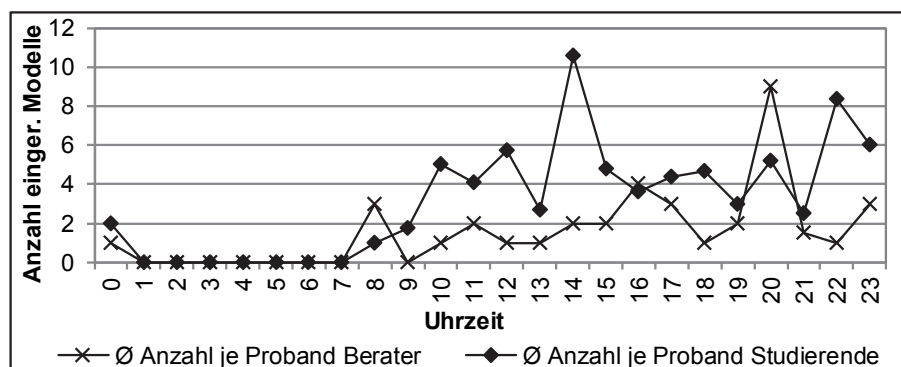


Abbildung 7: Nutzungsintensität pro Stunde

In der Befragung gaben beide Testgruppen an, die App überwiegend zuhause genutzt zu haben. Als zweithäufigste Nennung wurde von beiden Probandengruppen „in öffentlichen Verkehrsmitteln“ angegeben. Die Daten lassen darauf schließen, dass die mobile Lernumgebung mehrmals in kurzen Zeitabständen genutzt wurde. Die Nutzungsaktivität und -intensität sind bei beiden Probandengruppen jedoch sehr unterschiedlich.

4.3.3 Hypothese 3: Wissensvermittlung

Einem Probanden wurden nach Nutzung der Lernumgebung zwei Aufgaben gestellt, die in dem Simulationsinstrument Plant Simulation zu lösen waren. Die erste war identisch mit der Beschreibung eines Levels der Lernumgebung, die zweite erforderte die Verwendung bzw. Implementierung bislang unbekannter Objekte und Steuerungsstrategien. Der Proband konnte ohne weitere Hilfe das Modell der ersten Aufgabe korrekt aufbauen. Zum Simulationsstart war jedoch etwas Hilfe erforderlich, da sich die Symboliken zwischen Simulationsinstrument und App unterscheiden. Die zweite Aufgabe konnte erst nach kurzer Erläuterung der erforderlichen, bislang unbekannt Objekte modelliert und gelöst werden. Dieser Test ist nicht repräsentativ, jedoch deutet sich an, dass Lernende Objekte im Simulationsinstrument wiedererkennen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Erforderliche Vorkenntnisse zur Nutzung handelsüblicher ereignisdiskreter Simulationsinstrumente stellen ein Hindernis in deren breiten Verwendung dar. Vor diesem Hintergrund ist in diesem Beitrag eine prototypische mobile Lernumgebung konzipiert worden. In einer mobilen Applikation sind Elemente des Spielens gestaltet, die den Lernenden zur intensiven Nutzung motivieren sollen. Levelbasiert baut der Lernende inkrementell komplizierter werdende Simulationsmodelle unter Nutzung einer visuell-erziehungsorientierten Skriptsprache auf. Die App ist so gestaltet, dass übereinstimmende Merkmale zwischen der Modellierumgebung in der App und einem exemplarischen Simulationsinstrument offensichtlich sind. Die Lernumgebung wurde von Beratern und Studierenden mit Blick auf die wahrgenommene Motivation, das Nutzungsverhalten und den Lernerfolg über zwei Wochen erprobt. Die Probanden erhielten keine konkrete Vorgabe zur Nutzungsintensität.

Von 25 aktiven Spielern wurden über 400 Modelle eingereicht. Diese hohe Anzahl eingereicherter Modelle zeigt die große Motivation, die App zu nutzen und viele Punkte zu erreichen. Zwei Drittel der Probanden geben an, durch die verwendeten Spielelemente Motivation zu empfinden. Die Auswertung des Nutzungsverhaltens zeigt, dass die App sowohl über den ganzen Tag verteilt, zuhause und in öffentlichen Verkehrsmitteln genutzt wurde. Die Nutzungsdaten legen nahe, dass die App mehrmals in kurzen Zeitabständen verwendet wurde, wobei sich die Nutzungsaktivität und -intensität je Probandengruppe stark unterscheidet. Ein Proband war nach der Nutzung der App in der Lage, einfache Simulationsmodelle in dem Simulationsinstrument Plant Simulation aufzubauen und mit geringer Hilfe zu simulieren. Die Verwendung bislang unbekannter Objekte im Simulationsinstrument stellte allerdings eine Herausforderung dar.

Auch wenn die Erprobung nicht repräsentativ ist, legen die Ergebnisse nahe, dass die beschriebene Lernumgebung ein geeignetes Mittel ist, um Lernende an die Nutzung ereignisdiskreter Simulationsinstrumente heranzuführen. Weitere Spielelemente können sinnvoll sein, um unterschiedliche Spielertypen anzusprechen. Es ist erforderlich, didaktische Elemente wie Erklär-Videos weiterzuentwickeln. Des Weiteren ist geplant, ansprechende grafische Animationen durch Nutzung einer Game-Engine zu implementieren.

Literatur

- Bangsow, S.: Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer 2015.
- Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L.: From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification". In: Lugmayr, A.; Franssila, H.; Hammouda, I.; Safran, C. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference Envisioning Future Media Environments. Tampere, Finland, 2011, S. 9–15.
- Eley, M.: Simulation in der Logistik: Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation". Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- Padilla, J.J.; Diallo, S.Y.; Barraco, A.; Lynch, C.J.; Kavak, H.: Cloud-based simulators. In: Tolks, A.; Diallo, S.; Ryzhov, I.; Yilmaz, L.; Buckley, S.; Miller, J. (Hrsg.): Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference: Making simulations accessible to non-experts and experts alike. Savannah, GA, 2014, S. 3630–3639.
- Padilla, J.J.; Lynch, C.J.; Diallo, S.Y.; Gore, R.J.; Barraco, A.; Kavak, H.; Jenkins, B.: Using simulation games for teaching and learning discrete-event simulation. In: Roeder, T.M.; Frazier, P.I.; Szechtman, R.; Zhou, E.; Huschka, T.; Chick, S.E. (Hrsg.): Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, Arlington, VA, 2016, S. 3375–3384.
- Scratch: Über Scratch. scratch.mit.edu. Letzter Zugriff am 21.02.2017.
- VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: Grundlagen. Berlin: Beuth 2014.