

Simulation in Produktion und Logistik 2023
Bergmann, Feldkamp, Souren und Straßburger (Hrsg.)
Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau 2023
DOI (Tagungsband): 10.22032/dbt.57476

Automatisierungspotenzial von Verifikations- und Validierungstechniken in der ereignisdiskreten Simulation

Automation Potential of Verification and Validation Techniques in Discrete Event Simulation

Katharina Langenbach, Anne Antonia Scheidler, Markus Rabe
TU Dortmund, Dortmund (Germany), katharina.langenbach@tu-dortmund.de,
anne-antonia.scheidler@tu-dortmund.de, markus.rabe@tu-dortmund.de

Abstract: Simulation is a proven method in industry and research to provide the basis for further decisions. Therefore, the credibility of its results is of major importance. Generally, simulation studies are guided by procedure models comprised of several phases with specific results. To assess the credibility, verification and validation (V&V) is used by applying V&V techniques to these phase results, which requires significant effort. One possibility to reduce this effort and support simulation users is to automate V&V. For this purpose, the notions of automation must be transferred to the domain of V&V in order to assess the automatability of V&V techniques. The effort for the application of V&V techniques can be reduced while maintaining or increasing the credibility of simulation.

1 Einleitung

In Anwendungsfeldern der Produktion und Logistik ist die ereignisdiskrete Simulation von besonderer Bedeutung. Hierbei ist die Glaubwürdigkeit der Simulationsergebnisse von besonderer Wichtigkeit, da diese für nachgelagerte Entscheidungen verwendet werden. Um diese Glaubwürdigkeit zu gewährleisten, wird eine integrierte, phasenübergreifende Verifikation und Validierung (V&V) benötigt, wie im VDI-Vorgehensmodell (VDI 2014) beschrieben. Wird die V&V in einem Maße angewendet, wie es durch das VDI-Vorgehensmodell gefordert wird, ist die Durchführung der V&V als komplex und zeitintensiv zu bewerten. Dies bedeutet im Regelfall, dass eine ausreichend umfangreiche V&V in Simulationsstudien ein hohes Expertenwissen sowie einen großen Zeitaufwand und somit hohe Kosten bedingt (Wishart et al. 2020).

Um die Anwender von Simulationsstudien in der Umsetzung einzelner Phasen von Vorgehensmodellen zu unterstützen, existieren Tools, wie sie beispielsweise im Verbundvorhaben EDASim entwickelt wurden (Bogon et al. 2012). EDASim legt einen

Schwerpunkt auf die Unterstützung bei der Auswahl, der Validierung sowie der Vorbereitung von Inputdaten und auf die Auswertung von Outputdaten der Simulation. Eine darüberhinausgehende Unterstützung der V&V während einer gesamten Simulationsstudie ist wünschenswert. Dabei sollte die Automatisierbarkeit von V&V-Techniken als Kriterium der Auswahl betrachtet werden, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass Simulationsnutzer nicht zwangsläufig über das Wissen von Simulationsexperten verfügen (Bergmann 2014). Jedoch finden sich in der Literatur nur wenige Aussagen über die Automatisierbarkeit von V&V-Techniken in der Simulation. Zielführende Ansätze zur Einschätzung der Automatisierbarkeit werden anschaulich in Bergmann (2014) in Tabellenform dargestellt. In Bergmann und Strassburger (2010) wird der Bedarf automatischer Validierung ebenfalls aufgezeigt. Allerdings sind in der gängigen Literatur keine konkreten Kriterien bekannt, die einen generischen Ansatz zur Bewertung von V&V-Techniken bezüglich ihrer Automatisierbarkeit bieten. In diesem Zusammenhang konnten die Autoren feststellen, dass sich Beispiele für Innovationstreiber im Bereich der automatisierten V&V in der Telekommunikationsbranche finden (vgl. Peuster et al. 2019).

Durch eine automatisierte Durchführung von V&V-Techniken kann auch bei einer komplexen Datenbasis Zeit eingespart sowie das Vertrauen in die Ergebnisse einer Simulation und damit in die darauf basierenden Entscheidungen erhöht werden. Allerdings können nicht alle V&V-Techniken in gleichem Maße automatisiert werden. Daher ist eine Systematik erforderlich, um das Automatisierungspotenzial von V&V-Techniken zu bewerten.

2 Stand der Forschung

In diesem Abschnitt werden Simulation, V&V und Automatisierung sowie deren Nutzung kurz erläutert mit dem Ziel, den Ausgangspunkt für einen ersten Ansatz zur Bewertung der Automatisierbarkeit von V&V-Techniken zu bestimmen.

2.1 Simulation

Simulation ist sowohl in der Industrie als auch in der Forschung eine weit verbreitete Methode zur Analyse, Vorhersage oder Entscheidungsunterstützung (vgl. Banks 1998; Fleischmann et al. 2015; Kleijnen 2005; Kuhn und Wenzel 2008; Law 2015). Für weitere Anwendungsfälle sei auf die Fallbeispielsammlungen von Kuhn und Rabe (1998) sowie Rabe und Hellingrath (2001) sowie auf die Tagungsbände der ASIM Fachtagungen (ASIM 2023) verwiesen. In diesem Zusammenhang werden in der Simulation Systeme untersucht, die entweder bereits in der betrachteten Form existieren oder nur Entwürfe sind (Law 2015). Nach DIN 60050-351 (2013, S. 21) ist ein System definiert als eine „Menge miteinander in Beziehung stehender Elemente, die in einem bestimmten Zusammenhang als Ganzes gesehen und als von ihrer Umgebung abgegrenzt betrachtet werden“. Zur Untersuchung komplexer Systeme ist es erforderlich, diese in Form von Modellen darzustellen, die eine vereinfachte Darstellung der realen Welt sind (Banks 1998). Um mit Hilfe von Modellen Lösungen zu finden, kann Simulation eingesetzt werden, insbesondere wenn analytische Lösungen nicht möglich sind oder zu viel Zeit in Anspruch nehmen würden (van der Valk et al. 2022). In der Literatur existiert eine Vielzahl von Definitionen für den Begriff Simulation (Banks 1998; Law 2015). Im Folgenden wird die Definition der VDI 3633 für Simulation verwendet: „Nachbilden eines Systems mit seinen

dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind; insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt“ (VDI 2014, S.3).

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Simulation zur Untersuchung bestimmter Fragestellungen eingesetzt wird, beispielsweise organisiert als Simulationsstudien. Die Durchführung von Simulationsstudien erfordert jedoch aufgrund der zugrunde liegenden Komplexität ein strukturiertes Vorgehen. Hierfür können Vorgehensmodelle verwendet werden. Zu den publizierten Vorgehensmodellen zählen das von Sargent (2013) vorgestellte Vorgehensmodell, das von Balci (1998) vorgeschlagene Modell sowie das vom VDI (2014) empfohlene Vorgehensmodell. Bei der Verwendung von Vorgehensmodellen ist der jeweilige Zweck und Anwendungsbereich zu berücksichtigen. In dem im deutschsprachigen Raum weit verbreiteten Vorgehensmodell für Simulationsstudien von Rabe et al. (2008), das in die Richtlinie VDI 3633 übernommen wurde, wird die V&V besonders betont.

2.2 Verifikation und Validierung

V&V spielt sowohl bei der Modellierung als auch bei der Simulation und somit auch bei der Durchführung von Simulationsstudien eine entscheidende Rolle, da sie die Glaubwürdigkeit der erzielten Ergebnisse erhöht (Balci 1998). Weitere Qualitätsattribute für die Glaubwürdigkeit, die insbesondere für die Simulationssoftware in Betracht gezogen werden, sind Sicherheit, Effizienz und Kompatibilität (Kumar und Syed 2011). Bei der Verifikation wird überprüft, ob ein Modell korrekt gebildet wurde. Unter „korrekter Bildung“ wird verstanden, dass die Genauigkeit der Darstellung des Systems durch das Modell erhalten bleibt, wenn das Modell von einer Form in eine andere übertragen wird (Allen et al. 2005). Bei der Validierung wird untersucht, ob das richtige Modell gebildet wurde (Rabe et al. 2008). Im Sinne der Zweckbindung bedeutet „richtig“ hier, dass das untersuchte System basierend auf den definierten Anforderungen ausreichend gut approximiert wird (Allen et al. 2005). Die Aufgabenstellung von V&V macht deutlich, dass diese keine einmalige Handlung ist, sondern kontinuierlich während der gesamten Simulationsstudie durchgeführt werden muss (vgl. Brade 2000; Sargent und Balci 2017; Wenzel et al. 2008).

Zur Anwendung von V&V werden die Phasenergebnisse gemäß dem verwendeten Vorgehensmodell mit Hilfe von V&V-Techniken untersucht (Rabe et al. 2008). Umfassende Übersichten über V&V-Techniken finden sich in Balci (1998), Rabe et al. (2008) und Roungas et al. (2018). Die Autoren klassifizieren V&V-Techniken auch anhand ihrer Merkmale. Balci (1998) unterscheidet die vier Kategorien formal, informell, statisch und dynamisch, während Rabe et al. (2008) V&V-Techniken nach ihrem Grad an Objektivität bewerten. Außerdem betonen sowohl Balci als auch Rabe et al., dass nicht jede V&V-Technik in jeder Phase einer Simulationsstudie anwendbar ist und geben an, welche V&V-Techniken in welcher Phase ihres jeweiligen Vorgehensmodells eingesetzt werden können.

Wird das von Rabe et al. (2008) entwickelte Vorgehensmodell betrachtet, das in die Richtlinien der VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik aufgenommen wurde (VDI 2014), so sind zwei Stränge identifizierbar. Diese können als Stränge der Modellentwicklung und der Datenbereitstellung beschrieben werden. Weiterhin wird für jede Phase ein explizites Phasenergebnis genannt, so dass eine direkte Integration von V&V in das Vorgehensmodell möglich ist. Darüber hinaus wird der kontinuierliche

Charakter der V&V deutlich, da es keine separaten Phasen für V&V gibt. Stattdessen ist V&V entlang der gesamten Simulationsstudie durchzuführen. Dabei werden alle Typen von Phasenergebnissen in der V&V geprüft. So werden beispielsweise die Rohdaten, das Konzeptmodell sowie die Simulationsergebnisse untersucht. Jedes Phasenergebnis muss erfolgreich verifiziert und validiert werden, bevor mit der nächsten Phase fortgefahren werden kann. Dies führt zu einem iterativen Charakter der Entwicklung und der Durchführung der Simulation, bei dem Fehler frühzeitig erkannt und behoben werden können.

2.3 Automatisierung

Automatisierung findet in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen statt, etwa bei der Prozessautomatisierung (Chakraborti et al. 2020), der Steuerung von Fertigungsprozessen (Frohm et al. 2008) oder bei automatisierten Testfällen in der Softwareentwicklung (Asfaw 2015). Automatisierung kann in Kombination mit physischen Systemen, aber auch ohne diese stattfinden. Der Begriff Automatik bezieht sich auf „einen Prozess oder eine Einrichtung [...], der oder die unter festgelegten Bedingungen ohne menschliches Eingreifen abläuft oder arbeitet“ (DIN 2013, S. 30). Durch die Einbeziehung von Prozessen in die Begriffsdefinition wird deutlich, dass diese auch auf den Prozess der V&V anwendbar ist und somit die Vorteile der Automatisierung genutzt werden können. Der Begriff Automatisierung ist nicht binär, sondern als ein Kontinuum zu verstehen. Somit sind Abstufungen zwischen ganz fehlender und vollständiger Automatisierung möglich. Beispiele für solche Abstufungen finden sich in der Übersichtsarbeit von Frohm et al. (2008). Die Gemeinsamkeit der unterschiedlichen Abstufungen der Automatisierung ist, dass sie die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Computer in Automatisierungsgrade einteilen. Unterschieden wird zwischen Aufgabenbereichen, die nur von Menschen, nur von Computern oder von beiden zusammen bearbeitet werden. Endsley und Kaber (1999) unterscheiden die vier Bereiche Überwachung, Generierung, Selektion und Implementierung, während Sheridan (1980) zwischen den drei Bereichen Ausführung, Analyse und Entscheidung differenziert. In den einzelnen Aufgabenbereichen können Überschneidungen festgestellt werden. Für die Anwendung der Automatisierung in der V&V ist die Einteilung nach Sheridan (1980) sinnvoll, da V&V-Techniken durchgeführt werden müssen, der resultierende Input analysiert und darauf aufbauend eine Entscheidung getroffen werden muss.

3 Ableitung des Automatisierungspotentials von Verifikations- und Validierungstechniken

Um das Automatisierungspotenzial von V&V-Techniken beurteilen zu können, ist zunächst eine einheitliche Betrachtung unterschiedlicher V&V-Techniken erforderlich. Eine V&V-Technik kann als Blackbox betrachtet werden, unabhängig von ihrer konkreten Umsetzung. Dabei werden in der Blackbox Phasenergebnisse als Input unter Zuhilfenahme weiteren V&V-Technik-spezifischen Inputs nach den Regeln der jeweiligen V&V-Technik verarbeitet. Auf diese Weise wird eine Bewertung durch die V&V-Technik als Output erzeugt, die aussagt, ob die Validierung oder Verifikation der betrachteten Phase mit der gewählten V&V-Technik erfolgreich war. Die betrachteten Phasenergebnisse stammen aus der Anwendung des verwendeten Vorgehensmodells.

Um das Automatisierungspotential von V&V-Techniken einschätzen zu können, sind zunächst Prinzipien der Automatisierung auf den Anwendungsbereich der V&V zu übertragen. Dabei bietet sich der in Abschnitt 2 beschriebene Ansatz nach Sheridan (1980) an. Die drei durch Sheridan betrachteten Bereiche Ausführung, Analyse und Entscheidung entsprechen in der Anwendung von V&V-Techniken der Verarbeitung der Inputs, der Analyse der durch die Verarbeitung erzeugten Ergebnisse und einer Entscheidung basierend auf dieser Analyse, ob die V&V für das entsprechende Phasenergebnis mit der verwendeten V&V-Technik erfolgreich war. Dabei übernimmt der Computer mit zunehmender Automatisierung einen immer größeren Anteil der Aufgaben aus den genannten Bereichen.

Durch das Potential der automatischen Verarbeitbarkeit von Phasenergebnissen wird das Automatisierungspotential von V&V-Techniken eingeschränkt. Dies lässt sich primär auf den Formalisierungsgrad der betrachteten Phasenergebnisse zurückführen. Je höher der Formalisierungsgrad eines Phasenergebnisses, desto besser lässt es sich automatisch verarbeiten. Werden diese Überlegungen mit dem Vorgehensmodell für Simulationsstudien des VDI kombiniert, ergibt sich als erste Einschätzung der Automatisierbarkeit der V&V-Techniken für einzelne Phasenergebnisse der in Abbildung 1 dargestellte Zusammenhang.

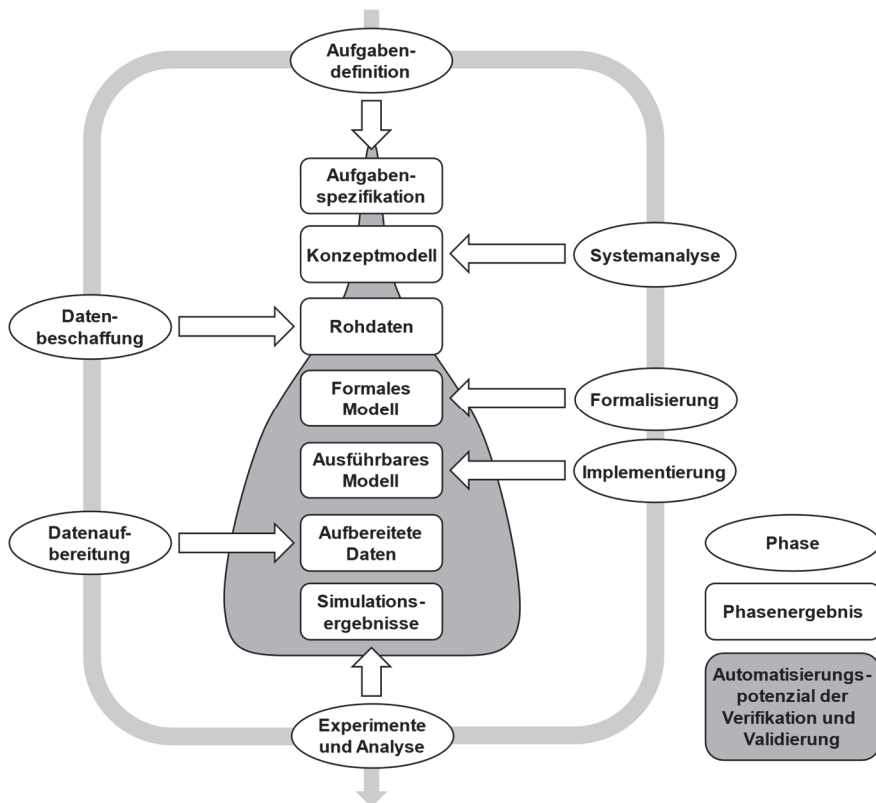


Abbildung 1: Automatisierungspotenzial der V&V von Phasenergebnissen aufbauend auf dem VDI-Vorgehensmodell für Simulationsstudien (VDI 2014)

Eine zusätzliche Limitierung des Automatisierungspotentials von V&V-Techniken ergibt sich durch den Grad der Subjektivität einzelner V&V-Techniken. Dieser kann auf die Art des zusätzlich benötigten V&V-Technik-spezifischen Inputs zurückgeführt werden. So erfordern V&V-Techniken, die als subjektiv eingeordnet werden, häufig die Einschätzung von Experten, um eine Bewertung des Phasenergebnisses vornehmen zu können. Das Einbringen dieser Art von Wissen und Erfahrung ist durch den Computer nicht möglich. Somit ist das Automatisierungspotential einer V&V-Technik umso geringer, je höher der Grad der Subjektivität ist.

Durch die Zusammenführung der zwei Kriterien *Formalisierungsgrad des betrachteten Phasenergebnisses* und *Subjektivitätsgrad der angewendeten V&V-Technik* ist eine erste Einschätzung ihrer Automatisierbarkeit möglich. In Tabelle 1 ist eine entsprechende Bewertung von V&V-Techniken aufgeführt, deren Einschätzung auf der langjährigen Erfahrung der Autoren und der Vorarbeit von Langenbach (2023) beruht. Dabei werden etablierte Techniken basierend auf Rabe et al. (2008) betrachtet. Die Tabelle 1 kann als Hilfe für Anwender von Simulation verstanden werden, um V&V-Techniken mit möglichst hohem Automatisierungspotential wählen zu können.

Um die Einschätzungen der Automatisierbarkeit von V&V-Techniken zu überprüfen, wurden exemplarisch die Validierung im Dialog und die Validierung von Vorhersagen in einem Fallbeispiel in Zusammenarbeit mit einem Experten angewendet. Diese zwei V&V-Techniken wurden gewählt, da sie zu den etablierten und häufig genutzten zählen und über unterschiedliche Charakteristika verfügen (Rabe et al. 2008). Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der Anwendungen. In der betrachteten Simulationsstudie wurde ein erweitertes SEIR-Modell für die Modellierung von Inzidenzen des SARS-CoV-2-Ausbruchs im Ruhrgebiet (Nordrhein-Westfalen, Deutschland) verwendet. Dabei wurden als zu validierendes Phasenergebnis die Simulationsergebnisse gewählt (siehe Abbildung 2), da diese für beide Validierungstechniken geeignet sind.

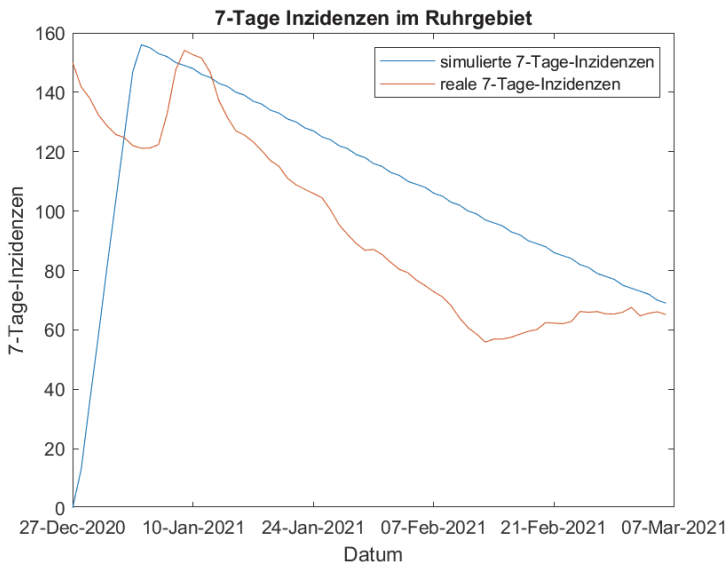


Abbildung 2: Entwicklung der 7-Tage-Inzidenzen im Ruhrgebiet

Tabelle 1: Einschätzung der Automatisierbarkeit von einer Auswahl V&V-Techniken basierend auf dem betrachteten Phasenergebnis und dem Grad der Subjektivität der V&V-Technik nach Rabe et al. (2008)

V&V-Technik	Ziel- beschreibung	Aufgaben- spezifikation	Konzeptmodell	Formales Modell	Ausführbares Modell	Simulations- ergebnisse	Rohdaten	Aufbereitete Daten	Grad der Subjektivität
Animation					-	-			1
Begutachtung	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Dimensionstest				+	+	+	o	+	4-5
Ereignisvaliditätstest					+				4-5
Fest-/Grenzwertest				o	o	o			3-4
Monitoring					o	o		o	1-3
Schreibtischtest	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Sensitivitätsanalyse					o	o		o	2-4
Statistische Techniken					+	+	o	+	4-5
Strukturiertes Durchgehen	-	-	-	-	-	-	-	-	1-2
Test der internen Validität					+	+			4-5
Test von Teilmodellen			-	-	-				1-2
Trace-Analyse					o				1-3
Turing-Test					o			o	2-3
Ursache-Wirkungs- Graph			-	o	o				3-4
Validierung im Dialog	-	-	-	-	-	-	-	-	1-2
Validierung von Vorhersagen					+				3-4
Vergleich mit anderen Modellen					o	o			2-4
Vergleich mit auf- gezeichneten Daten					+				3-5

Legende: Automatisierungspotenzial: + (hoch), o (mittel), - (gering)
Grad der Subjektivität: 1 (hoch), 5 (gering)

Die Bewertung der Automatisierbarkeit der beiden Validierungstechniken erfolgt mit Hilfe von Tabelle 1. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass die Validierung im Dialog geringes und die Validierung von Vorhersagen hohes Automatisierungspotenzial aufweisen. Diese Einschätzungen werden durch eine konkrete Umsetzung der betrachteten Validierungstechniken in einer möglichst automatisierten Form bestätigt. Durch den kommunikativen Charakter der Umsetzung der Validierung im Dialog ist eine Automatisierung nicht möglich, während die Validierung von Vorhersagen zu einem großen Teil auf einem Vergleich von Daten beruht. Ein solcher Vergleich birgt wieder-

rum hohes Automatisierungspotential. Für detailliertere Erläuterungen des Fallbeispiels und der konkreten Umsetzung der Validierung der Simulationsergebnisse sowie weiteren Ausführungen zur Bewertung von V&V-Techniken wird auf Langenbach (2023) verwiesen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein erster Ansatz zur Bewertung von V&V-Techniken im Hinblick auf ihre Automatisierbarkeit vorgestellt. Zu diesem Zweck wurden die Grundlagen der Simulation und V&V sowie der Automatisierung kurz diskutiert. Weiter wurde das Konzept der Automatisierung auf den Bereich der V&V übertragen. Basierend darauf und auf der Betrachtung von V&V-Techniken als Blackbox wurden Ansatzpunkte für die Bewertung der Automatisierbarkeit von V&V-Techniken aufgezeigt. So können V&V-Techniken in Relation zu den betrachteten Phasenergebnissen sowie der Einschätzung ihrer Subjektivität einem hohen, mittleren oder geringen Automatisierungspotential zugeordnet werden. Eine Übersicht bewerteter etablierter V&V-Techniken wurde in Form von Tabelle 1 bereitgestellt. Die Einschätzungen der V&V-Techniken wurden durch eine exemplarische Anwendung einzelner V&V-Techniken bestätigt.

Durch die entwickelten Einordnungsmöglichkeiten von V&V-Techniken hinsichtlich ihrer Automatisierbarkeit in Automatisierungsstufen wird der Anwender unterstützt, bei geeigneter Auswahl an Techniken eine qualitativ hochwertige V&V mit vertretbarem Aufwand durchzuführen. Zudem ist die Bewertung von bereits existierenden sowie zukünftig noch zu entwickelnden V&V-Techniken möglich.

Durch die Ableitung von konkreten Automatisierungsstufen für V&V-Techniken unter Berücksichtigung aller verwendeten Inputs kann die Bewertung des Automatisierungspotentials von V&V-Techniken verfeinert werden. Zukünftiges Ziel dieser Forschung ist, einen Überblick über die Automatisierbarkeit etablierter V&V-Techniken zu entwickeln. Durch die Anwendung von V&V-Techniken in unterschiedlichen Anwendungsfällen sollen zudem Informationen gesammelt werden, um eine detailliertere Klassifizierung der Automatisierungsgrade abzuleiten. Dies verfolgt das Ziel, eine bessere Bewertung der Automatisierbarkeit der V&V-Techniken zu ermöglichen. Die Bewertung von V&V-Techniken im Hinblick auf ihre Automatisierbarkeit ist ein erster Schritt in Richtung einer möglichen Automatisierung des gesamten V&V-Prozesses. Ein weiterer geplanter Schritt in dieser Forschung ist die Entwicklung eines Werkzeugs, das die Anwender bei der Auswahl und Implementierung von V&V-Techniken unterstützt. Im Zuge dessen ist zudem eine Metrik zur Bewertung einer erfolgreichen V&V zu entwickeln. Weiter müssen die jeweiligen V&V-Techniken entsprechend ihres Automatisierungspotentials nutzerfreundlich automatisiert bereitgestellt werden.

Literatur

Allen, N.A.; Shaffer, C.A.; Watson, L.T.: Building Modeling Tools that Support Verification, Validation, and Testing for the Domain Expert. In: Kuhl, M.E.; Steiger, N.M.; Armstrong, F.Brad; Joines, J.A. (Hrsg.): Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando, Florida, United States, 4.–7. Dezember 2005, S. 419–426.

- Asfaw, D.L.: Benefits of Automated Testing Over Manual Testing. *International Journal of Innovative Research in Information Security (IJIRIS)* 2 (2015) 1, S. 5–13.
- ASIM: ASIM-Fachtagungen SPL. <https://www.asim-gi.org/fachgruppen/produktion-und-logistik/spl-publikationen>, letzter Zugriff am 25.06.2023.
- Balci, O.: Verification, Validation, and Accreditation. In: Medeiros, D.J.; Watson, E.F.; Carson, J.S.; Manivannan, M.S. (Hrsg.): *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington, D.C., United States, 13.–16. Dezember 1998, S. 41–48.
- Banks, J.: Principles of Simulation. In: Banks, J. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. New York, Chichester, Weinheim: Wiley 1998, S. 3–30.
- Bergmann, S.: Automatische Generierung adaptiver Modelle zur Simulation von Produktionssystemen. Ilmenau, Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Dissertation, 2014.
- Bergmann, S.; Strassburger, S.: Challenges for the Automatic Generation of Simulation Models for Production Systems. In *Proceedings of the 2010 Summer Simulation Multiconference*, Ottawa, Canada, 11.–14. Juli 2010, S.545–549.
- Bogon, T.; Timm, I.J.; Jessen, U.; Schmitz, M.; Wenzel, S.; Lattner, A.D.; Paraskevopoulos, D.; Spieckermann, S.: Towards Assisted Input and Output Data Analysis in Manufacturing Simulation: The EDASim Approach. In: Laroque, C.; Himmelspach, J.; Pasupathy, R. (Hrsg.): *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, Berlin, Germany, 09.-12. Dezember 2012, S. 1–13.
- Brade, D.: Enhancing Modeling and Simulation Accreditation by Structuring Verification and Validation Results. In: Joines, J.A.; Barton, R.R.; Kang, K.; Fishwick, P.A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, Florida, United States, 10.–13. Dezember 2000, S. 840–848.
- Chakraborti, T.; Isahagian, V.; Khalaf, R.; Khazaeni, Y.; Muthusamy, V.; Rizk, Y.; Unuvar, M.: From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation. In: Asatiani, A.; García, J.María; Helander, N.; Jiménez-Ramírez, A.; Koschmider, A.; Mendling, J. et al. (Hrsg.): *Business Process Management*. Cham: Springer International Publishing 2020, S. 215–228.
- DIN: DIN IEC 60050-351:2013: Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch. Berlin: Beuth, 2013.
- Endsley, M.R.; Kaber, D.B.: Level of Automation Effects on Performance, Situation Awareness and Workload in a Dynamic Control Task. *Ergonomics* 42 (1999) 3, S. 462–492.
- Fleischmann, B.; Meyr, H.; Wagner, M.: Advanced Planning. In: Stadtler, H.; Kilger, C.; Meyr, H. (Hrsg.): *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Berlin, Heidelberg: Springer 2015, S. 71–95.
- Frohm, J.; Lindström, V.; Winroth, M.; Stahre, J.: Levels of Automation in Manufacturing. *International Journal of Ergonomics and Human Factors* 30 (2008) 3, S. 1–28.
- Kleijnen, J.P.: Supply Chain Simulation Tools and Techniques: A Survey. *International Journal of Simulation and Process Modelling (IJSPM)* (2005), Volume 1 (1–2), S. 82–89.
- Kuhn, A.; Rabe, M.: *Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung*. Berlin, Heidelberg: Springer 1998.

- Kuhn, A.; Wenzel, S.: Simulation Logistischer Systeme. In: Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 73–94.
- Kumar, P.; Syed, K.: Software Testing – Goals, Principles, and Limitations. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology (IJESAT)* 1 (2011) 1, S. 52–56.
- Langenbach, K.: Untersuchung der Automatisierbarkeit von Verifikations- und Validierungstechniken anhand von Kriterien in der Simulationsdomäne. Dortmund, Technische Universität Dortmund, Fachgebiet IT in Produktion und Logistik, Masterarbeit, 2023.
- Law, A.M.: *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw Hill Education 2015.
- Peuster, M.; Schneider, S.; Zhao, M.; Xilouris, G.; Trakadas, P.; Vicens, F.; Tavernier, W.; Soenen, T.; Vilalta, R.; Andreou, G.; Kyriazis, D.; Karl, H.: Introducing Automated Verification and Validation for Virtualized Network Functions and Services. *IEEE Communications Magazine* 57 (2019) 5, S. 96–102.
- Rabe, M.; Hellingrath, B.: *Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik: Ein Leitfaden mit Beispielen für kleinere und mittlere Unternehmen*. Erlangen: SCS European Publishing House 2001.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Roungas, V.; Meijer, S.; Verbraeck, A.: A Framework for Optimizing Simulation Model Validation & Verification. *International Journal on Advances in Systems and Measurements* 11 (2018) 1–2, S. 137–152.
- Sargent, R.G.: An Introduction to Verification and Validation of Simulation Models. In: Pasupathy, R.; Kim, S.-H.; Tolk, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, D.C., United States, 8.–11. Dezember 2013*, S. 321–327.
- Sargent, R.G.; Balci, O.: History of Verification and Validation of Simulation Models. In: Chan, W.Kin; D’Ambrogio, A.; Zacharewicz, G.; Mustafee, N.; Wainer, G.; Page, E.H. (Hrsg.): *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference, Las Vegas, Nevada, United States, 3.–6. Dezember 2017*, S. 292–307.
- Sheridan, T.B.: Computer Control and Human Alienation. *Technology Review* 83 (1980), S. 61.
- van der Valk, H.; Winkelmann, S.; Ramge, F.; Hunker, J.; Langenbach, K.; Rabe, M.: Characteristics of Simulation: A Meta-Review of Modern Simulation Applications. In: Feng, B.; Peng, Y.; Pedrielli, G.; Song, E.; Shashaani, S.; Corlu, C.Gunes (Hrsg.): *Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference, Singapore, 11.–14. Dezember 2022*, S. 2558–2569.
- VDI: VDI 3633 Blatt 1: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen*. Berlin: Beuth, 2014.
- Wenzel, S.; Collisi-Böhmer, S.; Pitsch, H.; Rose, O.; Weiß, M.: *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Wishart, J.; Como, S.; Forgione, U.; Weast, J.; Weston, L.; Smart, A.; Nicols, G.; S, R.: Literature Review of Verification and Validation Activities of Automated Driving Systems. *SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles* 3 (2020) 4, S. 267–323.