

# Studie zum Einsatz der ereignisdiskreten Simulation in Produktion und Logistik

Robin Sutherland<sup>1\*</sup>, Felix Özkul<sup>1</sup>, Sigrid Wenzel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet für Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Universität Kassel, Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel, Deutschland; \*[robin.sutherland@uni-kassel.de](mailto:robin.sutherland@uni-kassel.de)

**Abstract.** Die Simulation hat sich in vielen Unternehmen als modellgestützte Analyse­methode für den Bereich Produktion und Logistik etabliert. Um die aktuelle Marktdurchdringung, den Nutzen der Simulation für Unternehmen und den Entwicklungsstand von simulationsbezogenen Themen abzuschätzen, wurde 2013 eine empirische Studie durchgeführt. Dabei wurden neben vielen positiven Einflüssen auch Forschungs- und Entwicklungsbedarfe identifiziert. Um die Entwicklungen der letzten zehn Jahre und den aktuellen Stand dieser Themen zu untersuchen, wird eine Anschlussstudie durchgeführt. Das Studiendesign und die aktuellen Studienergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt und in vergleichender Weise mit den Ergebnissen von 2013 diskutiert.

## Einleitung

Die ereignisdiskrete Simulation wird seit vielen Jahren als Analyse­methode in Produktion und Logistik eingesetzt [1] und hat sich branchenübergreifend bei Unternehmen bewährt [2]. Sie ermöglicht Unternehmen experimentelle Untersuchungen ihrer komplexen Produktions- und Logistiksysteme unter Berücksichtigung eines stochastischen Zeitverhaltens sowie Entscheidungen auf Basis nachvollziehbarer und abgesicherter Planungsergebnisse zu treffen [1]. So führt die Durchführung einer Simulationsstudie bei Unternehmen spätestens im Betrieb zu Kostenersparnissen [1] und damit zu einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit. Aber eine konkrete monetäre Bewertung des Nutzens und damit auch der Wettbewerbsfähigkeit ist für Unternehmen schwierig [2]. Um den Beitrag der Simulation zur Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu identifizieren und den aktuellen Stand der Entwicklung zur Simulation in Produktion und Logistik zu analysieren, haben Wenzel und Peter (2013) eine empirische Studie durchgeführt [2]. Die Studienergebnisse zeigen, dass die Simulation einen signifikanten

Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen leisten kann, aber es noch weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe gibt, um die technische Unterstützung des Einsatzes von Simulation zu verbessern [2]. Deshalb wird im Rahmen dieses Beitrags überprüft, ob die damals aufgezeigten Defizite heute abgebaut sind und wie sich der aktuelle Stand des Einsatzes der ereignisdiskreten Simulation in Produktion und Logistik in den letzten zehn Jahren entwickelt hat. Dazu wird die empirische Studie, deren Aufbau und Ergebnisse nachfolgend vorgestellt werden, in leicht angepasster Form erneut durchgeführt. Neben einer Beurteilung der qualitativen Einflüsse der Simulation auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sowie der Diskussion des aktuellen Standes von simulationsbezogenen Themen werden auch die Einsatzbereiche und eingesetzten Werkzeuge erhoben. Abschließend werden die Ergebnisse und daraus geschlossene Erkenntnisse in einem Fazit reflektiert.

## 1 Studiendesign

Die im Juni 2023 durchgeführte Studie wendet sich an Simulationsanwender und -experten, um den Nutzen der ereignisdiskreten Simulation sowie den Stand der Entwicklung in Produktion und Logistik abzuschätzen. Zudem werden die aktuellen Ergebnisse mit den Ergebnissen der bereits im Jahre 2013 durchgeführten Studie [2] verglichen. Die Studie basiert auf einem Online-Fragebogen, der – wie 2013 – an die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM), an die Mitglieder der Fachausschüsse 204 „Modellierung und Simulation“ und 205 „Digitale Fabrik“ (sowie allen zugeordneten Richtlinienausschüssen) der Gesellschaft für Produktion und Logistik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI-GPL) sowie an Vertreter aus der Automobilindustrie per E-Mail versendet wurde. So konnten ca. 250 – 300 Personen erreicht werden.

### 1.1 Aufbau des Online-Fragebogens

Der Online-Fragebogen ist ähnlich aufgebaut wie bei der bereits 2013 durchgeführten Studie [2]. Insgesamt umfasst der Fragebogen drei Fragengruppen:

1. Einsatz ereignisdiskreter Simulation in Unternehmen
2. Stand der Technik der ereignisdiskreten Simulation
3. Eigenschaften der befragten Institution

Die erste Fragengruppe umfasst allgemeine Fragen zum Einsatz der ereignisdiskreten Simulation in Unternehmen. Durch diese Fragen werden potenzielle Einsatzbereiche der Simulation im Bereich Produktion und Logistik (z. B. Produktionsplanung) ermittelt. Weiterhin werden die Teilnehmenden gefragt, seit wann sie die ereignisdiskrete Simulation nutzen, welche Simulationswerkzeuge zum Einsatz kommen und ob sie mit diesen Werkzeugen zufrieden sind.

Zusätzlich werden in der ersten Fragengruppe verschiedene durch die Simulation beeinflussbare Faktoren der Wettbewerbsfähigkeit (z. B. die absolute Planungs-dauer) im Hinblick auf eine positive, keine oder gar eine negative Veränderung durch den Simulationseinsatz bewertet. Zudem erfolgt eine qualitative Einschätzung, ob durch den Simulationseinsatz Einsparungen oder Mehrkosten erzielt werden können.

In der zweiten Fragengruppe wird der Stand der Technik der ereignisdiskreten Simulation thematisiert, um die Eignung für verschiedene simulationsbezogene Themen (z. B. 3D-Visualisierung oder Digitale Fabrikzwillinge) zu bewerten. Die ausgewählten Themen orientieren sich an der Studie von 2013 [2] und werden um Inhalte aus den Thesen und Handlungsfeldern für die Simulation in Produktion und Logistik des VDI-Fachausschusses 204 „Modellierung und Simulation“ ergänzt [3]. Die Bewertung der Themen soll ihre Einordnung in einen Gartner Hype Cycle (zum Gartner Hype Cycle vgl. [4]) ermöglichen. Diese Bewertung wird durch eine zeitliche Einordnung (i. e. wie lange das Thema schon in der Community diskutiert wird) ergänzt. Die Zeitintervallklassen sind „weniger als 2 Jahre“, „2 – 5 Jahre“, „6 – 10 Jahre“ und „seit mehr als 10 Jahren“. Zusätzlich können Themen als „nicht einschätzbar“ oder als nicht relevant („wird nicht diskutiert“) bewertet werden.

Die letzte Fragengruppe beschäftigt sich mit den Eigenschaften der befragten Institution. Dafür werden die Branchenzugehörigkeit, die Anzahl an Mitarbeitenden, der Jahresumsatz sowie der eigene Tätigkeitsbereich der befragten Person abgefragt.

### 1.2 Teilnehmerrücklaufquote und Einordnung der Unternehmen

Von den erreichten Personen haben 50 Personen mindestens eine Frage beantwortet und 31 haben den Fragebogen vollständig beantwortet. Damit ist die Teilnehmerzahl im Vergleich zur Studie von 2013 (73 Teilnehmende) deutlich geringer. Da auch die unvollständigen Fragebögen in die Bewertung einbezogen werden und bei einzelnen Fragen auch Enthaltungen erlaubt sind, ist der variierende Stichprobenumfang bei den Auswertungen jeweils als "n" angegeben.

Tabelle 1 zeigt die prozentuale branchenbezogene Verteilung der Befragten.

Branchen	2013	2023
Hochschulen	10 %	35 %
Automobilindustrie	13 %	25 %
Logistik-/Transportgewerbe	4 %	13 %
Ingenieurbüro	4 %	6 %
IT-Dienstleister	10 %	6 %
Maschinenbau	8 %	6 %
Sonstiges	5 %	3 %
Außeruniversitäre Forschungseinrichtung	27 %	3 %
Flugzeugbau	0 %	3 %
Elektronik	6 %	0 %
Metallerzeugung und -bearbeitung	5 %	0 %
Automobilzulieferer	3 %	0 %
Chemieindustrie	3 %	0 %
Baugewerbe	1 %	0 %
Sonstige verarbeitende Gewerbe	1 %	0 %

**Tabelle 1:** Vergleich der Aufteilung der Befragten nach ihrer Branchenzugehörigkeit (in Prozent; n=32)

Mit 34 % der Teilnehmenden bilden die Hochschulen die größte Gruppe, gefolgt von der Automobilindustrie (25 %) und dem Logistik-/Transportgewerbe (13 %). Im Vergleich zum Jahr 2013 ist in allen drei Branchen ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen.

Einen bemerkenswerten Rückgang gibt es hingegen bei Teilnehmenden aus der außeruniversitären Forschung (-24 %). Im Vergleich zu 2013 sind Teilnehmende aus der Elektronikbranche, Metallerzeugung und -bearbeitung, Chemieindustrie, dem Baugewerbe oder sonstigen verarbeitenden Gewerbe sowie Automobilzulieferer nicht mehr vertreten.

Neben der branchenbezogenen Verteilung der Teilnehmenden lässt sich auch eine deutliche Veränderung bei der Institutionsgröße (s. Tabelle 2) und beim Jahresumsatz (s. Tabelle 3) erkennen.

Anzahl Mitarbeitende	2013	2023
> 249	61 %	79 %
50 – 249	15 %	12 %
< 50	24 %	9 %

**Tabelle 2:** Vergleich der Aufteilung der Befragten nach ihrer Institutionsgröße (in Prozent; n=33)

79 % der Befragten gehören zu Großunternehmen, was einem Zuwachs von 18 % im Vergleich zum Jahr 2013 entspricht. Demgegenüber ist ein Rückgang bei den kleinen Unternehmen (< 50 Mitarbeitende) um 15 % zu verzeichnen.

Jahresumsatz [in €]	2013	2023
> 50 Mio. €	59 %	64 %
10 – 50 Mio. €	6 %	27 %
< 10 Mio. €	35 %	9 %

**Tabelle 3:** Vergleich der Aufteilung der Befragten nach ihrem Jahresumsatz (in Prozent; n=33)

Bei der Betrachtung des Jahresumsatzes bilden Unternehmen mit mehr als 50 Millionen Euro Umsatz die größte Gruppe (64 %), gefolgt von Unternehmen mit einem Umsatz zwischen 10 und 50 Millionen Euro (27 %). Der Anteil der Unternehmen mit weniger als 10 Millionen Euro Umsatz ist unter den Befragten von 35 % auf 9 % zurückgegangen.

Neben den Vertretern aus der Industrie- oder Dienstleistungsbranche sind auch Teilnehmende in der Forschung tätig (s. Tabelle 4). Diese stellen in der Studie 2023 den größten Teilnehmerkreis. Die beschriebenen Veränderungen in der Zusammensetzung des Teilnehmerkreises sind bei den Auswertungen der Studie zu berücksichtigen.

Tätigkeitsfelder	2013	2023
Forschung	22 %	46 %
Industrie	54 %	39 %
Dienstleister	24 %	15 %

**Tabelle 4:** Vergleich der Aufteilung auf die Tätigkeitsfelder der Institutionen (in Prozent; n=33)

## 2 Stand zum Einsatz der Simulation in Unternehmen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Einsatzbereiche und die verwendeten Simulationswerkzeuge näher untersucht, um den aktuellen Stand zum Einsatz der ereignisdiskreten Simulation in Unternehmen zu beschreiben.

### 2.1 Einsatzbereiche der ereignisdiskreten Simulation

Die verschiedenen Einsatzbereiche der ereignisdiskreten Simulation sind absteigend entsprechend ihrer prozentualen Häufigkeit (Mehrfachnennungen möglich) in Tabelle 5 aufgelistet. Neben den aktuellen Ergebnissen sind auch die Studienergebnisse von 2013 im Vergleich dargestellt.

Am häufigsten wird die ereignisdiskrete Simulation in der Produktionsplanung (68 %) eingesetzt. Zudem werden die Layoutplanung (64 %), die Unternehmenslogistik (56 %) und die Systemplanung (50 %) häufig genannt. Diese Einsatzbereiche waren auch schon 2013 relevant, wobei die prozentuale Häufigkeit für diese Bereiche nochmal gestiegen ist. Insbesondere der Zuwachs bei der Systemplanung (+28 %) ist nennenswert.

Weitere relevante Einsatzbereiche sind die Fabrikstrukturplanung (38 %), die Verbesserung im laufenden Betrieb (30 %), die unternehmensübergreifende Logistik (28 %) sowie die Entwicklung und Testung von Steuerungssoftware (24 %).

Einsatzbereiche	2013	2023
Produktionsplanung	50 %	68 %
Layoutplanung	43 %	64 %
Unternehmenslogistik	49 %	56 %
Systemplanung	22 %	50 %
Fabrikstrukturplanung	30 %	38 %
Verbesserung im laufenden Betrieb	38 %	30 %
Unternehmensübergreifende Logistik	19 %	28 %
Entwicklung und Test von Steuerungssoftware	21 %	24 %
Emulation	17 %	18 %
Anlagenrealisierung	20 %	16 %
Inbetriebnahme	16 %	16 %
Störfallmanagement	11 %	14 %
Personalschulung	14 %	4 %
Keine Angabe	0 %	4 %
Sonstiges	18 %	0 %

**Tabelle 5:** Vergleich der Einsatzbereiche der ereignisdiskreten Simulation (in Prozent; n=49)

### 2.2 Simulationseinsatz und Werkzeugnutzung

Die ereignisdiskrete Simulation ist ein etabliertes Werkzeug in der Praxis. Über 80 % der Befragten setzen die Simulation bereits seit über 10 Jahren ein. Das zeigt, dass

die Methode eine gewisse Reife besitzt und sie als wertvoll für die Analyse von Produktions- und Logistiksystemen angesehen wird. Dementsprechend ist es auch nachvollziehbar, dass im Vergleich zum Jahr 2013 der Anteil der Befragten, die die ereignisdiskrete Simulation schon über 10 Jahre einsetzen, um 24 % gestiegen ist. Dies deutet auf eine zunehmende Akzeptanz und Verbreitung der Methode hin. Damit verbunden sind die Anteile in den anderen Kategorien leicht gesunken.

Bei der Wahl der Simulationswerkzeuge (Tabelle 6; Mehrfachnennungen möglich) zeigt sich ein klarer Trend: Plant Simulation (74 %) und AnyLogic (30 %) sind die am häufigsten verwendeten Simulationswerkzeuge. Im Vergleich zum Jahr 2013 ist der Anteil der Anwender von AnyLogic um über 20 % gestiegen. Somit ist im deutschsprachigen Raum eine Marktverschiebung zu beobachten.

Simulationswerkzeug	2013	2023
Plant Simulation	62 %	74 %
AnyLogic	7 %	30 %
DOSIMIS-3	9 %	11 %
AutoMod	7 %	11 %
Emulate3D	-	9 %
SimPy	-	6 %
SLX	4 %	-
FlexSim	3 %	-
Enterprise Dynamics	3 %	2 %
Arena	3 %	-
Eigenentwicklungen	11 %	2 %
Sonstige	33 %	40 %

**Tabelle 6:** Vergleich der Simulationswerkzeuge (in Prozent, Mehrfachnennungen möglich; n=43)

Der Anteil an Eigenentwicklungen hat am stärksten abgenommen (-9 %). Dies könnte mit den hohen Kosten sowie dem Zeitaufwand für die Entwicklung eigener Simulationswerkzeuge oder der zunehmenden Verfügbar-

keit von kommerziellen Werkzeugen und dem damit verbundenen Support der Softwareanbieter zusammenhängen. Zudem hat der Anteil an Open Source Software (z. B. SimPy) zugenommen.

Werkzeuge mit weniger als drei Einzelnennungen werden unter dem Punkt „Sonstige“ (z. B. Vensim, Matlab oder Witness) zusammengefasst. Die hohe Anzahl an weiteren Werkzeugen deutet darauf hin, dass es in der Praxis keine eindeutige Präferenz für ein einzelnes Werkzeug gibt, sondern dass die Auswahl von verschiedenen Faktoren (z. B. den vorhandenen Unternehmensressourcen oder den persönlichen Präferenzen der Anwender) abhängt. Auch die Gründe für den Einsatz eines neuen Simulationswerkzeugs sind sehr individuell. So nennen die Befragten bspw. die persönliche Weiterbildung oder die Reduzierung der Abhängigkeit von einem Hersteller als Gründe. Zudem beziehen sich die Gründe auf einen bestimmten Funktionsumfang oder die Spezialisierung auf eine Anwendung.

### 3 Beurteilung qualitativer Einflüsse der Simulation auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen

Um den Nutzen des Simulationseinsatzes in den beschriebenen Einsatzbereichen zu bewerten, erfolgt in diesem Kapitel eine Bewertung von qualitativen Faktoren und eine Analyse, inwieweit diese die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens beeinflussen. Dafür sollen die Befragten beurteilen, ob die einzelnen Faktoren eine Verbesserung, Verschlechterung oder keine Veränderung der Wettbewerbsfähigkeit verursachen. Die abgefragten Faktoren sind in Abbildung 1 entsprechend ihrer prozentualen Häufigkeit der Nennungen „Verbesserung“ aufsteigend sortiert.



**Abbildung 1:** Vergleich der Faktoren in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen (in Prozent; n=45)

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass nur der Personalaufwand (45 %) und die Gesamtkosten der Planung (29 %) laut den Befragten einen sichtbaren negativen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen aufgrund des Simulationseinsatzes aufweisen. Diese Faktoren wurden auch schon 2013 von den Befragten als negative Einflüsse eingestuft. Lediglich die Planungsdauer (6 %) wird von den Befragten 2023 nicht mehr größtenteils als negativer Faktor gesehen. Verbesserungen werden insbesondere hinsichtlich der Dauer der Anlaufphase bis zum reibungslosen Serienbetrieb (70 %), der Anzahl der notwendigen Änderungen nach Abschluss der Planung (79 %), der Möglichkeit, Planungsergebnisse dem Management vorzustellen (89 %), der Zufriedenheit mit den Planungsergebnissen (87 %) und der Qualität der Planung (92 %) gesehen. Auch diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen von 2013. Die Faktoren haben zwar keine direkten monetären Auswirkungen, führen aber zu einer transparenten und effizienteren Planung, wodurch langfristig die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens gesteigert werden kann. So schafft bspw. die Präsentation der Planungsergebnisse eine transparente Basis für fundierte Entscheidungen des Managements.

Keine Einflüsse auf die Wettbewerbsfähigkeit werden bei der Planungsdauer (63 %), der Dauer zwischen Ende der Planung und dem „Start of Production (SOP)“ (63 %), den Herstellkosten der Produkte (64 %) und der Produktqualität (73 %) gesehen. Bei der Kundenzufriedenheit sind sich die Befragten uneins, ob sie einen positiven Einfluss (52 %) oder keinen Einfluss (42 %) auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hat.

Allgemein ist im Vergleich zu den Studienergebnissen aus 2013 der prozentuale Anteil der Ausprägung „Verschlechterung“ bei jedem Faktor zurückgegangen. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die ereignisdiskrete Simulation als Planungsunterstützung unabhängig von der Unternehmensgröße oder der Branche etabliert hat und ihr Nutzen positiv bewertet wird.

Eine einfache Möglichkeit, die Vorteilhaftigkeit des Simulationseinsatzes aufzuzeigen, besteht in der Bewertung des Aufwands und Nutzens. Demnach ergeben sich nach Angabe der Befragten Einsparungen durch den Simulationseinsatz (86 %); 56 % davon sehen sogar hohe oder sehr hohe Einsparungen. 11 % sehen keine Veränderung und 4 % sogar Mehrkosten. Der Vergleich zu den Ergebnissen von 2013 zeigt, dass insgesamt der prozentuale Anteil der Einsparungen leicht gestiegen (+12 %) ist (s. Abbildung 2).

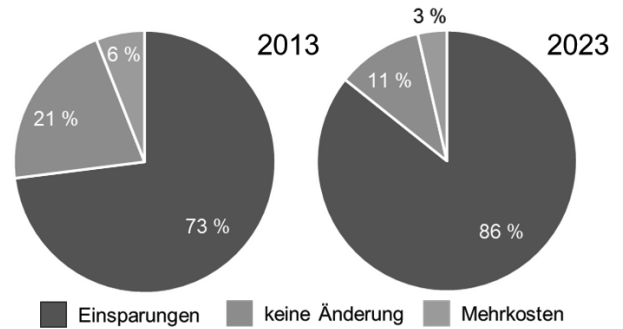


Abbildung 2: Vergleich Einsparungen oder Mehrkosten durch Simulation (in Prozent; n=34)

#### 4 Aussagen zum Stand der Simulation im produktiven Einsatz und zu möglichen technischen Defiziten

Die zweite Fragengruppe beschäftigt sich mit der Relevanz und dem Umsetzungsgrad von aktuellen Themen der Simulations-Community. Durch diese Untersuchung soll festgestellt werden, ob die ereignisdiskrete Simulation für Aufgaben befähigt ist („im produktiven Einsatz“) oder ob es noch technische Defizite gibt. Die Auswahl der Themen orientiert sich an der Studie von 2013 [2] und Entwicklungsthemen (mit einem \* markiert), die aus den VDI-Thesen und Handlungsfeldern [3] abgeleitet sind. Insgesamt werden 45 Themen (vgl. Tabelle A1 in [5]) abgefragt, die in den Gartner Hype Cycle eingeordnet werden. Die ersten drei Phasen (1) „erste Ideen“, (2) „überzogener Hype“ und (3) „kein Interesse (mehr)“ beschreiben den anfänglichen Hype und die einhergehende Ernüchterung bei der Einführung von neuen Technologien. Die beiden letzten Phasen (4) „Relevanz für den produktiven Einsatz erkannt“ und (5) „im produktiven Einsatz“ beschreiben die Etablierung einer Technologie und ihre Nutzung in der Praxis. Diese Phasen dienen auch im Fragebogen als Antwortmöglichkeiten.

Das Vorgehen für die Einordnung der Themen orientiert sich an dem Vorgehen von 2013 [2]. Dabei werden nur die Themen in den Gartner Hype Cycle eingeordnet, die von über 50 % der Befragten einschätzbar sind und mehrheitlich einer der sechs Antwortmöglichkeiten (bzw. zwei benachbarten Antwortmöglichkeiten) zugeordnet werden können. In Tabelle 7 sind alle Themen, die entweder 2013 oder 2023 als nicht einschätzbar bewertet werden, dargestellt. In der aktuellen Studie werden die

Themen „High Level Architecture (HLA)“, „Komponentenorientierung“, „Model Driven Architecture“, „Modellmanagementsysteme“ und „Modellreduktionsverfahren“, die für die Mehrheit der Befragten ( $\geq 50\%$ ) nicht einschätzbar sind, nicht weiter betrachtet.

Thema	2013	2023
Agentenorientierte Simulation	42 %	17 %
Agile Modellentwicklung	51 %	20 %
Data Farming	62 %	21 %
High Level Architecture	54 %	59 %
Komponentenorientierung	41 %	56 %
Model Driven Architecture	63 %	79 %
Modellmanagementsysteme	30 %	50 %
Modellreduktionsverfahren*	-	62 %
Offene und skalierbare Simulationstools	44 %	41 %
Serious Games	63 %	33 %

**Tabelle 7:** Themen, die 2013 oder 2023 als nicht einschätzbar bewertet werden (in Prozent; n=35)

Die geringe Einschätzbarkeit der HLA ist ggf. auf die geringen Anwendungspotenziale im Bereich Produktion und Logistik zurückzuführen.

Im Vergleich zu 2013 sind die agentenorientierte Simulation (17 %), die agile Modellentwicklung (20 %) und das Data Farming (21 %) von einer höheren Anzahl an beteiligten Personen einschätzbar. Die zunehmende Bedeutung der agentenorientierten Simulation zeigt sich auch in den letzten Tagungsbänden der ASIM [6, 7].

Für die verbleibenden 40 Themen wird die Häufigkeitsverteilung der Antworten über die sechs Ausprägungen untersucht (vgl. Tabelle A2 in [5] für die Häufigkeitstabelle). Für die Themen in der folgenden Aufzählung kann dementsprechend kein Konsens (Mehrheit) für eine Ausprägung bzw. zwei benachbarte Ausprägungen abgeleitet werden, wodurch eine eindeutige Positionierung auf dem Gartner Hype Cycle nicht möglich ist für:

- Agile Modellentwicklung
- Data Farming
- Einbindung in die Digitale Fabrik
- Ganzheitliche, interagierende Simulationsmodellelemente\*
- Interoperabilität
- Offene und skalierbare Simulationstools
- Reduktion des Rechenzeitbedarfs\*
- Simulation als Service
- Simulation im Internet
- Simulation und Digitale Produktzwillinge\*

- Simulation und Künstliche Intelligenz (KI)\*
- Simulations- und Modellbildungskompetenz für Mitarbeiter:innen in kleinen und mittleren Unternehmen\*
- Simulationsbasierte Assistenzsysteme
- Standardisierte, durchgängig und vollautomatisiert nutzbare Domänenmodelle\*
- Vernetzung der Simulation mit dem realen System über entsprechende Auto-ID-Techniken zur Nutzung der aktuellen Produktions- und Logistikdaten\*
- Verteilte Modellierung und Simulation
- Verzahnung unterschiedlicher Berechnungsverfahren\*

Bei den aufgelisteten Themen fällt auf, dass einige neue (im Vergleich zur Studie von 2013) Themen aufgeführt sind. Dies zeigt, dass die Themen in der Community zwar diskutiert werden, aber noch keine Einigkeit über den aktuellen Entwicklungsstand besteht. So werden bspw. mit dem kombinierten Einsatz von Simulation und KI, dem Data Farming, den simulationsbasierten Assistenzsystemen oder der Interoperabilität sowohl der produktive Einsatz als auch lediglich erste Ideen assoziiert.

Die verbleibenden 23 Themen werden entsprechend ihrer mehrheitlich zugeordneten Ausprägung in den Gartner Hype Cycle eingeordnet (s. Abbildung 3). Falls zwei Ausprägungen gleich oft genannt werden, wird das Thema zwischen den beiden Ausprägungen positioniert (z. B. Virtual Reality). Die Sortierung innerhalb einer Ausprägung erfolgt aufsteigend anhand der prozentualen Häufigkeit (vgl. Tabelle A3 in [5]). Zusätzlich ist die Abbildung um eine Zeitspanne ergänzt. Dabei werden die meisten Themen bereits seit über 10 Jahren diskutiert.

Bis auf die domänenspezifischen Modellierungssprachen werden alle verbleibenden Themen als relevant betrachtet. Das Thema Serious Games wird zwar schon sehr lange in der Community diskutiert, bisher konnte aber die Relevanz für den produktiven Einsatz noch nicht erkannt werden.

Für das Thema „selbstlernende Simulationsmodelle“ sind erste Ideen vorhanden, die Aufmerksamkeit bezüglich datenbasierter Themen nimmt in der Community zu, sie werden aber noch nicht seit über 10 Jahren in der Community diskutiert. Der Einsatz von Virtual Reality wurde bereits 2013 als überzogener Hype eingeordnet. Technologische Weiterentwicklungen haben dazu geführt, dass die Technologie noch nicht ins Tal der Enttäuschung gefallen ist und von einigen Befragten immer noch als relevant beurteilt wird. Deshalb ist weitere For-

schung notwendig, damit die Relevanz für den produktiven Einsatz gewährleistet werden kann.

Für die meisten Themen in Abbildung 3 wird die Relevanz für den produktiven Einsatz erkannt oder sie sind bereits im produktiven Einsatz. So werden marktfähige Simulationsumgebungen mit domänenspezifischen Bausteinbibliotheken für den Simulationseinsatz angeboten. Für die erfolgreiche Anwendung der Simulation stehen zudem Vorgehensmodelle für die Durchführung einer Simulationsstudie sowie für die Verifikation und Validierung zur Verfügung. Um die Simulationsergebnisse darzustellen, wird die 3D-Visualisierung im produktiven Einsatz verwendet. Zusätzlich befindet sich der kombinierte Einsatz von Simulation und Datenanalysen (neues Thema) bereits im produktiven Einsatz. Im Vergleich zum Jahr 2013 können mittlerweile auch die Modelldokumentation und die automatische Experimentdurchführung dem produktiven Einsatz zugeordnet werden. Die meisten kommerziellen Simulationswerkzeuge verfügen über Funktionen, um automatisiert Experimente zu planen, Parameter zu variieren und die Ergebnisse zu analysieren. Zudem ist in der Forschung die Aufwandsreduktion bei der Experimentdurchführung weiterhin Gegenstand der Forschung (vgl. [8]), wodurch die Relevanz des Themas weiter bestehen bleibt.

Neben der automatischen Experimentdurchführung könnten auch bereits bei der Erstellung eines Simulationsmodells Aufwände reduziert werden, indem die manuelle und zeitintensive Modellierung automatisiert wird. Bereits in der Studie von 2013 wurde die Relevanz

der automatischen Modellgenerierung für die Praxis erkannt. Auch in der Forschung beschäftigen sich seit Jahren einige Autoren mit diesem Thema [9, 10]. Dennoch hat sich noch keiner der entwickelten Ansätze für den produktiven Einsatz bewährt, da sie häufig auf einen Anwendungsfall zugeschnitten und nur mit einem hohen Aufwand übertragbar sind [9]. Zudem ist es schwierig, das komplexe Systemverhalten von Produktions- und Logistiksystemen zu generieren, weil die bisherigen Ansätze bereits Probleme bei der Umsetzung von einfachen Kontrollflussstrategien haben [9]. Deshalb hat sich weiterhin noch kein Ansatz oder Standard im produktiven Einsatz durchgesetzt.

Ähnlich verhält es sich mit den Referenzmodellen, der simulationsbasierten Steuerungsentwicklung und der Eingangsdatenqualität, welche sich – trotz der erkannten Relevanz vor zehn Jahren – noch nicht im produktiven Einsatz befinden.

Zusätzlich konnten neue relevante Themen für den produktiven Einsatz identifiziert werden. So werden die Emulation und die agentenorientierte Simulation, mittlerweile im produktiven Einsatz gesehen. Darüber hinaus hat insbesondere der Simulationseinsatz im Kontext des Digitalen Fabrikzwillings in der Forschung und Praxis an Aufmerksamkeit gewonnen. Trotz einer fehlenden einheitlichen Definition zeigen einige Forschungsarbeiten die Potenziale einer Anwendung auf [bspw. 11]. Für die Überführung der Technologie in den produktiven Einsatz ist aber noch Forschungsbedarf vorhanden.

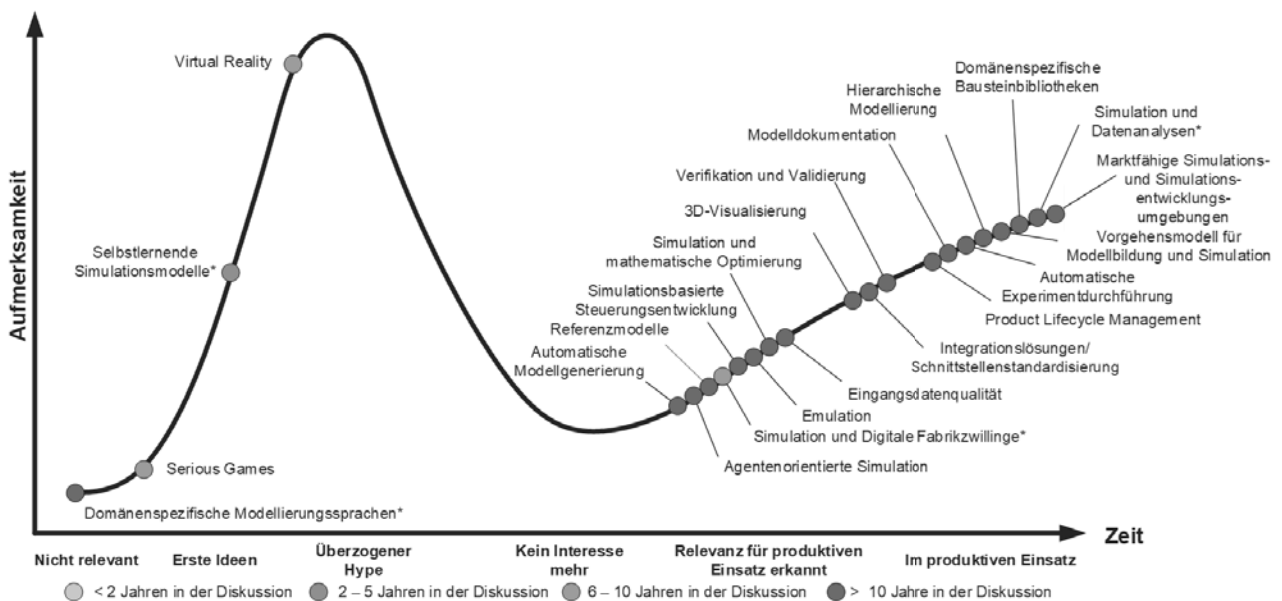


Abbildung 3: Gartner Hype Cycle für simulationsbezogene Themen in 2023 (n=35)

## 5 Fazit

Die Ergebnisse der durchgeführten empirischen Studie zeigen, dass Unternehmen bereits seit vielen Jahren die ereignisdiskrete Simulation für verschiedene Einsatzbereiche anwenden. Die Ergebnisse lassen zudem Aussagen zum Einfluss der Simulation auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sowie eine Untersuchung des aktuellen Standes der Simulation und dessen Veränderungen im Vergleich zum Jahr 2013 zu. Durch den Vergleich der beiden Studienergebnisse können Aussagen über die Entwicklung von simulationsbezogenen Themen getroffen werden. Einige der Themen haben in den letzten Jahren einen erheblichen Fortschritt erfahren, was durch die hohe Anzahl an Themen auf dem Gartner Hype Cycle, die bereits im produktiven Einsatz sind und einen hohen Nutzen für Unternehmen bieten, bestätigt werden kann.

Jedoch gibt es auch Themen, die von den Befragten nicht eindeutig zugeordnet werden können (z. B. Simulation im Internet) oder größtenteils nicht eingeschätzt werden können (z. B. Modellreduktionsverfahren). Die Potenziale dieser Themen müssen durch weitere Forschungen gehoben und ihre Entwicklung weiterverfolgt sowie durch Forschende publiziert werden. Darüber hinaus gibt es auch Themen, die sich im Vergleich zu den Studienergebnissen von 2013 nicht weiterentwickelt haben. Für diese Themen (z. B. automatische Modellgenerierung) müssen die themenspezifischen Gründe identifiziert werden, damit auch diese Themen in den produktiven Einsatz gelangen. Zudem können auch themenübergreifende Gründe – wie bspw. die fehlende Übertragbarkeit von Forschungsergebnissen auf andere Einsatzbereiche oder die fehlende Werkzeugunabhängigkeit von Unternehmen – eine Hürde für eine breite Anwendung mancher Themen in der Praxis sein. Für eine weiterführende Analyse des aktuellen Standes der simulationsbezogenen Themen könnten zukünftig auch die Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße oder Branchen ausgewertet werden.

Allgemein zeigen die Studienergebnisse aber wieder einen positiven Einfluss der ereignisdiskreten Simulation auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass sie auch in Zukunft als Analysemethode eingesetzt wird sowie die untersuchten Themen weiterentwickelt und neue Themen hinzukommen werden.

## Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen Befragten der

Studie für die aufgebrachte Zeit und das bemerkenswerte Engagement.

## Literatur

- [1] Gutenschwager K, Rabe M, Spieckermann S, Wenzel S. *Simulation in Produktion und Logistik: Grundlagen und Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg; 2017.
- [2] Wenzel S, Peter T. Simulation zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit – Ergebnisse einer Umfrage zur Simulation in Produktion und Logistik. In: Friedewald A, Lödning H (Hrsg.). *Produzieren in Deutschland – Wettbewerbsfähigkeit im 21. Jahrhundert*. Berlin: GITO mbH Verlag; 2013. S. 233-264.
- [3] Furmans K, Hanschke T, Möller DPF, Rabe M, Wenzel S, Zabel A, Zisgen H. *Simulation für Produktion und Logistik*. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Produktion- und Logistik; 2021.
- [4] Gartner Inc. *Gartner Hype Cycle – Wie man Technologie-Hype interpretiert*. <https://www.gartner.de/de/methoden/hype-cycle> (abgerufen: 19.07.2024).
- [5] Sutherland R, Özkul F, Wenzel S. *Studie zum Einsatz der ereignisdiskreten Simulation in Produktion und Logistik (Forschungsdaten)*. DOI: 10.48662/daks-41
- [6] Breitenacker F, Deatcu C, Durak U, Körner A, Pawletta T (Hrsg.). *ASIM SST 2022 – Proceedings Langbeiträge*. Wien: ARGESIM Verlag; 2022.
- [7] Bergmann S, Feldkamp N, Souren R, Straßburger S (Hrsg.). *Simulation in Produktion und Logistik 2023*. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau; 2023.
- [8] Wilsdorf P, Heller J, Budde K, Zimmermann J, Warnke T, Haubelt C, Timmermann D, van Rienen U, Uhrmacher AD. A Model-Driven Approach for Conducting Simulation Experiments. *Applied Sciences*. 2022; 12(16): S. 7977. DOI: 10.3390/app12167977
- [9] Wenzel S, Stolipin J, Rehof J, Winkels J. Trends in Automatic Composition of Structures for Simulation Models in Production and Logistics. In: Mustafee N, Bae K-HG, Lazarova-Molnar S, Rabe M, Szabo C, Haas P, Son Y-J (Hrsg.). *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference*. 2019 Winter Simulation Conference; 2019 Dez; National Harbor, MD (USA). New York: IEEE. S. 2190-2200. DOI: 10.1109/WSC40007.2019.9004959
- [10] Bergmann S, Straßburger S. Automatische Modellgenerierung – Stand, Klassifizierung und ein Anwendungsbeispiel. In: Mayer G, Pöge C, Spieckermann S, Wenzel S (Hrsg.). *Ablaufsimulation in der Automobilindustrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg; 2020. S. 333-347.
- [11] Spoor JM, Weber J. Schematic Categorization and Definition of Applied and Target-oriented Digital Twins. In: Bergmann S, Feldkamp N, Souren R, Straßburger S (Hrsg.). *Simulation in Produktion und Logistik 2023*. 20. ASIM-Fachtagung.; 2023 Sep; Ilmenau. Ilmenau: Universitätsverlag. S. 103-112. DOI: 10.22032/dbt.57795