

## Abstract

Die Statthaftigkeit von Simulationsspielen, insbesondere Flugsimulatoren, wird kritisch betrachtet. Es werden die Frage nach einem Mehrwert zum Erlernen einer Fahrzeugführung sowie die Frage nach einer klaren Unterscheidbarkeit von Simulatoren und Simulationsspielen gestellt. Simulationsspielen wird ein klarer Mehrwert in der Lehre zugesprochen. Dabei gibt es Hinweise auf Risiken. In einem hierzu entwickelten quantitativen Verfahren wird anhand einer rein exemplarischen Quellenlage aufgezeigt dass es einen fließenden Übergang zwischen den diesen Produktkategorien gibt, und dass manche Flugsimulatoren näher an "echten" Simulatoren sind als an anderen Simulatorspielen.

# 1. Inhalt

2. Forschungsfrage und Relevanz .....	5
Forschungsfrage 1: Können Simulationsspiele für das Erlernen einer Fahrzeugführung verwendet werden? .....	5
Forschungsfrage 2: Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden? ..	5
Übersicht .....	5
Geschichte und Relevanz .....	6
3. Feld.....	8
Simulatoren .....	8
Computerspiele .....	9
Simulationsspiele .....	9
4. Forschungsstand .....	11
5. Anwendungen von Simulatoren und Simulationsspielen .....	13
Anwendung Simulatoren und Simulationsspiele in der Forschung:.....	13
6. Methode.....	15
Begriffe.....	16
Simulator .....	16
Simulationsspiel.....	16
Simulatorprodukt.....	16
Vorgehen.....	16
Quantitativer Ansatz .....	16
Aufgaben .....	18
Gewünschte Eigenschaften der Methode .....	18

Definition valider Simulationskriterien.....	18
Annahmen und Einschränkungen .....	19
Auswertung .....	20
<b>7. Anwendung der quantitativen Methode .....</b>	<b>20</b>
Recherche.....	21
Vorstellung der Simulatorprodukte .....	22
Link Trainer Type AN-T-18 (AN 2550-1) von 1936 .....	23
Diamond FSTD Simulator (ugs. DSIm-42) von 2005 .....	23
X-Plane 11 (ugs. XP11) von 2016 .....	23
Microsoft Flight Simulator 2020 (ugs. MSFS2020) von 2020.....	23
Dokumentation .....	23
Arten der Quantifizierung .....	24
Ja / Nein .....	25
Kritik.....	25
Kritik aus verschiedenen Quellen .....	25
Abstufung .....	26
Historischer Sonderfall.....	26
Kategorisierung .....	26
Warnungen.....	26
Auswertung .....	27
<b>8. Fazit.....</b>	<b>30</b>
Forschungsfrage 1: Können Simulationsspiele für das Erlernen einer Fahrzeugführung verwendet werden? .....	30

Forschungsfrage 2: Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden?31

- 9. Reflexion.....33
- 10. Ausblick.....35
  - Gesellschaft .....35
  - Technologie.....35
  - Statthaftigkeit .....35
- 11. Literaturverzeichnis.....37

# 1. Forschungsfrage und Relevanz

In dieser Arbeit soll die Statthaftigkeit von Verkehrssimulationsspielen kritisch betrachtet werden. Die Natur dieser Softwareprodukte soll also kritisch untersucht werden. Es handelt sich bei "Statthaftigkeit" um einen Rechtsbegriff, welcher bedeutet, dass eine Sache bestimmte Anforderungen erfüllen muss, um wirksam zu sein, z.B. gegen eine behördliche Anordnung. In dieser Arbeit wird "Statthaft" umgangssprachlich verstanden als "zulässig" und "legitim" [1].

Der Begriff der Statthaftigkeit ist als direkt messbares Kriterium schwer anzuwenden. Entsprechend wurde aus der ursprünglichen Frage nach der Statthaftigkeit eine qualitative sowie eine präzise beantwortbare Forschungsfrage abgeleitet.

**Forschungsfrage 1: Können Simulationsspiele für das Erlernen einer Fahrzeugführung verwendet werden?**

Es werden Hinweise auf den Nutzen von Simulationsspielen bei der Ausbildung zur Fahrzeugführung gesucht. Auch Gegenanzeigen werden betrachtet. Könnte die Verwendung von Simulationsspielen einen negativen Effekt auf das Lernen oder die Führung der Fahrzeuge haben?

**Forschungsfrage 2: Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden?**

Es werden Begriffe aufgezeigt, welche bisher zur Unterscheidung verwendet wurden, sowie der Funktionsumfang beider Arten von Software verglichen. Es wird die Frage gestellt, ob es überhaupt einen klar definierbaren Unterschied zwischen Simulatoren und Simulationsspielen gibt.

## Übersicht

Im Folgenden wird die Geschichte von Simulatoren und Simulationsspielen und ihre historische Relevanz dargestellt. Anschließend werden die aktuellen Begriffe des Forschungsfeldes erläutert und der Forschungsstand bezüglich der obigen Forschungsfragen im Allgemeinen sowie anhand von Einsatzbeispielen von Simulatoren und Simulationsspielen untersucht.

Im Kapitel "Methode" wird der bisherige Erkenntnisgewinn kritisch betrachtet sowie eine quantitative Methode zum Umgang mit der Fragestellung entwickelt. Diese Methode wird dann an exemplarischen Quellen angewendet und auf ihre Aussagekraft geprüft.

Zuletzt werden die Ergebnisse der exemplarischen Anwendung der quantitativen Methode zusammengefasst, sowie die Gesamtperspektive ermittelt, welche sich aus den gesammelten Definitionen und der methodischen Untersuchung des Feldes ergibt.

## Geschichte und Relevanz

Einer der bekanntesten, frühen Flugsimulatoren, damals noch Holzkisten mit mechanischer Steuerung, wurden 1934 vom Militär nach einer Reihe von Unfällen gekauft. Zuvor gab es für die Geräte wenig kommerzielles Interesse außerhalb von kleinen Vergnügungsparks. Die Weiterentwicklung wurde ebenfalls vom Militär finanziert, um Piloten auszubilden und vor Abstürzen mit dem Flugzeug zu bewahren [2]. Mit dem Aufkommen einer großen Flugindustrie nach dem zweiten Weltkrieg wurde der zivile Markt größer als der militärische [3].

Noch scheinen Militärische und industrielle Flugsimulatoren den Heimanwenderprodukten klar überlegen. Es ist jedoch denkbar, dass ein immer größer werdender Endkunden-Computerspielermarkt eines Tages technologisch führend sein wird. Die Entwicklung von Computerspielen tendiert schon länger zu immer mehr Arbeitsteilung [4]. Spieleengines oder Physikengines könnten gemeinsam für alle Arten von Flugsimulatoren eingesetzt werden. Assets wie 3D-Models könnten kompatibel werden und auf all diesen Märkten gehandelt werden. Hightech wird dort entwickelt, wo der größte Markt ist, die anderen Märkte bedienen sich daraus.

Die Geschichte des Computers selbst ist einen solchen Weg gegangen. Ursprünglich handelte es sich um extrem teure Spezialgeräte, welche militärisch, z.B. Verschlüsselung und zur Berechnung von ballistischen Flugbahnen und in der Forschung für Berechnungen eingesetzt wurden. Nur staatliche Institutionen konnten sich das leisten. Sie boten einen kleinen, finanziell gut ausgestatteten Markt und waren die einzigen Technologietreiber. Die zivile Nutzung der immer noch raumfüllenden Computer, etwa in der Buchhaltung und der Telekommunikation, eröffnete einen größeren, insgesamt zahlungskräftigeren Markt. Die große Menge an Käufern in diesem Markt begünstigte die Massenproduktion. Dies beschleunigte die Verbreitung und die Entwicklung von Computersystemen [5].

Die schnelle Verbreitung von Internetanschlüssen und Spielecomputern brachte für Hard- und Softwarehersteller den Konsumentenmarkt in den Vordergrund. Die Gewinne aus den Geschäften mit dem neuen Publikum beschleunigten weiter die technologische Entwicklung. Die Konsumentenprodukte wie PC und Konsolen sind mittlerweile nicht nur kostengünstiger, sondern oft auch leistungsfähiger als die Technologie, die immer noch im militärischen Bereich eingesetzt wird. Diese Arbeit soll einen Ausblick darauf geben, ob in Zukunft möglicherweise militärische und zivile Simulatoren auf Basis von Technologie entwickelt werden, welche dann im Gegensatz zur heutigen Situation primär für den breiten Markt der Endkonsumenten entwickelt worden sein wird, oder ob Simulationsspiele eine Tendenz besitzen sich als Unterhaltungsprodukt von Simulatoren abzugrenzen.

## 2. Feld

In diesem Kapitel wird ein Überblick über das Feld gegeben, indem die verschiedenen Arten von Simulatoren und Spielen im Kontext der Simulation von Verkehrsmitteln vorgestellt werden.

Der Bezugspunkt für die Betrachtung der Kategorien ist die Abbildung der Realität. Traditionell wurden Verkehrsmittel mangels Alternativen in realen, kontrollierten Situationen gelehrt. Dabei wird der Einfachheit halber von der Annahme ausgegangen, dass man in der Realität alles trainieren kann, diese also der beste Simulator ist. Im Folgenden werden entsprechend die Begriffe Simulator, Spiel und Simulationsspiel umrissen.

### Simulatoren

Simulatoren sind Nachahmungen der Realität. Sie sollen eine Welt erschaffen, die der realen Welt nahekommt [6]. Dafür müssen Simulatoren zunächst modelliert werden, bevor sie entstehen. Die Annahmen über die Realität, die von den Entwicklern getroffen und implementiert werden, stellen klar, wie die Bestandteile innerhalb der Simulation in Beziehung zueinander stehen [7]. Es ist jedoch derzeit davon auszugehen, dass Simulatoren noch nicht alles simulieren oder trainieren können.

Um zu verstehen, wie Simulatoren entwickelt werden, ist es wichtig, die entscheidenden Faktoren für die Hersteller zu berücksichtigen. Simulatoren werden entwickelt, um gezielt Problemsituationen des Verkehrs in der offiziellen privaten oder beruflichen Ausbildung zu trainieren. Sie dienen zudem der Zertifizierung ihrer Nutzer.

Neben der Softwareentwicklung wird meist ein großer Aufwand in die Entwicklung von lebensgroßen, realistisch bedienbaren Innenräumen investiert. Die Konzentration auf spezifische Situationen und Flugzeugmodelle schränkt prinzipiell die Menge der benötigten und angebotenen Flugzeugmodelle, Flughäfen, etc. ein, welche in einem spezifischen Simulator für den Nutzer sowohl bezüglich der Bedienung, als auch dem virtuellen Umfeld simuliert werden können.

Da Flugsimulatoren zur Zertifizierung von Piloten dienen, unterliegen sie selbst einer Zertifizierung. Dies ist eine der klarsten Definitionen, die es für eine "Statthaftigkeit" entsprechender Produkte geben kann. Qualifizierte Organisationen bescheinigen einer einzelnen Version eines Simulators die Einsetzbarkeit im Lehrbetrieb. Der Hersteller

übernimmt Verantwortung für den Lehrbetrieb, und könnte letztendlich auch z.B. für grobe Fahrlässigkeit haften. Der damit verbundene Aufwand und das damit verbundene Risiko für den Hersteller bedeuten auch, dass Änderungen am Funktionsumfang nur selten geschehen können. Änderungen von Vorschriften oder akute Beschwerden über bezüglich der Simulationspräzision oder sonstigen Problemen im Lehrbetrieb können zu Softwareupdates führen.

## Computerspiele

Das primäre Ziel von Spielen ist es zu unterhalten und eine Herausforderung in Form von Hindernissen, die vom Ziel abhalten, zu schaffen. Beispiele für Genres von Spielen sind Action, Strategie, Abenteuer, Rollenspiele, Sport und die hier diskutierten Simulationsspiele. Innerhalb eines Spiels muss es klare Regeln für den Spieler geben, nach denen er handeln kann. Spiele können Einzelspieler oder Mehrspieler-Modi unterstützen. Außerdem können Spieler in machen Spielen gegen eine künstliche Intelligenz antreten.

In traditionellen Spielen kennt der Spieler die Regeln, an die er sich halten muss. Heutzutage kann es aber auch sein, dass der Spieler nicht zuvor über die Regeln aufgeklärt wird, sondern schlichtweg nur nach ihnen handeln kann. Dafür müssen die Regeln jedoch stimmig sein, sodass sich keine Fragen beim Spieler auftun. Spiele haben einen Endzustand, den es zu erreichen gilt. Dafür kann der Spieler auf dem Weg Belohnungen erhalten. Im Idealfall hat ein Spiel einen Schwierigkeitsanstieg [7].

## Simulationsspiele

Simulationsspiele sind ein Genre von Computerspielen, die historisch und praktisch an Simulatoren angelehnt sind. Das Genre, unter das sie oftmals eingeteilt werden, sind die sogenannten "Serious Games". Serious Games sind Spiele, die lehrreich sind und dem Spieler etwas beibringen oder sie etwas trainieren lassen wollen. Zudem vermitteln sie eine Botschaft oder bieten eine sichere Umgebung für das Erlernen von neuen Inhalten. Daher sind sie nicht primär für die Unterhaltung gedacht [8].

Verkehrssimulationsspiele haben viele Assets, wie Fahrzeuge, Strecken und Ziele, sowie einen Trend zu aktuellen und ansehnlichen Visuals, die den Spieler ansprechen sollen. Die primäre Einkommensquelle von Simulationsspielen, wie auch bei Computerspielen, sind die Kunden, welche unterhalten werden wollen. Dementsprechend ist das Community-Feedback wichtig und kann sogar dazu führen, dass kurzfristige Änderungen an der

Software durchgeführt werden. Auch Simulationsaspekte können davon betroffen sein. Sie werden verändert oder sogar entfernt, um die Unterhaltung des Publikums zu gewährleisten [9].

Verkehrssimulationsspiele wollen das Gefühl vermitteln, reale Verkehrsmittel, also Flugzeuge, Autos, etc., steuern zu können. Sie lassen sich unterteilen in fiktive, zivile, militärische und solche, die eine Lizenz haben, sprich echte Fahrzeuge von Herstellern verwenden [10]. Oft wissen die Spieler schon etwas über diese Verkehrsmittel und wollen sie daher abgebildet sehen. Deshalb haben Simulationsspiele oftmals auch den Anspruch, möglichst nahe an ihre Vorbilder heranzukommen [10].

Die Herausforderung bei diesem Genre besteht vor allem darin, das Fahrzeug zu manövrieren und bei manchen Rennspielen Kollision zu vermeiden. Bei Flugsimulatoren kann zudem die Steuerung für Spieler, die an eine Autolenkung gewöhnt sind, erstmal eine Umgewöhnung bedeuten, da sie das Flugzeug zunächst übersteuern [10].

Für die Gestaltung der Benutzeroberfläche von Fahrsimulationsspielen muss darauf geachtet werden, dass die reale Steuerung mit der des Spielesimulators vergleichbar ist, vor allem bei solchen Fahrsimulatorspielen die realistisch sein wollen. Erfahrene Spieler sind zudem glücklich, wenn externe Steuerungselemente wie Gashebel oder Steuerungsknüppel unterstützt werden, da diese Zielgruppe solche wahrscheinlich bereits besitzt. Die meisten Spieler sind jedoch höchstens mit einem Joystick ausgestattet. Bei Flugsimulatoren beispielsweise, die nur auf die Schnelligkeit ausgelegt sind, ist daher die Lenkung sehr vereinfacht und unter anderem ist die Bedienungsoberfläche automatisiert [10].

Manche Dinge aus der realen Welt können nur schwer werden in Verkehrssimulationsspielen. Zum Beispiel die G-Kräfte die in einem Flugzeug auf den Piloten wirken oder das Gefühl der Geschwindigkeit beim Autofahren [10].

### 3. Forschungsstand

Dieses Kapitel widmet sich der Forschungsfrage 2, wie und ob man Simulationsspiele von Simulatoren trennen kann. Diese Frage wird schon seit längerem debattiert, da es schwierig ist eine klare Unterscheidung zu treffen [11]. Die Autoren von "Distinguishing Games and Simulation Games from Simulators" haben deshalb in ihrer Dokumentation Charakteristiken aufgestellt, um Simulatoren und Simulationsspiele voneinander abzugrenzen und einzuordnen. Spiele wurden in dieser Dokumentation ebenfalls betrachtet. In der vorliegenden Arbeit bleiben sie außen vor, da sich hier ausschließlich auf Simulatoren und Simulationsspiele konzentriert werden soll.

Für den Vergleich von Simulationsspiel oder Simulator muss festgestellt werden, ob das zuzuordnende Produkt überhaupt eine Simulation beinhaltet. Dafür muss es eine Umgebung nachahmen, fiktiv oder real. In Simulationsspielen können fantasievolle Elemente enthalten sein, für Simulatoren jedoch nicht, da sie zum Erlernen die reale Welt abbilden müssen. Simulationsspiele haben die Absicht zu unterhalten und dem Spieler eine fortlaufende Herausforderung und ein Erlebnis zu bieten. Sie wollen Emotionen hervorrufen, im Kontrast zu Simulatoren, die ihren Anwendern eine Fähigkeit vermitteln oder trainieren lassen wollen. Dies ist zwar bei Simulationsspielen möglich, aber nicht das Hauptziel. Um festzustellen, wie unterhaltend ein Simulationsspiel ist, wird der Spaßfaktor betrachtet, also das, was der Spieler unterhaltsam findet, wenn er spielt. Dies kann zum Beispiel das Narrativ, die Fantasiewelt, die Herausforderung oder das Erleben mit anderen Spielern zusammen, sein. Wenn kein Spaßfaktor vorhanden ist, handelt es sich um einen Simulator [7].

In die Herausforderungen von Simulationsspielen wird viel Zeit und Arbeit gesteckt. Sie werden möglichst spannend für den Spieler gestaltet und sollen ihm einen Unterhaltungswert bieten. Dies kann auch dazu führen, dass Aspekte eines Simulationsspieles verändert oder unvorhersehbar gemacht werden. Das ist für Simulatoren gewollt, da es reale Szenarien sein sollen, die dem Anwender dabei helfen, seine Fähigkeiten zu verbessern. Die Herausforderungen sind genau auf die Lerninhalte des Simulators abgestimmt, um ihn im wirklichen Leben voranzubringen. Aus Sicht des Spielers gibt es bei Simulationsspielen wiederkehrende Schemas. Sie können variieren oder sich entwickeln. Bei Simulatoren sind die Schemas standardisiert und bleiben gleich. Simulationsspiele können ein Ziel haben, also einen Endzustand. Der Spieler kann diesen

abhängig von den Siegbedingungen oder Punkten, die in Form von Geld oder Punkte gesammelt werden können, erreichen. Simulatoren haben keine solchen Ziele [7].

Obwohl es für manchen Forscher nicht ersichtlich ist, woher die Faszination für Simulationsspiele kommt, handelt es sich dennoch um ein beliebtes Genre. Es scheint zunächst reichlich Arbeit zu benötigen, um beispielsweise bei einem Flugsimulator überhaupt abheben zu können. Eine in Spielen übliche, sofortige Belohnung für den Spieler bleibt daher aus [12].

Das Kapitel "Simulations: Are They Games?" aus dem Buch Digital Game-Based Learning befasst sich damit, wie ein Simulator in ein Spiel umgewandelt werden kann. Dafür müssen dem Simulator Unterhaltung, ein Ziel, eine Siegbedingung und Herausforderungen hinzugefügt werden. Ein schlechtes Simulationsspiele wird so beschrieben, dass es den Spieler nur eine Reihe von Lernpunkten abarbeiten lässt und der Simulationsteil nur dazu dient, den Spieler zu jedem dieser Punkte zu bringen [6].

## 4. Anwendungen von Simulatoren und Simulationsspielen

Um die Unterschiede zwischen Simulatoren und Simulationsspielen zu untersuchen, werden in diesem Kapitel Anwendungsbeispiele betrachtet.

Ein Anwendungsbereich für Simulatoren kann die Systemanalyse sein. Außerdem können sie verwendet werden, um Dinge zu imitieren und um deren Verhalten zu erforschen. Dabei kann ein Verständnis dafür gewonnen werden, wie ein System funktioniert oder verbessert werden kann. Auch Lerninhalte und Modellierungen können mit Simulationen dargestellt werden. Simulatoren bieten zudem eine Umgebung an, um Tests an Personen oder Systemen durchzuführen [7].

Im militärischen Kontext können Simulatoren für die Ausbildung, Analyse und für das Proben von Einsätzen genutzt werden. Mit ihnen ist es möglich, Vorhersagen zu treffen. Wenn eine Aufgabe im Realen schwierig auszuführen ist, kann mit Hilfe von Simulatoren ein Prozess getestet oder geübt werden [7].

### Anwendung Simulatoren und Simulationsspiele in der Forschung

Fahrsimulationsspiele wurden in der Forschung genutzt, beispielsweise in der Studie „Analysis of bus drivers reaction to simulated traffic collision situations – eye-tracking studies“ über Unfallvermeidung bei Busfahrern [13] oder in der Studie “The influence of auditory feedback on speed choice, violations and comfort in a driving simulation game” über Einfluss von Motorgeräuschen auf das Fahrverhalten [14]. Sogar GTA 5, nach der obigen gebrachten Definition ein klassisches Spiel und kein Simulationsspiel, wurde zur Entwicklung eines Selbstfahralgorithmus verwendet in der Studie „Virtualization of Self-Driving Algorithms by Interoperating Embedded Controllers on a Game Engine for a Digital Twinning Autonomous Vehicle“ [15].

Ein Hinweis für die Statthaftigkeit von Simulationsspielen bietet die Studie “An Empirical Evaluation of Transfer-of-Training of Two Flight Simulation Games”. Dafür haben die Teilnehmer verschiedene militärische Trainingsaufgaben in einem realistischen Flugsimulator absolviert. Es gab drei Gruppen. Die erste Gruppe hatte zuvor Falcon 4.0 gespielt, ein Flugsimulationsspiel mit militärischen Flugzeugen. Die zweite Gruppe hatte zuvor Microsoft Flight Simulator gespielt, ein Flugsimulationsspiel mit zivilen Flugzeugen. Und zuletzt gab es eine Kontrollgruppe, die kein Flugsimulationsspiel zuvor gespielt hat. Im

Ergebnis schnitten die Falcon 4.0 Spieler deutlich besser ab als die Kontrollgruppe und in geringem Maß besser als die Microsoft Flight Simulator Spieler. Daher schlussfolgerten die Studienautoren, dass diese Spiele, die nicht für das Training im Flugsimulator entwickelt wurden, dennoch berufsbezogene Kompetenzen vermitteln können [16].

## 5. Methode

Wie im vorherigen Kapitel ersichtlich, ist es durchaus möglich, vorhandene Simulatoren und Simulationsspiele nach einfachen Kriterien zu klassifizieren. Darüber hinaus gibt es, wie beschrieben, noch weitere Aspekte, welche grundsätzlich bis auf weiteres Simulatoren von Simulationsspielen trennen. Sie werden für einen unterschiedlichen Zweck und für ein unterschiedliches Publikum produziert. Unabhängig von Ihrer Natur trennt schon die Zertifizierung für den Lehrbetrieb Simulatoren von Simulationsspielen.

Eine solche Kategorisierung kann jedoch nicht beantworten, ob Simulationsspiele wirklich statthaft im Sinne der Forschungsfrage 1 sind, also grundsätzlich zum Erlernen der Fahrzeugführung herangezogen werden können. Zudem finden sich gerade an der für diese Arbeit relevanten Grenze zwischen Simulator und Simulationsspiel Definitionsungenauigkeiten. Ob ein Simulationsspiel ein Ziel haben darf oder nicht, variiert in der Literatur [7] [6]. Der Spielspaß wird Simulationsspielen teils komplett abgesprochen [12], was die Frage aufwirft warum über zwei Millionen von Konsumenten diese Software erworben haben [17]. Es scheint viele verschiedene Definitionen für die Unterscheidung von Simulatoren und Simulationsspielen zu geben.

Die bisherige Forschung scheint an der Grenze zwischen Simulator und Simulationsspiel beinahe bemüht zu beweisen, dass diese so zu unterteilen sind, wie es die Hersteller bereits unterteilen und bewerben. Es fällt bisher schwer, die Motivation der Spieler wissenschaftlich zu beschreiben. Die bisher aus der Forschung gewonnene Perspektive scheint bezüglich der Entwicklung von Computerspielen in der Forschungsfrage 2 jedoch wenig Mehrwert zu bieten.

Um die Fähigkeiten der Simulatoren und Simulationsspielen unabhängig von ihrem Anspruch und eventuellen Zertifizierungen von Gesetzgebern zu betrachten, ist es notwendig, die einzelnen simulierten Aspekte der jeweiligen Verkehrsmittel-Simulation zu betrachten. Eine quantifizierte Skala kann darüber Auskunft geben, ob es eine offensichtliche "Feature-Grenze" zwischen Simulationen und Simulationsspielen aus Sicht der Spieleentwicklung gibt.

## Begriffe

Im Sinne der Lesbarkeit werden im folgenden Text drei Begriffe verwendet, wenn es um Simulationssoftware geht.

### Simulator

Entsprechend der obigen Definition eine Kombination aus Software und Hardware, welche für den Lehrbetrieb für jegliche Art von Flug- und Fahrzeuge vertrieben wird.

### Simulationsspiel

Ein Simulationsspiel, welches primär ein real existierendes Fahrzeug oder Flugzeug jeglicher Art simuliert, basierend auf den Definitionen im vorigen Kapitel.

### Simulatorprodukt

Ein Simulator oder ein Simulationsspiel nach obiger Definition. Der Begriff dient insbesondere der Lesbarkeit, da an vielen Stellen in dieser Arbeit auf beide Arten von Produkten zusammen Bezug genommen wird.

## Vorgehen

Insbesondere in Hinblick auf die Forschungsfrage 2: "Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden?" bieten die bisher gewonnen Methoden und Perspektiven keinen deutlich erkennbaren Mehrwert für den Bereich der Spieleentwicklung. Grenzfragen werden zwar diskutiert, diese bieten aber kaum nützliche Kriterien. Auf Hybridprodukte und Nuancen wird nicht eingegangen. Es wird beschrieben, was ein Spiel zu einem Simulationsspiel macht, doch die Grenze zu Simulatoren bleibt größtenteils unerforscht.

## Quantitativer Ansatz

Die qualitativen Unterscheidungskriterien, welche die Forschung aufwirft, erfüllen nicht den gewünschten Zweck und führen nicht zu einer absehbaren Beantwortung der Frage nach Statthaftigkeit. Entsprechend wird der Versuch einer Quantifizierung unternommen, um die Grenze zwischen Simulationsspiel und Simulator zu untersuchen und damit Aussagen über die Statthaftigkeit von Simulationsspielen treffen zu können. Eine möglichst einfache quantitative Methode soll aufzeigen, ob eine Grenze zwischen diesen beiden Simulatorprodukten sichtbar ist.



## Aufgaben

Diese Methode hat zur Aufgabe, technische Unterschiede zwischen Simulatoren und Simulationsspiele in engen, fachlichen und lösbaren Grenzen in einer quantitativen Diskussion zu betrachten. Durch das Unterteilen in Simulationskriterien können zu jedem Kriterium qualitative Aussagen von Fachkräften quantifiziert werden. Die Punktzahl, die dadurch vergeben wird, macht es möglich, den technischen Fortschritt zu vergleichen. Die Menge an simulierten Kriterien und die Qualität der Simulation dieser Kriterien kann eine Aussage darüber geben, wie Simulatoren und Simulationsspiele zueinander abschneiden. Dabei ist zu erwarten, dass Simulatoren einen deutlichen Punktevorsprung vor Simulatorspielen erhalten.

## Gewünschte Eigenschaften der Methode

Die Methode soll unabhängig von der Art des Verkehrsmittels einsetzbar sein und für ein breites Feld an unterschiedlich komplexen Simulationsprodukten zur Verfügung stehen. Nach Möglichkeit sollte die Methode so entworfen sein, dass sie auch bei einer wachsender Anzahl an Kriterien nicht mehr Arbeit macht.

Im Folgenden werden die Definitionen für valide Simulationskriterien, sowie die Methode der Quantifizierung beschrieben. Es gibt inhaltlich kaum Einschränkungen, was als Simulationskriterium gelten darf. Es muss sich jedoch um einen messbaren, beschreibbaren Faktor in Bezug auf die Steuerung, den Umgang mit dem Fahrzeug, einen Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugführers oder einen sonstigen messbaren Faktor der Simulation handeln, welcher ein Äquivalent in der Realität hat. Idealerweise werden dabei so viele Kriterien wie möglich erhoben. Es ist essentiell, sich dabei auf eine qualifizierte Fachkraft zu stützen, beispielsweise einen Fluglehrer, sowie eine ganzheitliche Perspektive zu behalten und das Gesamterlebnis des Fahrzeugführers zu betrachten. Eine Gefahr für die Aussagekraft der Methode wäre es, sich auf die bereits in früheren Simulatorprodukten berücksichtigten Kriterien zu begrenzen. Es muss auch Kriterien geben können, welche von keinem der Simulatorprodukte simuliert werden.

## Definition valider Simulationskriterien

Die Kriterien dürfen keine Duplikationen aufweisen, z.B. durch doppelte Nennung mit anderen Formulierungen oder getrennten Formulierungen von zum Beispiel ein- und ausparken. Dieses Kriterium müsste beispielsweise unter "Rangieren" zusammengefasst werden, damit das Kriterium keine unlauteren Punktevorteile gegenüber den anderen Kriterien erhält. Zudem dürfen sich die Kriterien nicht gegenseitig beinhalten. Kriterien dürfen einander jedoch verwenden, da dies unvermeidbar ist, zum Beispiel wenn "Gaspedal" im Kontext mit dem Einparken verwendet wird.

Wird ein Simulationskriterium von einem Simulatorprodukt erfüllt, erhält es dafür einen Punkt. Jedes Kriterium kann von 0 bis 1 bewertet werden. Im einfachsten Fall bedeutet eine 0, es wird nicht berücksichtigt, eine 1 bedeutet, dass es berücksichtigt wird. Bei ausreichender Expertise und Datenlage kann auch ein Zwischenwert bestimmt werden. Die Punkte für die Kriterien werden für das jeweilige Simulatorprodukt summiert. Sie sind gleich viel wert. Jedes Kriterium muss für jedes Simulatorprodukt vorliegen, damit ein Kriterium einbezogen werden kann.

Kriterien können fachlich gruppiert werden. Wenn ausreichend Kriterien vorhanden sind kann der Schwerpunkt eines Simulatorprodukts entsprechend die Gesamtpunktzahl in jeder Kriterienkategorie ermittelt werden.

## Annahmen und Einschränkungen

Es wird davon ausgegangen, dass diese Methode aussagekräftiger wird, je mehr Kriterien hinzugefügt werden. Idealerweise geschieht die Anwendung der Methode mit sehr vielen Kriterien. In dieser Arbeit werden weniger Kriterien verwendet, da diese nur exemplarisch die Methode vorstellen sollen.

Eine mögliche Gewichtung der Kriterien untereinander, etwa dass eine Lenkung wichtiger ist als ein Gaspedal sei, sind subjektiv und schwer zu quantifizieren. Die Gewichtungen der Kriterien fallen insgesamt weniger ins Gewicht, je mehr Kriterien vorliegen. Deshalb werden in dieser Methode Kriterien nicht untereinander gewichtet.

Bei Simulationsspielen wird ein Vollausbau des nutzbaren Zubehörs angenommen. Es wird nicht betrachtet, was ein durchschnittlicher Spieler besitzt, sondern was das Simulatorprodukt leisten kann. Eine Vielzahl von Monitoren und Pedalen könnte also von einem Simulationsspiel im Auslieferungszustand unterstützt werden. Modifikationen der Software durch den Benutzer, sogenannte "Mods" werden nicht berücksichtigt.

Die Einschätzung, ob ein Fehlverhalten durch einen Simulator oder ein Simulationsspiel konditioniert werden könnte, ist qualitativ und schwer quantifizierbar. Eine Fachkraft müsste hier eine explizite Warnung oder einen Ausschluss aussprechen. Risiken sind zudem schwerer quantifizierbar als der Umfang einer Simulation. Beispiele für solche Risiken wären etwa eine irreführende, fehlerhafte Physik bei den Auswirkungen von hoher Geschwindigkeit auf die Steuerbarkeit des Fahrzeuges. Die Punktzahl ändert sich nicht. Es wird auf das Problem separat hingewiesen.

Der Einfachheit halber wird angenommen, dass in einer Schulung im realen Fahrzeug alle Kriterien trainierbar sind. Dort würde jedes Kriterium einen Punkt erhalten.

Es wird angenommen, dass Punktzahlen vergleichbar sind, solange jedes der erfüllten Kriterien in einem höher bewerteten Produkt enthalten ist, das bedeutet, dass das Kriterium in einem vermeintlich besseren, wahrscheinlich neueren, Produkt wieder aufgegriffen wird.

## Auswertung

Wenn erfüllte Kriterien nicht von höher bewerteten Simulatorprodukten erfüllt werden, wird dies als eine Überlappung von unter 100% im Ergebnis ausgezeichnet. Bei geringerer Überlappung handelt es sich um einen Sonderfall, welcher nicht mehr oder in aktuellen Simulatorprodukten noch nicht berücksichtigt wird. Die Punktzahl selbst verändert dies nicht. So kann auf einen Sonderfall mit einer geringeren Vergleichbarkeit hingewiesen werden.

Die Punkte welche ein Simulatorprodukt insgesamt erhalten hat werden zusammengezählt. Der Annahme nach reihen sich so die Simulatorprodukte nach ihrem Simulationsumfang auf. Möglicherweise kann so auch eine deutliche Lücke zwischen Simulatoren und Simulationsspielen aufgezeigt werden.

## 6. Anwendung der quantitativen Methode

Im Folgenden soll die zuvor entwickelte quantitative Methode exemplarisch angewendet werden. Flugsimulatoren bieten sich an, da es für sie schon früh einen dringenden Bedarf gab [18]. Entsprechend stehen viele Simulatorprodukte zur Auswahl, was die Suche nach vergleichbaren Daten erleichtert. Ein weiteres Argument, Flugsimulatoren als Basis für den

Versuch einer Anwendung der quantitativen Methode zu wählen, ist die lange Tradition der Internetdiskussionen über Flugsimulationen. Auf unzähligen Internetforen werden Flugsimulatoren in teils beeindruckendem Detail diskutiert. Die Nutzer organisieren sich auch in Verbänden, wie etwa VATSIM, dem nach eigenen Aussagen über hunderttausend Mitglieder angehören. Hier werden mitunter auch Fluglotsen für Simulationsspiele von im Berufsleben tätigen Fluglotsen ausgebildet [19].

Die verfügbare Datenlage schränkt auch die Auswahl ein. Es können im Rahmen dieser Arbeit nur Kriterien und Simulatorprodukte gewählt werden, zu denen eine eindeutige Dokumentation oder glaubhafte vergleichende Quellen verfügbar sind. Diese sind fast durchgängig anekdotisch oder Werbeaussagen von Herstellern, stehen hier aber für eine belegbare Analyse einer entsprechenden Fachkraft ein.

Die Annahme ist, dass mehrfach bestätigte oder ausführliche Aussagen das Vorhandensein oder die Qualität eines Simulationskriteriums beispielhaft für die Anwendung dieser Methode bestimmen können. Ausführliche Diskussionen und Analysen angeblicher Fachkräfte und Simulationsspielexperten, welche zwei Simulatorprodukte vergleichen, können genutzt werden, um die Qualität einzelner Kriterien ähnlich zu quantifizieren, wie es eine theoretische, für eine solche Arbeit hinzugezogene, Fachkraft vermögen würde.

## Recherche

Auf der Suche nach vergleichenden Onlinediskussionen zu Simulationskriterien als exemplarische Datengrundlage wurden zahlreiche Diskussionsforen und Blogs zum Thema Flugsimulation gefunden. Hier fanden sich lebhaft Diskussionen von engagierten Flug- und Flugsimulator-Enthusiasten. Nicht wenige gaben an, auch in diesem Feld zu arbeiten, mitunter als Fluglehrer. Die Diskussionen finden oft auf einem technisch hohen Niveau statt. Gerne wird auf Umbauanleitungen, um Simulationsspiele händisch zu korrigieren, oder auf reale Dokumente, wie etwa Referenztabellen zu Verbrauchswerten, verwiesen [20].

Eine subjektive Beobachtung muss hier erwähnt werden. Der Tonfall und die Disziplin der Beiträge sind für Online-Foren überraschend ruhig und fokussiert. Mit viel Verständnis wird in den meisten beobachteten Fällen auch auf einfache Fragen eingegangen, ohne Überheblichkeit, Vorwürfe oder Verachtung. Diskussionen werden selten hitzig oder persönlich. Vielleicht liegt es an den technischen Themen oder strengen Community-

Regeln, dass diese Foren von den in Onlinediskussionen oft wilden Debatten und gezielten Provokationen grösstenteils verschont scheinen.

Trotz ihrer anekdotischen Natur haben diese Quellen eindeutig einen Wert. Sie können zwar nicht als Beleg gelten und dienen primär als Beispieldaten zur Beschreibung des methodischen Vorgehens in einem großen und komplexen Feld. Sie bieten aber Einblick in eine Subkultur, deren Mitglieder die zentralen Themen Flug, Flugsimulation und Flugsicherheit sehr ernst nehmen. Auffällig ist, dass dabei in den Diskussionen in vielerlei Hinsicht kein Unterschied zwischen einem Simulationsspiel, einer Simulation und der Realität gemacht wird. Phänomene werden oft gleichzeitig anhand von Simulatorprodukten und der Realität diskutiert, mit dem Ziel für das Gegenüber Klarheit über die realen Phänomene zu schaffen, während eine Abweichung einer Simulation als eine Enttäuschung oder Risiko bemängelt wird. Die Simulatorprodukte scheinen mit derselben Ethik wie die realen Werkzeuge des Flugbetriebs behandelt zu werden. Sie werden in die Pflicht genommen, nach bestem Wissen und Gewissen, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen und sollen vor allen Dingen keine irreführenden Fehler haben. Die faire Art des Umgangs und das hohe Niveau dieser Internetforen und Blogs macht insgesamt Mut, zumindest aus den am ernstesten geführten Diskussionen Beispieldaten und Warnungen zu extrahieren.

Die wertvollsten Beiträge beziehen sich jeweils auf ein einzelnes Simulationskriterium, und vergleichen dabei mehrere Simulatorprodukte. Im Unterkapitel "Dokumentation / Arten der Quantifizierung" wird erläutert, wie anhand der zuvor entwickelten quantitativen Methode die qualitativ scheinenden Quellen in einen einfachen, objektiven Zahlenraum überführt wurden.

## Vorstellung der Simulatorprodukte

Die Auswahl der Simulatorprodukte erfolgte aufgrund der Quellenlage. Es mussten zur Beurteilung der Kriterien subjektiv glaubhafte Quellen gefunden werden, welche Simulatorprodukte explizit miteinander vergleichen. Entsprechend nutzbare Informationen zu all diese Kriterien mussten für jedes der Simulatorprodukte gefunden werden. Wertvolle Schlüsselquellen diskutieren die Unterschiede zwischen den modernen der hier ausgewählten Simulatorprodukte. In den vergleichenden Quelle fehlende Bewertungen von Kriterien wurden einzeln recherchiert. Die aktuellen Simulatorprodukte bieten den Vorteil, dass sie bekannt sind und in Foren viel diskutiert, womit diese Arbeit ansatzweise die aktuellen Grenzen von Simulatorprodukten ausloten kann. Der historische Simulator dient

als Referenz für den technischen Fortschritt seit der Entstehung von Simulatoren und als Beispiel für die Flexibilität der quantitativen Methode.

### Link Trainer Type AN-T-18 (AN 2550-1) von 1936

Dieser Simulator wird aufgrund der blauen Bemalung seines Rumpfes auch "Blue Box" genannt. Er war im Einsatz für die Streitkräfte der Vereinigten Staaten zur Zeit des Zweiten Weltkrieges. Über diesen berühmten, frühen Simulator für den Instrumentenflug sind viele Informationen und Handbücher online verfügbar [21]. Das Gerät verfügt über die seinerzeit üblichen Instrumente und Steuerelemente und dreht sich u.a. frei im Raum, um reale Fliehkräfte zu imitieren.

### Diamond FSTD Simulator (ugs. DSIm-42) von 2005

Der Flugzeughersteller Diamond vertreibt einen eigens produzierten Simulator für seine Flugzeugtypen DA40 (Einmotorig) und DA42 (Zweimotorig). Die Motoren und Flügel werden interessanterweise auf der mitgelieferten 180° Leinwand dargestellt. Das mitgelieferte Simulator-Cockpit enthält Originalteile der Flugzeugmodelle. Die Kosten liegen je nach Modell bei weit über \$200,000 € (2016) [22].

### X-Plane 11 (ugs. XP11) von 2016

Das Simulationsspiel gilt als Referenz für realistisches Flugverhalten und wird oft in Diskussionen mit dem Microsoft Konkurrenzprodukt verglichen. Manche Quellen betreffen die neuere Version X-Plane 12. Der Einfachheit halber werden diese Quellen zusammen mit denen für Version 11 behandelt und das Spiel dennoch immer als "X-Plane 11" bezeichnet. Zur Version 11 waren am meisten Quellen zu finden.

### Microsoft Flight Simulator 2020 (ugs. MSFS2020) von 2020

Der Hersteller stellt seit langem Flugsimulator-Spiele her. Version 1 erschien 1982. Die neueste Version wird überwiegend für den hohen Detailgrad der grafischen Darstellung von Umgebung, Flugzeugen und Wetter gelobt.

## Dokumentation

Tabelle 1 Zeigt die zusammengefasste Bewertung der Simulationskriterien anhand der Quellen.

Kategorie	Kriterien (exemplarische Auswahl)	Link "blue box" Flight Trainer AN-2550-1 (1936) [1]	MSFS 2020 (2020)	X-Plane 11 (2016)	DSim-42 (2005)	Realität (theoretischer, maximaler score)
1. Steuerung	Höhenruder (elevator)	1	1	1	1	1
1. Steuerung	Landeklappen (flaps)	0,1	0,5	1	1	1
		Nur Bedienung, keine Physik	"In FS2020, you drop the flaps, and nothing happens."	"By contrast, XP11 captures the 'kick' perfectly."		

1. Steuerung	Querruder (aileron) [5]	1		1		1		1		1
1. Steuerung	Schub (thrust / throttle)	1		1		1		1		1
1. Steuerung	Seitenruder (rudder)	1		1		1		1		1
2. Instrumente	Höhenmeter (altitude)	1	Hydraulik	1		1		1		1
2. Instrumente	Kompass	1	Echter Kompass, gerät dreht sich	1		1		1		1
3. Physik	Fahrwerk (landing gear)	0,1	Nur Bedienung, keine Physik	0,5	"FS2020 has taken this too far and the gear does nothing to reduce your speed." [9]	0,75	impliziert	1	impliziert	1
3. Physik	Flugphysik (flight physics)	0,1	Nur Bedienungsfeedback, keine Physik	0,25	"[un]realistic modeling of the aircraft movements in the air" [quora]. "The the linear behaviour unrealistic and the non-linear modelling is terrible". In FS2020, shutting down the critical (left) engine in a climb caused absolutely nothing to happen" [medium]	0,5 [14]	"problems with non-linear behaviour"	0,75	DSim "struggles to match the real plane"	1
3. Physik	Vereisung (icing / de-icing)	0,1	Nur Anzeige, keine Physik	0,5	"verbugged" (2021) [flus] "A Missed Opportunity Party Redeemed" [google]	1	"X-Plane simulates ice accumulation on your aircraft" [18]	1	"The TKS anti-ice system of the DA42 is simulated"	1
3. Physik	Luftschraubenverstellung (propeller pitch)	0,1	Nur Bedienung, keine Physik	0,5	"Whatever lookup-table FS2020 is using has completely failed to capture this."	1	"XP11 captures this perfectly" ]	1	impliziert	1
3. Physik	Treibstoffverbrauch (fuel consumption)	0		0,5	"Fuel is not correct in the game"	0,5	"it would surprise me if their fuel use was off by 25% or more" [28]	1		1
3. Physik	Turbulenzen (turbulence)	0,5	zufällig	1	"You get subtle little knocks and bumps from localised thermals and turbulence"	0,5	"not that good" (X-Plane 12 beta) [29]	1		1
4. Prozess	Ausfallszenarien (emergencies)	0		0,33	"FS2020 only simulates critical system failures, and those aren't randomisable."	0,66	"XP11 has a fully comprehensive, randomisable system failure model. You can set any system to fail, whenever you want it to"	1	"emergency situations that can be scheduled irrespective of weather conditions"	1
4. Prozess	Flugverkehrskontrolle (ATC: air traffic control)	1		0,5	dialogfenster: "Hatte nicht mehr viel Vertrauen zum ATC". besser in online spielen möglich (modded).	1	dialogfenster	1	möglich mit fluglehrer	1
4. Prozess	FMC: Flight Management Computer	0	Gab es damals noch nicht	0,5	"doesn't allow accurate simulation"	1		1		1
4. Prozess	Landeprozess	0,1	Nur Höhenanpassung und Vorbereitungen, keine Landesimulation	0,5	"I would advise stop using the simulator when learning takeoffs and landings especially landing." [quora] "feels very wrong" "the attitude is much too flat" [medium]	1	"XP11 is a dead match for this."	1		1
4. Prozess	Sichtnavigation (navigation by visual reference)	0	Keine Sicht	1		1	"You might not learn to use that landmark to navigate, but you'll be using a landmark — that's what VFR navigation is about."	1	"The outstanding visuals allow for visual flight training and is logical and simple to operate for instructors."	1
Punktezahl		8,1		12,58		15,91		17,75		18

Im Folgenden werden der Aufbau der Tabelle sowie die genaue Methode der Erhebung erklärt. Horizontal sind die Simulationskriterien aufgezählt, für die es durchgängig subjektiv glaubhafte einzelne oder vergleichende Quellen gab. Jedes Simulatorprodukt wird durch zwei Spalten repräsentiert. Dabei wird für jedes Simulatorprodukt jedes Kriterium berücksichtigt. Die linke der zwei Spalten enthält jeweils die quantifizierte Punktzahl, die das Simulatorprodukt für dieses Kriterium erhalten hat. Die rechte der beiden Spalten enthält in allen nicht-eindeutigen Fällen eine Erläuterung oder ein oder mehrere Zitate, auf denen sich die Quantifizierung begründet. Zur Visualisierung der Unterschiede sind die Punktzahlen abgestuft zwischen Grün (1 Punkt) und Weiss (0 Punkte) eingefärbt.

Alle Quantifizierungen beziehen sich auf den Abstand zum bestmöglichen Idealfall der vollen Punktzahl in der Realität. Zur Veranschaulichung ist neben den Simulatorprodukten dementsprechend eine idealisierte, hypothetische Schulung in der Realität als eine Art maximales Referenzprodukt gelistet, welches die maximale Punktzahl für jedes Kriterium anzeigt (1 Punkt), sowie die maximal mögliche Punktzahl (18) erhält.

## Arten der Quantifizierung

Im Folgenden werden die als valide angenommenen Kombinationen erklärt, welche die Punktzahlen für ein Kriterium beschreiben. Was nicht in eine dieser Kombinationen fällt, wurde verworfen, da die quantitative Methode keinen Umgang mit lückenhaften Daten

beschreibt. Eigene subjektive Einschätzungen jeder Art und unlautere Vergleiche wurden vermieden.

Dabei wird, wie zuvor erwähnt, die Auswahl der Kriterien nicht exakt anhand der beschriebenen Methode durchgeführt. Es werden nicht maximal viele Kriterien notiert, sondern jene behalten, die entweder durch ausführliche Diskussionen vergleichbar werden oder einfach ohne Vergleich notiert werden können. Jedes Simulatorprodukt muss für jedes Kriterium mit allen anderen verglichen werden können. Die Qualität der Unterscheidung der Kriterien untereinander soll dabei jedoch gleich hochwertig bleiben. Kriterien dürfen keine Duplikate sein oder sich gegenseitig beinhalten. Dieses Vorgehen gilt für jedes gewählte Kriterium, für jedes betrachtete Simulatorprodukt.

Ja / Nein

Im einfachsten Fall, etwa bei Steuerelementen und ihren Einfluss auf die Simulation, wird ein Punkt für das Vorhandensein vergeben, oder kein Punkt, wenn das Kriterium nicht simuliert wird. Hierfür gaben z.B. Handbücher und Prospekte Auskunft.

Kritik

Das Vorhandensein eines Simulationskriteriums kann in einem einfachen Ja / Nein Fall von einem Punkt auf 0,5 reduziert werden, wenn für ein einzelnes Simulatorprodukt eine Kritik vorliegt, etwa für das Kriterium der Vereisung von Flugzeugoberflächen. Hier fanden sich mehrere Kritiken für den Microsoft Flight Simulator 2020. Diese Kritiken wurden nur auf einen ausreichenden Detailgrad und die Bestätigung durch andere Diskussionsteilnehmer geprüft. Ohne weitere Beurteilung des Schweregrades wird ein halber Punkt abgezogen. Jedes Kriterium wurde recherchiert, mit der Ausnahme von der seit langem gebräuchlichen Instrumente und Steuerelementen, von denen angenommen wurde, dass sie funktionieren, sofern keine anderen Recherchen auf ein Problem hinwies.

Kritik aus verschiedenen Quellen

Wenn zu einem Kriterium keine Quelle gefunden wurde, welche die Simulatorprodukte miteinander vergleicht, wie etwa bei der Simulation des Treibstoffverbrauchs, wurde ausführliche, subjektiv glaubhafte Kritik mit einem halben Punkt Abzug bewertet, ohne unqualifiziert auf die subjektive Schwere der Kritik einzugehen. Die Kommentare neben den jeweils 0,5 Punkten lesen sich sehr verschieden. Die Punkte bilden jedoch strikt nach der

beschriebenen Methode jeweils einen Abzug von einem halben Punkt pro Kriterium und Simulatorprodukt für nicht ideale Simulation des Kriteriums ab.

## Abstufung

Idealerweise wurde für Kriterien, wie etwa die Flugphysik, ein ausführlicher Vergleich zwischen den Simulatorprodukten gefunden. In diesem wird die Qualität der Simulation des Kriteriums explizit hinsichtlich der Qualität pro Simulatorprodukt bewertet. Dies ermöglichte es zu bewerten, welches Simulatorprodukt besser als das andere ist. Ohne weitere subjektive Bewertung wurden die Teilpunkte linear verteilt und ein voller Punkt nur vergeben, wenn ein Kriterium für gut befunden wurde. Eine vollwertige Simulation wurde auch angenommen, wenn innerhalb derselben Quelle nur zwei von drei verglichenen Simulatorprodukten für dieses Kriterium kritisiert wurden.

## Historischer Sonderfall

Eine explizite Abweichung von den Regeln der beschriebenen quantitativen Methode ist das historische Simulatorprodukt. Die Regeln sind hier nicht eindeutig genug. Es wurden 0,1 Punkte dafür vergeben, dass es den Piloten ein glaubhaftes Feedback des Simulationskriteriums vermittelt wurde, wie etwa das Gefühl ein echtes Steuer zu bedienen, welches entsprechend wackelt und korrigiert werden muss. Dies ist ausnahmsweise eine rein subjektive Einschätzung der Autorin, um den Fokus auf das Erlebnis des Piloten zu würdigen, auch wenn keine Simulation des Kriteriums vorliegt.

## Kategorisierung

Die Kategorisierung von Kriterien dient in dieser Methode zur Bestimmung eines Schwerpunkts der verschiedenen Simulatorprodukte anhand von selbst gewählten Kriteriumskategorien. Die hier gewählten Kategorien dienen nur der Lesbarkeit. Es sind nicht ausreichend Kriterien vorhanden, um die Schwerpunkte der Simulatorprodukte verlässlich zu bestimmen. Sie begründen sich einerseits in der Unterscheidung zwischen Anzeigeinstrumenten und Bedienelementen, sowie andererseits in den elementaren Themen Flugphysik und dem Erlernen von Prozessen, welche Simulatoren und Simulationsspiele verbinden.

## Warnungen

Ein Kommentar wurde als expliziter Warnhinweis durch vermeintliche Fachkräfte markiert. Das Simulationsspiel Microsoft Flight Simulator 2020 wird für gefährliches Fehlverhalten beim Landeprozess getadelt und Flugschülern vom privaten Training dieses Prozesses mit dieser Software abgeraten. Dies ist eine der wenigen eindeutigen Warnungen vor Simulationsspielen als Risikoquelle. Auf die Nützlichkeit von Simulationsspielen angesprochen reagieren vermeintliche Fluglehrer mit viel Lob, sowie Hinweisen darauf, dass die Vorteile des Wissen den Risiken von falschem Wissen und schlechten Gewohnheiten weit überwiegen .

## Auswertung

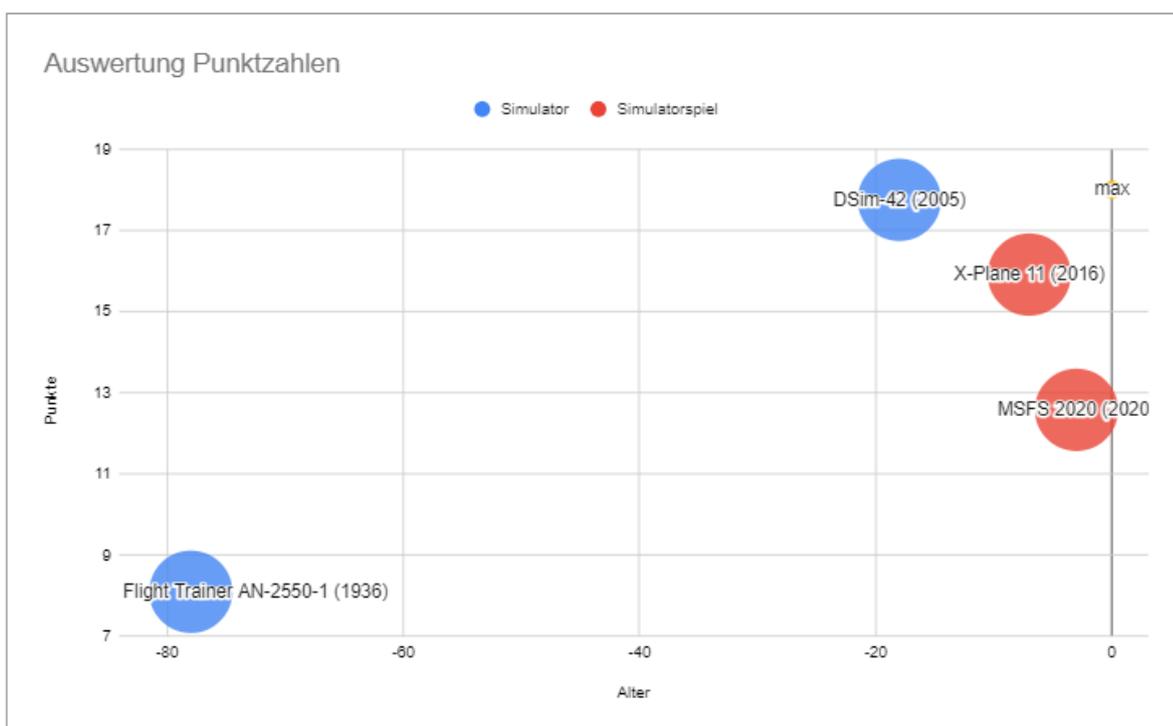


Abbildung 1 zeigt die Auswertung der Punktzahl anhand der quantifizierten Simulationskriterien.

Die Abbildung zeigt eine Skala auf der man das Alter in Jahren, chronologisch von links nach rechts ablesen kann. Minus 40 sind dabei vierzig Jahre in der Vergangenheit. Das Maximum nach oben hin ist die maximale Punktzahl von 18 Punkten, die ein Simulatorprodukt erreichen kann. Je mehr Kriterien dazu kommen würden, desto höher wäre die maximale Punktzahl. Je höher das Simulatorprodukt auf der Skala ist, desto mehr Punkte hat es, d.h. je mehr und besser wurden Kriterien simuliert. Je weiter rechts ein Simulationsprodukt ist, desto neuer ist es.

Die Farbe blau steht für die Simulatoren Flight Trainer AN-2550-1 (1936) und DSim-42 (2005). Die rote Farbe ist den Simulationsspielen X-Plane 11 (2016) und MSFS 2020 zugeordnet.

Die geringste Punktzahl hat der älteste Simulator Flight Trainer AN-2550-1, die höchste Punktzahl der Simulator DSim-42. Überraschend ist, dass der Abstand zwischen X-Plane 11 geringer ist zu DSim-42 als der Abstand von X-Plane 11 zu MSFS 2020.

Die exemplarische Datenlage lässt nur begrenzte Schlüsse zu. Dennoch ist gut erkennbar, dass das Simulationsspiel Microsoft Flight Simulator 2020 seine Beliebtheit scheinbar mehr kommerziellen Faktoren wie der guten Grafik als der einwandfreien Simulation verdankt. Das Simulationsspiel tendiert insgesamt erstaunlich weit ins Mittelfeld. Die Simulation des Flugzeugherstellers Diamond, welche hier als eine Art Referenz dient, wird erstaunlich dicht gefolgt von dem Simulationsspiel X-Plane 11, welches in Diskussionen um Realitätsnähe im Vergleich mit dem Microsoft Produkt in den meisten Fällen vorne lag.

Der historische "Blue Box" Simulator, mit dem Schwerpunkt des Instrumentenflugs, welcher seinerzeit sicherlich als statthaft galt, spielt sowohl in Hinsicht auf visuelle als auch physikalische Faktoren in einer anderen Liga, diese Simulationskriterien existieren hier quasi nicht. Einer Anekdote zufolge brachte dieses Gerät jedoch während eines besonders intensiven Trainings einen Pilotenschüler dazu, panisch aus dem Simulator "abzuspringen". Er ist den modernen Simulatorprodukten weit hinterher, aber deshalb kein schlechtes Produkt. Es könnte theoretisch noch heute als ein besonders unbequemes Instrument zur Schulung der Grundlagen des Instrumentenflugs eingesetzt werden.

Es wurden nicht genügend Kriterien berücksichtigt, um die Schwerpunkte der einzelnen Simulationen anhand der Kategorisierung der Kriterien zu bewerten. Es ist jedoch das Prinzip der Kategorisierung erkennbar. Das Historische Simulatorprodukt "Blue Box" hat den Großteil seiner Punkte in der Kategorie "Instrumente" erhalten, welches demnach seinen Schwerpunkt darstellt.

Die quantitative Methode zeigt auch bei begrenzter Datenlage die gewünschte Flexibilität. Beliebige Simulatorprodukte derselben Fahrzeugart können verglichen werden. Der Aufwand der exemplarischen Einschätzung gestaltet sich etwas schwieriger als erwartet, da Simulatorprodukte selten in Quellen explizit genug verglichen werden. Dies soll der Methode jedoch nicht zum Nachteil gelten, da diese für eine direkte fachlich qualifizierte Beurteilung der Simulationskriterien ausgelegt wurde.



## 7. Fazit

Forschungsfrage 1: Können Simulationsspiele für das Erlernen einer Fahrzeugführung verwendet werden?

Die anekdotischen, qualitative Einblicke stimmen hier positiv. Fluglehrer berichten von Schülern, die beim ersten Flug in einem realen Flugzeug ein instinktives Verständnis für die Bedienung zeigen und weniger Grundlagen zu Instrumenten und Prozessen lernen müssen. Eine Forschung bei der militärische Trainingsaufgaben mit Vorwissen von Flugsimulationsspielen gelöst werden (siehe Kapitel) Anwendungen von Simulatoren und Simulationsspielen in der Forschung) zeigt zudem, dass es möglich ist, gelerntes Wissen von Simulationsspielen auf reale Inhalte zu übertragen [16]. Ein Grundverständnis für die Bedienung kann also geschaffen werden. Für Piloten in der Ausbildung empfehlen vermeintliche Experten auf Internetforen, sich bei Simulationsspielen auf bestimmte Übungen zu beschränken und raten von manchen Manövern, zumindest im Microsoft Flight Simulator 2020, ganz ab. Ein Lerneffekt kann Simulationsspielen jedoch nicht abgesprochen werden. Die detaillierten und akkuraten Instrumentenpaneele moderner Simulationsspiele wirken auf den ersten Blick wie Fotos. Alle Instrumente, die im Rahmen des Spiels simuliert werden können, werden auch simuliert. Für Laien ist die Bedeutung von kryptischen Anzeigen und komplexen Prozessen erlernbar, auch ohne eine Zertifizierung und die bestmögliche Simulation.

Während die Entwicklung einer quantitativen Methode primär der Beantwortung der Forschungsfrage 2: "Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden?" diene, zeigte die Recherche für die Bewertung der Kriterien auch Einblicke in die Forschungsfrage 1: "Können Simulationsspiele für das Erlernen einer Fahrzeugführung verwendet werden?". Vermeintliche Fluglehrer berichten explizit davon, dass die meisten Flugschüler, welche zumindest am Anfang ihrer Ausbildung zum Piloten eine schnelle Lernkurve zeigen, sich privat mit Simulationsspielen beschäftigen. Die Risiken von Fehlinformationen und schlechten Angewohnheiten werden meist als das kleinere Übel bezeichnet. In einem offiziellen Kontext wird die direkte Frage nach der Statthaftigkeit meist direkt mit Nein beantwortet, um daraufhin weiter das Genre zu loben. Verständlicherweise möchte kaum jemand die Verantwortung übernehmen, ein Spiel als Referenz für eine kritische Ausbildung zu nennen.

Was als zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem bestimmten Land offiziell als statthaft gilt, entscheidet der Gesetzgeber immer wieder neu, nicht zuletzt im Rahmen der technischen Möglichkeiten und aufgrund von aufgearbeiteten Unfällen. Eine Definition über den gesetzlichen Rahmen hinaus läuft Gefahr, willkürlich zu wirken. Wie aufgezeigt wurde, können jedoch sauber definierte Simulationskriterien jeden Aspekt von Simulation beschreiben. Deren Aufrechnung erlaubt eine bedeutungsvolle Interpretation. Vom qualitativen Aspekt der Statthaftigkeit bleibt hauptsächlich der negative Aspekt übrig. Können Simulationsspiele ein Risiko sein? Dies muss im Einzelfall erwogen werden und Gegenanzeigen wurden bereits beobachtet. Je höher die Punktzahl, desto weniger Warnungen wurden jedoch beobachtet, was bisher für den quantitativen Ansatz spricht. Die These dieser Arbeit ist diesbezüglich, dass durch die Wechselwirkungen der Simulationskriterien eine höhere Anzahl und Qualität der Kriterien zu weniger Risiken führt.

**Forschungsfrage 2: Wie kann man Simulatoren und Simulationsspiele unterscheiden?**

In der Literatur werden Simulatoren und Simulationsspiele anhand von Zielen und Unterhaltungswert unterschieden. Wie aufgezeigt wurde, ist dies nicht richtig, da es Menschen offensichtlich unterhält. Deshalb nutzt diese Arbeit diese Definition nicht und betrachtet Simulatoren und Simulationsspiele als einen fließenden Übergang. Je näher ein Simulationsspiel an die Realität kommt, desto näher kommt es auch an einen Simulator.

Die These dieser Arbeit ist, dass die gute Simulation von Kriterien, realitätsnahe Physiksimulation und simulierten Ablauf von realen komplexen Prozessen, die der Nutzer lernen muss, das wichtigste Einschätzungsmerkmal für Statthaftigkeit ist.

Dies kann einen realen Nutzen haben, dass Flugstunden für Flugschüler reduziert werden können.

Entsprechend kann man Simulatorprodukte nicht in Kategorien aufteilen. Wenn immer mehr Kriterien simuliert werden, entsteht ein Nutzen und der Eindruck von Realität, selbst wenn die grafische Dynamik nicht perfekt ist. Simulationsspiele werden von einer breiten Zielgruppe genutzt, darunter scheinbar auch Berufskräfte im Flugbetrieb und werdende Piloten. Eine Begriffsunterscheidung scheint für das interessierte Publikum selbst nicht nützlich zu sein. Diskutiert wird der Abstand zur Realität. Und das scheint eine Motivation in

sich zu sein, an der die klassischen Definitionen der Unterhaltung, des Spielziels und des Spielspasses scheitern.

Auch die Simulation von anderen Verkehrsmitteln kann unter diesen Gesichtspunkten betrachtet werden. Während LKW und Landwirtschaftssimulationen noch als Novum und Unterhaltungsprodukt gehandelt werden, gibt es mittlerweile bereits lebensnahe Joystick-Armaturen für Lastwagen und Landwirtschaftsgeräte. Es ist denkbar, dass auch Simulationsspiele für andere Verkehrsmittel sich immer weiter auf Realismus fokussieren werden.

Eine offizielle Zulassung als Simulator wird ein Spiel nicht bekommen, selbst wenn es dieselbe technische Grundlage wie ein Simulator haben sollte. Die Ziele eines Spiels sind die Unterhaltung des Publikums, und Simulatoren unterliegen sinnvollerweise ausführlichen Auflagen, die für Spieleprodukt nicht in Frage kommen. Dennoch holen Simulationsspiele zumindest im Bereich der Flugsimulatoren immer weiter zu ihren großen Geschwistern auf.

Die heutzutage scheinbar selbstverständlichen Simulatorprodukte hätten noch vor wenigen Jahrzehnten als Wundermaschinen gegolten, auch im Sinne der akkuraten Simulation. Die heutigen Simulatorprodukte profitieren von dem technischen Fortschritt von Computern und deren Erschwinglichkeit. Sie bieten einen großen Absatzmarkt und ein großes Angebot an Spielen und Zusatzequipment. Dabei ist das Interesse der Hersteller und Kunden nach mehr Präzision klar erkennbar.

## 8. Reflexion

Das Feld des Verkehrs im Kontext von Computerspielen ist zwar mittlerweile weit gefasst, der Ansatz Simulationsspiele in der Lehre ernstzunehmen, ist jedoch recht neu. Das Herunterbrechen der Fragestellung auf messbare Begriffe war mangels nutzbarer Ansätze notwendig, um sich der zweiten Forschungsfrage zu nähern. Der Ansatz der quantitativen Methode selbst war erfolgreich, eine Befreiung aus der Ziellosigkeit bisheriger Definitionen der Forschung und aus unauflösbaren qualitativen Fragestellungen. Es stellte sich aber als eine zu aufwändige Herangehensweise heraus.

Eine vollwertige Anwendung hätte den Rahmen dieser Arbeit weit überzogen. Aus Zeitgründen wurde die Menge der bearbeiteten Simulatorprodukte und Kriterien auf jene begrenzt, welche lückenlos bewertbar waren. Als Ziel konnte nur noch bleiben, die entwickelte quantitative Methode durch klare Definitionen und Grenzen gegen grobe Fehler abzusichern und die Methode in einer geradezu hypothetischen Praxis zu demonstrieren und letztendlich zu erproben.

Der Drang nach einer genaueren Bewertung als dem Vorhandensein von simulierten Kriterien wurde zu einem zeitlichen und qualitativen Risiko für die Arbeit. Eine Fachkraft hinzuzunehmen, um alle Kriterien zu bewerten, war im Rahmen der Arbeit nicht möglich, nicht zuletzt, da sich die exakte Aufgabe der Fachkraft mehrmals geändert hätte. Die stattdessen vorgenommene aufwändige Recherchearbeit wurde nach dem Finden von hilfreichen, Simulatorprodukte vergleichenden Quellen, zu einer Suche nach vielen kleinen, schwer belegbaren Details, um die Lücken zu füllen.

Eine simplere Bewertung hätte es sicherlich möglich gemacht, ein größeres Feld zu bearbeiten. Die Abstufung von Bewertungen gab einen spannenden qualitativen Einblick in den aktuellen technischen Stand aktueller Simulationskriterien. Ein Verzicht darauf hätte aber die Punktzahl für die Verortung der Simulatorprodukte nicht dramatisch verändert. Gerade an der Spitze der Technik ist wiederum durch die Abstufungen in Tabelle 1 und Abbildung 1 das knappe Wettrennen der Hersteller erkennbar.

Trotz des Versuchs, die quantitative Methode so simpel wie möglich zu gestalten, ergaben sich bei der Anwendung Probleme, welche auch einer hypothetisch hinzugezogenen Fachkraft nicht erspart geblieben wären. Die Erzeugung von subjektiven Eindrücken von Gegenkräften bei der Steuerung des historischen Simulators passt nicht in das strenge

Schema der Simulationsbewertung, erfüllte aber ihren Zweck. Die zentrale Stärke der Methode war an dieser Stelle, dass zumindest nur ein Kriterium auf einmal bewertet werden musste. Alle anderen Kriterien waren bereits sauber genug voneinander getrennt, was die Komplexität der Betrachtung begrenzte. Dies, sowie die gleiche Gewichtung aller Kriterien schränkten die Auswirkung von eigenen Bewertungsfehlern und subjektiven Einschätzungen ein.

## 9. Ausblick

### Gesellschaft

Simulationsspiele können als ein Symptom eines gesellschaftlichen Wandels betrachtet werden. Menschen sollen heutzutage ihr ganzes Leben lang lernen. Das Stigma, das früher bestand, dass Lernen etwas Unangenehmes sei, fällt vom Lernen ab. Ausbildungen sollen nicht mehr hauptsächlich schnell veraltendes Wissen lehren, sondern Methoden. Über das Internet können unbegrenzt Informationen konsumiert werden. Simulationsspiele sind ein ideales Medium, bei dem sich bei einer geringen Einstiegshürde neues ausprobieren lässt. Hier kann etwas ohne Risiken ausprobiert werden, beispielsweise ein Flugzeug ohne reale Absturzgefahr zu fliegen. Dadurch können neue Interessen entdeckt und vertieft werden. Spieler qualifizieren sich und erhalten einen Einblick in eine andere Welt. Es findet ein Perspektivenwechsel statt, bei dem Spieler verschiedene Berufsfelder kennen und respektieren lernen können.

### Technologie

Möglicherweise entstehen hybride Mischungen von Simulatoren und Simulationsspielen. Vielleicht werden Simulationsspiele einmal so gut, dass sie die Simulatoren irgendwann ablösen und Firmen Fachleute beauftragen, die vorhandenen Simulationsspiele einfach nur noch zu lizenzieren, da dies weniger Arbeit bedeutet als einen komplett neuen Simulator zu entwickeln. Der Endkundenmarkt ist gut finanziert und bietet ein großes Potential. Vielleicht kommen wir sogar irgendwann in den Genuss Lizenzgebühren für virtuelle Flugzeuge direkt an Flugzeughersteller zu zahlen.

Zudem ist das Feld der Virtual Reality, kurz VR, noch im kommen. Die Nachfrage ist bereits vorhanden und wird wahrscheinlich auch in Zukunft noch weiter wachsen, was sich wahrscheinlich auch auf den Bereich der Simulationsspiele auswirken wird. Vielleicht ist der Abstand von Simulationsspielen zu Simulatoren daher irgendwann überhaupt nicht mehr vorhanden, sondern das Ganze fließt vollständig zusammen und wird zu einem. Auch Industrielle Simulatoren könnten von VR profitieren oder damit Geld sparen.

### Statthaftigkeit

Ernsthaftere Simulationsspiele werden nicht aufhören zusammen mit industriellen Simulatoren sich der Grenze des Möglichen anzunähern. Ein Publikum, das sich nicht vom Aufwand der Bedienung abschrecken lässt, investiert schon jetzt viel Zeit und Aufwand in das Fliegen in selbstgebauten Flugzeugcockpits und Traktorkabinen. Dadurch dass Spiele öfter releasen, werden sie sich den industriellen Simulatoren immer wieder stark annähern, bevor Jahre später eine Generation aufwändiger Simulatoren auf den Markt kommt. Die Zeit wird zudem die meisten Begrenzungen durch Rechenkraft auch im Heim-Markt aufheben. Die Größe der Flugsimulator-Community macht in Onlinespielen die Interaktion zwischen Piloten sowie eine realistische Koordination mit dem Tower ohne Fluglehrer möglich. Darin sind Simulationsspiele bereits Simulatoren überlegen.

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] JuraForum.de-Redaktion, „> Statthaftigkeit: Definition, Begriff und Erklärung im JuraForum.de“, *JuraForum.de*. <https://www.juraforum.de/lexikon/statthaftigkeit> (zugegriffen 9. Februar 2023).
- [2] „FlightSimulation.pdf“. Zugegriffen: 9. Februar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://ohiostate.pressbooks.pub/app/uploads/sites/45/2017/03/FlightSimulation.pdf>
- [3] T. Team, „How Much Of Boeing’s Revenues Comes From The U.S. Government?“, *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2020/01/02/how-much-of-boeings-revenues-comes-from-the-us-government/> (zugegriffen 10. Februar 2023).
- [4] P. Zackariasson und M. Dymek, *Video Game Marketing: A student textbook*. London: Routledge, 2016. doi: 10.4324/9781315748900.
- [5] J. W. Cortada, *The Digital Hand: Volume II: How Computers Changed the Work of American Financial, Telecommunications, Media, and Entertainment Industries*. Oxford University Press, 2005.
- [6] M. Prensky, „“Simulations”: Are They Games“, 2001.
- [7] C. Coquidé, B. Georgeot, und O. Giraud, „Distinguishing humans from computers in the game of go: a complex network approach“, *EPL*, Bd. 119, Nr. 4, S. 48001, Aug. 2017, doi: 10.1209/0295-5075/119/48001.
- [8] A. Salomão, V. Nassar, und M. V. and B. S. Gonçalves, „CRITERIA FOR THE ANALYSIS OF SERIOUS GAMES INTERFACES IN VIRTUAL REALITY“, gehalten auf der IADIS International Conference e-Society 2022, 2022, S. 69–76. Zugegriffen: 29. Januar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iadisportal.org/digital-library/criteria-for-the-analysis-of-serious-games-interfaces-in-virtual-reality#>
- [9] *Entertainment Computing - ICEC 2005*. Zugegriffen: 8. Februar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/11558651>
- [10] A. Rollings und E. Adams, *Andrew Rollings and Ernest Adams on Game Design*. Indianapolis, Ind: New Riders Publishing, 2003.
- [11] V. A. M. Peters und G. A. N. Vissers, „A Simple Classification Model for Debriefing Simulation Games“, *Simulation & Gaming*, Bd. 35, Nr. 1, S. 70–84, März 2004, doi: 10.1177/1046878103253719.
- [12] M. W. Kapell und A. B. R. Elliott, *Playing with the Past: Digital Games and the Simulation of History*. Bloomsbury Publishing USA, 2013.
- [13] A. Bortkiewicz u. a., „Analysis of bus drivers reaction to simulated traffic collision situations – eye-tracking studies“, *Int J Occup Med Environ Health*, Bd. 32, Nr. 2, S. 161–174, Apr. 2019, doi: 10.13075/ijomeh.1896.01305.
- [14] E. Hellier, A. Naweed, G. Walker, P. Husband, und J. Edworthy, „The influence of auditory feedback on speed choice, violations and comfort in a driving simulation game“, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Bd. 14, Nr. 6, S. 591–599, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.trf.2011.07.004.

- [15] H. Yun und D. Park, „Virtualization of Self-Driving Algorithms by Interoperating Embedded Controllers on a Game Engine for a Digital Twinning Autonomous Vehicle“, *Electronics*, Bd. 10, Nr. 17, Art. Nr. 17, Jan. 2021, doi: 10.3390/electronics10172102.
- [16] H. J. E. Korteling, A. S. Helsdingen, und R. R. Sluimer, „An Empirical Evaluation of Transfer-of-Training of Two Flight Simulation Games“, *Simulation & Gaming*, Bd. 48, Nr. 1, S. 8–35, Feb. 2017, doi: 10.1177/1046878116671057.
- [17] „Über 2 Millionen Spieler: Der erfolgreichste Microsoft Flight Simulator aller Zeiten!“, *Xbox Wire DACH*, 18. Dezember 2020. <https://news.xbox.com/de-de/2020/12/18/microsoft-flight-sim-momentum/> (zugegriffen 10. Februar 2023).
- [18] „Flight Simulation | Aerospace engineering“, *Cambridge University Press*. <https://www.cambridge.org/de/academic/subjects/engineering/aerospace-engineering/flight-simulation>, <https://www.cambridge.org/de/academic/subjects/engineering/aerospace-engineering> (zugegriffen 9. Februar 2023).
- [19] „About VATSIM?“ <https://vatsim.net/docs/about/about-vatsim> (zugegriffen 9. Februar 2023).
- [20] „Flying fuel-efficient in FS2020 : flightsim“. [https://www.reddit.com/r/flightsim/comments/ify0h5/flying\\_fuefficient\\_in\\_fs2020/](https://www.reddit.com/r/flightsim/comments/ify0h5/flying_fuefficient_in_fs2020/) (zugegriffen 9. Februar 2023).
- [21] „Overhaul Instructions for Instrument Flying Trainer Type AN-2550-1 – 10 February 1945: Free Download, Borrow, and Streaming: Internet Archive“. [https://archive.org/details/AN\\_28-5A-2](https://archive.org/details/AN_28-5A-2) (zugegriffen 9. Februar 2023).
- [22] B. Cameron, H. Rajaei, B. Jung, und R. Langlois, „Development and Implementation of Cost-effective Flight Simulator Technologies“, gehalten auf der International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics, Mai 2016. doi: 10.11159/cdsr16.126.