

AUSWAHLVERFAHREN PROFESSIONELLER COMPUTERGESTÜTZTER WARGAMING-SOFTWARE ZUR ANWENDUNG IN WEHRTECHNISCHEN FORSCHUNGSVORHABEN

K. Söldner (ORCID-ID: 0009-0001-0072-9593; Kilian.Soeldner@dlr.de)

T. Bernsteiner (ORCID-ID: 0009-0001-2230-8474)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Flugsystemtechnik - Militärische Luftfahrzeuge, Manching, Deutschland

Kurzfassung

Im Rahmen des wehrtechnischen Vorhabens „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ forscht das DLR an der Cockpitgestaltung zukünftiger Kampfflugzeuge, welche vermehrt Aufgaben im Kontext komplexer vernetzter Missionen mit unterschiedlichen Partnern, inklusive Manned-Unmanned Teaming übernehmen werden. Das Vorhaben beinhaltet die Konzeptionierung und den Aufbau eines Kampfflugzeug-Simulators, welcher anwendungsnahe Tests von optimierten Layouts der Mensch-Maschine-Schnittstelle inklusive neuer Bedienkonzepte und Helmdisplays ermöglichen soll. Darüber hinaus wird ein Vergleich von ein- und zweiseitigen Cockpits für den Einsatz in zukünftigen militärischen Missionen durchgeführt. Piloten und Waffensystemoffiziere der Bundeswehr werden zur Identifikation von Anforderungen und zur Validierung von Konzepten in Simulator Tests im Rahmen der Kooperation des DLR mit dem Kommando Luftwaffe eingebunden.

Für die Simulation militärischer Missionen eignet sich professionelle Software für computergestütztes Wargaming. Speziell ausbildungsorientiertes Wargaming bietet sich hier an, da zum einen der Operateur in die Missionsumgebung eines militärischen Szenarios zur Missionsteilnahme und -leitung versetzt wird; zum anderen dient sie der Vor- und Nachbereitung der exerzierten Szenarien. Generell bietet computergestütztes Wargaming die Möglichkeit Missionen schnell und mit beliebigem Detailgrad zu erstellen, zu modifizieren und zu analysieren. Dedizierte Softwareprodukte sind dabei von einer Vielzahl kommerzieller Anbieter erhältlich.

Die objektive Auswahl einer geeigneten Wargaming Software für den jeweiligen Anwendungsfall ist mit hohem Arbeitsaufwand und Zeiteinsatz verbunden. Deshalb wurde im Zuge des Auswahlverfahrens für das Forschungsvorhaben „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ ein systematisches Vorgehen entwickelt, das eine objektive und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage bietet. Das Vorgehen beinhaltet eine vorangestellte Marktanalyse zu verfügbaren Softwareprodukten, eine erste Eingrenzung des Portfolios mittels Schlüsselmerkmalen und zuletzt eine Detailanalyse anhand eines standardisierten Testkatalogs. Die im Katalog festgelegten Testpunkte sollen einen Einblick in das Nutzungs- und Anwendungsspektrum liefern. Hierfür wird für jede Software ein Protokoll angelegt, um eine detaillierte Nachweisführung aller Testpunkte zu garantieren. Diese ermöglichen – auch über einen zeitlichen Versatz der Testzeiträume hinweg – die geordnete Sammlung zahlreicher unterschiedlicher Informationen und erleichtern den abschließenden objektiven Softwarevergleich. Im Vergleich wird auf Basis der Anforderungen der Zielanwendung eine Gewichtung der Testpunkte vorgenommen, um die für den vorliegenden Anwendungsfall geeignete Software zu ermitteln. Durch das anforderungsorientierte Gewichten der Testpunkte am Ende des Auswahlprozesses kann gewährleistet werden, dass jede Software neutral analysiert wird und somit eine höchstmögliche Objektivität gewährleistet werden kann.

Diese Veröffentlichung gibt eine Einordnung des Begriffs „professionelles computergestütztes Wargaming“ sowie eine Übersicht über das wissenschaftliche Nutzungspotential zugehöriger Softwareprodukte. Zudem wird die Methode aufgezeigt, die den Auswahlprozess professioneller computergestützter Wargaming Software objektiv und auf den jeweiligen Anwendungsfall bezogen ermöglicht. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Methode für das wehrtechnische Forschungsvorhaben „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ dargestellt.

Schlagworte

Softwarevergleich, Analytisches Wargaming, Ausbildungsorientiertes Wargaming, professionelles computergestütztes Wargaming, MAK One, VBS4, MACE EW

1. EINFÜHRUNG IN COMPUTERGESTÜTZTES WARGAMING

Wargames sind ein zentrales Instrument zur Analyse militärischer Operationen. Sie ermöglichen die Simulation verschiedener Aspekte der Kriegsführung und werden sowohl für Ausbildungszwecke als auch für strategische Analysen eingesetzt.

„Wargames are analytic games that simulate aspects of warfare at the tactical, operational, or strategic level. They are used to examine warfighting concepts, train and educate commanders and analysts, explore scenarios, and assess how force planning and posture choices affect campaign outcomes. (...)“ [1, Abs. 1]

1.1. Ursprung und Hintergrund

Wargaming, ein strategisches Instrument zur Simulation von Konflikten und Entscheidungsprozessen, hat seinen Ursprung in analogen Formen, die bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen [2]. Mit dem Aufkommen digitaler Technologien in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts vollzog sich ein bedeutender Wandel in der Natur des Wargaming. Computergestützte Wargames bieten eine tiefere Analysefähigkeit sowie eine größere Flexibilität bei der Anpassung von Szenarien gegenüber ihren analogen Vorgängern. Der Beginn des computergestützten Wargaming lässt sich auf die 1960er Jahre datieren, als erste militärische Organisationen den Einsatz von Computern zur Simulation von Konfliktszenarien untersuchten [3], [4].

Die Entwicklung des digitalen Wargaming wurde maßgeblich durch Institutionen wie die US-amerikanische RAND Corporation vorangetrieben [5], [6]. Durch die Fortschritte in der Rechenleistung und der Verfügbarkeit spezialisierter Software konnte computergestütztes Wargaming die Realität immer detaillierter abbilden und somit zu einem vielfältigen Werkzeug werden. Außerdem leisten kommerzielle Flugsimulatoren (z. B. X-Plane [7]), Game-Engines (Unity [8], Unreal Engine [9]) sowie Computerspiele (z. B. DCS, ArmA [10]) einen unterstützenden Beitrag bei der Entwicklung von professionellen computergestützten militärischen Wargaming, indem sie modular anpassbare und kostengünstige Simulationsplattformen zur Integration oder Erweiterung dienen.

So gibt es heute eine Vielzahl an Softwareprodukten, welche sich grundsätzlich in die Kategorien ausbildungsorientiert und analytisch unterteilen lassen, wobei diese wiederum in strategisches, operationelles und taktisches Wargaming unterschieden werden können [2], [11], [12]. Nicht zuletzt die Menge an Ausprägungen im Bereich Wargaming machen die Definition des Begriffs 'Wargaming' komplex, so gibt es bis heute keine einheitliche Definition hierfür [13]. Statistiken prognostizieren für die Branche virtuelles Training und Simulation ein jährliches Wachstum von etwas mehr als 13% [14]. Allein der Sektor militärischer Simulation prognostiziert ein Wachstum von 4,5-5,2% [15], [16]. Aufgrund dessen bieten immer mehr Unternehmen spezialisierte Softwarepakete in dieser Branche an, um die unterschiedlichen Bedürfnisse, zu denen auch die verschiedenen Bereiche des professionellen computergestützten Wargaming zählen, zu decken. Aufgrund der Fülle an Softwareprodukten ist es für interessierte Unternehmen/Einrichtungen aufwendig die für ihren Anwendungsfall passende Software objektiv herauszufiltern. Auch gibt es bisher keine Vorgehensweise zur objektiven Bewertung und Auswahl von professioneller computergestützter Wargaming Software in Bezug auf den jeweiligen Anwendungsfall. Dieses Paper soll diese Lücke schließen, weshalb ein Verfahren aufgezeigt wird, dass als Hilfestellung für die objektive Bewertung und Auswahl von professioneller computergestützter Wargaming Software dient.

1.2. Generelle Anwendung von professionellem Wargaming

Professionelles Wargaming hat sein Hauptanwendungsgebiet nach wie vor im Bereich der militärischen Planung, Analyse und Ausbildung, doch rückt es nach und nach auch in den Bereichen Katastrophenschutz, Cybersicherheit [12], Unternehmensstrategie [17] und Politik [18] immer weiter in den Fokus. Hierbei ist zu erwähnen, dass aufgrund der nicht einheitlichen Definition von Wargaming die Bereiche außerhalb militärischer Anwendung auch unter den

Begriff Simulationsspiel eingeordnet werden [2]. Als Beispiel für Wargaming außerhalb des militärischen Umfeldes ist ein Bericht des U.S. Department of Defense zu erwähnen. Dort wird der Klimawandel als kritisches nationales Sicherheitsrisiko angesehen, weshalb eine Arbeitsgruppe aufgestellt wurde, die mittels Wargaming analysiert, wie sich die Welt aufgrund des Klimawandels ändern könnte [19]. All diese Nutzungsbereiche vereinen dabei das Ziel, komplexe Szenarien analysieren, strategische/operationelle/taktische Entscheidungen testen und schwer vorhersehbare Ereignisse vorbereiten zu können. Professionelles computergestütztes Wargaming bietet dafür einen Raum und eröffnet die Möglichkeit, in einem risikofreien und kostengünstigen Umfeld Ergebnisse und Handlungsoptionen erkunden zu können [2].

1.3. Einordnung von professionell computergestütztem Wargaming

1.3.1. Definition

Da sich dieses Paper auf professionelles computergestütztes Wargaming im Kontext der wehrtechnischen Forschung fokussiert, wird in diesem Absatz dieser Begriff zunächst erläutert. Der Begriff setzt sich aus drei Einzelwörtern zusammen, deren Bedeutung nachfolgend beschrieben wird. Dabei ist zu beachten, dass die hier vorgestellte Definition von Wargaming keine allgemeine Gültigkeit hat, sondern lediglich im Kontext dieses Papers verwendet wird.

Professionelles

Auf fachlicher Expertise basierend, methodisch fundiert und mit einem hohen Anspruch an Qualität ausgeführt.

Computergestütztes

Durch den Einsatz von Computern ermöglicht und mittels virtueller Elemente erweitert.

Wargaming

Systematische realitätsnahe Modellierung von Konfliktsituationen, um (militärische) Strategien/Taktiken zu testen, Risiken zu erkennen und zu bewerten, sowie Handlungsoptionen zu entwickeln.

Professionelles Computergestütztes Wargaming (PCW) definiert sich daraus wie folgt:

Professionelles computergestütztes Wargaming bezeichnet die methodisch fundierte und fachlich anspruchsvolle Simulation militärischer Konflikte unter Einsatz von Computern und virtuellen Elementen. Es dient der Analyse, Ausbildung und Planung auf strategischer, operationeller und taktischer Ebene, indem es realistische Szenarien modelliert, komplexe Verhaltensmuster simuliert und Ergebnisse prognostiziert.

1.3.2 Aufbau von PCW-Software

Grundsätzlich gibt es Unterschiede bei den auf dem Markt erhältlichen PCW-Software (PCWS), meist in ihrer Spezialisierung hinsichtlich Dimension (v. a. Land, Luft und See). Trotz dieser Fokussierung verbleiben diese Softwareprodukte im Genre des PCW, weil fundamental Überschneidungen und Gemeinsamkeiten vorhanden sind. Schlüsselwörter, die eine PCWS allgemein beschreiben, sind unter anderem:

- Simulation
- Geographisches Modell und Image Generator
- Entitäten-Datenbanken und Editoren
- Computergesteuerte Entitäten
- Auslöser, Bedingungen und Aktionen

Um einen Überblick über den Aufbau von PCWS zu erhalten, sind in *Abbildung 1* wichtige Inhalte und Schnittstellen aufgelistet. Zudem werden die Schlüsselbegriffe nachfolgend genauer beleuchtet.

Simulation

Kern einer PCWS ist die modulare Softwarearchitektur, die verschiedene Teilsimulationen integriert, koordiniert und in einer gesamtheitlichen Simulation abbildet. Das Zusammenspiel und wechselseitige Wirken einzelner Teilnehmer, Einheiten und Elementen aufeinander wird generiert. Modellerte physikalische Domänen können entweder system-spezifische Eigenschaften determinieren – etwa die

Aerodynamik, die die Fluglage eines Luftfahrzeugs beeinflusst – oder sie können Interaktionen zwischen Emittenten und Sensoren abbilden, wie beispielsweise die Infrarotsignatur eines Triebwerks und deren Erfassung durch den Infrarotsuchkopf eines Lenkflugkörpers. Weiter lassen sich Bewegungssimulationen, das Verhalten von computergesteuerten Einheiten, die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen eines Radars/Störsenders oder ändernde Umweltbedingungen als Teilsimulationen aufzählen. Ein gewisses Maß an Realitätsnähe ist erforderlich, um Missionen zweckmäßig abbilden zu können. Diese Güte spiegelt sich in der Detaillierung der Modelle und Simulationen wider.

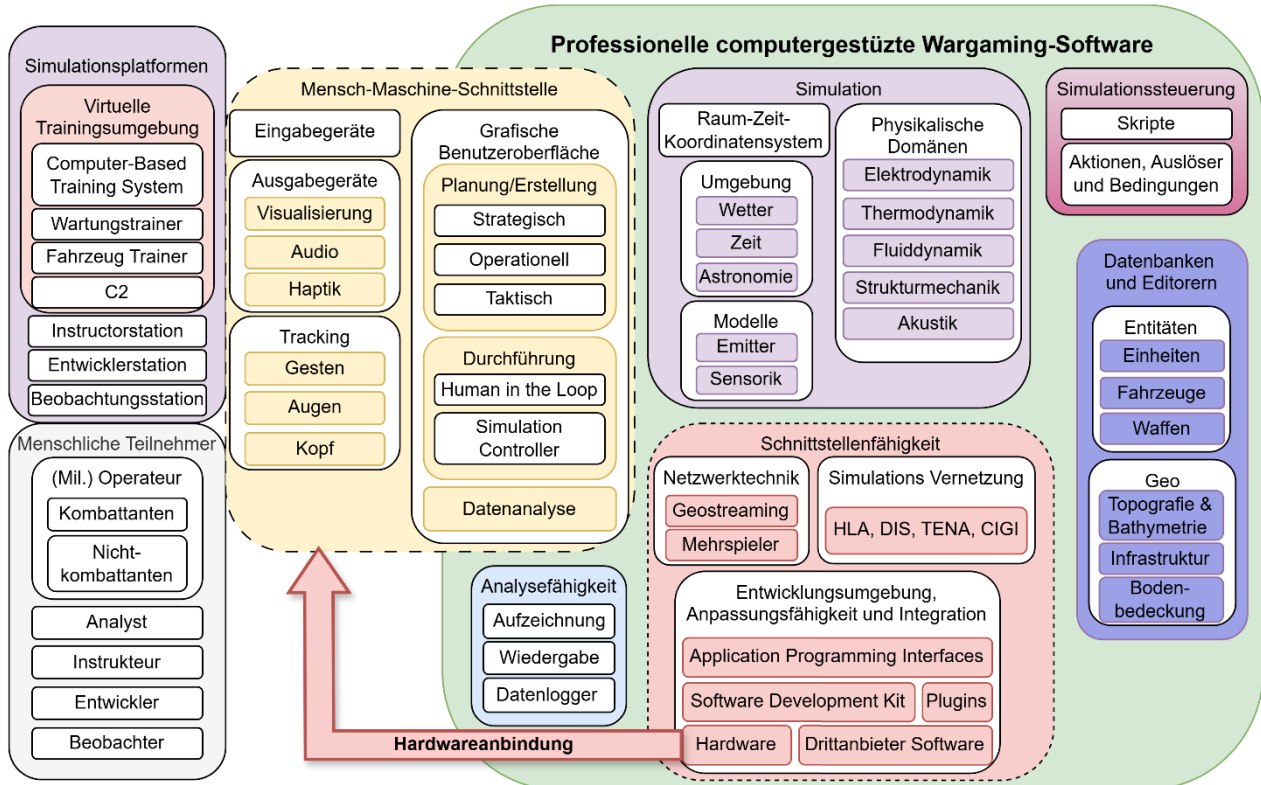


Abbildung 1: Übersicht über Inhalte, Softwarepakete und Schnittstellen die PCW bietet

Geografisches Modell und Image Generator

Neben dem Simulationsmodell ist die topographische Oberfläche mit ihren geographischen Merkmalen ein wichtiger Bestandteil von PCW, da auf dieser das Konfliktszenario stattfindet. Damit PCW auch auf operationeller und taktischer Ebene potenziell realistische Szenarien, ähnlich wie in einem Open-World-Spiel¹, wiedergeben kann, ist es wichtig, dass über Image Generatoren (IG) die 3-dimensional erzeugte Umgebung inklusive topografischem Modell einem digitalen Zwilling unserer Erde nahekommt. Image Generatoren werden verwendet, um das Szenario 3-dimensional zu verbildlichen, um ein höchstmögliches Maß an Immersion für den Nutzer zu schaffen. Dabei werden neben der Darstellung auf Displays auch XR-Headsets und Dome-Projektionen unterstützt [20]. Der grundlegende Aufbau des geographischen Systems basiert auf hochauflösenden 2D Karten- und 3D-Topografiedaten, welche mit Infrastruktur- und Bodenbedeckungsdaten wie beispielsweise Straßen-, Häuser-, Vegetations- und Gewässerdaten überlagert werden. Da die Detaillierung eine sehr hohe Datendichte mit sich bringt, wird die höchste Detaillierung meist auf einen

für das Szenario notwendigen Kartenbereich beschränkt. PCW bietet neben den internen Kartendaten die Möglichkeit über standardisierte Industrie- Raster- und Vektordatenformate oder Zusatzsoftware eigene Kartendaten zu laden oder sogar mit hohem Detailgrad zu erstellen (z.B. Bing Maps oder OpenStreetMap).

Entitäten-Datenbanken und Editoren

Entitäten sind diejenigen Objekte, welche sich auf der simulierten Welt befinden und mit anderen Entitäten interagieren. Entitäten-Datenbanken enthalten detaillierte Informationen über alle simulierten Einheiten (Entitäten), welche für ein Szenario zur Verfügung stehen. Dazu zählen stationäre Objekte (wie Gebäude und Infrastruktur), Fahrzeuge (Land, See, Luft und Weltraum), Waffen, Menschen und Tiere. Entitäten werden darüber hinaus in Fraktionen (militärisch, zivil), sowie in Objekte unterteilt und in Gruppen zusammengefasst. Neben physischen Eigenschaften wie Größe, Masse und Verwundbarkeit sowie dynamischen Parametern wie Geschwindigkeit, Ausdauer, Treibstoffverbrauch und Emissionen beinhalten die Datenbanken außerdem 3D-Modelle der Einheiten sowie Bewegungsdaten

¹ Computerspiel mit frei erkundbarer, nicht-linearer Spielwelt.

für die Darstellung in der 3D-Umgebung. Um eine realistische Abbildung der Entitäten und deren Interaktionsmöglichkeiten zu erhalten, ist eine präzise Modellierung dieser Daten entscheidend. Die Datengüte der Entitäten hat neben dem Simulations- und geographischen Modell einen direkten Einfluss auf die Güte von Gefechtsdynamiken und Entscheidungsprozessen. Moderne Entitäten-Datenbanken ermöglichen die Anpassung und Erweiterung von Einheiten. Mittels bereitgestellter Editoren lassen sich die Modelle aus den Bibliotheken anpassen, oder auch neue erstellen [21]. Die Tiefe der Bearbeitungsmöglichkeit reicht z.B. bei menschlichen Modellen von Darstellung (Aussehen, Stimme, Bekleidung, ...) bis hin zur Anpassung des Verhaltens an eine Doktrin, oder Notfallverhalten [22], [23]. Bei Fahrzeugen können u.a. Leistungsdaten, 3D-Modelle, Anbauten und Bewegungssimulationen, für Waffen ballistische Modelle und für Flugzeuge das flugmechanische- und dynamische Verhalten verändert werden. [18], [24], [25]

Computergesteuerte Einheiten

„Computer Generated Forces“ (CGF) wie sie in PCWS genannt werden, spielen eine wichtige Rolle, da hierüber Verhaltensweisen von militärischen oder zivilen Kräften ohne menschlichen Operateur in ein Szenario eingebracht werden. Damit lassen sich realitätsnahe Trainings- und Analyseumgebungen schaffen und individuell anpassen. Die zugrunde liegenden Algorithmen erlauben Einheiten begrenzt eigenständige Entscheidungen in einem dynamischen Simulationsumfeld zu treffen und dadurch menschliches Verhalten zu simulieren.

Auslöser, Bedingungen und Aktionen

Diverse PCWS bieten Nutzern durch eine programmierfreie Skriptschnittstelle automatisierte und halbautomatisierte Funktionen sowie Verhaltensweisen für Plattformen, einfach zu erstellen und anzupassen. Diese nennen sich Auslöser und Aktionen (engl. Trigger und Actions). Auslöser sind initiierte Ereignisse oder erfüllte Bedingungen, welche zum Ausführen einer oder mehrerer hinterlegter Aktionen führen. Ein Auslöser kann beispielsweise das Erreichen eines bestimmten Bereichs auf der Karte, eines Zeitpunkts oder die Aufrückführung einer feindlichen Entität sein. Aktionen enthalten konkrete Informationen, die nach der Erfüllung von Auslösern umgesetzt werden. Diese können beispielsweise eine Bewegung, ein Angriff oder eine taktische Anpassung einer Entität sein, aber auch komplexere Aktionsfolgen sind möglich.

Der Umfang der eingesetzten Elemente sowie deren Detailierung ist dem Ersteller des Szenarios überlassen. Dadurch lässt sich neben den vordefinierten Verhaltensmustern ein höherer Grad an Dynamik in ein Szenario bringen, was die Realitätsnähe verbessert. [26]

1.4. Abgrenzung zu Gaming-Software

Die Abgrenzung von PCWS gegenüber kommerzieller Gaming-Software lässt sich anhand mehrerer Kriterien verdeutlichen.

Kommerzielle Computerspiele des Genres Wargaming, worunter sich taktische Shooter (*Arma*, *Squad*) und militärische Operationssimulation (*Command: Modern Operations* in der nicht-professionellen Version) einordnen lassen, fokussieren sich primär auf den Aspekt der Unterhaltung. Ebenso verfolgen Simulationsspiele wie in etwa Flug- und Fahrzeug-simulatoren (*MSFS*, *Xplane*, *DCS*) dieses Ziel. Diese Spiele bieten meist nur vereinfachte Modelle und Mechaniken (Gameplay-Optimierungen), um ein besseres Spielerlebnis zu erzielen, wodurch ein breites Publikum angesprochen wird. Die Zielgruppe ist die breite Öffentlichkeit,

es gibt keine besonderen Zugangsbeschränkungen und die Anschaffungskosten befinden sich im zwei- bis niedrigen dreistelligen €-Bereich [27], [28], [29].

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal betrifft den Umfang und die Modularität. Kommerzielle Spiele werden in der Regel in einem weitgehend „fertigen“ Zustand veröffentlicht – Ausnahmen bilden Formate wie „Early Access“ oder „Beta-Versionen“. Erweiterungen dienen hier primär der inhaltlichen Erweiterung oder der Verlängerung der Spielmotivation. Zusätzlich können Spiele von community-generierten Modifikationen profitieren, die den Funktionsumfang erweitern. PCWS bieten hingegen von vornherein vorgesehenen Schnittstellen an, um den Umfang mittels weiterer Module und Plugins – auch vom Anwender programmiert – zu ergänzen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass eine PCWS professionellen Anforderungen gerecht werden muss. Deshalb durch spezialisierte Erweiterungen ergänzt werden muss, die spezifische Fachkenntnisse erfordern. Die Datenintegrität spielt für PCW eine entscheidende Rolle. Während kommerzielle Spiele häufig auf öffentlich zugängliche Informationen zurückgreifen, bietet PCW die Integration aus eingestuft oder spezialisierten Datenquellen, durch schon bereitgestellte Tools wie z.B. Datenbank Editoren. [21]

Computerspiele basieren meist auf Punktesystemen, Missionserfolgen oder persönlichen Spielerfolgen, ohne eine strategische oder taktische Auswertung vorzunehmen und Ergebnisse in die Realität zu transferieren, oder als Trainingseinheit zu nutzen.

1.5. Abgrenzung zu „MilSim“

MilSim (Military Simulation) bezeichnet live-gespielte Konfliktszenarien, die von Zivilpersonen meist zu Unterhaltungs-, Sport- oder historischen Zwecken durchgeführt werden [30]. Dies findet beispielsweise auf präparierten Grundstücken oder im Wald statt und nicht in einer virtuellen Umgebung.

2. WISSENSCHAFTLICHES NUTZUNGSPOTENZIAL VON PCWS

PCWS bieten aufgrund ihres Aufbaus – Hohe Modularität, Genauigkeit und Anpassbarkeit – nicht nur Sicherheits- und Verteidigungsorganisationen eine mächtige Analyse- und Trainingsplattform. Für Forschungseinrichtungen bietet diese Art von Software ein leistungsstarkes Werkzeug, mit dem komplexe Sachverhalte erforscht, Entwicklung optimiert und neue Forschungsgebiete erschlossen werden können. Dabei können je nach Genauigkeitsgrad nicht nur qualitative sondern auch quantitative Ergebnisse in diversen Bereichen der wehrtechnischen und zivilen Forschung generiert werden. Nachfolgend wird ein Überblick über das Einsatzpotenzial von PCW in der zivilen und wehrtechnischen Forschung gegeben.

2.1. Potenziale in der zivilen Forschung

Wie im ersten Kapitel bereits erläutert, ist Wargaming auch in der zivilen Welt vertreten und gewinnt immer mehr an Bedeutung. Bei PCWS hingegen liegt das Hauptaugenmerk nach wie vor auf der wehrtechnischen Nutzung. Dennoch lassen sich zivile Anwendungs- und Forschungsfelder finden, die von PCW profitieren können. Nachfolgend werden zwei Forschungsfelder und das Potenzial, welches PCW bietet, kurz erläutert.

PCW bietet für den Katastrophenschutz und das Krisenmanagement das Potenzial zur Erforschung und Optimierung von Verhaltensweisen sowie Notfall- und Evakuierungs-

plänen in einer Live- oder Optimierungssimulation im Zeitraster. So kann unter anderem das Verhalten von Menschenmassen bei Großveranstaltungen und Demonstrationen erforscht werden. Auch lassen sich Schutzkonzepte vor Terrorangriffen und Katastrophen analysieren und verbessern. PCWS ermöglichen dabei die Simulation von großen Menschenansammlungen mit und ohne Realteilnehmern sowie die Integration der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten, wenn man beispielsweise an den Terrorschutz von Weihnachtsmärkten, Volksfesten und Konzerten denkt. Im Bereich Katastrophenschutz und humanitärer Hilfe lassen sich Alarmierungsketten, Einsatzkontingente und die Kommunikation der Krisenstäbe untersuchen. Der Vorteil von PCWS ist hierbei, dass Großschadenslagen mit Realteilnehmern in einer virtuellen Welt kostengünstig untersucht und optimierte Notfallpläne erarbeitet werden können. [2], [31], [32]

Einen weiteren Anwendungsbereich stellen die Entscheidungspsychologie und Kognitionsforschung dar. Während physiologische Parameter vergleichsweise eindeutig messbar sind, lässt sich menschliches Verhalten nur schwer parametrisieren. Besonders unter Stress, Zeitdruck und unvollständiger Informationslage sind Entscheidungsprozesse kaum vorhersehbar, was in der Forschung vielfach beschrieben wird [33], [34]. Entscheidungspsychologie und Kognitionsforschung versuchen diese Prozesse mess- und modellierbar zu machen. Dabei werden unter anderem Entscheidungsstrategien analysiert, kognitive Verzerrung erforscht und der Einfluss von physiologischer Belastung und psychologischem Stress auf die Informationserfassung, Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung untersucht. Ergebnisse dieser Forschung sind unterstützende Entscheidungsprozesse zur Verbesserung der menschlichen Fehlerresilienz und Fehlervermeidung sowie neue oder verbesserte Mensch-Maschine-Interaktionen, wie Entscheidungshilfe- und Assistenzsysteme. PCW hat das Potenzial, in vielen Bereichen der Entscheidungspsychologie und Kognitionsforschung einen Mehrwert zu generieren. Die Software bietet eine kontrollierbare und realitätsnahe Umgebung, welche für Einzel- oder Gruppenuntersuchungen eine Basis darstellt. So können Szenarien erstellt werden, welche mittels sich dynamisch verändernder Bedingungen Stress erzeugen, wodurch komplexe Entscheidungsprozesse analysiert werden können. Zudem lassen sich Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) durch immersive 3D-Szenarien erforschen und neue Assistenzsysteme entwickeln. Mittels Simulationsaufzeichnung lassen sich das Situationsbewusstsein, kognitive Belastung und Verzerrung sowie Teamdynamiken einzelnen Sequenzen im Szenario zuordnen, wodurch valide Ergebnisse erzeugt werden können.

2.2. Potenzial: Wehrtechnische Forschung

Aus Kapitel 1 ist bekannt, dass PCW der militärischen Planung, Forschung und Entwicklung entspringt. Dieses hat sich in den letzten Jahren zunehmend als methodisches Instrument in der Wehrtechnik etabliert. Insbesondere in der wehrtechnischen Forschung ermöglicht es eine systematische Auseinandersetzung mit komplexen Fragestellungen an der Schnittstelle zwischen Technologie, Taktik und Entscheidungsfindung. [35]

PCW kann als Evaluierungs- und Analysetool in der Entwicklung neuer oder zur Verbesserung bestehender Waffensysteme eingesetzt werden, da zum einen frühe Prototypen und Einsatzkonzepte simulativ getestet (Konzept Evaluierung) und zum anderen Gefechtswertanalysen virtuell durchgeführt werden können (Virtual Proving Ground)

[36]. Zudem ist nicht nur die Analyse von Einzelsystemen möglich, sondern auch die Betrachtung im Verbund. So können frühzeitig Interoperabilität und die Integration neuer Systeme in die bestehende Struktur analysiert werden (System-of-Systems analysis). PCW bietet außerdem einen Rahmen, um die Komponente Mensch im Systemdesign bereits in frühen Phasen zu berücksichtigen. Durch Erprobung vorläufiger Prototypen mittels virtueller Missionen des Einsatzspektrums kann das Design der MMS zeitnah verifiziert und verbessert werden. Auch Konzepte technisch bislang nicht realisierbarer Systeme können mittels PCWS explorativ simuliert werden, um potenzielle technologische Entwicklungslinien und Forschungsbedarfe rechtzeitig zu identifizieren.

PCW stellt, im Sinne seines ursprünglichen Gedankens, eine leistungsfähige methodische Basis für die Analyse und Weiterentwicklung militärischer Einsatzdoktrinen und Taktiken dar [37]. Durch die simulationsgestützte Untersuchung realitätsnaher Szenarien lassen sich bestehende Taktiken systematisch evaluieren und neue Handlungsmuster erproben. Strategische, operative und taktische Entscheidungen können unter kontrollierten Bedingungen erprobt und hinsichtlich ihrer Wirkung, Robustheit und Interoperabilität untersucht werden. Darüber hinaus erlaubt PCW die Analyse komplexer logistischer Abhängigkeiten, wie etwa im Bereich Nachschub, Mobilität oder Verwundbarkeit von Versorgungslinien und ermöglicht die Betrachtung logistischer Prozesse in verschiedenen Einsatzkontexten. Zuletzt ist zu erwähnen, dass KI in Verbindung mit PCW neue Türen eröffnet, sei es für das Training von autonomen Waffensystemen in der virtuellen Umgebung oder die Verbesserung der Realitätsgüte von Missionen durch einbringen von annähernd menschlichen Verhaltensweisen in computergesteuerte Einheiten.

2.3. Grenzen und Herausforderungen

Neben dem aufgeführten Potenzial von PCW stößt der Einsatz auch auf Grenzen und Herausforderungen. Allen voran steht die Realitätsnähe, die sich aufgrund von Infrastruktur- und Rechenleistungsgrenzen, fehlender Datenverfügbarkeit, dem Einsatz vereinfachter Algorithmen und dem Treffen von Annahmen reduziert, je nachdem wie groß der eingebrachte Fehler ist. Durch diese Punkte können systematische Fehler entstehen, wodurch Resultate hinterfragt werden müssen. Weiter besteht neben einer Fehlinterpretation der Ergebnisse, aufgrund geringer Realitätsnähe oder unvollständiger oder veralteter Daten, zusätzlich die Gefahr der Überbewertung von Simulationsergebnissen, wenn eine Validierung durch reale Tests nicht möglich ist. Ein großes Risiko für die Forschung besteht zudem in der Klassifizierung von Daten im wehrtechnischen Bereich. Eine nahezu unvermeidbare Nutzung dieser Daten schränkt den Zugang und die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen durch andere Forschungseinrichtungen ein. Auch sind die einhergehenden finanziellen und technischen Hürden für Beschaffung, Entwicklung, Wartung und Erweiterung von PCWS nicht zu unterschätzen und müssen je nach Anwendungsgebiet kritisch hinterfragt werden.

2.4. PCW als Verifizierungstool für die MMS in einem militärischen Flugsimulator

Im Rahmen des Vorhabens „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“, wie der Arbeitsplatz eines Waffensystemoffiziers in einem zukünftigen ein- oder zweisitzigen Kampfflugzeug gestaltet werden muss, um den Anforderungen moderner Kampfszenarien gerecht zu werden. Die Überprüfung, Anpassung und Erweiterung des MMS-Designs

wird mittels missionsbasierter Verifikation durchgeführt. Dieser Ansatz wird im Nachfolgenden erläutert. Der Ansatz der missionsbasierten Verifikation basiert auf mindestens einer oder mehreren ausgewählten Missionen, für die das Produkt im realen Einsatz vorgesehen ist. Die sorgfältige Planung der Missionen stellt dabei einen zentralen Bestandteil des Prozesses dar, da sich je nach Entwicklungsstatus und Sub- oder Gesamtsystembetrachtung die Anforderungen an die Missionen unterscheiden. Im Kontext des vorliegenden Vorhabens liegt der Fokus insbesondere auf der Auslegung des zukünftigen Arbeitsplatzes eines Waffensystemoffiziers mittels moderner Technologien und Assistenzsysteme. Dabei sind unter anderem Missionsmanagement, Waffeneinsatz und Manned-Unmanned-Teaming zentrale Punkte für die Auslegung. Aspekte mit geringerer Bedeutung für das Design des Arbeitsplatzes (wie hochgenaue physikalische Flug- oder Verhaltensmodelle) müssen in der Mission dagegen weniger detailliert dargestellt werden. Um die Planung, Durchführung und Analyse der Missionen zu unterstützen, bietet sich PCWS an. Diese ermöglicht es, verschiedene Missionen zu simulieren, potenzielle Schwachstellen im Design zu identifizieren und gleichzeitig den gesamten Missionsverlauf mit Blick auf das MMS-Design zu analysieren. Für den Ansatz der missionsbasierten Verifikation ist es von Vorteil, wenn die Missionen bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess zur Verfügung stehen. Damit lassen sich Designfehler einfacher vermeiden und früh Optimierungen vornehmen.

3. PCW – KATEGORISIERUNG UND AUSWAHL

3.1. Kategorisierung

Grundlegend findet sich die Begrifflichkeit „Wargaming“ in zivilen und militärischen Anwendungen (vgl. Kapitel 1.2) wieder. PCW bedient hierbei in erster Linie den militärischen Sektor. Hierbei werden taktische, operationelle, strategische und politisch-strategische Aspekte betrachtet (vgl. Kapitel 3.1.3). Teilweise versuchen PCWS, das gesamte Spektrum abzudecken „one software tool to rule them all“ [38], wobei ein derartiger Umfang eine enorme Herausforderung darstellt. Es lässt sich beobachten, dass Entwickler ihren Fokus auf militärische Dimensionen (z.B. Land, See, Luft) legen, um sich in einer Sparte zu etablieren. Nachfolgende Abbildung 2 versucht das allgemeine Einsatzspektrum von Wargaming aufzuzeigen.



Abbildung 2: Allgemeiner Einsatz von Wargaming

Neben der Zuordnung in Haupteinsatzgebiete wird militärisches Wargaming weiter unterteilt und kategorisiert. Zum einen wie in Abbildung 2 bereits dargestellt in verschiedene Führungsebenen (vgl. Kapitel 3.1.3), zum anderen in analoges und computergestütztes Wargaming (vgl. Kapitel 3.1.1). Außerdem existiert die Unterscheidung zwischen analytisch und ausbildungsorientiert (vgl. Kapitel 3.1.2).

3.1.1. Analog und Computergestützt

Computergestütztes Wargaming wird auch als „Simulation supported“ Wargaming bezeichnet [39]. Ebenfalls wird im englischen die Terminologie „Computer Assisted Wargaming“ verwendet. Teilweise wird auch darauf verwiesen, gänzlich die Begrifflichkeit „Wargaming“ davon abzutrennen und nur von „computergestützter Simulation“ zu sprechen [2]. Allerdings kann sich der Wortbestandteil „Gaming“ zum einen aufgrund der historischen Herkunft halten, zum anderen trifft das Merkmal des Spielens v. a. durch den menschlichen Entscheidungsprozess zu, wodurch man eine klare Grenze zu klassischen Simulationen wie z.B. CFD oder Aeroelastik schafft.

Der Hauptunterschied zwischen analogem und computergestütztem militärischem Wargaming liegt in der Art und Weise, wie Szenarien simuliert und analysiert werden. Analoges Wargaming basiert auf physischen Mitteln wie Karten, Spielbrettern, Modellen und schriftlichen Befehlen und wird meist manuell durch Schiedsrichter moderiert, was Flexibilität und kreatives Denken fördert, aber personell zeit- und ressourcenintensiv sein kann. PCW hingegen nutzt digitale Simulationen, die komplexe Datenverarbeitung ermöglichen und eine hohe Präzision sowie Reproduzierbarkeit bieten. Es erlaubt die Darstellung dynamischer Prozesse in Echtzeit und auch schneller „faster than real-time“. Durch eine hohe Simulationsgeschwindigkeit lassen sich Wiederholungen der Simulation durchführen, wodurch im selben Szenario mehrere Handlungsoptionen offengelegt werden können oder eine Lösungsoption statistisch validiert werden kann. PCW erfordert technisches Fachwissen zur Bedienung und Interpretation der Ergebnisse. Außerdem werden Hardware wie Computer und zugehörige IT-Infrastruktur benötigt.

3.1.2. Analytisch und Ausbildungsorientiert

Während beim analytischen Wargaming primär die Analyse der getroffenen Entscheidungen im Vordergrund steht, richtet ausbildungsorientiertes Wargaming den Fokus auf die handelnden Personen selbst. Im Zentrum stehen dabei die Spielenden als Entscheidungsträger, deren Erfahrungen, Lernprozesse und Kompetenzen gezielt gefördert werden [2]. Ausbildungsorientiertes Wargaming dient der Offiziersausbildung, analytisches Wargaming zielt auf Datengewinnung, Findung von Entscheidungsoptionen, Konzeptentwicklung und Analyse von Fähigkeitslücken ab.

Als Teil des militärischen Entscheidungsfindungsprozesses wird analytisches Wargaming verwendet, um einen vorab definierten Plan oder eine Vorgehensweise zu analysieren und Schwächen sowie Möglichkeiten zu identifizieren. Weitere Fragestellungen können Konzepte, Strategien und Handlungsmöglichkeiten umfassen [2]. Analytisches Wargaming wird als Tool von einem Bewerter verwendet [39]. Der Analyst kann Änderungen am Szenario vornehmen, um den Ausgang zu beeinflussen, indem z.B. das taktische Vorgehen abgewandelt wird, oder andere Bedingungen im Szenario vorherrschen (vgl. Abbildung 3). Durch Wiederholung von Szenarien in einem Monte-Carlo Verfahren können zudem statistische Auswertungsmethoden herangezogen werden.

Ausbildungsorientierte Wargames stellen ein wirksames Mittel zur Wissensvermittlung und zur Förderung des Verständnisses komplexer Sachverhalte dar. Sie dienen vorrangig der Aus- und Weiterbildung, insbesondere im Hinblick auf Führungs- und Entscheidungsprozesse. Durch die aktive Teilnahme am Spielgeschehen erleben die Beteiligten realitätsnahe Entscheidungssituationen, bei denen sie relevante Handlungen treffen müssen, die unmittelbare Auswirkungen auf den weiteren Verlauf des Spiels haben.

Dieser erfahrungsbasierte Lernprozess stärkt die Fähigkeit zur Entscheidungsfindung sowie die Entwicklung von Führungsqualitäten. Ein zentraler Aspekt ist der Umgang mit den Konsequenzen eigener Entscheidungen – insbesondere Fehlentscheidungen bieten dabei ein hohes Lernpotenzial. Wie es im Wargaming Handbook der Bundeswehr formuliert wird, weisen „Verlierer grundsätzlich die steilere Lernkurve“ auf. [2]

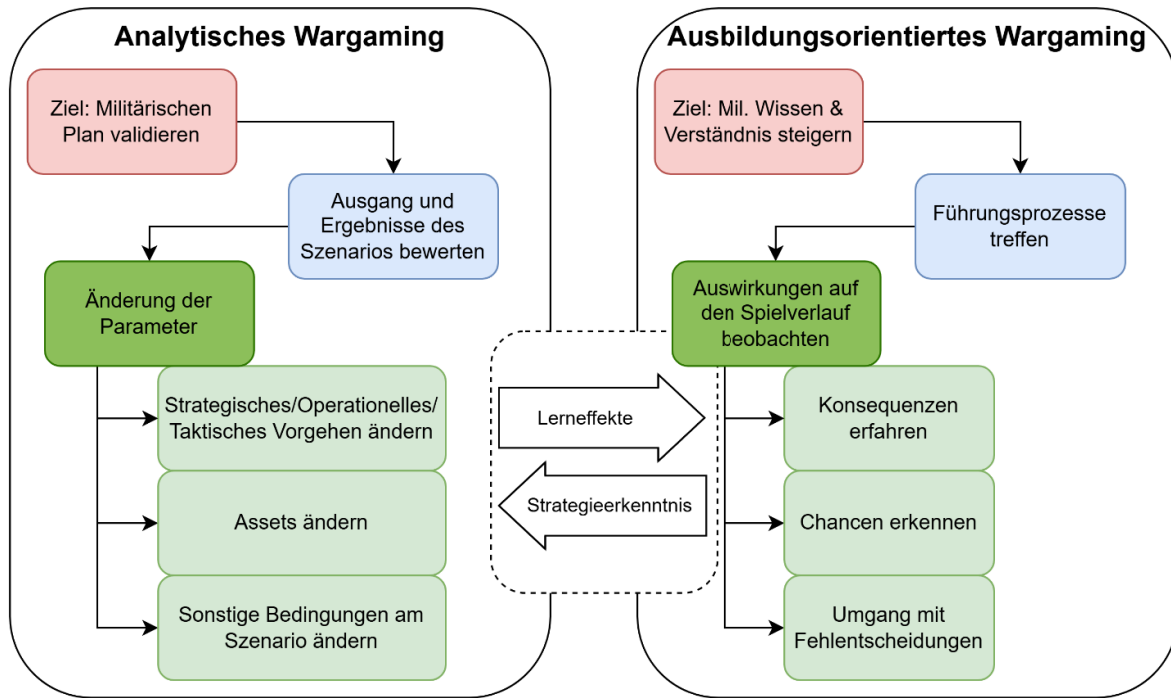


Abbildung 3: Übersicht von analytischem und ausbildungsorientiertem Wargaming mit Wechselwirkungen

3.1.3. Strategisch, Operationell und Taktisch

Militärische Aktivitäten lassen sich in drei verschiedene Ebenen einordnen: Strategisch, operationell und taktisch, wodurch eine Hierarchie entsteht.

Die strategische Ebene bildet die höchste Ebene der Kriegsführung und konzentriert sich direkt auf politische Zielsetzungen. Strategie findet sowohl in Friedenszeiten als auch im Krieg Anwendung. Es wird zwischen nationaler Strategie, die alle Elemente nationaler Macht koordiniert, und militärischer Strategie, die den Einsatz militärischer Kräfte zur Erreichung politischer Ziele plant, unterschieden. Die militärische Strategie ist somit der nationalen Strategie untergeordnet. Sie umfasst die Festlegung von Zielen, die Zuweisung von Kräften, die Bereitstellung von Ressourcen und die Festlegung von Bedingungen für den Einsatz von Streitkräften in verschiedenen Einsatzgebieten. [40]

Die operative Ebene bildet die Verbindung zwischen der militärisch strategischen und der taktischen Ebene. Sie befasst sich mit der Planung und Durchführung von Kampagnen, um strategische Ziele durch den gezielten Einsatz taktischer Ergebnisse zu erreichen. Dies umfasst Entscheidungen darüber, wann, wo und unter welchen Bedingungen der Feind bekämpft oder eine Schlacht vermieden wird, um höhere Ziele zu unterstützen. Im Gegensatz zur taktischen Ebene, die sich auf einzelne Gefechte konzentriert, berücksichtigt die operative Ebene einen größeren zeitlichen und räumlichen Rahmen. Sie wird daher als die Kunst und Wissenschaft verstanden, Kampagnen zu gewinnen, wobei die Mittel aus taktischen Erfolgen bestehen und die Ziele durch

übergeordnete strategische Vorgaben definiert sind. [24], [40]

Die taktische Ebene stellt die unterste der drei Ebenen der Kriegsführung dar und befasst sich mit der Planung und Durchführung von Gefechten und Einsätzen. Taktiken umfassen die Konzepte und Methoden, die eingesetzt werden, um spezifische Missionen zu erfüllen, sei es in Kampfhandlungen oder anderen militärischen Operationen. Im Krieg konzentriert sich die Taktik auf die Anwendung von Kampfkraft, um den Feind zu einem bestimmten Zeitpunkt und Ort zu besiegen. Taktik wird als die Kunst und Wissenschaft verstanden, Gefechte und Schlachten zu gewinnen. Sie beinhaltet den Einsatz von Feuerkraft und Bewegung, die Integration verschiedener Waffengattungen und die sofortige Ausnutzung von Erfolgen zur Niederlage des Feindes. Ebenfalls zur taktischen Ebene gehören Unterstützungsfunktionen wie Nachschub oder Wartung sowie die technische Anwendung von Kampfkraft, einschließlich spezifischer Techniken und Verfahren innerhalb einer taktischen Aktion. Es besteht eine gewisse Überschneidung zwischen Taktiken und Techniken; jedoch erfordert Taktik Urteilsvermögen und Kreativität, während Techniken und Verfahren meist routinemäßige Abläufe darstellen. [40]

Zusammenfassend lassen sich strategische, operationelle und taktische Aspekte als Ebenen der militärischen Führung begreifen, die unterschiedliche Zeithorizonte, Zielsetzungen, Abstraktionsebenen und Entscheidungskompetenzen repräsentieren vgl. TAB 1. Getreu der militärischen Definition der Führungsebenen richten sich PCWS danach aus.

TAB 1: Ebenen der Kriegsführung / Führungsebenen

Ebene	Ziel	Zeithorizont	Fokus im PCW
Strategisch	Krieg gewinnen	Monate bis Jahre	Szenarien Analyse, Ressourcen, Politik
Operationell	Kampagnen führen	Stunden bis Monate	Versorgung, Truppenbewegung, Koordination
Taktisch	Gefechte gewinnen	Minuten bis Tage	Manöver, Gefechtstaktik, Einsatz einzelner Einheiten

3.1.4. Live, Virtual and Constructive (LVC)

Für zukünftige Analyse und Trainingsszenarien wird angestrebt, eine Umgebung zu schaffen, in der echte und simulierte Teilnehmer, sowie echte und simulierte Systeme in einer gemeinsamen Gesamtsimulation zusammenwirken. PCW ist dabei primär der Constructive Simulation im LVC-Modell zuzuordnen, da sowohl Streitkräfte als auch deren Interaktionen durch das System simuliert abgebildet werden. In einzelnen Anwendungen mit direkter Nutzereingabe oder Steuerung sind zudem virtuelle Simulationsanteile gegeben. Die Live-Komponente ist in reinen Wargaming-Szenarien üblicherweise nicht enthalten, kann jedoch bei LVC-gekoppelten Übungsszenarien zukünftig eine Rolle spielen.

3.2. Hintergrund des Softwarevergleichs

Im Rahmen des Vorhabens „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ wurde unter anderem nach einer individualisierbaren Softwarelösungen gesucht, um militärische Missionen planen, visualisieren und mit mehreren interagierenden Realteilnehmern (Pilot, Drohnen Operator, Waffensystemoffizier) durchführen zu können. Nach den Tests der Software MAK One, VBS 4 und MACE wurde eine Zusammenfassung der Recherchearbeit erstellt. Ziel dabei ist,

eine objektive Evaluierung der Software bezüglich der Nutzbarkeit als Missionssimulations- und planungswerkzeug durchzuführen. Die Evaluierung erfolgte parallel zur Forschungsarbeit des Vorhabens, überwiegend während der Phase der Anforderungsanalyse.

3.3. Auswahlmethodik

Zur systematischen Bewertung potenziell geeigneter PCWS wurde ein mehrstufiger methodischer Ansatz gewählt. Allem voran steht eine Marktanalyse. Aus dieser Marktanalyse wurden potenzielle Software Kandidaten identifiziert. Danach wurde ein standardisiertes Rechercheprotokoll entwickelt, das als strukturierendes Instrument für die Erhebung und Dokumentation relevanter Softwaremerkmale für das wehrtechnische Forschungsvorhaben diente (vgl. Kapitel 3.3.1). In einem tiefergehenden Evaluierungsschritt wurde ausgewählte Software getestet, wobei sich an ein empirisches Testprotokoll gehalten wurde, vgl. Kapitel 3.3.2. Die abschließende Bewertung der Programme erfolgte mittels einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse auf Basis eines standardisierten Likert Skala Bewertungsschemas, vgl. Kapitel 3.3.3. Nachfolgende Abbildung 4 beschreibt den gesamten Auswahlprozess.

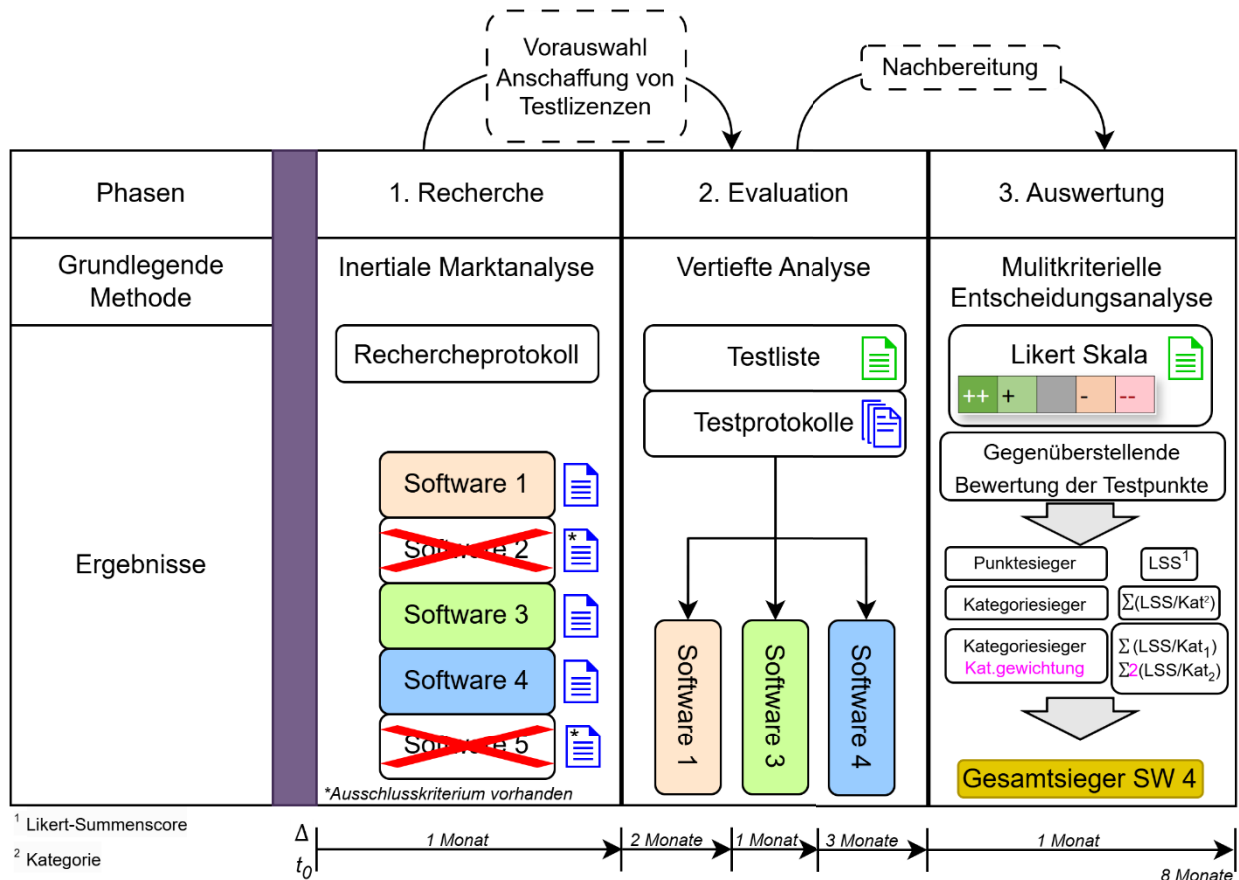


Abbildung 4: Auswahlprozess zur Findung einer geeigneten PCWS

3.3.1. Rechercheprotokoll

Das Rechercheprotokoll dient der systematischen Vorauswahl potenziell geeigneter PCWS. Auf Basis öffentlich zugänglicher Informationen findet eine Vorselektion statt. Es wurde ein eigens erstelltes Template-Dokument (vgl. Abbildung 5) verwendet, um Software bewerten und kategorisieren zu können.

Software-Name

Farbcode:

Sehr gut	gut	ok	schlecht	unbekannt
----------	-----	----	----------	-----------

BS-Cockpit / Interface Lfz.

Allgemeiner Text

Kann über ein eigenes HMI mit der Software kommuniziert werden?	
Antwort:	
Über welche Hard- / Softwareschnittstellen kann zugegriffen werden?	
Antwort:	
Welche Tools (SDK, ...) zu den Schnittstellen stehen zur Verfügung?	
Antwort:	

Abbildung 5: Template des Rechercheprotokolls mit beispielhafter Kategorie "Backseat/Cockpit & Interface Luftfahrzeug"

Die Bewertung pro Recherchepunkt erfolgte anhand einer Likert Skala mit Farbcode in der rechten Spalte. In der linken Spalte konnten Antworten formuliert und Details festgehalten werden. Im Fall, dass keine objektive Wertung vorgenommen werden konnte, wurde das Feld weiß gelassen. Es wird ein klar definierter Kriterienkatalog verwendet, um jede Software mit den gleichen Fragestellungen zu konfrontieren, um grundlegende Fähigkeiten identifizieren zu

können und eine erste Vorauswahl treffen zu können. Der Kriterienkatalog beinhaltet die Kategorien und Fragestellungen, die relevant für die Umsetzung des wehrtechnischen Forschungsprojekts sind, um die Möglichkeit abzufragen, ob gestellte Anforderungen z.B. an die MMS oder die Simulationsumgebung durch die Software abgedeckt werden können. Ergab die Recherche, dass bestimmte Softwarekandidaten nicht oder nur unzureichend benötigte Anforderungen erfüllen, wurden entsprechende Fragen aus dem Recherche katalog als Ausschlusskriterium gewertet. Eine genauere Analyse des Fähigkeitsspektrums (vgl. Kapitel 3.3.2.) dieser Software wurde in solchen Fällen nicht vorgenommen, da sie weder zielführend noch effizient gewesen wäre. Ziel des Rechercheprotokolls war es, geeignete Kandidaten für eine vertiefende Testphase zu identifizieren und entsprechend Testlizenzen anzufragen. Im nächsten Schritt erfolgt eine testbasierte Evaluierung.

3.3.2. Evaluation

Die testbasierte Evaluierung der verbleibenden drei PCWS erfolgt anhand einer Testliste. In der Testliste sind verschiedene Testelemente mit untergeordneten Testpunkten enthalten. Die Testelemente sind zudem in Kategorien eingeteilt. Zu den Kategorien zählen: Allgemein, Bedienoberfläche, Datenbanken, Entitäten, 3D-Rendering, Software, Schnittstellen und Missionsplanung. Weiter werden Testelemente (vgl. TAB 2) mit folgenden Attributen versehen: Test-ID, Kategorie, Testelement (Bezeichnung), Testpunkte, Zuständigkeit (verantwortliche Testperson) und Testdatum. Die detaillierte Dokumentation erfolgt in einem Testprotokoll pro Software.

TAB 2: Tabellarischer Aufbau der Testliste mit der Beispiel Test-ID-001, Testkategorie, -element, -punkte, -datum und Verantwortung

Testliste						
Test-ID	Kategorie	Testelement	Testpunkte	Überprüfung		
				Software 1	Software 2	Software 3
ID-001	Allgemein	Download, Installation und Lizenzierung	Gab es Probleme bei der Installation?			
			Welche Lizenzmodelle gibt es?			
			Sind die Hardwareanforderungen umsetzbar?			

Ziel der Evaluation ist die sach- und fachgerechte Beurteilung der einzelnen Software Produkte, auf Basis relevanter Fragestellungen bzgl. Anforderungserfüllung des Vorhabens, damit im Anschluss eine Auswertung auf Grundlage der Beurteilung stattfinden kann. Um diese Grundlage zu schaffen, wird pro Software und pro Testelement ein Eintrag mit Ergebnis in das Testprotokoll eingepflegt. Ein Eintrag im Testprotokoll dokumentiert Erkenntnisse und verweist auf Quellen und Referenzen, um Testpunkte beantworten und nachvollziehen zu können. Die Testelemente entstanden dabei zum einen aus Elementen des Rechercheprotokolls. Zum anderen wurden erst durch die Einarbeitung in die erste PCWS weitere Punkte ersichtlich die generell abgefragt werden können. Durch diese Art der Informationssicherung kann eine annehmbar breite und im Bedarfsfall tiefgehende Abdeckung der Informationssammlung sichergestellt werden. Im Gegensatz zum Rechercheprotokoll wird somit eine tiefergehende und umfangreichere Beantwortung einer Fragestellung dargelegt. Mit Hilfe dieser Testelemente und deren Dokumentation kann eine Vergleichbarkeit mit anderen getesteten Softwarelösungen geschaffen werden und der Entscheidungsprozess objektiv fortgeführt werden.

3.3.3. Auswahl und Bewertungsverfahren

Um eine abschließende Auswahl der geeignetsten Software für das Vorhaben treffen zu können, bedarf es eines Bewertungsverfahrens. Ziel des Bewertungsverfahrens ist es, auf Grundlage des gewonnenen Erfahrungsschatzes der Testergebnisse, sowie der erstellten Dokumentation, in einer systematischen Gegenüberstellung eine Auswertung vorzunehmen, um schlussendlich eine objektive Beschaffungsempfehlung abgeben zu können.

Die drei PCW Produkte werden mit Hilfe einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgte dabei mit der Likert Skala. Die Gewichtung erfolgte, indem Kategorien mit besonderer Relevanz für das wehrtechnische Forschungsvorhaben doppelt gewichtet wurden. Der erreichte Erkenntnisgewinn durch die Evaluierung erlaubt nun eine Reflexion und einen direkten Vergleich, weil Testresultate mit identischer Fragestellung miteinander verglichen werden können. Jedes Testelement wurde auf einer fünfstufigen Likert Skala bewertet wie in nachfolgender Tabelle dargestellt.

TAB 3: Farbcode der Likert Skala Bewertungsliste mit Bewertungspunkte für den Likert-Summenscore

++	starke Zustimmung	2 Punkte
+	Zustimmung	1 Punkt
○	neutral	0 Punkte
-	Ablehnung	-1 Punkt
--	starke Ablehnung	-2 Punkte
	Keine Aussage	0 Punkte

Die Testelemente wurden in deren übergeordneten Kategorien (vgl. Kapitel 3.3.2) zusammengefasst.

Über alle Testelemente hinweg wurde der Likert-Summenscore (LSS) pro Software gebildet. Daraus resultierte in einer ersten Auswertungsdurchlauf ein Gesamtsieger anhand der maximal erreichten Punkte vgl. Abbildung 6. Die zweite Auswertung wurde anhand des LSS je Kategorie berechnet, wobei ein Platzierungsergebnis erzeugt und anschließend über alle Kategorien hinweg die Durchschnittsplatzierung berechnet wurde (vgl. Abbildung 7). Die dritte Auswertung benutzt - im Gegensatz zu den ersten beiden Auswertungsberechnungen - erstmalig Gewichtungsfaktoren. Dabei wird der kategorische LSS gebildet, pro Kategorie wird ein Faktor mit dem LSS multipliziert und daraus wird abschließend der gesamte LSS summiert (vgl. Abbildung 8). Daraus resultierten drei Platzierungsergebnisse:

- Einfache LSS Platzierung
- Durchschnittliche kategorische Platzierung
- Gewichtete einfache LSS Platzierung

Die Verwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren diente dazu, zu prüfen, ob ein klarer Favorit hervorgeht und ob sich die Likert Bewertung im Endergebnis widerspiegelt. Die so erzielte Gesamtbewertung bildete die Grundlage für die endgültige Beschaffungsempfehlung. Durch diesen Ansatz konnte sowohl ein praxisorientiertes Evaluationswerkzeug etabliert als auch ein methodisch fundierter Entscheidungsprozess gestaltet werden.

3.4. Anwendung der Methode im Vorhaben Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug

In einer frühen Phase, während der Recherche und Anforderungserstellung, im wehrtechnischen Forschungsvorhaben „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ wurde erkannt, dass für die Erprobung neuartiger MMS eine virtuelle Simulationsumgebung und Schnittstelle zur Integration essentiell ist. Durch einen Messebesuch konnten erste Entwicklerstudios ausfindig gemacht werden. Dies stellte den ersten Teil der Marktanalyse dar. Dadurch wurden Battlespace Simulation mit ihrer Software „MACE“ und MAK Technologies, Inc. mit „MAK One“ als potenzielle PCW-Produkte identifiziert. Anschließend wurde mit einer

inertialen Internetrecherche begonnen und es wurden weitere Kandidaten identifiziert, darunter die Software „VBS4“ von Bohemia Interactive Simulations, „Command Professional Edition“ von Matrix Pro Sims und „Digital Combat Simulator“ von Eagle Dynamics SA.

In der weiterführenden Recherchearbeit wurde das Rechercheprotokolltemplate eingeführt. Der Kriterienkatalog in der Anwendung der Methode im Vorhaben beinhaltet dabei die Kategorien Allgemeines, Backseater-Cockpit / Interface Luftfahrzeug, Missionsmanagement, AI-Gegner / Freund, Visualisierung Umwelt, Eigenes Luftfahrzeug, Eigene UAVs, Sensorik und Bewaffnung. Während des Zeitraums von einem Monat wurden für sämtliche aufgelisteten PCWS Produkte Rechercheprotokolle ausgefüllt. Zu den verfügbaren zugänglichen Informationen zur Vorselektion zählen v. a. publizierte Tutorial Videos der Hersteller sowie Datenblätter, Herstellerinternetseite, Forenbeiträge und Supportanfragen via E-Mail. Während eines Zeitraums von einem Monat wurden für sämtliche aufgelisteten PCWS-Produkte Rechercheprotokolle erstellt. Die Informationssammlung erfolgte systematisch im Rahmen einer internetbasierten Recherche. Dabei wurden zwei Quellkategorien berücksichtigt:

1. **Primärquellen:** Herstellerwebseiten, technische Datenblätter, offizielle Supportantworten per E-Mail, von den Herstellern veröffentlichte Tutorial-Videos
2. **Sekundärquellen:** Diskussionsbeiträge in Online-Foren und andere nutzergenerierte Inhalte.

Diese Kategorisierung ermöglichte eine strukturierte Vorselektion relevanter Softwareprodukte und eine methodisch nachvollziehbare Dokumentation der Rechercheergebnisse.

Die Dokumentation der Recherche Ergebnisse erfolgte auf Basis einer Likert Skala im Rechercheprotokoll. Die Einstufung in der Likert Skala erfolgte durch gemeinsamen Beschluss von drei wissenschaftlichen Mitarbeitern mit gleichen Wissenstand bzgl. PCW, welche alle am Forschungsvorhaben beteiligt sind. Es wurde festgestellt, dass „Command Professional Edition“ bzgl. der Visualisierung und MMS-Integrations-fähigkeit im Vergleich schlechter abschnitt. Ebenso wies die Software DCS im Vergleich eine schlechtere Erfüllung von funktionalen Mindestanforderungen gegenüber den anderen PCWS-Produkten auf, v. a. im Bereich Missionsmanagement. Außerdem wurde DCS in das Genre Gaming/Flugsimulation eingeordnet (vgl. Kapitel 1.1), anstelle von PCW (vgl. Kapitel 1.3). Deshalb wurden Command und DCS in der weiterführenden Bewertung nicht weiterbetrachtet. Für die vertiefte Analyse verblieben somit drei Software Kandidaten.

TAB 4: Kategorische Zuordnung der Testelemente der Kategorie Missionsplanung mit Bewertung, Summenscore und Platzierung

Bewertung und Likert-Summenscore				
Test-ID	Testelement	Software 1	Software 2	Software 3
ID-004	Vorhandene Beispielmissionen, Tutorials	+	○	+
ID-006	Briefingfunktionalität: Für ausgewählte Einheiten nur bestimmte Informationen darstellen	+	+	+
ID-007	Anpassung des Loadouts	-	+	++
ID-027	Plan für Einheit erstellen, Trigger definieren	++	--	++
ID-030	Fähigkeiten des Objekt Editors sichten	+		+
ID-031	Wie gut funktioniert das Scripting von Aufgaben	+	-	+
ID-035	Eigene Mission erstellen ("Rescue Mission")	++		
ID-039	Fog of War/Layer	+	+	++
ID-046	Anzeigen verschiedener Ansichten auf mehreren Bildschirmen	++	--	+
ID-049	Electronic Warfare	+	○	++
Likert Summenscore		11	-2	13
Platzierung in der Kategorie "Missionsplanung"		2	3	1

Die Evaluierung erfolgte auf Basis von Evaluierungslizenzen, die auf Anfrage durch die Hersteller bereitgestellt wurden. Die Beschaffung erfolgte sequenziell, um sich jeweils auf nur eine einzelne Software fokussieren zu können. Die systematische Anwendung der Testliste bildet den Leitfaden, um trotz unterschiedlicher Dauer von Testzeiträumen der einzelnen Software den gleichen Umfang abdecken zu können. Der Umfang der Dokumentation pro Testpunkt im Testprotokoll lag bei etwa einer halben bis ganzen Seite, abhängig von der Komplexität und Informationsverfügbarkeit. Bei der Entwicklung der strukturierten Testliste und des Testprotokolls wurden den definierten Testpunkten Verantwortlichkeiten zugewiesen, um bei der Ausarbeitung parallel und effizienter an mehreren Punkten arbeiten zu können.

Für das Bewertungsverfahren wurden die Testelemente in tabellarischer Form hinsichtlich ihrer Kategorien geordnet. Danach wurde auf Basis der Likert Skala pro Testelement abgewogen und bewertet, wie jede Software im Vergleich zueinander abschneidet. Beispielhaft wird in TAB 4 dargestellt, wie die Berechnung des LSS und die Platzierung innerhalb einer Kategorie zustande gekommen ist.

Allgemein	1	2	8
3D-Rendering	0	10	-3
Bedienoberfläche (x2) (Projekt Nr. 2, relevanteste Kategorie)	3	1	10
Datenbanken	2	4	0
Entitäten	4	7	4
Missionsplanung (x2) (Projekt Nr. 1 relevanteste Kategorie)	11	-2	13
Schnittstellen (Vernetzung Simulatoren relevanteste Kategorie)	-2	4	3
Software	3	0	5
Gesamtsieger der Testliste (gesamelte ++)	22	26	40
Gesamtsieger der Testliste (gesamelte ++)	3	2	1

Abbildung 6: Platzierung der einfachen LSS-Berechnung

Allgemein	3	2	1
3D-Rendering	2	1	1
Bedienoberfläche (x2) (Projekt Nr. 2, relevanteste Kategorie)	2	3	1
Datenbanken	2	1	3
Entitäten	2	1	2
Missionsplanung (x2) (Projekt Nr. 1 relevanteste Kategorie)	2	3	1
Schnittstellen (Vernetzung Simulatoren relevanteste Kategorie)	3	1	2
Software	2	3	1
Gesamtsieger der Testliste (Kategorische Platzierung) 0-Platz	2,25	1,875	1,625
Gesamtsieger der Testliste (Kategorische Platzierung)	3	2	1

Abbildung 7: Platzierung der Kategorie-Platzierung

Allgemein	1	2	8
3D-Rendering	0	10	-3
Bedienoberfläche (x2) (Projekt Nr. 2, relevanteste Kategorie)	6	2	20
Datenbanken	2	4	0
Entitäten	4	7	4
Missionsplanung (x2) (Projekt Nr. 1 relevanteste Kategorie)	22	-4	26
Schnittstellen (Vernetzung Simulatoren relevanteste Kategorie)	-2	4	3
Software	3	0	5
WTF Kategorien doppelte Gewichtung	36	25	63
"Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug"	2	3	1

Abbildung 8: Platzierung der gewichteten LSS-Berechnung

Für das Teilergebnis „Gesamt LSS“ platzierte sich MACE an erster Stelle, VBS4 an zweiter und MAK One an dritter Stelle (vgl. Abbildung 6). Das gleiche Ergebnis zeichnete sich für die Betrachtung des durchschnittlichen Kategorie Siegers ab (vgl. Abbildung 7). Beim dritten Auswertungsverfahren, der gewichteten multikriteriellen Entscheidungsanalyse, wurden zwei Kategorien höher gewichtet, da sie in direktem Zusammenhang mit den prioritären Anforderungen des Projekts und der geplanten operativen Nutzung stehen. Diese priorisierten Kategorien waren Bedienoberfläche und Missionsplanung. Diese beiden Kategorien flossen mit einem Faktor von 2 in die Bewertung hinsichtlich der „Kategorischen Platzierung“ ein, während alle übrigen mit dem Faktor 1 berücksichtigt wurden. Hierbei zeichnete sich eine abweichende Platzierung ab, bei der weiterhin MACE an erster Stelle stand, dahinter MAK One und abschließend VBS4, vgl. Abbildung 8. Es zeichnete sich somit

MACE als Favorit für die Beschaffungsempfehlung ab.

4. DISKUSSION

Wehrtechnische Forschungsvorhaben sind in der Regel zeitlich begrenzt, typischerweise auf einen Bearbeitungszeitraum von drei Jahren. Diese Rahmenbedingung hat unmittelbaren Einfluss auf die Auswahlmethodik und die Evaluierung der Softwareprodukte. Die Durchführung einer umfassenden Marktanalyse gestaltet sich im Bereich PCWS als herausfordernd. Ein zentraler Aspekt ist das sich im Projektverlauf verändernde Anforderungsmanagement. Bestimmte Testelemente existieren zu Beginn des Vorhabens häufig noch nicht, entwickeln sich jedoch im Verlauf. Die gewählte Bewertungsmethodik trägt diesem Umstand Rechnung, indem alle Softwareprodukte erst zum Abschlusszeitpunkt – bei eingefrorenen Anforderungen – gemeinsam bewertet werden. Darüber hinaus ist die fortlaufende Weiterentwicklung der Software durch Updates zu berücksichtigen. Verbesserungen oder Änderungen in den PCWS können dazu führen, dass zuvor bewertete Aspekte zum Zeitpunkt der Beschaffung nicht mehr gültig sind. In solchen Fällen wäre eine erneute Bewertung erforderlich. Während des Auswahlprozesses steigt zudem das Fachwissen der beteiligten Personen. In den frühen Phasen, in denen der Kenntnisstand noch begrenzt ist, wird die Bewertung häufig durch den Vergleich mit zuvor getesteter Software geprägt. Dies kann zu systematischen Verzerrungen führen, da die erste untersuchte Software mit anderen Maßstäben betrachtet wird als spätere. Aufgrund dieses Effekts, wurden im Verlauf Anpassungen an den Testpunkten vorgenommen, etwa wenn sich herausstellte, dass bestimmte Inhalte nicht adäquat abgefragt oder zu Beginn falsch eingeordnet wurden. Dennoch ist eine vollständige Vergleichbarkeit über den gesamten Prozess hinweg methodisch schwer sicherzustellen. Ein weiteres methodisches Problem ergibt sich aus der Kategorisierung von Testelementen und Testpunkten. Diese lassen sich nicht immer eindeutig einer einzelnen Kategorie zuordnen, sodass es zu Überschneidungen und inhaltlichen Wiederholungen kommt. Schließlich ist nicht gänzlich auszuschließen, dass subjektive Einflüsse in die Bewertung einfließen. Die Likert Skala reduziert diese Problematik, kann aber eine vollständig objektive Punktevergabe nicht garantieren. Die Reliabilität der Ergebnisse hängt somit stark von der Disziplin der Bewertenden ab. Eine Einbindung mehrerer unabhängiger Experten könnte hier zu einer höheren Validität und Objektivität beitragen. Hinsichtlich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse ist festzuhalten, dass sich die vorliegende Methodik grundsätzlich auch auf andere Forschungsvorhaben anwenden lässt. Zwar sind die im Projekt „Augmentierter Operateur im Luftfahrzeug“ entwickelten Kriterien projektspezifisch, die Struktur des Evaluationsprozesses – bestehend aus Rechercheprotokoll, testbasierter Evaluation und multikriterieller Entscheidungsanalyse – ist jedoch prinzipiell übertragbar. Somit kann die Methodik auch in anderen wehrtechnischen oder sogar zivilen Forschungsprojekten als Entscheidungsgrundlage dienen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass trotz der genannten Einschränkungen ein praxisorientiertes, methodisch fundiertes Auswahlverfahren etabliert werden konnte. Zukünftig erscheint es sinnvoll, Evaluationszyklen stärker iterativ zu gestalten und Softwarelösungen in regelmäßigen Abständen erneut zu prüfen, um den Einfluss von Updates und sich wandelnden Anforderungen angemessen abzubilden. Darüber hinaus könnten automatisierte

Bewertungsansätze, etwa durch KI-gestützte Analysen, langfristig dazu beitragen, den Aufwand zu reduzieren und die Objektivität weiter zu erhöhen.

5. FAZIT UND AUSBLICK

Ziel dieser Arbeit war es, ein methodisch fundiertes Auswahlverfahren für PCWS im Kontext wehrtechnischer Forschungsvorhaben zu entwickeln und anzuwenden. Durch die Kombination eines Rechercheprotokolls, einer testbasierten Evaluation und eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens konnte ein strukturiertes Vorgehen etabliert werden, das eine nachvollziehbare und weitestgehend objektive Auswahlentscheidung ermöglicht. Das Rechercheprotokoll erwies sich dabei als geeignetes Instrument, um eine erste Vorauswahl potenziell geeigneter Softwareprodukte zu treffen. Die anschließende Evaluation erlaubte eine detaillierte Analyse relevanter Testelemente und deren Dokumentation, wodurch die Vergleichbarkeit der Softwarelösungen erhöht wurde. Schließlich stellte das Bewertungsverfahren auf Basis der Likert Skala eine robuste Grundlage dar, um die Ergebnisse systematisch zusammenzuführen und eine Beschaffungsempfehlung abzuleiten. Die Arbeit hat gezeigt, dass sich durch diesen dreistufigen Ansatz sowohl eine praxisnahe als auch wissenschaftlich fundierte Methodik zur Softwareauswahl entwickeln lässt. Zugleich wurde deutlich, dass bestimmte Herausforderungen – insbesondere die Dynamik durch Software-Updates, das veränderliche Anforderungsmanagement sowie potenzielle Subjektivität in der Bewertung – nicht vollständig eliminiert werden können. Dennoch kann das Verfahren einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, Transparenz und Nachvollziehbarkeit im Entscheidungsprozess sicherzustellen. Für zukünftige Forschungsvorhaben bietet sich an, die Methodik in mehreren Projekten zu erproben und so ihre Generalisierbarkeit weiter zu überprüfen. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, Bewertungszyklen stärker iterativ zu gestalten, um den Einfluss kontinuierlicher Softwareentwicklungen besser abzubilden. Eine mögliche Weiterentwicklung könnte zudem in der Integration automatisierter Auswertungsverfahren liegen, beispielsweise durch KI-gestützte Analysen, die den manuellen Aufwand reduzieren und die Objektivität erhöhen. Insgesamt leistet die vorliegende Arbeit damit einen Beitrag zur methodischen Fundierung von Auswahlprozessen für PCWS. Sie schafft die Grundlage für fundierte Beschaffungsentscheidungen und eröffnet zugleich Perspektiven für weiterführende Forschungsarbeiten im Themengebiet von Wargaming, Simulation und wehrtechnischer Systementwicklung.

6. LITERATUR

- [1] RAND Corporation. "Wargaming." Zugriff am: 17. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.rand.org/topics/wargaming.html>
- [2] Doktrinzentrum der Bundeswehr, *Wargaming Handbuch der Bundeswehr*, 1. Aufl., 2024.
- [3] John R. Emery. "Moral Choices Without Moral Language: 1950s Political-Military Wargaming at the RAND Corporation." Texas National Security Review. Zugriff am: 14. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://tnsr.org/2021/09/moral-choices-without-moral-language-1950s-political-military-wargaming-at-the-rand-corporation/>
- [4] RAND Corporation. "Our History: RAND's story is a decades-long journey of invention, innovation, and improving public policy on scales large and small." Zugriff am: 14. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.rand.org/about/history.html>
- [5] RAND Corporation. "Center for Gaming." Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.rand.org/global-and-emerging-risks/centers/methods-centers/gaming.html>
- [6] "Defence Wargaming Centre." Zugriff am: 7. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.gov.uk/guidance/defence-wargaming-centre>
- [7] Air Force Materiel Command. "Researchers use gaming technology for interactive military training." Zugriff am: 3. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.afmc.af.mil/News/Article-Display/Article/154621/researchers-use-gaming-technology-for-interactive-military-training>
- [8] Battlespace Simulations, Inc. "Augmented Reality Mission Observation and Rehearsal (ARMOR)." Zugriff am: 3. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.bssim.com/armor/>
- [9] Thales Group. "Thales to power its next generation of simulators using Unreal Engine 5." Zugriff am: 3. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.thales-group.com/en/market-specific/training-simulation/news/thales-power-its-next-generation-simulators-using-unreal>
- [10] "Bohemia Interactive Simulations - Bohemia Interactive Community." Zugriff am: 3. September 2025. [Online.] Verfügbar: https://community.bistudio.com/wiki/Bohemia_Interactive_Simulations
- [11] Headquarters, Supreme Allied Commander Transformation (HQ SACT). "NATO Wargaming Handbook." Zugriff am: 10. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://paxsims.wordpress.com/wp-content/uploads/2023/09/nato-wargaming-handbook-202309.pdf>
- [12] SAS-129. "Gamification of Cyber Defence and Resilience." Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1192582.pdf>
- [13] The Development, Concepts and Doctrine Centre. "Wargaming Handbook." Zugriff am: 10. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.gov.uk/government/publications/defence-wargaming-handbook>
- [14] Value Market Research. "Global Virtual Training And Simulation Market Size, Share, Trends & Growth Analysis Report Segmented By Component, Application (Defense and Security, Civil Aviation, Education, Healthcare, Corporate Training, Others), Deployment Mode, End-User And Regions (North America, Europe, Asia-Pacific, Latin America, Middle East and Africa), 2025-2033." Zugriff am: 21. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.valuemarketresearch.com/report/virtual-training-and-simulation-market>
- [15] Value Market Research. "Global Military Simulation And Virtual Training Market Report By Platform (Flight, Vehicle, Battlefield, Virtual Boot Camp), By Application (Ground, Air, Naval) And By Regions - Industry Trends, Size, Share, Growth, Estimation and Forecast, 2025-2033." Zugriff am: 21. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.valuemarketresearch.com/report/military-simulation-and-virtual-training-market>
- [16] Mordor Intelligence. "Die Marktgrößen- und Anteilsanalyse für Militärsimulatoren und Training - Wachstumstrends und Prognosen (2024 - 2029)." Zugriff am: 21. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/military-simulation-and-training-market>
- [17] Johannes Deltl. "Business Wargaming." Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://>

- www.strategische-wettbewerbsbeobachtung.com/wiki/business-wargaming/
- [18] Philip Jan Schäfer, Joseph Verbovsky und Gary S. Schaal. "Deutschland muss Krieg spielen." Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://atadag.de/opinions-on-security/deutschland-muss-krieg-spielen/20961/>
- [19] Doug Irving. "Wargaming the Future of Climate Change." Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.rand.org/pubs/articles/2024/wargaming-the-future-of-climate-change.html>
- [20] Bohemia Interactive Simulations. "BLUE IG." [Online.] Verfügbar: https://bisimulations.com/sites/default/files/data_sheets/bisim_product_flyers_2025_blueig.pdf
- [21] "Command Professional Edition: 25+ nations, 150+ orgs, 3000+ users : Command: Modern Operations." Zugriff am: 20. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: https://command.matrixgames.com/?page_id=3822
- [22] MAK Technologies, Inc. "DI-Guy SDK." Zugriff am: 7. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.mak.com/mak-one/tools/di-guy-sdk>
- [23] Bohemia Interactive Simulations. "VBS Builder Edition | BISim." Zugriff am: 7. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://bisimulations.com/products/vbs-builder-edition>
- [24] Bohemia Interactive Simulations. "Vortex Studio for VBS." [Online.] Verfügbar: https://bisimulations.com/sites/default/files/data_sheets/bisim_product_flyers_2025_vortex_studio.pdf
- [25] Battlespace Simulations, Inc. "Adding Platforms to MACE." Zugriff am: 7. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=IngW0MAfHGk>
- [26] Battlespace Simulations Inc. "Computer Generated Forces." Zugriff am: 10. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.bssim.com/cgf/>
- [27] "Arma 3 - Einkauf via Steam." Zugriff am: 11. August 2025. [Online.] Verfügbar: https://store.steampowered.com/app/107410/Arma_3/
- [28] "DCS - Einkauf via Steam." Zugriff am: 11. August 2025. [Online.] Verfügbar: https://store.steampowered.com/app/223750/DCS_World_Steam_Edition/
- [29] "Command: Modern Operations - Einkauf via Steam." Zugriff am: 11. August 2025. [Online.] Verfügbar: https://store.steampowered.com/app/1076160/Command_Modern_Operations/
- [30] R. Dussault und M. Shanks, "Play War: Homemade Recreational Battlefields," *Places*, Nr. 2014, 2014. doi: 10.22269/141103. [Online.] Verfügbar unter: <https://placesjournal.org/article/play-war-paintball-battlefields/?cn-reloaded=1>
- [31] DEPARTMENT OF DEFENSE JOINT STAFF J7, "Joint theater level simulation - Global operations," 2021. [Online.] Verfügbar unter: https://www.rolands.com/jtts/j_vdds/executive_overview.pdf
- [32] Bohemia Interactive Simulations. "Crisis Management and Disaster Response - Bohemia Interactive Simulations." Zugriff am: 21. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://bisimulations.com/customer-showcase/crisis-management-and-disaster-response/>
- [33] A. Tversky und D. Kahneman, "Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases," *Science (New York, N.Y.)*, Jg. 185, Nr. 4157, S. 1124–1131, 1974, doi: 10.1126/science.185.4157.1124.
- [34] M. Mintrom, "Herbert A. Simon, Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization," in *The Oxford Handbook of Classics in Public Policy and Administration*, M. Lodge, E. C. Page und S. J. Balla, Hg., Oxford University Press, 2015, S. 12–21.
- [35] G. Longley Brown, "Successful Professional War-games: A Practitioner's Handbook," ((2nd Ed.) UK: History of Wargaming Project), 2019.
- [36] YouTube. "The Army's Virtual Proving Ground." Zugriff am: 20. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=d-13B4ntnlS>
- [37] P. K. Davis, "An Analysis-Centric View of Wargaming, Modeling, Simulation, and Analysis," in *Simulation and Wargaming*, C. Turnitsa, C. Blais und A. Tolk, Hg., Wiley, 2021, S. 91–121.
- [38] YouTube. "Computer Assisted Wargaming: A Defense Practitioner's Perspective by Karl Selke." Zugriff am: 23. April 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=bCrWo1hNUTM>
- [39] Solveig Bruvoll, Jo E. Hannay, Guro K. Svendsen, Martin L. Asprusten, Kjell Magne, "Simulation-Supported Wargaming for Analysis of Plans," 2015. [Online.] Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Jo-Hannay/publication/282503601_Simulation-Supported_Wargaming_for_Analysis_of_Plans
- [40] DEPARTMENT OF THE NAVY Headquarters United States Marine Corps, "Marine Corps Doctrinal Publication 1 Warfighting," 1997. [Online.] Verfügbar unter: <https://www.marines.mil/portals/1/publications/mcdp%201%20warfighting.pdf>