

KI als 3D Artist

Nutzbarkeitsanalyse von künstlicher Intelligenz im 3D-Design-Prozess

Bachelorarbeit

Vorgelegt am 13. August 2024

Friederike Fröhlich

Erstprüferin: Prof. Dr. Larissa Putzar

Zweitprüfer: Prof. Dr. Eike Langbehn

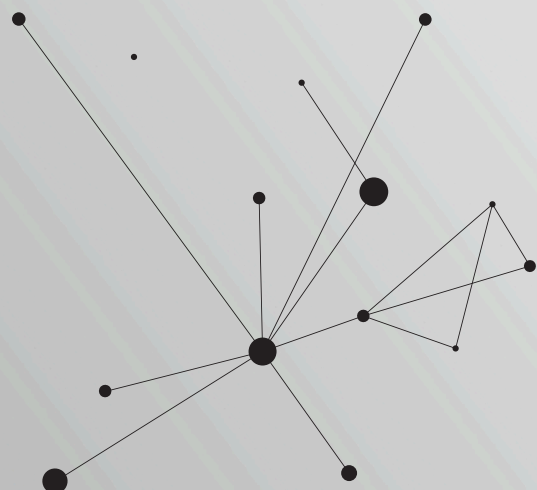
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE

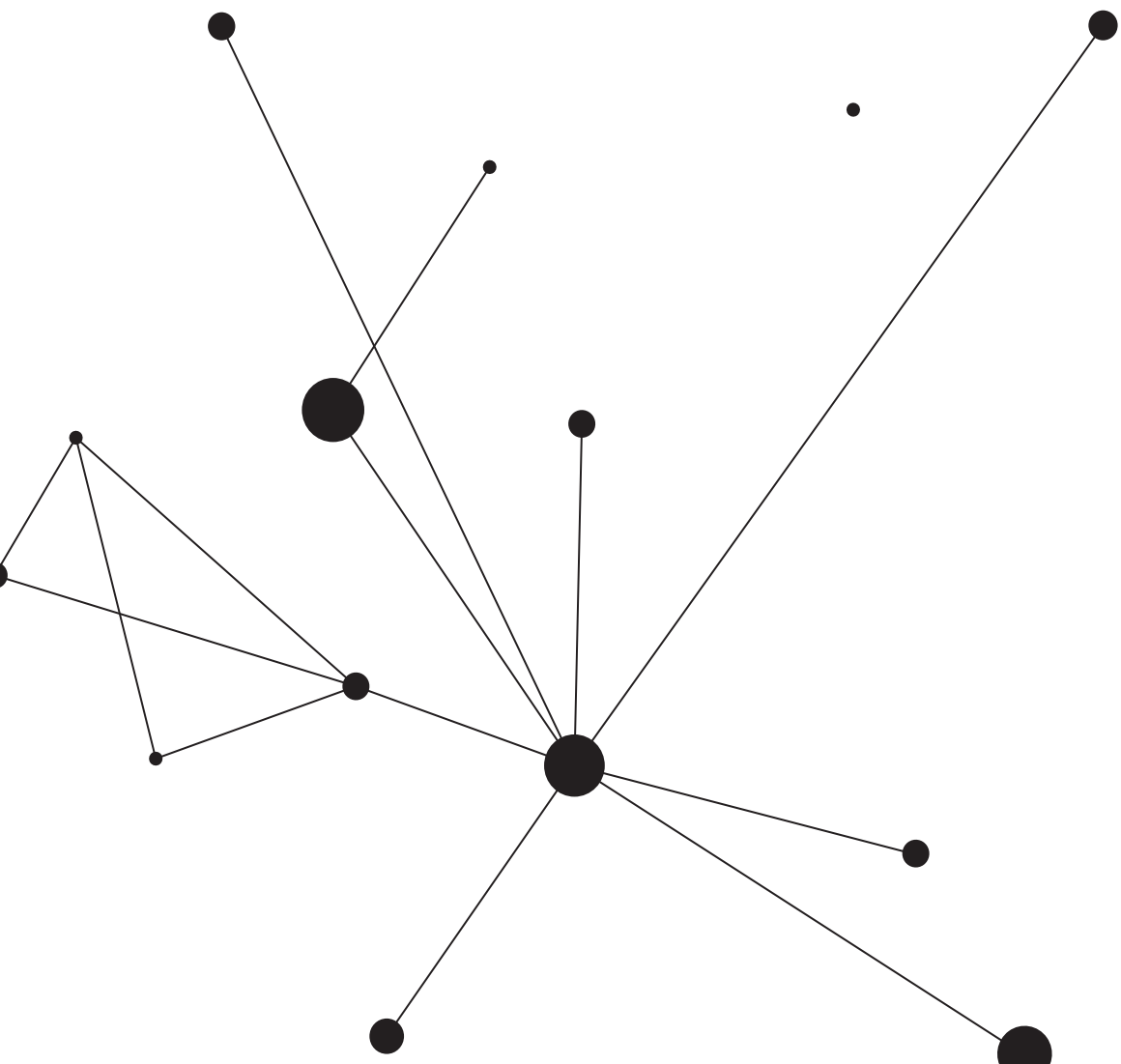
WISSENSCHAFTEN HAMBURG

Department Medientechnik

Finkenau 35

20081 Hamburg





Zusammenfassung

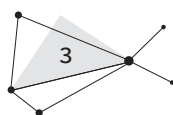
Die vorliegende Arbeit untersucht die Fragestellung, inwieweit neueste Entwicklungen im Bereich der generativen künstlichen Intelligenz die Erstellung von 3D-Charaktermodellen für Spiele unterstützen können. Das Ziel ist hierbei, einen Überblick über die von KI-Anwendungen eröffneten Möglichkeiten für 3D-Design zu geben, sowie eine denkbare Aufnahme von KI in einen typischen Arbeitsablauf zu beleuchten. Dafür wird zunächst auf die Marktlage und die öffentlichen Ansichten eingegangen. Weiterhin erfolgt eine Einführung in elementare Bereiche der KI. Anschließend wird ein möglicher Arbeitsablauf für die 3D-Charaktermodellierung erläutert. Mit zuvor erarbeiteten Bewertungskriterien werden daraufhin einige ausgewählte KI-Anwendungen für den Bereich 3D-Design näher betrachtet und dann für eine potenzielle Nutzung im Arbeitsablauf evaluiert. Die Analyse zeigt Nutzungsmöglichkeiten für das frühe Stadium des Arbeitsprozesses, qualitativ können die Ergebnisse von generativer KI für 3D jedoch oft nicht überzeugen und sind ohne Anpassungen nicht direkt nutzbar. Dies veranschaulicht, dass weitere Schritte zur Verbesserung der generierten Resultate erfolgen müssen, bis der Arbeitsprozess signifikante Veränderungen erfahren kann.

Abstract

This thesis examines the extent to which the latest developments in the field of generative artificial intelligence can support the creation of 3D character modelling for games. The aim is to provide an overview of the possibilities opened up by AI applications for 3D design and to highlight a conceivable inclusion of AI in a typical workflow. To this end, the market situation and public opinions will be discussed first. Furthermore, an introduction to elementary areas of AI is given. A possible workflow for 3D character modeling is then explained. Using previously developed evaluation criteria, some selected AI applications for the field of 3D design are then examined in more detail and then evaluated for potential use in the workflow. The analysis shows possible uses for the early stages of the process, but the results of generative AI for 3D are often not convincing in terms of quality and cannot be used directly without adjustments. This illustrates that further steps must be taken to improve the generated results before the workflow can undergo significant changes.

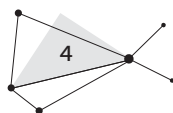
Stichworte

Künstliche Intelligenz, Game Development, 3D-Modell, Charaktermodell, Animation, Generative KI

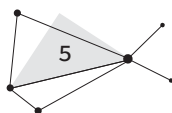


Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
1 Einleitung	10
1.1 Motivation	10
1.2 Ziel	10
1.3 Vorgehen und Aufbau	11
1.4 Voraussetzungen zum Verständnis	11
2 Aktuelle Marktsituation & Meinungen	12
3 Künstliche Intelligenz	17
3.1 Theoretische Grundlagen	17
3.2 Generative AI und der Schritt zu 3D	20
4 3D Design	23
4.1 Grundlagen und Begriffe	23
4.2 Workflow für Charaktermodelle	24
4.2.1 Konzeptionierung	24
4.2.2 Blocking	25
4.2.3 Sculpting	25
4.2.4 Retopology	25
4.2.5 UV-Unwrapping	26
4.2.6 Texturing	27
4.2.7 Rigging	27
4.2.8 Animation	28
4.2.9 Export	28
5 Anforderungskriterien an KI für 3D	29
5.1 Genauigkeit	29
5.2 Originalität	29



5.3 Qualität	30
5.4 Anpassungsfähigkeit	30
5.5 Anwendbarkeit	31
6 Analyse von ausgewählten KI-Anwendungen	32
6.1 3D-Modell-Generatoren	32
6.1.1 Text-zu-3D	32
6.1.2 Bild-zu-3D	36
6.2 Textur-Generatoren	37
6.2.1 Einzelne Materialtexturen	38
6.2.2 Texturierung des gesamten Modells	39
6.3 Animations-Generatoren	41
6.3.1 Generierung von Animationsdaten	41
6.3.2 Generierung eines animierten 3D-Modells	42
7 Evaluation	43
7.1 3D-Generatoren	43
7.2 Texturgeneratoren	46
7.3 Animationsgeneratoren	49
8 Fazit und Ausblick	50
Literaturverzeichnis	52
Eigenständigkeitserklärung	58



ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

KI - Künstliche Intelligenz

GenAI - Generative AI, Generative KI

ML - Machine Learning

DL - Deep Learning

NLP - Natural Language Processing

CV - Computer Vision

LLM - Large Language Model

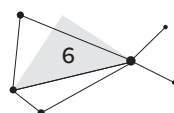
VAE - Variational Autoencoder

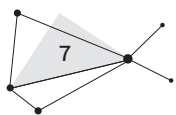
GAN - Generative Adversarial Network

CAGR - Compound Annual Growth Rate

AR - Augmented Reality

VR - Virtual Reality





ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	12
Abbildung 2	13
Abbildung 3	14
Abbildung 4	15
Abbildung 5	16
Abbildung 6	20
Abbildung 7	21
Abbildung 8	23
Abbildung 9	24
Abbildung 10	25
Abbildung 11	25
Abbildung 12	26
Abbildung 13	26
Abbildung 14	27
Abbildung 15	27
Abbildung 16	28
Abbildung 17	33
Abbildung 18	33
Abbildung 19	34
Abbildung 20	34
Abbildung 21	35
Abbildung 22	36
Abbildung 23	36
Abbildung 24	37
Abbildung 25	38
Abbildung 26	38
Abbildung 27	39

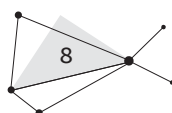
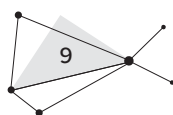


Abbildung 28	39
Abbildung 29	40
Abbildung 30	40
Abbildung 31	41
Abbildung 32	41
Abbildung 33	42
Abbildung 34	44
Abbildung 35	44
Abbildung 36	44
Abbildung 37	44
Abbildung 38	45
Abbildung 39	45
Abbildung 40	46
Abbildung 41	46
Abbildung 42	46
Abbildung 43	47
Abbildung 44	47
Abbildung 45	48
Abbildung 46	49
Abbildung 47	49



1 EINLEITUNG

Innerhalb weniger vergangener Jahre haben mit künstlicher Intelligenz (KI) generierte Inhalte nicht nur in Informatik-Fachkreisen neue Durchbrüche erreicht, sondern auch scheinbar den Sprung zu den Endverbrauchenden geschafft. Online finden sich viele von KI-Tools erstellte Texte, Bilder, Videos und Audioaufnahmen, die teilweise nicht mehr leicht von menschengemachten Inhalten zu unterscheiden sind. Viele Diskussionen um Nutzungsmöglichkeiten, ethische Bedenken und Regulierungen sind im Gange. Doch ungeachtet dessen, wie unser künftiger Umgang mit solchen Anwendungen aussieht, ihre generelle weitere Nutzung scheint gewiss.

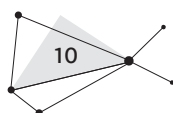
1.1 MOTIVATION

Besonders betroffen ist die Kreativbranche, deren Mitglieder sich von diesen Entwicklungen mitunter bedroht sehen. Die Art und Weise, wie kreative Inhalte in Form von Kunstwerken, Fotos, Werbungen uvm. erarbeitet werden, scheint nicht mehr nur in den Händen von Expert:innen zu liegen. Auftraggebende werden nunmehr mithilfe von generativen Anwendungen auch selbst tätig, weswegen für beruflich Kreative weniger Aufträge anfallen. Es berichten aber auch Stimmen von Einsatzmöglichkeiten für Kreativschaffende selbst: Bildgeneratoren dienen zur Inspiration, Inhalte können effizienter weiterverarbeitet werden oder KI-Filter analysieren und retuschieren zeitsparend. Momentan spielt sich diese Debatte in der Öffentlichkeit vermehrt in der Welt der 2D-Bildinhalte ab. Wie sieht es aber mit dreidimensionalen Werken aus? Auch hier haben die Entwicklungen der letzten Jahre nicht Halt gemacht und könnten maßgeblich die Arbeit von 3D-Designern in allen Unterbereichen beeinflussen. Diese erstrecken sich von Produktdesign über Architektur bis hin zur Entertainmentindustrie. Besonders der Bereich der Spieleentwicklung benötigt für jedes 3D-Spiel eine große Menge an Modellen, was viele Kapazitäten in Anspruch nimmt. Obwohl die Erstellung von 3D-Modellen bereits große Sprünge in der Effizienz gemacht hat, stehen professionelle 3D-Designer immer vor einem langwierigen und kleinteiligen Prozess, welcher nicht nur kreative, sondern auch hochtechnische Elemente beinhaltet. Eine zeitliche Verkürzung dieser Arbeitsschritte könnte durch Einsatz von KI erreicht werden.

1.2 ZIEL

Diese Arbeit verfolgt die Fragestellung, inwieweit neueste Errungenschaften der KI für 3D-Design im Bereich Game Development nutzbar sein können. Betrachtet wird folglich aus der Perspektive der beruflich-professionellen Anwendung unter Kenntnis gängiger Arbeitsabläufe.

Ein solcher, sehr vielschichtiger Ablauf in der 3D-Modellierung für Games ist das Erstellen eines animierten Charaktermodells. Durch den Faktor Animation kommen bereits früh im Prozess wichtige



Grundsätze hinzu, die es zu beachten gilt. Diese besondere Komplexität erhöht den Anspruch an ein potenziell von KI generiertes Ergebnis und dient somit als Messgröße.

Durch Untersuchung von bereits existierenden Applikationen soll vornehmlich ein besseres Bewusstsein für den Stand der Technologie erreicht werden. Was kann KI schon tun - und was nicht? Wie viel menschliche Administration/Nachbesserung ist notwendig? Weiterhin soll ein Anstoß zur Überdenkung des Workflows (aus d. Engl „Arbeitsablauf“) gegeben werden: Wie können aktuelle KI-Tools für 3D vielleicht bereits in den Arbeitsablauf integriert werden?

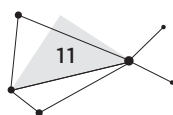
1.3 VORGEHEN UND AUFBAU

Zu Beginn wird in Kapitel 2 ein einführender Überblick über die wirtschaftliche und gesellschaftliche Situation für den Bereich KI gegeben, um ein Verständnis für Potenzial und Risiken zu geben. Im Anschluss vermittelt ein theoretischer Grundlagenteil Wissen zu KI und dessen Unterbereichen. Außerdem werden Hintergründe zum Aufbau von KI-Systemen und dem bisherigen Weg zu aktuellen multimodalen generativen Modellen vermittelt.

Daraufhin erfolgt in Kapitel 4 eine Aufschlüsselung des Prozesses von 3D-Charakterdesign für Spiele. Kapitel 5 gibt schließlich eine Übersicht an zu beachtenden Bewertungskriterien für die darauf folgende Analyse und Evaluation von ausgesuchten KI-Applikationen in Kapitel 6 und 7. Schlussendlich folgt ein Fazit in Kapitel 8 mit einem Ausblick für mögliche zukünftige Arbeitsweisen der Branche.

1.4 VORAUSSETZUNGEN ZUM VERSTÄNDNIS

Diese Arbeit richtet sich an Personen, die bereits Kenntnisse im allgemeinen Bereich des Game Development besitzen. Ein grobes Verständnis für den Aufbau der Spieleindustrie, sowie das Konzept von Game Engines ist empfehlenswert. Für den Analyseteil erforderliches Basiswissen über 3D-Design wird von dieser Arbeit abgedeckt, genau wie technische Grundlagen zu KI.



2 AKTUELLE MARKTSITUATION & MEINUNGEN

Die Verbreitung und Nutzung von KI-Anwendungen hat innerhalb von wenigen Jahren eine starke Zunahme erfahren. Laut dem *Artificial Intelligence Index Report 2023* der *Stanford University* ist zwar die Höhe an globalen Unternehmensinvestitionen in diesem Sektor von 2021 auf 2022 gesunken, jedoch auf das letzte Jahrzehnt gesehen um das Dreizehnfache gestiegen (siehe Abb.1) [1, S.184].

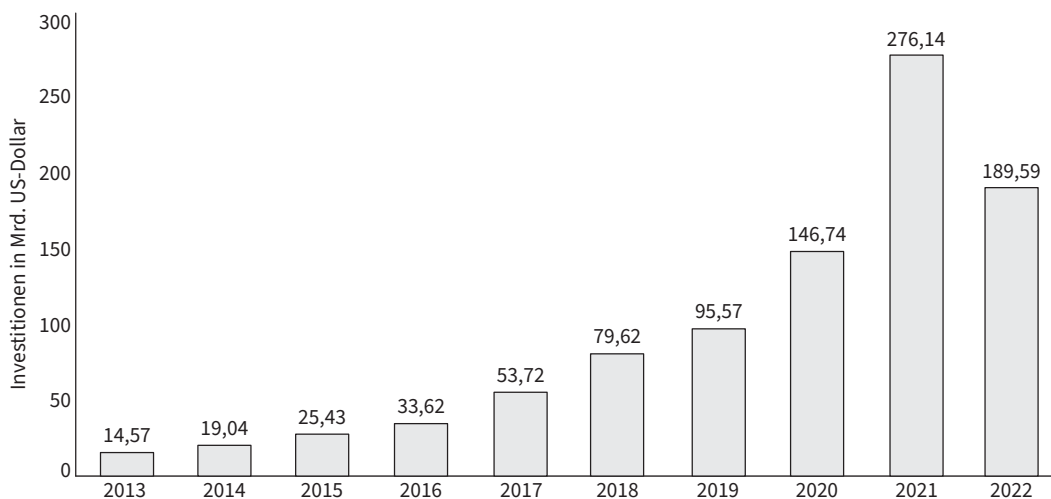


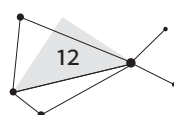
Abbildung 1: Globale Investitionen in den Bereich KI von 2013 bis 2022

Quelle: Eigene Darstellung nach [1, S.184]

Die projizierten jährlichen Wachstumsraten des Marktbereichs KI variieren bei den hierzu überprüften Marktanalyse-Unternehmen. *Statista* hält für 2023 einen Anteil von 241,8 Milliarden US-Dollar und eine Compound Annual Growth Rate (CAGR) von 17,3% fest, womit für das Jahr 2030 gerechnet eine Marktgröße von fast 740 Milliarden US-Dollar möglich wäre [2]. Andere Marktforschungsfirmen rechnen sogar darüber hinaus mit einem Anteil von über einer Billion [3-6].

Hinzu kommt ein erwartetes, durch die Nutzung von KI unterstütztes ökonomisches Wachstum. Die internationale Wirtschaftsprüfungs- und Unternehmensberatungsfirma *PwC* schreibt in ihren Bericht *Sizing the price - What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?:*

“AI could contribute up to \$15.7 trillion to the global economy in 2030, more than the current output of China and India combined. Of this, \$6.6 trillion is likely to come from increased productivity and \$9.1 trillion is likely to come from consumption-side effects.” [7, S.3]



Auf Seite der Unternehmen wird großes Potenzial für Gewinn- und Effizienzsteigerung gesehen. Der Marktanalytiker und Unternehmensberater *Deloitte*, ein weiteres Mitglied der sog. Big Four¹, veröffentlichte Umfrageergebnisse, nach welchen über 80% der befragten Geschäftsführer:innen eine Steigerung der Leistung und beruflichen Zufriedenheit erwarten [8, S.15].

Die möglichen Nutzungsbereiche für KI-Anwendungen sind vielfältig: Empfehlungs-Algorithmen schlagen Kundinnen und Kunden neue Produkte vor oder suchen in den sozialen Medien nach Beiträgen, die zum eigenen Nutzungsverhalten passen. Bildanalyse durch KI hat in der Medizin das Potenzial, Krankheiten zu erkennen und bereits in einigen Versuchen bessere Genauigkeit als der Mensch erzielt [9][10]. In Produktionsabläufen und der Logistik kann KI zur Effizienzsteigerung und der Optimierung von Lieferketten und Wartungsarbeiten genutzt werden [11].

Besonders populär sind im privaten Bereich vor allem der Chatbot *ChatGPT* des Unternehmens *OpenAI*, Sprachsynthese-Anwendungen und Text-zu-Bild-Generatoren wie *Midjourney* und *DALL-E*. Diese Anwendungen erreichten zwischen 2022 und 2023 einen extremen Anstieg an Nutzerzahlen, ausgelöst durch die Freigabe für die breite Öffentlichkeit. Beispielsweise verzeichnete Open AI im Januar 2023 100 Millionen monatliche aktive User für *ChatGPT*, nur zwei Monate nach der Freigabe im November. Dies stellt das wahrscheinlich schnellste Wachstum einer Consumer-Anwendung in der Geschichte des Internets dar [12].

Im Sektor der zuvor genannten Bildgeneratoren gibt es mittlerweile eine Fülle an verschiedenen Anbietern, sowohl für die Erstellung von photorealistischen Bildern, als auch für Zeichnungen und sogar Videoinhalte. Auch hier wuchs die Zahl an Usern Ende 2022 rasant.

Es herrscht jedoch eine Diskrepanz zwischen (und auch innerhalb von) verschiedenen Interessengruppen: Von Seiten der Unternehmensführung werden viele Möglichkeiten gesehen, Ressourcen zu sparen. Auch Privatpersonen und Arbeitnehmer denken zunehmend, dass KI-Anwendungen repetitive Tätigkeiten abnehmen und die eigene Arbeit erleichtern können. Jedoch fürchten viele auch, dass die berufliche Sicherheit zukünftig abnehmen könnte (siehe Abb. 2 u.3) [13, S.21] [13, S.25].

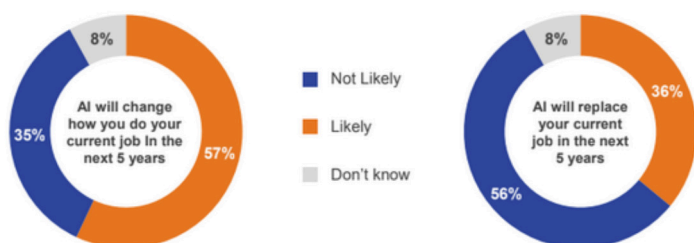


Abbildung 2: Meinungen zur Einschätzung bezgl. des Einflusses von KI auf die eigene Berufsperspektive

Quelle: [13, S.21]

¹ Big Four: Die vier größten weltweiten Wirtschaftsprüfungsgesellschaften PricewaterhouseCoopers(PwC), Deloitte, Ernst&Young(EY) und Klynveld, Peat, Marwick und Goerdeler(KPMG)

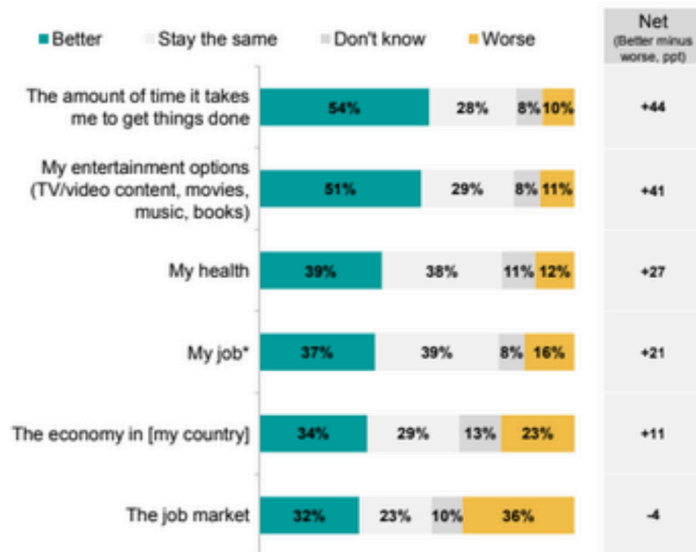


Abbildung 3: Meinungsbild zu der Fragestellung „Do you think the increased use of artificial intelligence will make the following better, worse or stay the same in the next 3-5 years?“
Quelle: Eigene Darstellung nach [13, S.25]

Im Kontext dieser Arbeit spielt der Blick der Kreativindustrie eine entscheidende Rolle. Die rasante Entwicklung im Bereich der generativen KI-Anwendungen (GenAI) hatte hier viele öffentliche Diskussionen zur Folge. Bedenklich finden Kreativschaffende, neben den möglichen Jobverlusten, wie die zum Training der KI nötigen enormen Datenmengen bezogen werden. Oftmals werden Urheberrechtsverletzungen vorgeworfen. So verklagte beispielsweise ein Zusammenschluss an US-amerikanischen Zeitungen im April sowohl *OpenAI* als auch dessen Geldgeber *Microsoft* wegen unerlaubter Nutzung ihrer Artikel zum Trainieren von *ChatGPT* [14]. Auch Bildgeneratoren sind von dieser Gegenwehr betroffen [15]. Da die Rechtslage hier noch in der Entwicklungsphase ist, ist nicht klar, inwieweit GenAI künftig eingeschränkt werden könnte, da sie häufig eine sehr große Menge an Daten zum Training aus dem Internet bezieht. Dies würde sich dann auch auf Anwendungen zur Generierung von 3D-Modellen ausweiten, welche in dieser Arbeit besonderen Stellenwert erfahren.

Trotz dieser Streitpunkte zeigen Kreative Interesse an KI als Werkzeug. Sie erhoffen sich eine Erleichterung bei zeitintensiven, repetitiven Aufgaben und einen schnelleren Konzeptionsprozess. Eine von der *Stiftung Kunstfonds* mitbeauftragte Studie befragte über 3000 Kunstschaffende, von denen bereits 42% eigene Erfahrung bei der Nutzung von KI-Anwendungen hatten. Sie gaben an, die Anwendungen größtenteils zur Bildbearbeitung oder Ideenfindung genutzt zu haben. In Abbildung 4 werden die von Befragten angegebenen denkbaren Nutzungsfelder ersichtlich. Insgesamt sagten von dieser Gruppe fast zwei Drittel (65%) aus, dass sie KI auch zukünftig nutzen würden. Auch die 56% der noch KI-unerfahrenen Kunstschaffenden zeigen eine hohe Bereitschaft hierzu (55%) [16, S.33].



Abbildung 4: Von Kunstschaaffenden als möglich angesehene Arbeitsbereiche von KI
Quelle Eigene Darstellung nach [16, S.33]

Unter beruflich Kreativen (z.B. Grafik-, Web- oder Game Design) zeigt sich die potenzielle Bereitschaft, zu KI-Tools zu greifen, sogar noch höher. Eine Befragung von *Engine Creative* [17] ergab, dass 71,7% der 113 Teilnehmenden zustimmen, dass KI-Anwendungen ihre Arbeit verbessern bzw. erleichtern würden. Als eine der zentralen Thesen der Umfrageergebnisse wurde hier festgehalten:

“The creative industry is both pragmatic and relatively positive about the impact of AI in the industry, with little fear for their own role. Although a small minority do fear the implications of AI, the majority of the creative industry are open to welcoming AI, albeit with certain caveats.” [17, S.30]

Die Berufsgruppe der AR-, VR- und 3D-Designer zeigte zudem hier die geringsten Bedenken im Bezug auf Jobsicherheit mit nur 8,33% Anteil, die ihren Beruf stark bedroht sahen. Die überwiegende Mehrheit (91,7%) dieser Berufsgruppe waren der Meinung dass KI ihre Tätigkeiten unterstützen würde [17, S.25].

Besonders GenAI im Bezug auf Text- und Bildgeneratoren scheint nach anfänglicher weltweiter Begeisterung jedoch nunmehr an eine Grenze zu stoßen. Der jährlich vom Marktforschungsunternehmen *Gartner* veröffentlichte *Hype Cycle* platzierte GenAI für 2023 auf die Spitze des *Gipfels für überzogene Erwartungen*. Demnach stehe die Technologie noch in einer Phase des Experimentierens und unausgemerkter Probleme ohne erfolgreiche kommerzielle Implementierung, allerdings mit viel Interesse und Aufmerksamkeit. Eine tatsächlich kommerziell nutzbare Anwendung könne erst nach der Überwindung des *Tals der Enttäuschung* erreicht werden [18]. Nach der anfänglichen Begeisterung für die Machbarkeit scheint nunmehr also die Frage im Raum zu stehen, wie diese neue Technologie tatsächlich nutzbar gemacht werden kann bzw. welche Anwendungsfälle sich eigentlich über spielerische Experimente bieten und wie Rentabilität erreicht wird.



Abbildung 5: Der Gartner Hype Cycle für das Jahr 2023 mit Generativer KI auf dem Gipfel der überzogenen Erwartungen
Quelle: [18]

Später schrieb Gartner, dass Generative KI den Gipfel der überzogenen Erwartungen passiert habe:

“Generative AI (GenAI) has passed the Peak of Inflated Expectations, although hype about it continues. In 2024, more value will derive from projects based on other AI techniques, either stand-alone or in combination with GenAI, that have standardized processes to aid implementation.” [19]

Auch im Bereich des 3D-Designs gibt es bereits einige generative Anwendungen, die durch Text- oder Bildeingabe fertige 3D-Modelle ausgeben. Nach vielen wissenschaftlich entwickelten Prototypen erscheinen nun auch erste kommerzielle Anbieter. Ob und wie diese Anwendungen für 3D-Design nutzbar sein können, oder ob das *Tal der Enttäuschung* noch überwunden werden muss, soll anhand dieser Arbeit untersucht werden. Um ein Verständnis für die Besonderheiten des Prozesses von 3D-Generierung zu erreichen, wird im anschließenden Kapitel eine Begriffserläuterung für KI und Machine Learning (ML), Deep Learning (DL) und GenAI gegeben, sowie Besonderheiten im Bezug auf GenAI für 3D-Inhalte erklärt.

3 KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Um eine umfassende Beleuchtung des Bereichs KI für 3D-Modelle zu erzielen, wird im Folgenden eine genauere Definition der verschiedenen Kategorien und Begriffe von künstlicher Intelligenz gegeben. Hierbei erhalten die Bereiche, welche bei der Erstellung von 3D-Modellen hauptsächlich unterstützend agieren können, gesonderte Aufmerksamkeit.

3.1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Zu Beginn muss der Unterschied zwischen KI und ML verdeutlicht werden. Oft werden diese beiden Bezeichnungen austauschbar verwendet. Jedoch sind auch Anwendungen außerhalb des ML als Werkzeuge für eine Nutzung im Bereich 3D-Art potenziell zu berücksichtigen. Das weltweit agierende IT-Unternehmen IBM definiert künstliche Intelligenz wie folgt:

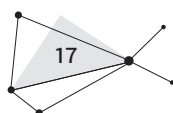
“Artificial intelligence, or AI, is technology that enables computers and machines to simulate human intelligence and problem-solving capabilities.” [20]

Diese und ähnliche Definitionen suggerieren für viele durch den Vergleich zur menschlichen Intelligenz, dass KI-Systeme immer einem menschlichen Gehirn ähnliche Anpassungs- und Abstraktionsfähigkeit besitzen müsse, um als solche zu gelten. Schon Ada Lovelace verschriftlichte 1842 diese Vorstellung als “the idea of a thinking or of a reasoning machine”[21, S.697], damals jedoch im Bezug auf Charles Babbages Entwurf für eine Rechenmaschine, den ersten Proto-Computer. Durch den Siegeszug, den Machine Learning in den vergangenen Jahren mithilfe von DL und Big Data erlebt hat, ist vor allem diese Definition im Zusammenhang mit der Eigenschaft des Lernens und der Anpassbarkeit in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt.

Die Begriffserklärung für das *Artificial Intelligence System* der International Organization for Standardization (ISO) zeigt eine andere Formulierung:

“Artificial Intelligence system: engineered system that generates outputs such as content, forecasts, recommendations or decisions for a given set of human-defined objectives” [22]

Hier wird ersichtlich, welche Funktionen und Systeme alle tatsächlich noch zum Bereich der KI zählen, auch wenn man diese zuerst übersehen könnte. Alle bis heute existierenden KI-Anwendungen fallen in den Bereich der sogenannten *Narrow/Weak AI* oder *Artificial Narrow Intelligence (ANI)*.



Dieser umfasst spezialisierte Anwendungen, welche für bestimmte Aufgabenbereiche geschaffen wurden und nicht darüber hinaus gehen können [23]. Zuerst genannt wurde der Begriff *Weak AI* 1980 vom Philosophen John Searle im Bezug auf den Wert der KI als spezialisiertes Werkzeug. Dem gegenüber stellte er die, bisher nur als theoretisches Konzept existierende *Strong AI* oder auch *Artificial General Intelligence (AGI)*, welche komplett unabhängig in verschiedenen Bereichen lernen und entscheiden könnte [24, S.417].

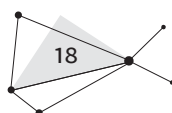
Beispiele für *Narrow AI* gibt es mittlerweile viele, einige der häufigsten sind unter anderen:

- Empfehlungsalgorithmen auf Streamingplattformen,
- Sprachassistenten (z.B. *Siri*, *Alexa*),
- computergesteuerte Gegner in Spielen,
- Routenplaner,
- Übersetzungstools,
- Autonome Fahrzeuge,
- Bilderkennungssoftware,
- Staubsaugerroboter,
- uvm. [23][25, S.28 ff.][26, S.18 ff.]

Nicht immer arbeiten diese Anwendungsfälle mit lernfähigen Modellen, sondern auch schlichtweg mit sog. regelbasierten Systemen. Diese nutzen keine neuronalen Netze (siehe Kapitel 3.2), sondern einen definierten Satz an „Wenn-Dann“-Regeln. Als Expertensysteme bekannt, wurden sie vielfach in den 1980er-Jahren entwickelt, bilden für spezialisierte Aufgaben menschliches Expertenwissen ab und fällen daraufhin Entscheidungen [27, S.5]. Sie sind allerdings nicht in der Lage, neue Schlüsse zu ziehen oder außerhalb ihrer definierten Regeln zu agieren. Noch heute machen regelbasierte Systeme einen großen Teil von KI aus, wie beispielsweise Bankautomaten oder Robotik. Ob Anwendungen von Nutzenden als KI wahrgenommen werden, hängt laut Pamela McCordock, Autorin von *Machines Who Think*, mit der wahrgenommenen Komplexität und erfolgreichen Adaption im Alltag zusammen:

“Practical AI successes, computational programs that actually achieved intelligent behavior, were soon assimilated into whatever application domain they were found to be useful, and became silent partners alongside other problem-solving approaches[...]. Once in use, successful AI systems were simply considered valuable automatic helpers. [...] If you could see how it was done, people seemed to think, then it couldn't be intelligence—a fancy that many people entertain to this day.” [28, S.423]

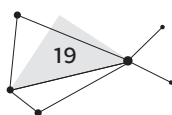
Was aktuell hauptsächlich als KI bezeichnet wird, gehört eigentlich genauer zu dessen Unterkategorie Machine Learning (ML, siehe Abb.6). Die Unterscheidung, ob KI-Anwendungen zu ML gehören, ist nicht immer sofort ersichtlich und liegt in der Art, wie sie ihre Ergebnisse erzielen und ob sie auf neue Eingaben mit Adaption reagieren können, d.h. ob sie “lernfähig” sind.



“An agent is learning if it improves its performance after making observations about the world.[...] When the agent is a computer, we call it machine learning: a computer observes some data, builds a model based on the Machine learning data, and uses the model as both a hypothesis about the world and a piece of software that can solve problems.” [25, S.651]

Ein ML-System ist also dazu in der Lage, von einem bereitgestellten Datensatz nach einem vorgegebenen Algorithmus ein Modell zu erstellen und das Modell, basierend auf Feedback, anzupassen [29]. Dieses Feedback kann automatisch von einem anderen System, oder manuell von einem Menschen kommen. Enorme Fortschritte der vergangenen Jahre hat der Bereich einerseits durch das Voranschreiten der Rechenleistung erreicht, konform mit dem Prinzip des Mooreschen Gesetzes [30, S.13]. Andererseits wurde hierdurch unaufhaltbar der Weg für aufwändigere ML-Modelle mit großer Datenverarbeitungskapazität frei, bekannt etwa als Big Data und DL. Der Begriff Big Data beinhaltet hierbei die Möglichkeit, die gewaltige Menge an Daten im Internet für ML nutzbar zu machen, was für weitaus genauere Ergebnisse sorgt, als einen vergleichsweise kleinen Datensatz zu verwenden [25, S.26]. DL hingegen ist eine Unterkategorie von ML (siehe Abb. 6) und macht sich das Konzept verbundener Neuronen, ähnlich dem menschlichen Gehirn, zunutze in Form eines sogenannten Neuronalen Netzes [31]. Neuronale Netze werden heutzutage von vielen ML-Anwendungen genutzt, beim DL umspannen diese aber mehr Ebenen [32]. Des Weiteren ist DL dazu in der Lage, mit weniger menschlicher Intervention zu arbeiten. Es benötigt nicht zwingend genauestens strukturierte Datensätze und kann selbstständig kategorisieren [33].

Aktuell herrscht in Wirtschaft und Gesellschaft nunmehr ein starkes Interesse an KI-Anwendungen, mit ausgelöst durch die Erfolge von DL und damit einhergehenden neuen Anwendungen. Die Möglichkeit, große Datenmengen schneller zu analysieren und daraus resultierend Prozesse in einer Reihe von Feldern optimieren zu können, hat großes Potenzial. Zuletzt hat die Entwicklung das Ausmaß eines regelrechten Booms angenommen, nachdem das Prinzip des Natural Language Processing (NLP) neue Durchbrüche erzielte. Durch NLP ist es möglich, in natürlicher Sprache, entweder schriftlich, oder durch gesprochenes Wort, beispielsweise Eingaben in Suchmaschinen zu tätigen, Texte zu übersetzen, oder neu zu generieren und in einen “Dialog” mit dem System treten zu können, ohne stilisierte Befehle verwenden zu müssen [26, S.15]. Die jüngsten Erfolge sind dabei auf Large-Language-Models (LLMs) in Verbindung mit GenAI zurückzuführen, welche es ermöglichen, in kürzester Zeit zusammenhängende und sinnvolle Texte oder Auswertungen zu erzeugen [34, S.133 f.], oder im KI-Bereich der Computer Vision (CV) Bildinhalte zu analysieren und zu erstellen [35].



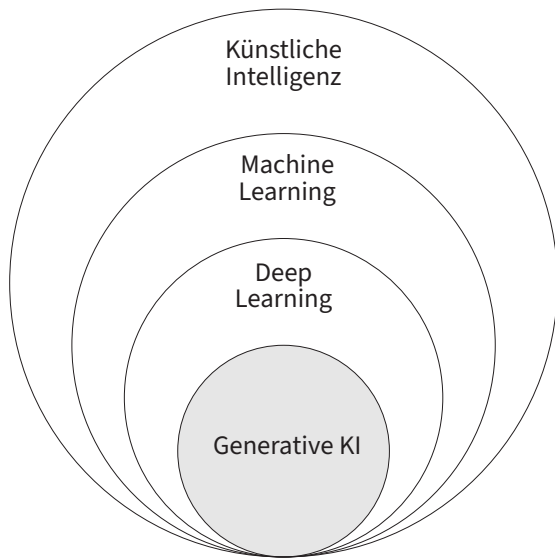


Abbildung 6: KI und dessen Teilbereiche schematisch dargestellt
Quelle: Eigene Darstellung

3.2 GENERATIVE AI UND DER SCHRITT ZU 3D

Im Kontext dieser Arbeit ist GenAI ein besonderer Stellenwert beizumessen. Dessen Anwendungsbereiche erstrecken sich mittlerweile nicht mehr bloß über die Generierung von Texten oder Bildern, sondern unter anderem auch von Audio-, Code-, Video- oder eben 3D-Inhalten. Die Erfolge der vergangenen Jahre in der Weiterentwicklung von DL und daraus resultierenden neuen GenAI-Modellen hat hier zu einem großen Sprung in der Innovation geführt [36, S.111:4]. Zuvor waren generative Modelle in ihren Ausgaben, trotz andauerndem Fortschritten und der Entwicklung neuer Modelle, limitiert und die hauptsächlichen Anwendungsfelder NLP und CV erarbeiteten ohne große Überschneidungen jeweils eigene neurale Netze [36, ebd.].

Hervorzuheben sind einige Modelle, die für signifikante Ergebnissteigerungen verantwortlich sind. Für den Bereich CV brachte die Entwicklung von DL neue Herangehensweisen mit sich und erzeugte vor etwa zehn Jahren bereits einen kleinen Boom im Bereich der Bildverarbeitung. Im Jahr 2013 erstmals bekannt geworden [37], brachte das Prinzip des Variational Autoencoders (VAE) eine neue Modell-Architektur, die es ermöglichte, effektiver mit großen Datensätzen zu arbeiten. Dabei arbeiten zwei neurale Netze zusammen, ein Encoder und ein Decoder, wobei der Decoder in der Lage ist, von dem encodeten Material mehrere verschiedene Varianten wieder zu decodieren [38]. Kurz darauf in 2014 erschien mit dem Generative Adversarial Network (GAN) ein weiteres Konzept mit zwei neuronalen Netzen, diesmal allerdings gegeneinander arbeitend: Ein Netz, der Generator erstellt hierbei basierend auf Trainingsdaten neue Ergebnisse und das zweite Netz, der Discriminator schätzt ein, ob die ihm gegebenen Daten von diesem ersten Netz oder aus den Trainingsdaten stammen. Der Generator passt daraufhin seine Ausgaben solange an, bis der Discriminator nur noch

raten kann, welche Daten generiert sind [39]. Für den Bereich NLP brachte die Entwicklung des Transformer-Modells in 2017 einen Ansatz, der sich in weitere Felder erstreckte und auf dem der Erfolg vieler aktueller Gen-AI-Anwendungen fußt. Diese Herangehensweise ermöglichte es, alle Worte eines gegebenen Satzes gleichzeitig zu bearbeiten und durch die Eigenschaft der *Attention* (aus d. Engl. "Aufmerksamkeit") den Worten verschiedene Wichtigkeit zuzuteilen. Auch die Beziehung zwischen Worten und Kontext konnten somit dargelegt werden [40]. Da Transformer-Modelle vortrainiert werden können, ohne schon eine spezifische Aufgabe erhalten zu haben, sind sie äußerst wandelbar. Zuvor waren DL-Anwendungen hauptsächlich unimodal, d.h. sie konnten jeweils nur eine Art von Modalität verarbeiten und ausgeben, wie zum Beispiel Text. Transformer eröffneten jedoch das Potenzial der Multimodalität, was heutzutage in vielen GenAI-Applikationen genutzt wird. Nun kann die Eingabe Text, Sprache oder Bilder umfassen und die Ausgabe ist nicht an diese gebunden (siehe Abb. 7) [36, S.111:3].

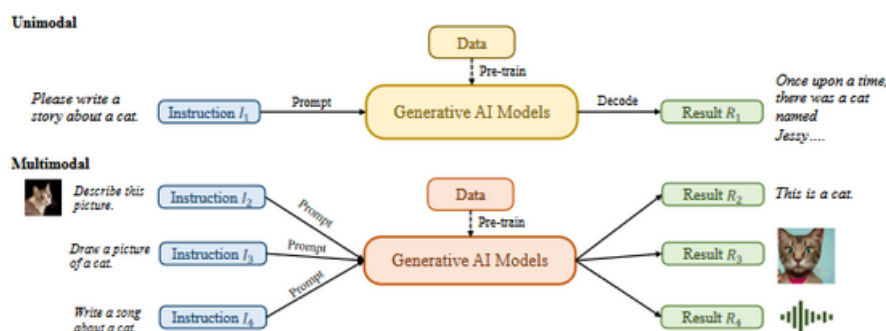


Abbildung 7: Schema von unimodaler und multimodaler GenAI im Vergleich

Quelle: [36, S.111:3]

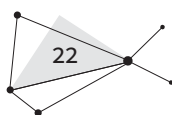
Die durch Transformer-Modelle hervorgerufene, multimodale Ausweitung auf zusammenhängende Texte, Bilder, Audio und Video ließ auch die Generierung von 3D-Objekten nicht lange andauern. Dies bringt jedoch einige Besonderheiten mit sich. Zum Einen existiert die Schwierigkeit, große Datensätze mit zum Training geeigneten 3D-Modellen zu erstellen. Für das Training von neuronalen Netzen in den Bereichen CV und NLP gibt es im Internet enorme Ressourcen, doch im Vergleich sind 3D-Dateien selten [41, S.2][42, S.2]. Diese Herausforderung wird in aktuellen 3D-GenAI-Anwendungen oft durch einen Zwischenschritt umgangen: Die um ein Vielfaches größeren existierenden Text-Bild-Datensätze werden sich zunutze gemacht und ein vortrainiertes Diffusionsmodell [43] zur 2D-Bildgenerierung vor der eigentlichen Erstellung des 3D-Inhaltes platziert. Danach wird, unterstützt durch die Technologie des Neural Radiance Field (NeRF) [44], eine 3D-Repräsentation des generierten 2D-Bildes ausgegeben.

Ursprünglich dazu gemacht, um eine gegebene Szene in 2D-Bildform aus einem anderen Winkel zu generieren, ist NeRF dazu in der Lage, zwischen den generierten Kamerawinkeln zu interpolieren und dadurch das Gezeigte in 3D zu rekonstruieren [41, S.2]. Diffusionsmodelle gibt es mittlerweile in

verschiedenen Ausführungen. Sie können qualitativ sehr hochwertige 2D-Bilder generieren, indem einem gegebenem Bild zuerst schrittweise visuelles Rauschen hinzugefügt wird. Danach erlernt das Modell durch Vergleiche des Rauschens mit dem gewünschten Ergebnis, wie es den Prozess revidiert und das Rauschen immer weiter reduziert [41, S.6].

Solche und ähnliche Herangehensweisen haben die Erzeugung von gesamten, fertig texturierten 3D-Modellen durch simple Texteingabe vorangetrieben. Doch die verschiedenen Unterbereiche von 3D haben jeweils unterschiedliche Anforderungen und Arbeitsschritte, wobei der Unterbereich 3D-Charaktermodellierung für Spieleentwicklung in dieser Arbeit als Fokus gewählt wird. Der Detailgrad der 3D-Dateien bedarf hier oft genauer Anpassung nach dem Leitsatz “So viel wie nötig, so wenig wie möglich”, um flüssige Animation im Designprozess und performante Spielfunktion auf Endgeräten zu gewährleisten. Gleichzeitig gelten genaue Vorstellungen seitens der Art-Direction eines Spieleentwicklungsunternehmens, die es zu treffen gilt. Die Erstellung eines 3D-Charakters durchläuft außerdem verschiedene Abteilungen. In diesen Arbeitsschritten existiert jeweils großes Potenzial für hochspezialisierte KI-Anwendungen, um den oft aufwändigen Prozess zu beschleunigen. Beispiele sind, bezogen auf GenAI, Tools für die Einzelbereiche der Texturen- oder Animations-Generierung, aber auch Generierung für Basismodelle oder die sog. Retopology (siehe Kapitel 4.2.4). Doch auch außerhalb von GenAI findet KI in Games bereits lange schon Anwendung, in Form von Wegfindung oder Algorithmen für das Verhalten von Gegnern. Hervorzuheben für den 3D-Anteil der Spieleentwicklung ist zudem die prozedurale Generierung, welche oft zur beschleunigten und dynamischen, randomisierten Erstellung von Leveln, Modellen und großen Welten genutzt wird [45] [46]. Bereits in den Achtzigern nutzten Spiele wie Elite (1984) prozedurale Generierung für Levelbereiche [47]. Zwar nutzen diese Anwendungsfälle zumeist noch keine trainierten neuronalen Netze, sondern Algorithmen mit geringeren Rechenansprüchen, doch hier wird die Anwendung von moderner GenAI als möglicher nächster Schritt für viele Teile des Game Development deutlich.

Im Folgenden wird 3D für Spieleentwicklung genauer beleuchtet, sowie der Arbeitsprozess zur Erstellung eines fertigen, im Spiel nutzbaren 3D-Modells erläutert, um die möglichen Anwendungsfälle für KI nachvollziehen zu können.



4 3D DESIGN

Beim 3D-Design-Prozess handelt es sich um einen Bereich der 3D-Computergrafik, in welchem eine mathematische Repräsentation eines dreidimensionalen, realen, oder ausgedachten Objektes erarbeitet wird [48][49, S.2][50]. Dies geschieht mithilfe von spezieller Software und hat verschiedenste Anwendungsgebiete: Von Produktentwicklung und Architektur über 3D-Druck bis hin zum Unterhaltungsbereich in Film und Spielen. Je nach Einsatzgebiet liegen unterschiedliche Anforderungen im Vordergrund. Für diese Arbeit fällt der Fokus auf die Computerspielbranche. Bestimmte Grundprinzipien funktionieren für die Erstellung eines Basismodells jedoch ähnlich. Nachfolgend werden für den weiteren Verlauf relevante Grundlagen erklärt, bevor schließlich ein beispielhafter Arbeitsablauf geschildert wird.

4.1 GRUNDLAGEN UND BEGRIFFE

Die Repräsentation des Dreidimensionalen kann auf Datenebene unterschiedlich erfolgen. Eine der meistgenutzten Formen ist das Mesh (aus d. Engl. "Gitter"), wobei die Oberfläche des dargestellten Objektes anhand eines Gitternetzes nachgebildet wird. Dazu stellt die 3D-Software ein Koordinatensystem mit drei Achsen zur Verfügung. Im Verhältnis zum Ursprung des Koordinatensystems können nun eindimensionale Punkte (Vertices), zweidimensionale Linien zwischen zwei Punkten (Edges) oder Flächen (Faces oder Polygone) erzeugt werden.

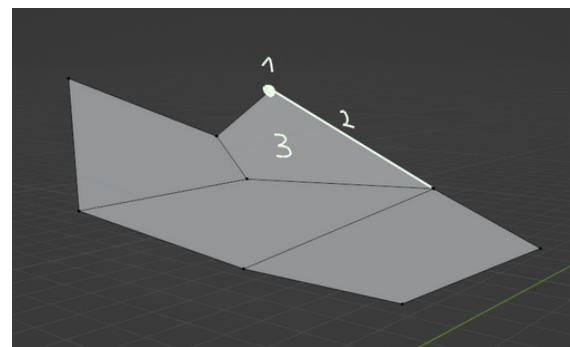
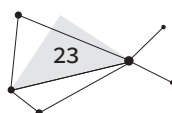


Abbildung 8: Ein Mesh mit einem markierten Vertex (1), einer Edge (2) und einem Polygon (3)
Quelle: Screenshot aus Blender

Sobald mindestens zwei Polygone zusammenhängen, ergibt sich ein Mesh (siehe Abb. 8). Die Anzahl an Vertices, welche die Polygone in einem Mesh besitzen, ist nicht willkürlich. Die kleinstmögliche Anzahl ist per Definition dreieckig. Im Kontext des 3D-Modellierens werden diese Polygone Tris genannt (aus d. Engl. "Triangle"). Game Engines brechen die Polygone eines Modells gängigerweise unter Anderem aus Effizienzgründen zu Tris herunter [51], jedoch wird im Modellierungsprozess die Verwendung von Polygonen mit vier Punkten, auch Quads (aus d. Engl. "Quadrilateral") genannt, bevorzugt. Dies hat verschiedene Gründe, viele davon hängen mit der Editierbarkeit des Meshes zusammen. Quads ermöglichen es, nach beliebigem Detailgrad in kleinere Quads aufgeteilt zu werden und ergeben danach weiterhin ein sauberes Mesh. Die Aufteilung von Tris in kleinere Teile ergibt hingegen oft Fehler bei automatischen Aufteilungen wie dem Subdivision-Surface-Algorithmus.



mus [52]. Gleichzeitig erschweren Tris den Prozess bei der Erarbeitung einer gleichmäßigen Topologie und dem UV-Unwrapping (siehe Kapitel 4.2.4 und 4.2.5). Ähnliche Komplikationen entstehen bei der Nutzung von Polygonen mit mehr als 4 Punkten, den sog. N-Gons. Diese werden in der 3D-Modellierung häufig gemieden, da sie einerseits schwerer von Computern zu verarbeiten sind und andererseits für das Erreichen eines ordentlichen Meshes schwer aufzuteilen sind [53, S.23].

4.2 WORKFLOW FÜR CHARAKTERMODELLE

Die Schritte zu einem fertigen 3D-Model sind je nach Anforderungen und geplantem Einsatz unterschiedlich, für ein Charakterdesign hat sich jedoch eine bestimmtes Vorgehen als vielgenutzt herausgestellt [54][55][56, S.397 ff.]. Dieses wird im Folgenden anhand von Beispielen Schritt für Schritt erklärt. Außerdem wird auf die Besonderheiten eingegangen, welche es im Bezug auf die Spieleentwicklung zu beachten gilt. Diese detaillierte Aufschlüsselung des Prozesses hat den Zweck, eine genauere Vorstellung der möglichen Einsatzbereiche von KI für 3D zu erhalten. Im Branchenkontext werden diese Arbeitsschritte bei größeren Unternehmen häufig auf mehrere Angestellte aufgeteilt, um die Abläufe zu beschleunigen. Das genutzte Programm ist in diesem Kapitel Blender (Version 4.1), da es vielseitig einsetzbar ist und umfangreiche Funktionen bietet. Zudem ist Blender kostenlos nutzbar und besitzt online eine große Anzahl an Ressourcen zu Lernzwecken.

4.2.1 KONZEPTIONIERUNG

Zu Beginn des Prozesses werden Aussehen und Eigenschaften des Charakters geplant. Dazu gehören Kleidung, Größe, Proportionen, Accessoires, Haare und Pose. Zumeist werden zu Inspirationszwecken Beispielbilder gesammelt (siehe Abb. 9) oder, bei größeren Teams, erstellt. Diese werden im weiteren Verlauf zu Rate gezogen, um das Modell den Referenzen getreu zu designen.

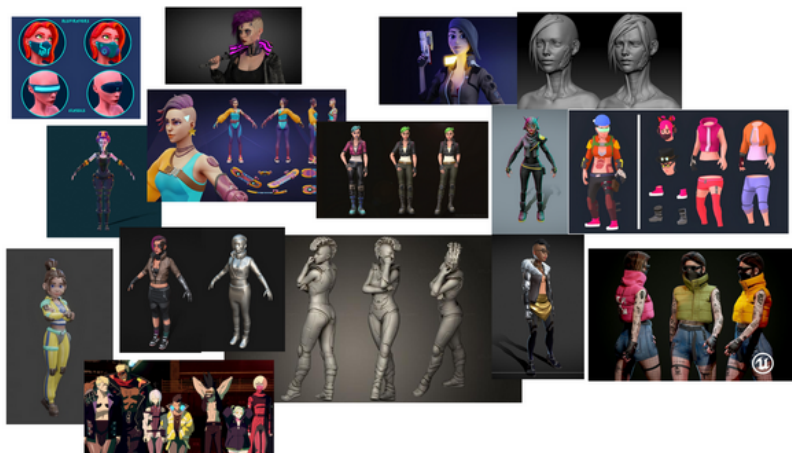


Abbildung 9: Konzeptboard mit gesammelten Referenzen für ein Charakterdesign
Quellen: [57-71]

4.2.2 BLOCKING

Heutzutage ist es, dank moderner Computer, einfacher geworden, 3D-Modelle organisch zu formen. Der Vorgang des Blockings (aus d. Engl. „Umreißen“) beschreibt eine solche grobe Vorformung des Charakters, welcher Ähnlichkeit mit der Modellierung von realen Materialien, wie z.B. Ton, aufweist. Es werden hierbei Basisformen als Ausgangspunkte genommen, um die einzelnen Teile eines Charakterkörpers, wie Arme, Beine, Torso und Kopf, mit speziellen, von der Software bereitgestellten Verformungswerkzeugen, herauszuarbeiten (siehe Abb. 10). Diese Formen werden dann im Anschluss zu einer zusammenhängenden Form verbunden und als Ausgangspunkt für das Sculpting genommen.



Abbildung 10: Blocking der Charakterproportionen
Quelle: Screenshot aus Blender

4.2.3 SCULPTING

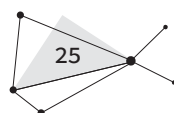
Das Sculpting (aus. d. Engl. „Bildhauerei“) beschreibt die gleiche Vorgehensweise wie das Blocking, nur auf einer Detailebene. Es wird genutzt, um organische Formen möglichst realitätsgetreu und kleinteilig machen zu können. Dazu benötigt das genutzte Mesh eine sehr große Anzahl an Polygonen, weswegen auch vom High-Resolution-Mesh gesprochen wird. Sculpting wird etwa für Gesichter (siehe Abb. 11), aber auch für Details in Accessoires und Kleidung verwendet.



Abbildung 11: Gesicht eines Models mit durch Sculpting erstellten Mund, Nase und Ohren
Quelle: Screenshot aus Blender

4.2.4 RETOPOLOGY

Nachdem mittels Sculpting eine hochaufgelöste Version des Charaktermodells gestaltet wurde, muss diese, um im Animationsprozess und später im Spiel performant nutzbar zu sein, in ihrer Polygonanzahl stark reduziert werden (siehe Abb.12 u.13). Dies geschieht mittels Retopology, ein Arbeitsschritt der die Neuordnung des Meshes beschreibt. Dabei wird das existierende detailreiche Mesh genommen und ein neues Mesh mit weniger Polygonen und aufgeräumter Topologie direkt



darauf erstellt. Eine ordentliche Topologie meint hier die Beschaffenheit des Meshes und dessen Edgeflow (aus d. Engl. "Kantenfluss", siehe Abb. 13). Es wird mit leicht aufteilbaren Quads gearbeitet, die zu späteren Zeitpunkten eine einfache Anpassung ermöglichen, sofern benötigt. Um glaubwürdige Animationen zu erreichen, werden die Polygone in diesem Schritt so angeordnet, dass sich das Mesh bei Bewegung flüssig und an realer Anatomie orientiert verformen lässt.

Die Details des alten High-Res-Modells werden durch eine sog. Normalentextur auf das niedriger aufgelöste Modell übertragen. Solche Texturen werden zur Manipulation des auf das Modell fallenden Lichtes genutzt und lassen optische Erhöhungen oder Vertiefungen erscheinen, obwohl das Basismodell auf Polygonebene keine solchen aufweist. Mithilfe dieses Schrittes kann mit weitaus geringer aufgelösten Meshes der Detailgrad erhalten werden.



Abbildung 12: Mesh einer Hand vor Retopolgy

Quelle: Screenshot aus Blender

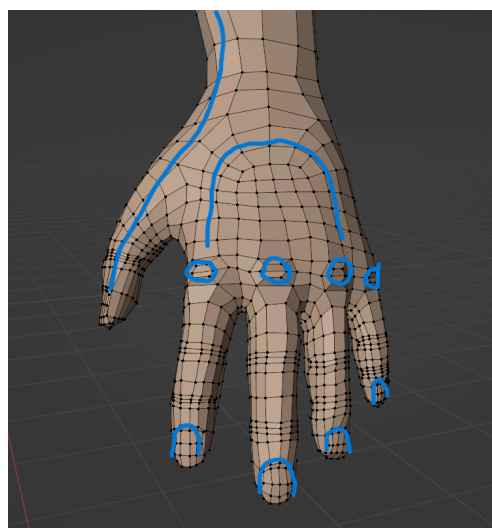


Abbildung 13: Mesh einer Hand mit Retopolgy und eingezeichnetem Edgeflow

Quelle: Screenshot aus Blender

4.2.5 UV-UNWRAPPING

Um dem Modell sein finales Aussehen durch Bildtexturen zu geben, muss in diesem Vorbereitungsschritt das dreidimensionale Mesh auf eine Repräsentation auf zweidimensionaler Ebene heruntergebrochen werden. Hierzu wird das Modell an virtuellen Nähten aufgetrennt und flach auf eine Fläche projiziert. Diese Nähte, auch "Seams" genannt, können automatisch oder manuell festgelegt werden. Das Ergebnis ist eine sog. UV-Map (siehe Abb. 14), die nun nach Belieben eingefärbt werden kann und diese Farben als optische Eigenschaften auf das 3D-Modell überträgt.

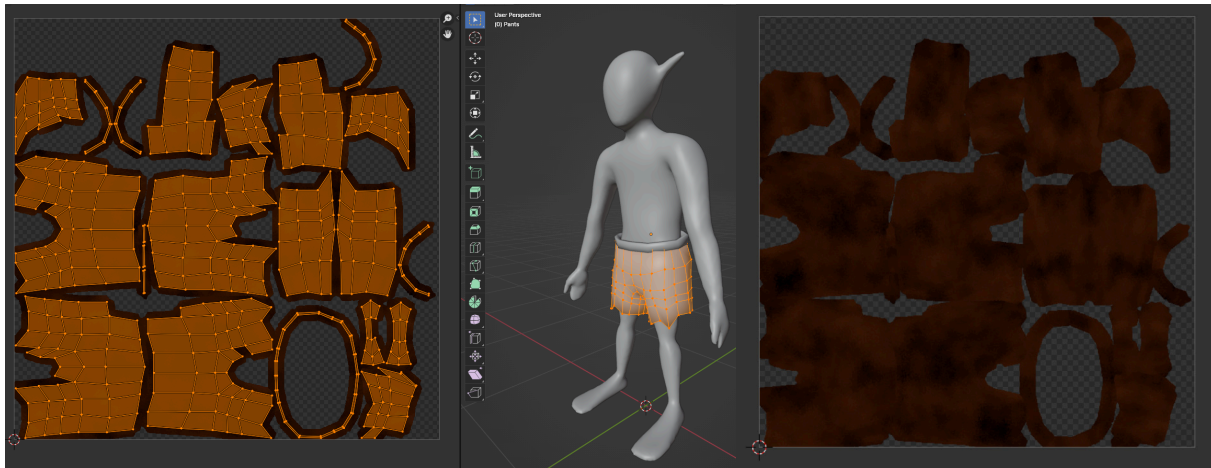


Abbildung 14: UV Unwrapping und Texture Map einer Hose an einem Charaktermodell

Quelle: Screenshot aus Blender

4.2.6 TEXTURING

Mit der erstellten UV-Map können nun Texturen für das Modell gestaltet werden. Dabei kann ein Objekt mehrere Texture Maps für verschiedene optische Effekte erhalten. Dazu zählen beispielsweise die Farbtextur (siehe Abb. 14) und die zuvor erwähnte Normalentextur. Texturen können aber auch die Eigenschaften von etwa metallendem Glanz, Glattheit oder Helligkeit durch Leuchten haben. Gemeinsam benutzt ergeben diese ein glaubhaftes Bild einer realistischen Oberfläche von Plastik, Stahl, rauem Stoff, Haut, Erde, Sand, Schnee, Holz und vielen weiteren.

4.2.7 RIGGING

In seinem jetzigen Stand kann das Modell noch nicht ohne viele Umstände in eine neue Pose gebracht werden. Hierzu benötigt es das Rigging (aus d. Engl. "Vorrichtung" o. "Rüstung"). In diesem Schritt wird dem Modell eine Art Skelett aus mehreren sog. Bones (aus d. Engl. "Knochen") gegeben, anhand dessen die Körperteile neu ausgerichtet werden können und das Mesh sich im Verhältnis dazu mitbewegt. Um diesen Prozess zu vereinfachen, wird im Vorfeld zumeist eine neutrale Position des Modells benutzt, wie die T-Pose oder A-Pose¹ (siehe Abb. 15).



Abbildung 15: Modell mit animierbarem Rig in A-Pose

Quelle: Screenshot aus Blender

¹ benannt nach der Form der Buchstaben T oder A, die das Modell mit Armen und Körper bildet

4.2.8 ANIMATION

Die Animation eines Charaktermodells kann heutzutage sowohl händisch, als auch durch Verwendung von Motion Capture erfolgen. Das zuvor angefertigte Rig wird nunmehr zum Posieren genutzt. Um den zeitlichen Ablauf einer Bewegung wie Laufen oder Springen darstellen zu können, geschieht dies unter Verwendung von einer zeitlichen Achse. Dazu werden Keyframes genutzt (aus d. Engl. “Schlüsselbilder”): Auf den verschiedenen Punkten der Zeitachse wird das Modell in die jeweils zu dem Zeitpunkt gewünschten Pose gebracht und zwischen den Zeitpunkten interpoliert (siehe. Abb. 16). So entsteht schlussendlich eine flüssige Bewegung.

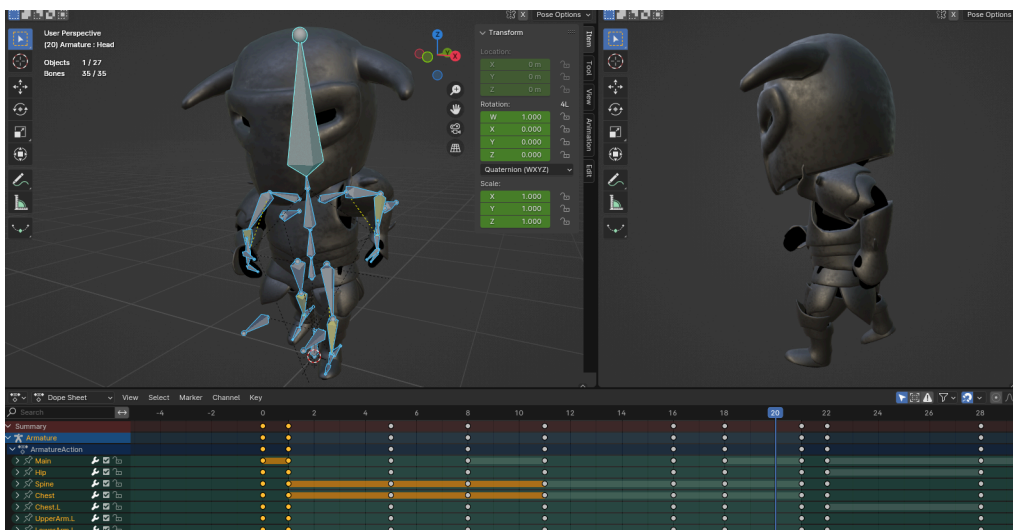


Abbildung 16: Modell im Prozess der Animation mit posiertem Rig und Zeitachse mit Keyframes
Quelle: Screenshot aus Blender

4.2.9 EXPORT

Soll das fertig texturierte und animierte Charaktermodell nun in eine gewünschte Game Engine übertragen werden, müssen verschiedene Dinge beachtet werden. Je nach Verwendungszweck bietet 3D-Software wie Blender verschiedene Dateiformate zum Export an. Für animierte Modelle muss das Dateiformat diese Animationen unterstützen. Denkbar wären folglich die Formate GLB, glTF oder FBX, wobei FBX im Kontext Game Development sehr beliebt ist, da es plattformübergreifend genutzt werden kann und alle Eigenschaften wie Rig, Licht und Kamera erhält [72]. In der Game Engine selbst müssen Texturen richtig zugewiesen, und die Bedingungen für das Abspielen von Animationen gesetzt werden.

5 ANFORDERUNGSKRITERIEN AN KI FÜR 3D

Der Bereich GenAI ist zum Erstellungszeitpunkt dieser Arbeit sehr dynamisch und erstreckt sich auf viele unterschiedliche Felder. Neue Anwendungen erscheinen mit dem Ziel, Mängel von vorherigen KI-Modellen zu beseitigen und mehr Varianz, Präzision oder Effizienz zu bieten. Mithilfe von hier vorgestellten Kriterien werden ausgewählte Beispiele auf dem Markt näher untersucht, um dessen Leistungen einzuordnen und gegen die Einsetzbarkeit in industriellem Kontext des Game Development abzugleichen.

5.1 GENAUIGKEIT

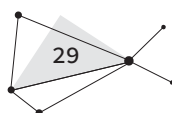
Bei den hauptsächlich vertretenen GenAI-Anwendungen wird sich der Multimodalität bedient und gewünschte Ergebnisse zumeist als Texteingabe gefordert. Dies bezeichnet man als Prompt (aus d. Engl.: Eingabeaufforderung). Nutzende schildern hierbei in natürlicher Sprache, welchen Inhalt sie erstellen lassen möchten. Diese niedrigschwellige Bedienbarkeit hat sich nunmehr weit verbreitet und findet sich auch als Text-zu-3D-Anwendungen [73] [74]. Wie akkurat NLP und CV hier zusammenarbeiten, ist also ein entscheidender Faktor. Der Abgleich von Eingabe und Ergebnis erfolgt anhand der Fragestellung, ob die Eingabe richtig verstanden und komplett umgesetzt wird.

Auch für prozedurale Anwendungen außerhalb des NLP und von GenAI ist dies zu berücksichtigen, auch wenn die Eingabe dort nicht in natürlicher Sprache, sondern über Bereitstellung von Bildern, oder die Einstellung von Parametern erfolgt.

5.2 ORIGINALITÄT

Im Game Development ist das Aussehen des Spielinhaltes ein oft wichtiges Alleinstellungsmerkmal, das Spielende faszinieren soll. Dabei ist das gewählte Design eng beeinflusst von den Faktoren Story, Spielgenre und auch Trends. Um das angestrebte Konzept zu definieren, werden viele Proben angefertigt und genau ausgearbeitet. Ein unterstützendes KI-Werkzeug hat also die Anforderung, Ergebnisse zu liefern, die originell sind und zum Charakter des Spiels passen.

Weiterhin ist der Aspekt im Bezug auf Einzigartigkeit zu beleuchten: Ergebnisse dürfen im Bezug auf das Urheberrecht keine Kopien von existierenden Werken sein und ihnen auch nicht zu sehr ähneln [75]. Klare Unterscheidbarkeit muss sowohl für Wiedererkennung, als auch für die Vermeidung rechtlicher Streitfälle angestrebt werden.



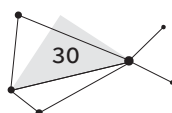
5.3 QUALITÄT

3D-Modelle zu erstellen erfordert viel Zeit und hat, je nach zukünftigem Einsatz, unterschiedlichste Ansprüche. Im Bezug auf Spieleentwicklung dürfen animierbare Charaktermodelle keine zu hohe Polygonanzahl besitzen, da dies die Performance beeinflusst. Zwar ist die Rechenleistung von Endnutzergeräten mittlerweile allgemein hoch, dem folgend stiegen allerdings auch die Dateigrößen der in Spielen verwendeten Assets (aus d. Engl. „Ressourcen“). Zudem werden in Spielen mit großen Leveln meist verschiedene Detailgrade desselben Modells genutzt und, je nach Entfernung, detaillierter oder gröber angezeigt, was erneut Rechenleistung einspart [76, S.3]. In Fachkreisen gibt es unterschiedliche Auffassungen zur angestrebten Polygonanzahl eines Charaktermodells, sie schwanken jedoch zwischen 1.000 für Mobile Games und bis zu 60.000 für leistungsstarke Computerspiele, abhängig von der genutzten Engine [77]. Wie in Kapitel 4.2.4 dargelegt, ist die Topologie des Modells zusätzlich von der geplanten Animation abhängig, um eine korrekte Verformung in der Bewegung zu gewährleisten. Somit ist die Topologie für die weitere Verwendbarkeit unabdingbar. Neben der Polygonanzahl zählt auch dessen gleichmäßige Verteilung, die Unerwünschtheit von N-Gons und korrekt ausgerichtete Normalenvektoren.

Doch auch die allgemeine Qualität des Modells ist zu betrachten. Die richtige Umsetzung der angestrebten Anatomie des Charakters, sowie Fehlerfreiheit in sonstigen Teilen des Modells, wie Kleidung oder Accessoires, sind hierbei Faktoren.

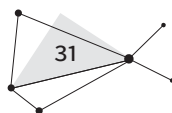
5.4 ANPASSUNGSFÄHIGKEIT

Um Zeit und Arbeitskraft zu sparen, werden in der Industrie auch bereits verwendete Modelle wiederverwertet. Hierzu bedarf es häufig nachträglicher Anpassungen. Auch innerhalb eines Projektes durchlaufen Assets verschiedene Iterationsschritte und werden erneut geändert. Ein Charaktermodell muss demnach in seiner Beschaffenheit diese Flexibilität ermöglichen. Dies wird beispielsweise durch einheitliche Dateistruktur und eine saubere Topologie angestrebt. Je nach Unternehmen werden auch verschiedene Standards gesetzt, um einen gemeinsamen Einstiegspunkt für neue Mitarbeitende zu schaffen und eine Mindestqualität zu erreichen. Die in KI-Anwendungen erstellten Ergebnisse sollten folglich im Idealfall Industriestandards erreichen oder, durch gängige, möglichst kleine Dateiformate und leicht änderbare Meshes, eine Überführung in diese ermöglichen.



5.5 ANWENDBARKEIT

Die Spieleentwicklung erfordert hohe Dynamik. Innerhalb der letzten Jahrzehnte hat der Umsatz des Marktes stark zugenommen [78], mit großen Teams aus teilweise hunderten von Personen. Technische Verbesserungen zur Steigerung der Effizienz sind also gefragt, was die Adaption von KI-Tools zu erfüllen verspricht. Um dies jedoch zu erreichen, müssen solche Tools in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Hier zählen Aspekte wie leichte Installation und Bedienbarkeit, oder auch Eingliederung in die hauptsächlich verwendete Software als Plugin.



6 ANALYSE VON AUSGEWÄHLTEN KI-ANWENDUNGEN

Das Feld der KI-Anwendungen für 3D hat durch GenAI neue Ausmaße erreicht. Mittlerweile existiert eine große Menge an Trainingsmethoden, die verschiedene Bereiche der 3D-Generation verbessern sollen, wie beispielsweise schnellere Generierung oder mehr Nähe zur Vorgabe. Es herrscht viel Bewegung in dem Bereich und weitere Forschung und Entwicklung sind im Gange. Einige Unternehmen bewerben bereits Software und Online-Tools, mit welchen zügig und dennoch qualitativ hochwertige 3D-Modelle komplett generiert werden sollen. Da die Erstellung von 3D-Assets, wie zuvor dargelegt, aufwändig und vierteilig ist, ist eine potenzielle Verkürzung dieses Arbeitsprozesses erstrebenswert. Durch die Untersuchung einiger Beispielanwendungen wird nachfolgend eine mögliche praktische Nutzung von KI im Feld 3D-Design beleuchtet. Dabei ist die hypothetische Aufgabe, ein humanoides Charaktermodell für ein Spiel zu erstellen. An dieser Stelle werden hauptsächlich Browseranwendungen thematisiert, da sie keiner weiteren lokalen Einrichtung, oder leistungsstarker Endgeräte bedürfen und unkompliziert zu bedienen sind.

6.1 3D-MODELL-GENERATOREN

Da unsere Realität dreidimensional ist, war der Sprung zu 3D-Generatoren nach dem Erfolgsgang von GenAI für Bilder ein logischer Folgeschritt. Die Generierung von 2D zu 3D kann durch Bereitstellung eines Bildes erfolgen, oder von Text zu 3D durch Beschreibung mittels eines Prompts. Einige Unternehmen stellen auch beide Möglichkeiten bereit.

6.1.1 TEXT-ZU-3D

Die simple Eingabe eines Textes verspricht, niedrigschwellig und schnell zu einem brauchbaren Ergebnis zu kommen. Die existierenden Anwendungen werben mit Zeit- und Kostenersparnissen und suggerieren, dass die generierten Modelle keiner weiteren Bearbeitung bedürfen. Viele Anwendungen sind zudem momentan kostenfrei nutzbar und fordern lediglich eine Accounterstellung. Im Folgenden werden nun drei Applikationen vorgestellt.

Der Anbieter Luma AI stellt mit seinem 3D-Generator *Genie* [79] eine minimalistische Browseranwendung bereit. Nachdem ein Nutzerkonto eingerichtet wurde, gibt *Genie* durch Texteingabe in englischer Sprache vier, zunächst grobe, aber vollständig texturierte Vorschläge aus (siehe Abb. 17). Es können sowohl Objekte, als auch Humanoide oder Tiere generiert werden. Menschen befinden sich zumeist in einer neutralen, animierbaren Position, wie der T-Pose oder der A-Pose. Die Bearbeitungszeit beträgt hierbei nur wenige Sekunden. Mittels des immer selben Prompts können hier beliebig viele Variationen generiert werden.

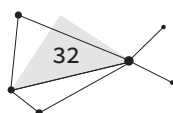




Abbildung 17: Verschiedene, von Luma AI Genie generierte Ergebnisse basierend auf derselben Eingabe "a chibi¹ knight with a big head and a helmet with horns"

Quelle: Screenshot aus Luma AI Genie

Sobald eins der generierten Modelle den eigenen Vorstellungen gerecht wird, kann dieses in eine höhere, detaillierte Auflösung übertragen und somit weiter ausgearbeitet werden (siehe Abb. 18). Dieser Schritt dauert einige Minuten, es können währenddessen aber andere Modelle generiert werden. Es besteht sowohl im niedrigen als auch im hohen Detailgrad die Möglichkeit, das Modell in vielen gängigen Dateiformaten herunterzuladen. Hierfür kann zwischen bereitgestellten Vorgaben für die jeweilige Anwendung (z.B. *Maya*, *Blender*, *Cinema 4D*, aber auch für Game Engines wie *Unreal* und *Unity*), oder dem direkten Dateiformat ausgewählt werden. Weiterhin steht eine Option für Retopology zur Verfügung, wofür ein gewünschter Detailgrad für das Mesh angegeben werden kann.

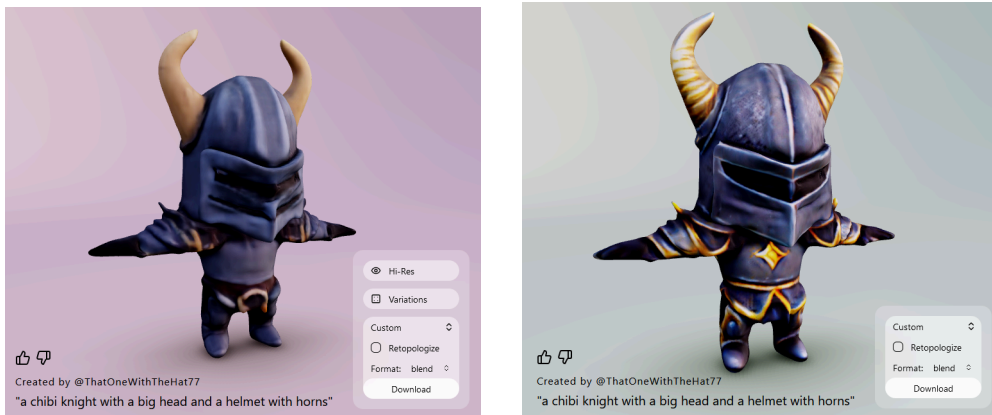


Abbildung 18: Vergleich zwischen generiertem Model mit niedrigem (links) und hohem Detailgrad (rechts) in Luma AI Genie

Quelle: Screenshot aus Luma AI Genie

Öffnet man das heruntergeladene Modell in der eigenen 3D-Software, ist weitere Bearbeitung möglich, wie z.B. das Rigging und die Animation. Das Modell hat, bei Nutzung des Retopology-Features eine neue Topologie aus Quads und in der Datei sind die Texture Maps eingebunden (siehe Abb. 19).

¹Aus d. Jap. „winzig“, Zeichenstil, bei welchem Figuren kindlich und mit großem Kopf dargestellt werden

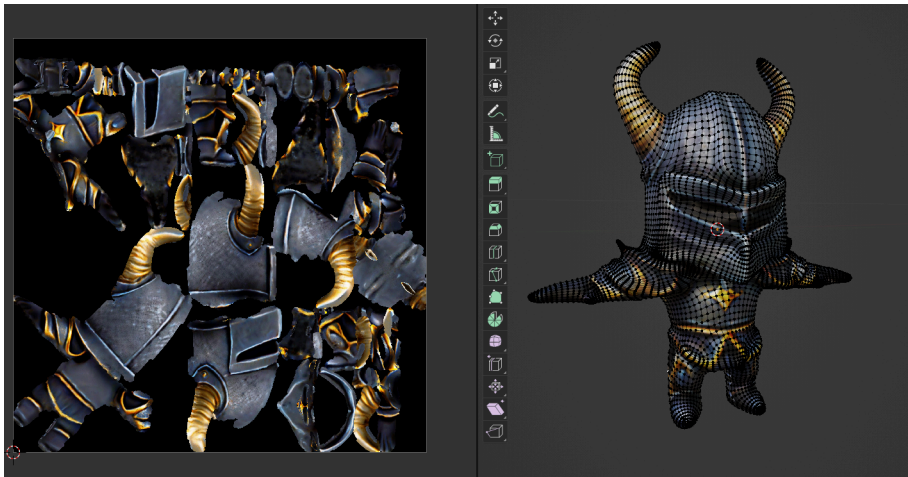


Abbildung 19: Heruntergeladenes Model mit sichtbarer Texture Map auf der linken Seite
 Quelle: Screenshot aus Blender

Ein weiterer Anbieter ist Masterpiece Studio mit *Masterpiece X* [80], einer weiteren browserbasierten Anwendung, mit welcher sowohl Menschen als auch Tiere und Gegenstände erzeugt werden können. Auch hier bedarf es eines Accounts bevor die Generierung von 3D-Modellen erfolgen kann. Die Anzahl an möglichen Generierungen ist an ein Guthaben von Credits gebunden. Pro Prompt werden 50 Credits eingelöst und es können weitere käuflich erworben werden. Für jeden Vorgang werden zwei Varianten erstellt (siehe Abb. 20), welche in den Dateiformaten FBX, GLB und USDZ heruntergeladen werden können. Dabei dauert jede Generierung einige Minuten und eine Wiederholung desselben Prompts kostet erneut 50 Credits.

Nachdem das fertige Ergebnis einsehbar ist, bietet *Masterpiece X* für jedes Model die Anzahl von Punkten und Tris als Information. Zusätzlich können für die Texturen der Modelle einzelne Werte wie Oberflächenrauheit und metallener Glanz, sowie Licht und Schatten genauer eingestellt werden. Heruntergeladen besitzt die Datei des Modells vom *Masterpiece X* ebenfalls die zugehörige Texture Map und bereits ein Rig (siehe Abb. 21).

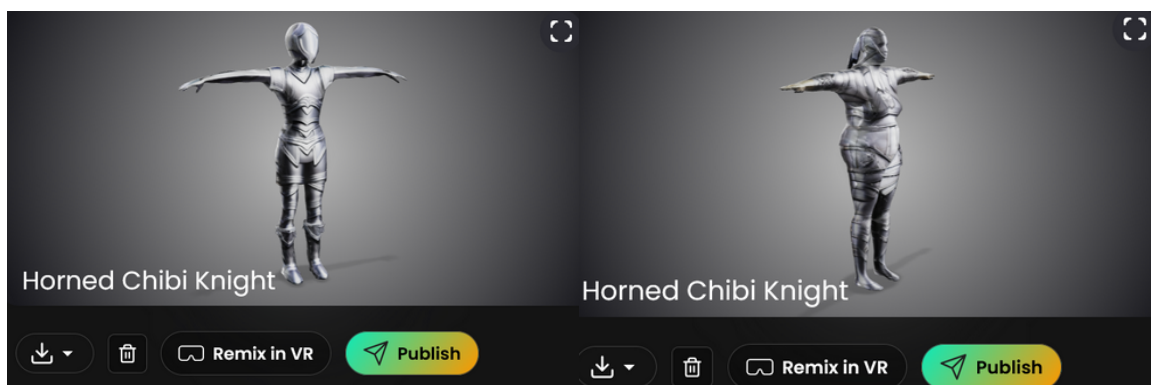


Abbildung 20: Von Masterpiece X generierte Ergebnisse basierend auf der Eingabe "a chibi knight with a big head and a helmet with horns"
 Quelle: Screenshot aus Masterpiece X

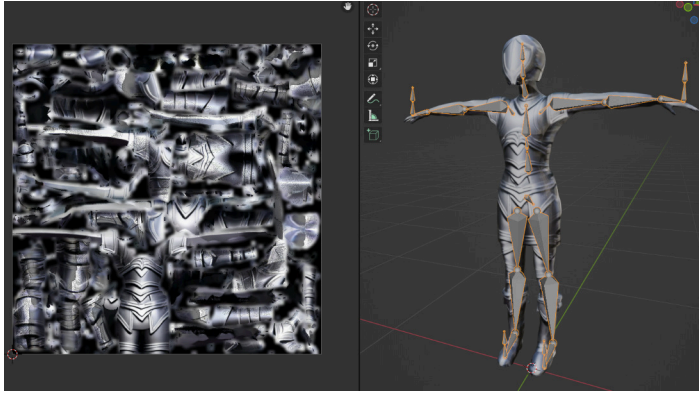


Abbildung 21: Heruntergeladenes Modell mit Texture Map und sichtbarem Rig
Quelle: Screenshot aus Blender

Zuletzt wird hier das Tool *Meshy* vom gleichnamigen Hersteller [81] präsentiert. Diese Applikation bietet KI-Funktionen über das Generieren von Modellen durch Texteingabe hinaus: Zusätzlich können Modelle auch mittels Bildern erzeugt, Modelle per Text-Prompt texturiert, oder Voxeldarstellungen erstellt werden. Ein neues Nutzerkonto startet mit 200 Credits, welche für bestimmte Arbeitsschritte verbraucht werden. Zusätzliche Credits sind käuflich. Bei der Eingabe des Prompts gibt es verschiedene Verfeinerungsmöglichkeiten. Neben der Auswahl eines gewünschten Stiles bietet *Meshy* ausserdem die Angabe von sog. *Negative Prompts*. Hierbei handelt es sich um Texteingaben, in denen Nutzende ungewollte Ergebnisse spezifizieren können, beispielsweise die Farben oder Kleidung betreffend. Diese Angaben können dann unnötige Variantengenerierungen reduzieren. Nach einer kurzen Wartezeit von unter einer Minute gibt die Anwendungen vier, zunächst weniger detaillierte Entwürfe aus. Diese können in einem Vorschaufenster genauer von allen Seiten betrachtet werden (siehe Abb. 22). Auch der Download der Modelle ist in verschiedenen Dateiformaten möglich, darunter OBJ, FBX und das eigene Format von Blender. Die Anzahl von Punkten und Polygonen ist hier ebenso ersichtlich, sowie der Aufbau des Meshes, welches aus Tris besteht. Um weitere Bearbeitungsschritte freizuschalten, muss eins der vier groben Modelle ausgesucht und verfeinert werden, was einige Minuten in Anspruch nimmt. Danach ist die Textur des Modells detailreicher, die Anzahl der Polygone ist allerdings gleich geblieben. Das Mesh des Detailmodells kann nun jedoch reduziert und einer Retopology unterzogen werden, wobei zwischen Tris und Quads gewählt werden kann. Das heruntergeladene Modell befindet sich in einem Dateipaket gemeinsam mit der generierten Textur.

In der Browseranwendung von *Meshy* können mit wenig Aufwand noch Animationen und auch neue Texturen mittels Text-Prompt generiert werden. Diese Funktionen sind jedoch nur bei Erwerb eines Pro-Accounts zugänglich. Das Herunterladen des Modells mit dessen erster generierter Textur im OBJ-Format ist jedoch kostenfrei.

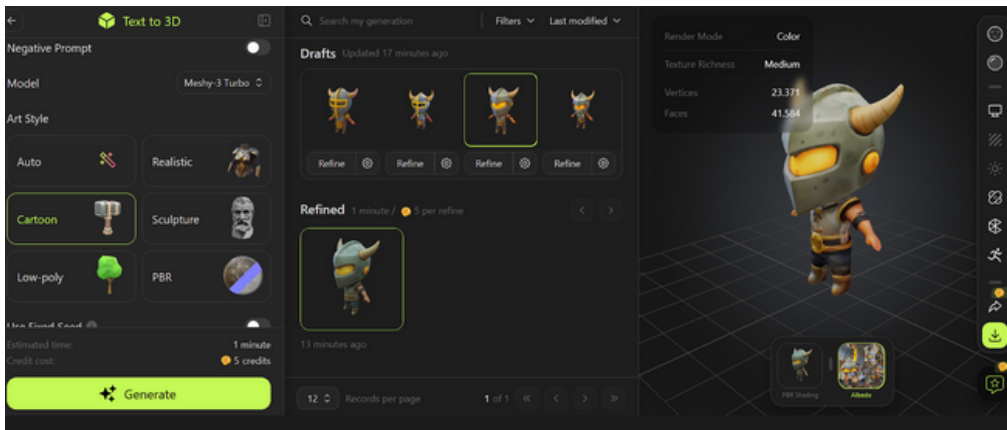


Abbildung 22: Ansicht des Text-zu-3D-Arbeitsbereichs in Meshy mit vier groben und einem detaillierten generierten Modellen

Quelle: Screenshot aus Meshy

6.1.2 BILD-ZU-3D

Einige Anbieter geben auch die Möglichkeit, eine Bilddatei als Eingabe hochzuladen und in ein 3D-Modell zu wandeln. Im zuvor thematisierten Tool *Meshy* werden so innerhalb weniger Minuten zwei dreidimensionale Repräsentationen ausgegeben, die nach der Bildvorgabe texturiert wurden (siehe Abb. 23). Die Polygonanzahl ist offen einsehbar. Auch hier gibt es wieder die Möglichkeit, das gewählte Modell einer Retopology zu unterziehen und es im OBJ-Format zu exportieren.

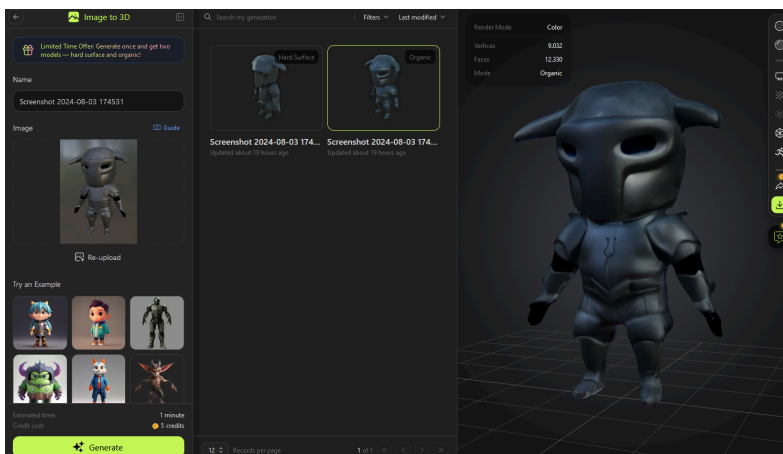


Abbildung 23: Der Bild-zu-3D-Bereich von Meshy mit der Vorgabe (links), den beiden generierten Modellen (Mitte) und dem ausgewählten Modell mit Textur (rechts)

Quelle: Screenshot aus Meshy

Ein weiteres Tool mit sowohl Text-, als auch Bild-zu-3D-Generation ist *Tripo AI* [82]. Auch hier wird ein Credit-System benutzt, jedoch sind zu Beginn alle Aktionen ohne spezielle Preise freigeschaltet und man erhält eine Anzahl von 600 Credits pro Monat. Ein Abo mit mehr Credits kann abgeschlossen werden. Jede Generations-Aktion kostet eine geringe Summe von 10 bis 60 Credits. Das generierte

Modell wird in niedriger und hoher Texturauflösung ausgegeben und kann einer Retopology unterzogen werden, wobei es eine zusätzliche Option speziell für Game Assets gibt. Der Download steht sowohl für spezielle Programmformate, als auch für Dateierendungen wie .fbx oder .obj zur Verfügung. Auch ein Rig und Basis-Animationen wie Gehen oder Rennen sind in *Tripo AI* erstellbar (siehe Abb. 24). Die jeweils gewünschte Animation muss einzeln exportiert werden.



Abbildung 24: Interface von Tripo AI mit Optionen zur Animationserstellung und Exportformate
Quelle: Screenshot aus Tripo AI

6.2 TEXTUR-GENERATOREN

Für den Bereich der Texturgenerierung sind zwei Herangehensweisen möglich. Die Erste teilt das Modell in seine Einzelteile auf, bei einem Charakter beispielsweise dessen verschiedene Kleidungsstücke und Accessoires, sowie Haare und Haut. Jedes dieser Teile erhält eine eigene Textur basierend auf dessen theoretischem Material. Eine Hose bekäme also zum Beispiel eine Textur mit Jeans-Optik oder ein Schwert eine silberne Metalltextur. Da Texturen nur 2D-Bilddateien sind, ist die Generierung von Materialien theoretisch auch mithilfe von allgemeinen Bildgeneratoren möglich. Beachtet werden muss lediglich, dass solche Texturen randlos sein müssen, d.h. würde man das Texturbild duplizieren und beide Rand an Rand nebeneinander legen, kein erkennbarer Übergang von einem Bild zum nächsten erkennbar sein darf. Dies dient der Skalierbarkeit der Textur, um sie nach Belieben ein- oder ausgezoomt darzustellen.

6.2.1 EINZELNE MATERIALTEXTUREN

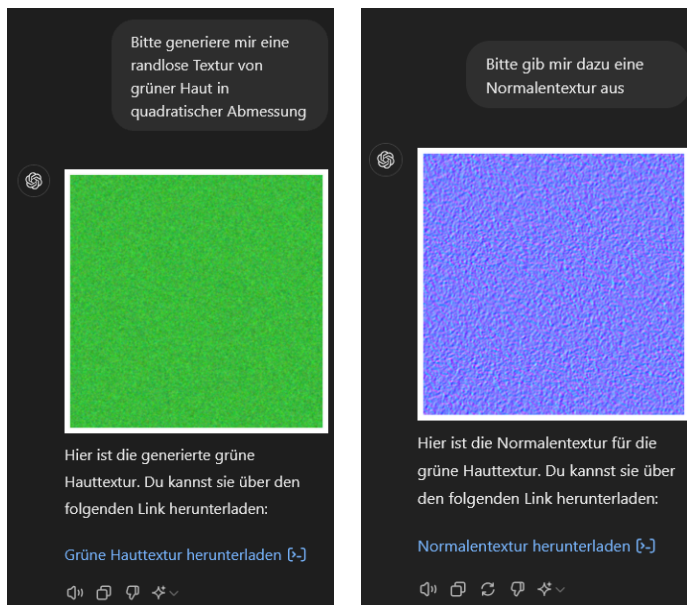


Abbildung 25: Von ChatGPT generierte Texturen nach dem Prompt “randlose Textur von grüner Haut in quadratischer Abmessung” und die dazu passende Normalentextur
Quellen: Screenshots aus ChatGPT

Zur Erstellung von Bildtexturen bieten sich online mittlerweile eine große Anzahl an GenAI-Tools an. Unter den Beliebtesten befindet sich auch der integrierte Bildgenerator von *ChatGPT* [83]. Durch einen Textprompt kann innerhalb weniger Sekunden ein passendes Ergebnis ohne Rand erstellt werden. Auf Anfrage gibt *ChatGPT* dazu passende Effektt Texturen aus, wie beispielsweise Normal Maps (siehe Abb. 25).

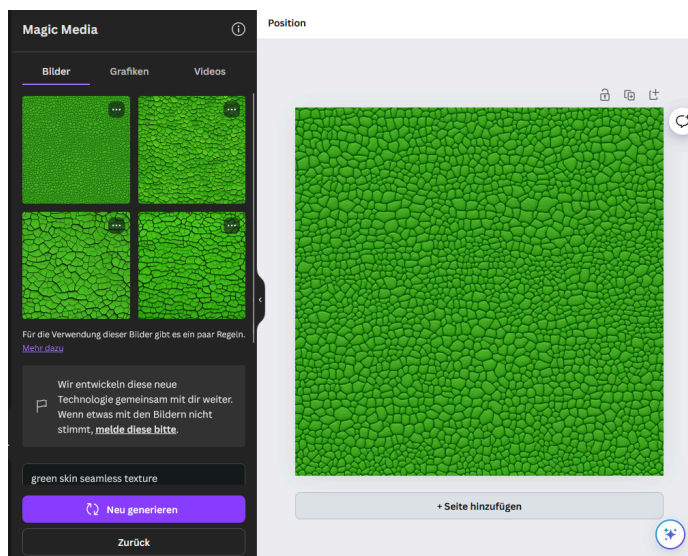


Abbildung 26: Vier Ergebnisse von Canva mit getroffener Auswahl rechts, Prompt-Eingabe “green skin seamless texture”
Quelle: Screenshot aus Canva

Auch der Anbieter *Canva* [84] verfügt über die Möglichkeit der Bildgenerati- on (siehe Abb. 26). Hier können jedoch nicht wie bei *ChatGPT* zu einem Bild passende Texturen angefordert werden. Diese können jedoch von externen Bildwandlern anhand des Ausgangsbildes nachträglich erstellt werden.

Einige Anwendungen präsentieren sich jedoch auch speziell auf den Einsatz für Texturierung von 3D-Modellen angepasst. Dazu zählt beispielsweise der AI Texture Generator vom Anbieter *Polycam* [85]. Mittels Texteingabe werden hier bis zu 4 Ergebnisse erzeugt (siehe Abb. 27). Die Wiederholung

eines Prompts ist beliebig oft möglich und der Download der Texturen ist in einer Auflösung bis zu 768 Pixeln kostenlos möglich. Der Abschluss eines Abonnements ermöglicht höhere Auflösungen und mehr als vier gleichzeitige Generierungen. Lädt man eine gewählte Textur herunter, so erhält man ein Paket mit vier Teilt Texturen, darunter die farbige Textur, eine Normal Map, sowie eine Displacement Map und eine Roughness Map. Gemeinsam auf ein 3D-Modell angewendet ergeben diese eine realistischere Oberfläche (siehe Abb.28).



Abbildung 27: Ansicht des Interface von Polycam mit vier Ergebnissen des Prompts "green skin"

Quelle: Screenshot aus Polycam

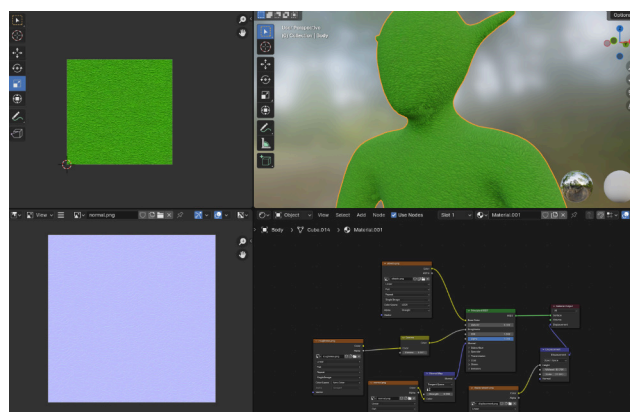


Abbildung 28: Einbau des von Polycam ausgegebenen Texturenpaketes in Blender mittels Shader Graph

Quelle: Screenshot aus Blender

6.2.2 TEXTURIERUNG DES GESAMTEN MODELLS

Manche Anwendungen bieten auch eine generative Texturierung des gesamten 3D-Modells an. Dazu wird lediglich der Upload des untexturierten Modells und eine Texteingabe mit gewünschtem Ergebnis benötigt. Das zuvor beschriebene Tool *Meshy* bietet diese Art der GenAI-gesteuerten Texturierung in einem Zeitraum von unter zwei Minuten (siehe Abb. 29). Neben dem Textprompt kann auch ein Negative Prompt, sowie ein gewünschter Art Style angegeben werden. Es wird jeweils ein Ergebnis erzeugt, welches im Nachhinein mit dem Feature AI Texture Editing bearbeitbar ist. Dabei wird der zu verbessernde Bereich der Textur markiert und eine Texteingabe für die Änderung verlangt. Die tatsächliche Anwendung des verbesserten Ergebnisses ist kostenpflichtig. Das Modell kann inklusive der generierten Textur in verschiedenen Formaten heruntergeladen werden, darunter FBX, OBJ und das Dateiformat von Blender.



Abbildung 29: Texturgenerierung von Meshy nach dem Prompt “a medieval goblin henchman wearing only short leather pants, looking friendly, hand painted style”
Quelle: Screenshot aus Meshy

Abschließend wird in dieser Kategorie die Anwendung *Charmed* [86] vorgestellt, welche die Generierung von Modellen, Animationen und auch Texturen anbietet. Wie auch bei anderen Beispielen zuvor, wird hier mit einem Textprompt gearbeitet. Zusätzlich ist eine Angabe von Negative Prompts möglich. Die Generierung erfolgt zunächst in der Form von Bildern. Pro Vorgang werden vier Beispiele vorgeschlagen, aus denen gewählt werden kann. Der ausgewählte Vorschlag wird danach in einem weiteren Durchlauf innerhalb einiger Minuten zu einer Textur gewandelt und auf das 3D-Modell übertragen (siehe Abb. 30). Ähnlich wie bei *Meshy* kann die generierte Textur durch das Markieren einzelner Bereiche verbessert werden. Der Download des Ergebnisses steht in den Formate FBX, OBJ und GLB zur Verfügung. Auch diese Anwendung basiert wieder auf einem Credit-System, welches zusätzliche Credits für Aktionen durch Abschluss eines Abonnements vergibt.

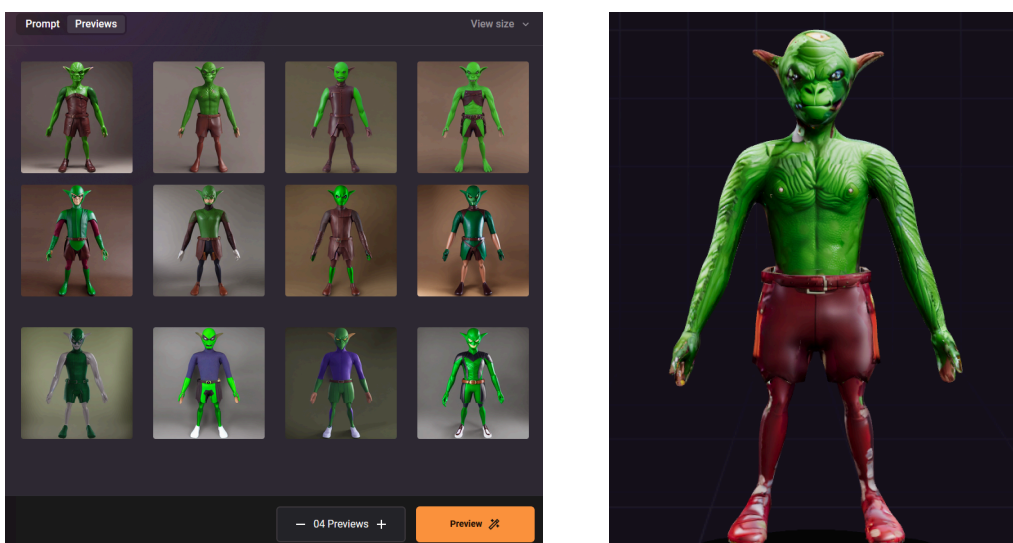


Abbildung 30: Von Charmed generierte Vorschläge zur Texturierung (links) und ausgegebenes Ergebnis (rechts)
Quellen: Screenshots aus Charmed

6.3 ANIMATIONS-GENERATOREN

Zuletzt wird die KI-gestützte Generierung von 3D-Animationen untersucht. Wie zuvor in Kapitel 4.2.7 dargelegt, benötigt ein 3D-Modell ein Rig, mithilfe dessen die Bewegung des Meshes erreicht wird. Für die automatisierte Erstellung gibt es zwei Möglichkeiten: Zunächst kann die Anwendung eine generierte Animation als Datei zur Verfügung stellen, beispielsweise im FBX-Format. Dabei werden nur das Rig und die Bewegungsdaten ausgegeben, ohne das tatsächliche Mesh zu benötigen. In 3D-Software wie Blender können diese Daten dann manuell auf ein existierendes Modell übertragen werden. Andererseits kann das Modell auch von einer KI-Anwendung direkt geriggt und animiert werden, sodass sich eine komplette Datei mit Mesh und Bewegung ergibt.

6.3.1 GENERIERUNG VON ANIMATIONSDATEN

Die Anwendung *Saymotion* vom Betreiber Deepmotion [87] nutzt Textprompts, um Animationen zu generieren. Auch hier gibt es eine bestimmte Anzahl an Credits, die pro Aktion verbraucht werden und neue Credits können in Verbindung mit einem Abonnement erworben werden. Es besteht die Möglichkeit, ein bereitgestelltes Basismodell zu nutzen, man kann aber auch eigene Modelle hochladen. Diese müssen sich allerdings in einer T-Pose befinden und bereits über ein Rig mit benannten Bones verfügen. Für jeden Prompt werden zwei Varianten erstellt, zwischen denen man wählen kann (siehe Abb. 31). Die ausgesuchte Animation kann anschließend in FBX, GLB oder im Motion-Capture-Format BVH heruntergeladen werden. Diese Animation ist in 3D-Software als sich bewegendes Rig einsehbar (siehe Abb. 32). Sie kann mittels einiger Einstellungen auf ein eigenes, existierendes Modell mit gleicher Anzahl an Gliedmaßen und einem Rig übertragen werden.

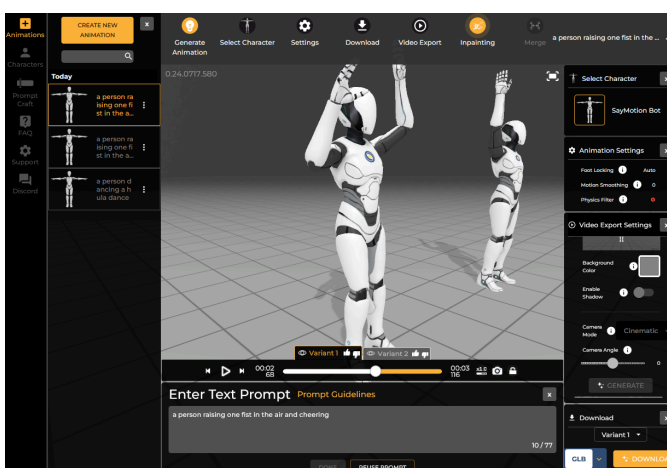


Abbildung 31: Ansicht von Saymotion mit zwei generierten Ergebnissen zum Prompt “a person raising one fist in in the air and cheering”

Quelle: Screenshot aus Saymotion

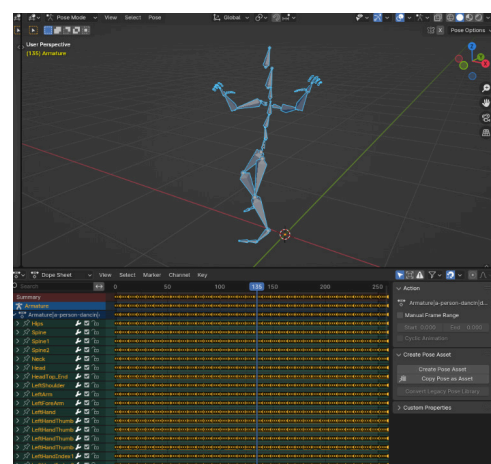


Abbildung 32: Von Saymotion generierte Animationsdaten mit Rig und Keyframes in Blender importiert

Quelle: Screenshot aus Blender

6.3.2 GENERIERUNG EINES ANIMIERTEN 3D-MODELLS

Das zuvor vorgestellte Tool *Charmed* verfügt ebenso über einen Animationsgenerator. Hier wird ein hochgeladenes Modell benötigt, welches dann von der Applikation geriggt wird und für das man dann aus einem bereitgestellten Katalog aus Animationen wählen kann. Dieser beinhaltet viele Bewegungsabläufe wie Drehen, Springen, Klettern, Ausweichen, Tanzen und viele mehr. Eigene Animationen können nicht generiert werden. Das zu animierende Modell muss im OBJ-Format hochgeladen werden und kann folglich kein bereits existierendes Rig besitzen. Nach einer kurzen Wartezeit von unter zwei Minuten kann das Ergebnis der Animationsgenerierung (siehe Abb. 33) betrachtet und als FBX- oder GLB-Format exportiert werden.

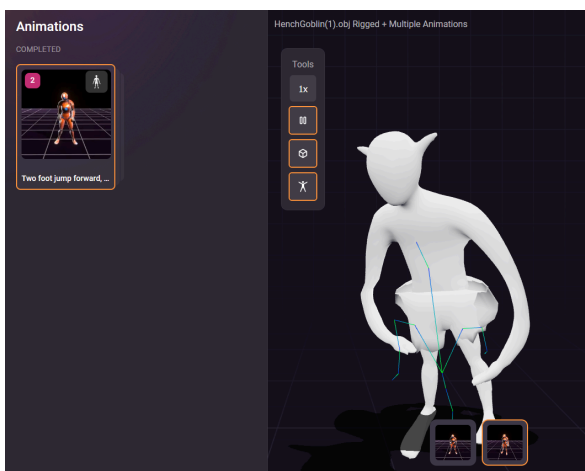


Abbildung 33: Von Charmed generiertes Ergebnis eines hochgeladenen Modells

Quelle: Screenshot aus Charmed

7 EVALUATION

Nach eingehender Betrachtung von verschiedenen angebotenen Lösungen ist zuerst deutlich, dass von Seiten der Betreiber ein Potenzial zur Wirtschaftlichkeit gesehen wird. Die meisten der zuvor präsentierten Anwendungen bieten eine Form von monatlicher Gebühr an, um der Kundschaft im Gegenzug weitere Features freizuschalten. Das Interesse der Unternehmen, diesen neuen Markt für sich zu gewinnen, ist also wahrnehmbar. Dafür erfordert es allerdings überzeugende Ergebnisse für ein anspruchsvolles Metier. Anhand der in Kapitel 5 aufgezeigten Kriterien werden die Applikationen nun einer Bewertung unterzogen sowie deren Anwendbarkeit in der beruflichen Realität erkundet. Es wird zudem ermittelt, für welche Teilbereiche des Workflows ein Einsatz denkbar wäre.

7.1 3D-GENERATOREN

Im ersten Eindruck sind einige der durch Texteingabe entstandenen Modelle relativ hochwertig ausgefallen. Ohne große Einstellungen haben sowohl *Luma AI Genie* als auch *Meshy* auf den ersten Blick durchaus brauchbare Ergebnisse generiert. Die Meshes weisen vorerst keine erkennbaren Löcher oder verwaisten Elemente auf und sind alle in einer animierbaren Pose. *Genie* und *Meshy* haben beide die Prompt-Eingabe zufriedenstellend interpretiert und die Körperproportionen denen einer Chibi-Figur angepasst. Bei *Masterpiece X* hat dies weniger funktioniert. Im Bezug auf das Kriterium Genauigkeit wurde weder die Eigenschaft Chibi, noch die eines Helms mit Hörnern angewandt. Hier erscheint *Masterpiece X* in seinen Kapazitäten limitiert. Auch im Punkt Originalität weisen *Genie* und *Meshy* mehr Möglichkeiten auf. Während beide klare Unterschiede in ihren Varianten aufzeigen, erscheinen die von *Masterpiece X* generierten Modelle sehr ähnlich, sowohl in Textur, als auch in Proportionen. Im Bezug auf Urheberrechte müssen bei vielen der hier besprochenen Anbieter jedoch rechtliche Fragen berücksichtigt werden. Oft ist die kommerzielle Nutzung des Modells nur unter Abschluss bestimmter Abonnements abgedeckt.

Die genauere Betrachtung der Modelldaten gibt mehr Aufschluss über das Kriterium der Qualität: Hier weist vor allem *Genie* ein gleichmäßiges Mesh mit Quads, einer geringen Polygonanzahl von knapp 10.000 und einem vorhandenen Edgeflow auf (siehe Abb. 34). Die Topologie bedarf zwar noch einiger Anpassungen und ist teilweise asymmetrisch, aber es gibt einen möglichen Ausgangspunkt. Anders sieht es bei *Masterpiece X* und *Meshy* aus. Die generierten Modelle weisen bei beiden Anbietern Löcher im Mesh auf und haben keine nutzbare Struktur in ihren Topologien. Zudem ist das Mesh von *Masterpiece X* auf Tris heruntergebrochen, was eine Weiterverarbeitung schwieriger macht (siehe Abb. 35). Gleichzeitig ist die Anzahl der Polygone mit über 40.000 zwar noch vertretbar, aber überflüssig hoch. Bei *Meshy* ist die Beschaffenheit des Meshes selbst für künftige Animationen durch verschmolzene Bereiche fehleranfällig (siehe Abb. 36). Die Polygonanzahl ist mit knapp über 10.000 eher in einem niedrigen Bereich.



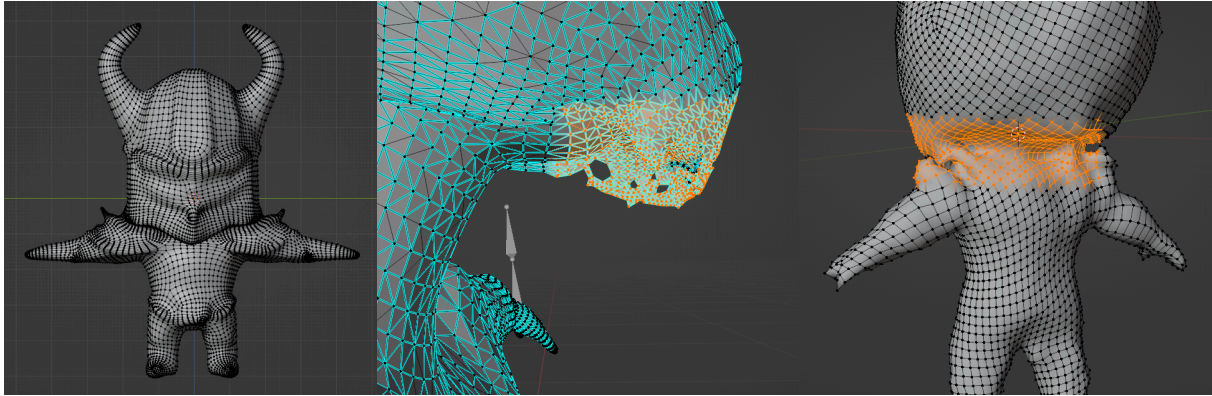


Abbildung 34, links: Sichtbares Mesh des von Luma AI Genie generierten Modells, erkennbare Asymmetrie und Unebenheiten, aber auch Anzeichen eines benutzbaren Edgeflows

Abbildung 35, Mitte: Unnötig kleinteiliges Mesh mit löchriger Topologie beim Modell von Masterpiece X

Abbildung 36, rechts: Unebenheiten und Verformungen mit Löchern im Mesh bei der von Meshy ausgegebenen Datei

Quellen: Screenshots aus Blender

Durch den Faktor Qualität beeinflusst, bedürfen die Modelle unterschiedlich intensiver Bearbeitung. Die größte Anpassungsfähigkeit weist hier, aufgrund seines etwas leichter zu bearbeitenden Meshes, noch das Modell von *Genie* auf. Einen Vorteil gegenüber den anderen Ergebnissen hat auch noch das Modell von *Masterpiece X* durch dessen beinhaltetes Rig.

Im Kriterium Anwendbarkeit erweisen sich alle drei Applikationen als einfach verständlich, schnell und unkompliziert. Sie bieten gängige Dateiformate an, welche von vielgenutzter 3D-Software importiert werden können. Besonders hervorzuheben sind hier die Bibliotheken von *Meshy* und *Masterpiece X*. Diese zeigen zuvor von anderen Nutzenden generierte Modelle an und geben freien Zugriff auf die Prompts, aus denen sie entstanden. Außerdem sind die 3D-Dateien dieser Modelle herunterladbar.



Abbildung 37: Das von Meshy durch Bild-zu-3D-Generation erstellte Modell. Auf der Brust ist eine erkennbare Einkerbung in der Textur
Quelle: Screenshot aus Blender

Im Hinblick auf die Anwendungen, welche die Generation von Bildern zu 3D-Modellen anbieten, ist allgemein natürlicherweise eine höhere Genauigkeit vorhanden. Eine präzisere Vorgabe lässt nur wenige Abweichungen zu. Sowohl *Meshy* als auch *Tripo AI* liefern hier relativ genaue Nachbauten der Vorgaben. Lediglich *Meshy* weist eine erkennbare Abweichung auf (siehe Abb. 37). Im Bezug auf das Kriterium Originalität gibt es hier keine gesonderten Anforderung an die generierten Varianten, da der Anspruch nicht Varianz, sondern vielmehr eine originalgetreue Wiedergabe ist.

Hervorzuheben ist im Bereich Qualität das bemerkenswert ordentliche Mesh von *Tripo AI*. Das Retopology-Feature speziell für Game Assets liefert eine überraschend saubere Topologie mit erkennbarem Edgeflow (siehe Abb. 38). Die Anzahl der Polygone ist mit knapp 3.000 sehr gering. Ein paar Stellen des Meshes sind zwar noch verbesserungswürdig, aber das Mesh bietet dank seiner guten Topologie einfache Bearbeitungsmöglichkeiten.

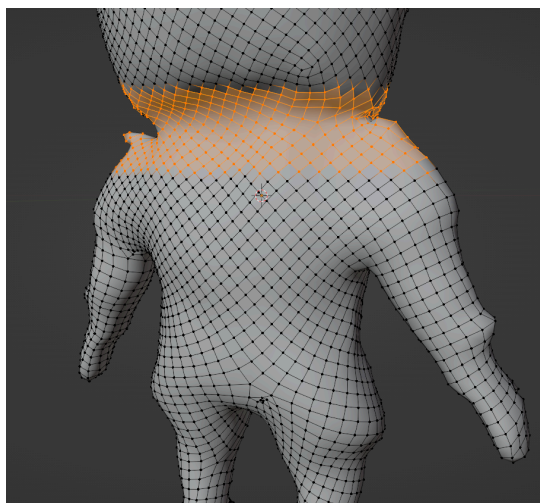


Abbildung 38, links: Sichtbares Mesh von *Tripo AI* mit Edgeflow

Abbildung 39, rechts: Von *Meshy* generiertes Ergebnis des Bild-zu-3D-Features mit unmäßigem Mesh

Quellen: Screenshots aus *Blender*

Erneut zeigt *Meshy* hier ein weniger verwendbares Ergebnis: Die Topologie zeigt zwar keine erkennbaren Tris oder N-Gons auf, jedoch ist das Mesh unstrukturiert und müsste einer kompletten Retopology unterzogen werden. Zudem sind Bereiche des Modells, wie z.B. die Schulterpartie, undefiniert und schlecht für die Animation geeignet (siehe Abb. 39). Die Ausprägung von einzelnen Details des Modells ist bei *Tripo AI* wiederum gut. Die Höhenunterschiede wurden hier teilweise genau übernommen und es sind sogar einzelne Platten der Rüstung abgegrenzt. Das Modell wäre in seinem ausgegebenen Zustand bereits animierbar.

Im Bezug auf Anwendbarkeit sind beide Tools wieder sehr einfach zu bedienen und bieten gängige Exportformate zur Weiterverwendung. Hier hat *Tripo AI* jedoch eine größere Auswahl mit Vorlagen für verschiedene Software.

Allgemein sind die vorgestellten Ergebnisse in ihrem jetzigen Zustand nicht ohne Komplikationen nutzbar. Ein denkbares Einsatzfeld wäre früh im Prozess zu Konzeptions- und Inspirationszwecken. Besonders die schnelle Generierung von verschiedenen Varianten kann so den Kreativprozess unterstützen. Auch könnten die Modelle als frühe Platzhalter in Game Engines eingebaut werden. Zuletzt wäre ein schnell generiertes Modell eine mögliche Basis für die weitere Verfeinerung durch Sculpting und könnte die Zeit für das Blocking verkürzen. Für Modelle im niedriger detaillierten Bereich der Mobile Games wären einige Anwendungen wie *Tripo AI* oder *Genie* bereits denkbar.

7.2 TEXTURGENERATOREN

Alle zuvor vorgestellten direkten 3D-Generatoren erstellen für ihre Modelle auch Texturen mit. Im Bezug auf den Punkt der Genauigkeit sind diese zumeist gut an die Prompt-Vorlage angepasst. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, werden 3D-Modelle aktuell häufig auf Grundlage von zuvor generierten Bildern erstellt. Diese Bilder können dann direkt als Textur genutzt werden und müssen nur von anderen Blickwinkeln weitergeführt werden. Jede Textur ist also speziell dem generierten Modell zugehörig. Ähnlich funktioniert auch die spezielle Texturgenerierung von *Meshy* oder *Charmed*, nur dass bereits ein Mesh vorgegeben ist. Die Genauigkeit der Promptinterpretationen ist bei diesen beiden Beispielen jedoch ungenügend. Bei *Meshy* werden chaotische Ergebnisse ausgegeben, die den ursprünglichen Prompt nur erahnen lassen. Die Einhaltung von vorgegebenen Farben ist nicht vorhanden und auch detailliertere Prompts ergeben keine Verbesserung. Der Faktor Originalität ist jedoch, soweit beurteilbar, vorhanden und alle generierten Ergebnisse von sowohl *Meshy* als auch *Charmed* sind klar unterschiedlich, auch bei erneuter Prompt-Benutzung.

Der Bereich Qualität weist im Bezug auf die KI-gesteuerte Texturgenerierung klar mangelhafte Resultate auf. Die Texturierung des Kopfes beinhaltet sowohl bei *Meshy* als auch bei *Charmed* mehrere Gesichter (siehe Abb. 40). Dies ist in Fachkreisen als Janus-Problem bekannt und hängt mit der Art zusammen, wie die Textur erstellt wird [88]. Dabei wird die Textur im Bezug zum Betrachtungswinkel auf das 3D-Modell generiert, weswegen sich Überlappungen bilden und keine flüssigen Übergänge entstehen (siehe Abb. 41). Dies erstreckt sich auch auf andere Teile des Modells: Bereiche die von anderen überdeckt werden, wie z.B. unter dem Kinn, sind oft mangelhaft texturiert. Diese Betrachtungswinkel werden oft nicht berücksichtigt und die resultierenden Texturierungsfehler finden sich in verschiedener Ausprägung auch in allen vorgestellten 3D-Generatoren wieder (siehe Abb. 42).



Abbildung 40, links: Die von Meshy generierte Textur mit vielen Fehlern und erkennbarem Janus-Problem
Quelle: Screenshot von Meshy

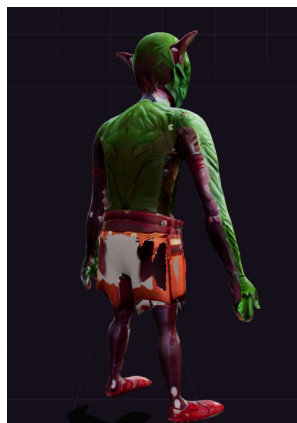


Abbildung 41, Mitte: Rückansicht der Textur von Charmed mit Löchern und Fehlern
Quelle: Screenshot von Charmed



Abbildung 42, rechts: Untersicht von einem Modell von Meshy, die Textur weist klare Fehler auf
Quelle: Screenshot von Meshy



Abbildung 43: Nahansicht des Modells von Genie, die Textur ist verwaschen und weist Bildartefakte auf

Quelle: Screenshot von Blender



Abbildung 44: Texture Map des Modells von Genie, die Nähte der UV Map sind willkürlich gesetzt

Quelle: Screenshot von Blender

Doch auch darüber hinaus sind die mitgegebenen Texturen der 3D-Generatoren nur auf den ersten Blick annehmbar. Bei genauer Betrachtung sind sie jedoch oft nicht hoch genug aufgelöst und verschwommen (siehe Abb. 43). Auch fehlt es an Tiefen in Ermangelung einer Normal Map.

Das Kriterium der Anpassungsfähigkeit hängt eng mit der beigelegten Texture Map des Modells zusammen. Anhand dieser ist die zugrundeliegende generierte UV-Map ersichtlich. In den hier vorgestellten Beispielen ist diese zumeist ohne zugrunde liegende Struktur. Aufgrund dessen ist eine weitere Bearbeitung komplizierter. Die Positionen der UV-Nähte (siehe Kapitel 4.2.5) sollte für detailreiche Texturen möglichst versteckt sein, damit Übergänge nicht auffallen. In den Ergebnissen der 3D-Generatoren kann dies jedoch nicht beeinflusst werden, weshalb die Texture Maps ungeordnet sind (siehe Abb. 44). Dies kann nur durch Verwerfen der generierten Textur und einer manuell geschaffenen, neuen UV-Map behoben werden.

Die Bewertung der Anwendbarkeit fällt weitestgehend positiv aus. Wiederum sind die Interfaces der Applikationen zur Texturgenerierung verständlich und leicht zu bedienen. Positiv ist zudem bei *Meshy* die Auswahlmöglichkeit eines präferierten Stiles, wie z.B. Cartoon, Anime oder Realismus. Ein weiteres hilfreiches Feature ist die gezielte Ausbesserung von Bereichen der Textur. Dies konnte einige wenige Fehler der Texturen beseitigen, jedoch nicht zu einer signifikanten Verbesserung führen.

Die Nutzung von Einzeltexturen bietet als Alternative zur Komplettgenerierung mehr Kontrolle. Zudem existiert mittlerweile eine Vielzahl an 2D-Bildgeneratoren, die für diese Zwecke genutzt werden können. Die Genauigkeit der vorgestellten Applikationen *ChatGPT* und *Canva* lieferte zufriedenstellende Ergebnisse. Jedoch konnte beim Testen anderer möglicher allgemeinerer Anwendungen festgestellt werden, dass nicht jeder Bildgenerator für Texturerstellung geeignet ist.

Versuche mit Adobe Express [89] beispielsweise erreichten keine als Texturen nutzbare Ergebnisse und erfüllten den Prompt nicht zufriedenstellend. Zudem wurde die Anfrage einer randlosen Textur nicht berücksichtigt. Die Verwendung von *Canva* brachte die besten Prompt-Ergebnisse mit gleichzeitiger Varianz und immer neuen, randlosen Ergebnissen. *ChatGPT* gab nur eine generierte Textur aus, ohne Alternativen anzubieten, erfüllte jedoch den Prompt annehmbar und ebenfalls randlos. Das speziell für Texturen angebotene Tool *Polycam* bietet erneut mit vier Alternativen mehr Varianz und ebenso originelle Ergebnisse. Zudem berücksichtigt es auch die erforderliche Randlosigkeit. Jedoch sind nicht alle Ergebnisse dem Prompt getreu erstellt (siehe Abb. 45). Im Punkt Qualität ermöglicht *Polycam* ebenso im Vergleich die besten Ergebnisse durch das herunterladbare Texturen-Paket für jede Variante. Durch integrierte Normalen-, Roughness- und Height-Textur kann eine glaubwürdiger erscheinende Modelloberfläche erreicht werden. Auf Anfrage ist auch *ChatGPT* in der Lage, zusätzliche Texturen zu generieren. Für von *Canva* erstellte Resultate müsste dies in einem zusätzlichen Schritt erfolgen.

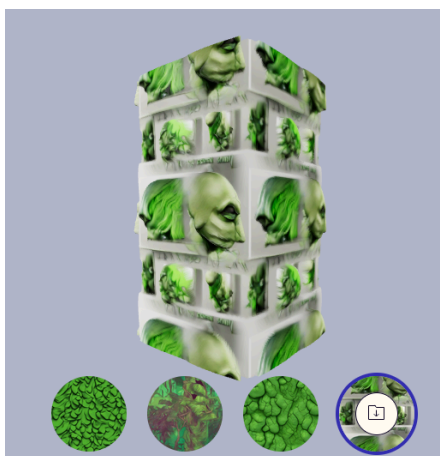


Abbildung 45: Texturvariante von *Polycam*, die die Textanfrage nicht erfüllt

Quelle: Screenshot von *Polycam*

Die Anpassungsfähigkeit ist bei der Vorgehensweise mit einzeln gewählten Texturen bereits weitreichender als bei der Generierung von einer Gesamttextur. Der Vorgang ist nicht von UV-Maps abhängig, weshalb die Textur beliebig ausgetauscht werden kann. Sollten weitere Verfeinerungen gewünscht sein, können in Programmen wie Blender einfach mittels digitaler Malerei zusätzliche Details eingezeichnet werden.

Die Anwendbarkeit der Bildgeneratoren zu Texturierungszwecken fällt ebenfalls gut aus. Besonders *Polycam* bietet jedoch mit der Ansicht eines dreidimensionalen Basismodells, auf dem die generierte Textur besser eingeschätzt werden kann, einen Mehrwert.

Im Workflow einer 3D-Charaktererstellung erscheint vornehmlich die Erzeugung von Texturen als einzelne Bilder reizvoll. Im Arbeitsschritt der Texturierung können mithilfe von GenAI so schneller geeignete Texturen gefunden werden. Die Gesamttexturierung eines Modells wirkt jedoch zu fehlerbehaftet und eher hinderlich, denn hilfreich im tatsächlichen Modellierungsprozess. Einzig in der Konzeptionsphase könnten bereits fertig texturierte Modelle als Inspirationen dienen.

7.3 ANIMATIONSGENERATOREN

Abschließend werden die beiden vorgestellten Generatoren für Animationen beleuchtet. Das beschriebene Tool *Saymotion* ermöglicht es, per Prompt zwei Varianten einer Animation zu generieren. Die Genauigkeit der erzeugten Ergebnisse war hierbei jedoch eher mittelmäßig und hat Teile des Prompts ignoriert oder nicht vollständig dargestellt. Das Animationsfeature von *Charmed* eröffnet keine Möglichkeit zur Promptformulierung und lässt lediglich aus vorgefertigten Animationen wählen. Die Originalität fällt hier also niedriger aus. Im Bezug auf Genauigkeit und Qualität ist bei *Charmed* allerdings eine eindeutige Unbenutzbarkeit zu verzeichnen. Auch nach mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Modellen wurde kein korrektes Rig generiert, weswegen die gewählte Animation falsch auf das Mesh übertragen wurde. Das Ergebnis ist eine vollkommene Verzerrung (siehe Abb. 46).

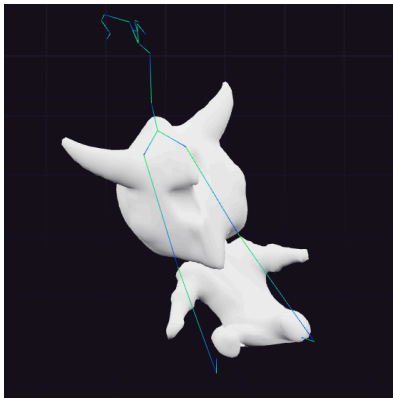


Abbildung 46: Falsch generiertes Rig und daraus resultierende unbrauchbare Animation
Quelle: Screenshot von *Charmed*

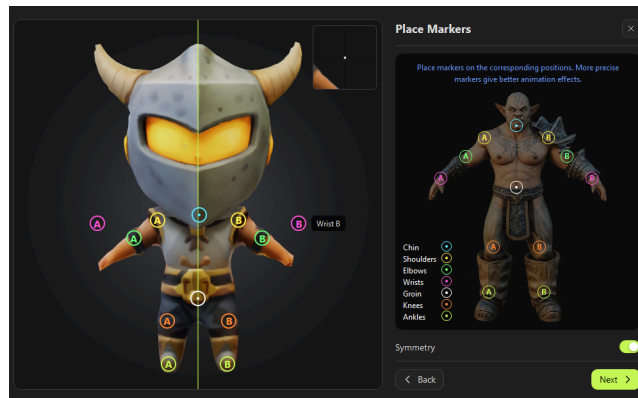


Abbildung 47: Animationsgenerierung von Meshy, für die Gelenke sollen Nutzende Marker platzieren
Quelle: Screenshot von Meshy

Bei *Saymotion* ist die Qualität der erzeugten Animationen in einem mittelmäßigen bis befriedigendem Bereich. Manche Bewegungen wirken unnatürlich oder unnötig, allgemein sind die Animationsdaten aber verwendbar. Im Gegensatz zu *Charmed* ist hier auch eine größere Anpassbarkeit zu vermerken, da alle weiteren Einstellungen in der 3D-Software selbst vorgenommen werden. Die Anwendbarkeit ist generell bei beiden Applikationen gut, wobei das Interface von *Saymotion* etwas komplexer ist.

Das Potenzial ist in diesem Feld klar bei der Nutzung von generierten Animationsdaten. Das Prinzip der manuellen Übertragung einer Animation auf ein existierendes Modell ist seit dem Aufkommen von Motion Capture bekannt und eröffnet viele Einstellungsmöglichkeiten, auch wenn dies mehr Eingreifen bedeutet. Die feste Verknüpfung eines Modells mit einer generierten Animation, ohne Einfluss auf das Rig zu haben, bietet hingegen einige Nachteile. Besser wäre eine Anwendung, die eine grobe Platzierung der wichtigen Gelenke ermöglicht, wie *Meshy* es anbietet (siehe Abb. 47).

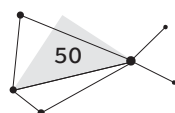
8 FAZIT UND AUSBLICK

Die schnelle Entwicklung des Feldes GenAI in den letzten Jahren hat den tatsächlichen Stand der Technik mitunter undeutlich werden lassen. Diese Arbeit hatte zum Ziel, mithilfe des beruflichen Betrachtungswinkels mehr Klarheit zu schaffen. Somit kann einerseits für beruflich Tätige ersichtlicher werden, welche alternativen Arbeitswege sich künftig erschließen. Andererseits kann mit der genauen Beleuchtung des praktischen Ablaufs gezielter auf Verbesserungsmöglichkeiten für die KI-Anwendungen hingewiesen werden. Der Weg zu einem animierten Charaktermodell wurde hierbei absichtlich wegen seiner Komplexität gewählt. Die Generierung qualitativ hochwertiger 3D-Modelle ist eine vielschichtige Aufgabe, bei der Punkte wie die geringe Menge an nutzbaren Trainingsdaten erschwerend wirkt. Weiterhin besteht die Herausforderung, saubere Topologien zu erzeugen, die mit menschengemachten Modellen mithalten können. Die Evaluation ergab, dass zwar bereits Anwendungen mit verschiedenen Schwerpunkten existieren, diese aber zumeist keine Resultate liefern, welche für Spiele bereit sind. Oft sind die Probleme fehlerhafte Meshes und Texturen. Mehr Kontrollmöglichkeiten über diese Aspekte während des Generierungsprozesses könnten Verbesserungen bringen. Die Steigerung der Qualität ist aber in jedem Fall eine der kommenden Hauptaufgaben für 3D-Generatoren. Dazu fehlt es allerdings noch an festgelegten Ground Truths (aus d. Engl. "Grundwahrheiten"), anhand deren der Zustand der generierten 3D-Modelle gemessen werden kann.

Dennoch könnten aktuelle Applikationen nützlich sein: Für Computerspiele werden häufig verschiedene Varianten von Objekten zur glaubwürdigen Befüllung der Level benötigt. Dies erstreckt sich über unterschiedliche Steine und Pflanzen bis hin zu Gegenständen wie Kisten, Flaschen, Möbeln oder ganzen Häuserfronten. Solche Props (aus d. Engl. "Requisiten") benötigen keine Animationen und daher weniger Genauigkeit in ihrer Topologie. Zudem würden Generatoren die Erstellung von vielfältigen Gegenständen beschleunigen.

Statt den gesamten Workflow für Charaktermodellierung auf einmal abdecken zu wollen, könnte auch die intensivere Spezialisierung auf Teilschritte erstrebenswert sein. Der Bereich Retopology ist beispielsweise eine zeitraubende und umständliche Tätigkeit, welche von einer größeren Effizienz unterstützt durch KI stark profitieren würde. Ebenso wäre das Rigging ein Schritt, der durch Automatisierung an Effizienz dazu gewinnen würde. Die Aufspaltung in kleinere Arbeitsbereiche lässt des Weiteren mehr Kontrolle durch menschliche Aktionen zu.

Zwar ist der Punkt, an dem KI-Anwendungen nahezu oder genau so gute 3D-Modelle erzeugen wie Menschen, noch nicht erreicht, doch der Workflow wird sehr wahrscheinlich durch zukünftige Verbesserungen Änderungen erleben. Es bleibt abzuwarten, wie diese aussehen werden.



LITERATURVERZEICHNIS

- [1] N. Maslej u.a, "The AI Index 2023 Annual Report," AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, USA, April 2023. Aufgerufen 30.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2023/04/HAI_AI-Index-Report_2023.pdf
- [2] Bergur Thormundsson, „AI market size worldwide from 2020-2030 (in billion U.S. dollars)“, Statista, 20. Juni 2024. Aufgerufen 2.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.statista.com/statistics/941835/artificial-intelligence-market-size-revenue-comparisons/>
- [3] Next Move Strategy Consulting, „Artificial Intelligence (AI) Market by Component, Deployment, Application, and End User Industry - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2024-2030“, Next Move Strategy Consulting. Aufgerufen: 30.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.nextmsc.com/report/artificial-intelligence-market>
- [4] Grandview Research, „Artificial Intelligence Market Size, share & Trends Analysis Report by solution, by technology (Deep Learning, Machine Learning, NLP, Machine Vision, Generative AI), by function, by end-use, by region, and segment Forecasts, 2024 - 2030“, Grandview Research. Aufgerufen: 30.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market>
- [5] Markets and Markets, „Artificial Intelligence (AI) Market by Offering, Technology, Business Function, Vertical and Region - Global Forecast to 2030“, Markets and Markets. Aufgerufen: 2.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/artificial-intelligence-market-74851580.html>
- [6] Precedence Research, „Artificial Intelligence (AI) Market Size, Share, and Trends 2024 to 2034“, Precedence Research, Okt. 2023. Aufgerufen: 2.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-market>
- [7] Dr. Anand S. Rao, Gerard Verweij, „Sizing the prize - What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?“, PwC, 2017. Aufgerufen: 3.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
- [8] N. Mittal, I. Saif, B. Ammanath, „Fueling the AI transformation: Four key actions powering widespread value from AI, right now.“, Deloitte United States, Okt. 2022. Aufgerufen: 1.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/deloitte-analytics/us-ai-institute-state-of-ai-fifth-edition.pdf>
- [9] B. F. Walsh, „Scientists excited by AI tool that grades severity of rare cancer“, BBC.com, 1. Nov. 2023. Aufgerufen: 6.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbc.com/news/health-67264350>
- [10] L. Pantanowitz u. a., „An artificial intelligence algorithm for prostate cancer diagnosis in whole slide images of core needle biopsies: a blinded clinical validation and deployment study“, The Lancet. Digital Health, Bd. 2, Nr. 8, S. e407–e416, Aug. 2020. Aufgerufen: 3.7.2024. doi: 10.1016/s2589-7500(20)30159-x. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500\(20\)30159-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500(20)30159-X/fulltext)

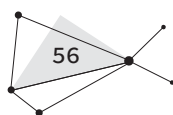
- [11] C.-F. Chien, S. Dauzère-Pérès, W. T. Huh, Y. J. Jang und J. R. Morrison, „Artificial intelligence in manufacturing and logistics systems: algorithms, applications, and case studies“, *International Journal Of Production Research*, Bd. 58, Nr. 9, S. 2730–2731, Apr. 2020. Aufgerufen: 3.7.2024. doi: 10.1080/00207543.2020.1752488. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00207543.2020.1752488?needAccess=true>
- [12] K. Hu, „ChatGPT sets record for fastest-growing user base - analyst note“, Reuters.com, 2. Feb. 2023. Aufgerufen: 3.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01/>
- [13] Ipsos, „Global Views on AI 2023“, Ipsos, Juli 2023. Aufgerufen: 4.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2023-07/ipsos%20Global%20AI%202023%20Report-WEB_0.pdf
- [14] B. Brittain, „US newspapers sue OpenAI for copyright infringement over AI training“, Reuters.com, 1. Mai 2024. Aufgerufen: 5.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/legal/us-newspapers-sue-openai-copyright-infringement-over-ai-training-2024-04-30/>
- [15] B. Brittain, „Stability AI, Midjourney should face artists' copyright case, judge says“, Reuters.com, 8. Mai 2024. Aufgerufen: 5.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/legal/litigation/stability-ai-midjourney-should-face-artists-copyright-case-judge-says-2024-05-08/>
- [16] Goldmedia, „KI und bildende Kunst: Studie zu Chancen und Risiken“, Goldmedia, Juni 2024. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kunstfonds.de/fileadmin/user_upload/Kunstfonds/Abbildungen/Publikationen/Studien/KI24/KF_Studie_KI_und_Bildende_Kunst.pdf
- [17] Engine Creative, „We Asked 113 Creatives Their Opinion on the Impact of AI in the Creative Industry: Here Are the Results“, Engine Creative, März 2023. Aufgerufen: 30.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.enginecreative.co.uk/blog/artificial-intelligence-in-the-creative-industry/>
- [18] L. Perri, „Was gibt es Neues im Gartner Hype Cycle 2023 für neue Technologien?“, Gartner, 23. Aug. 2023. Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gartner.de/de/artikel/was-ist-neu-im-2023-gartner-hype-cycle-fuer-neue-technologien>
- [19] A. Jaffri, H. Khandabattu, „Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2024“, Gartner, 17. Juni 2024. Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/documents/5505695>
- [20] IBM, „What is Artificial Intelligence (AI)?“, IBM.com. Aufgerufen: 11.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- [21] L. Menabrea, A. Lovelace, „Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage, Esq.“, in *Scientific Memoirs*, Bd. 3, London, Vereinigtes Königreich: Taylor and Francis, 1843, S. 666–731. [Online]. Verfügbar unter: <https://repository.ou.edu/uuid/6235e086-c11a-56f6-b50d-1b1f5aaa3f5e#page/1/mode/2up>
- [22] *Information technology – Artificial intelligence – Artificial intelligence concepts and terminology*, ISO/IEC 22989, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:22989:ed-1:v1:en>

- [23] Interaction Design Foundation, "What is Narrow AI?" Interaction Design Foundation. Aufgerufen: 12.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/narrow-ai>
- [24] J. R. Searle, "Minds, brains, and programs", Behavioral And Brain Sciences, Bd. 3, Nr. 3, S. 417-424, Sep. 1980. [Online]. Verfügbar unter: <https://home.csulb.edu/~cwallis/382/readings/482/searle.minds.brains.programs.bbs.1980.pdf>
- [25] S. Russell und P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach: Global Edition". 4. Aufl. Pearson, 2021.
- [26] P. Stone u. a., "Artificial intelligence and life in 2030: the one hundred year study on artificial intelligence", 2016. Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ai100.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj18871/files/media/file/ai100report10032016fnl_singles.pdf
- [27] Z. A. A. Styczynski, Einführung in Expertensysteme: Grundlagen, Anwendungen und Beispiele aus der elektrischen Energieversorgung, 1. Aufl. Springer Vieweg, 2017.
- [28] P. McCorduck, "Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence". A K Peters, Ltd., 2004.
- [29] ISO. „Machine learning: Everything you need to know“, ISO. Aufgerufen: 12.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/artificial-intelligence/machine-learning>
- [30] G. E. Moore, „Progress in digital integrated electronics“, International Electron Devices Meeting, Bd. 21, S. 11–13, Jan. 1975. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eng.auburn.edu/~agrawvd/COURSE/E7770_Spr07/READ/Gordon_Moore_1975_Speech.pdf
- [31] ISO. „Deep learning: The mechanics of magic“, ISO. Aufgerufen: 13.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/artificial-intelligence/deep-learning>
- [32] IBM, „What is deep learning?“. IBM.com. Aufgerufen: 13.07.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/topics/deep-learning>
- [33] IBM, „What is machine learning (ML)?“. IBM.com. Aufgerufen: 13.07.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>
- [34] C. D. Manning, „Human Language Understanding & Reasoning“, Daedalus, Bd. 151, Nr. 2, S. 127–138, Jan. 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.amacad.org/sites/default/files/publication/downloads/Daedalus_Sp22_09_Manning.pdf
- [35] K. Martineau, „What is generative AI?“. IBM Research, 20. Apr. 2023. Aufgerufen: 13.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://research.ibm.com/blog/what-is-generative-ai>
- [36] Yihan Cao, Siyu Li, Yixin Liu, Zhiling Yan, Yutong Dai, Philip S. Yu, and Lichao Sun, "A Comprehensive Survey of AI-Generated Content (AIGC): A History of Generative AI from GAN to ChatGPT". Arxiv.org, 7. März 2023. Aufgerufen: 16.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.04226>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2303.04226>
- [37] D. P. Kingma, M. Welling, „Auto-Encoding Variational Bayes“. Arxiv.org, 10. Dez. 2013. Aufgerufen: 16.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.6114>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/1312.6114>
- [38] IBM, „What is Generative AI? “. IBM.com. Aufgerufen: 17.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/topics/generative-ai>

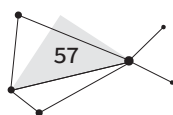
- [39] I. J. Goodfellow u. a., „Generative Adversarial Networks“. Arxiv.org, 10. Juni 2014. Aufgerufen: 16.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/1406.2661>
- [40] A. Vaswani u. a., „Attention is All you Need“. ArXiv.org, 12. Juni 2017. Aufgerufen: 16.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/1706.03762>
- [41] C. Li u. a., „Generative AI meets 3D: A Survey on Text-to-3D in AIGC Era“. ArXiv.org, 10. Mai 2023. Aufgerufen: 22.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.06131>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2305.06131>
- [42] S. Bai und J. Li, „Progress and Prospects in 3D Generative AI: A Technical Overview including 3D human“. ArXiv.org, 5. Jan. 2024. Aufgerufen: 22.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.02620>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2401.02620>
- [43] J. Ho, A. Jain und P. Abbeel, „Denoising diffusion probabilistic models“. ArXiv.org, 19. Juni 2020. Aufgerufen: 22.6.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.11239>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2006.11239>
- [44] B. Mildenhall, P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T. Barron, R. Ramamoorthi und R. Ng, „NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis“. ArXiv.org, 19. März 2020. Aufgerufen: 22.7.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.08934>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2003.08934>
- [45] C. Baker, „No Man’s Sky: How Games Are Building Themselves“. Rolling Stone, 9. Aug. 2016. Aufgerufen: 23.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.rollingstone.com/culture/culture-news/no-mans-sky-how-games-are-building-themselves-104779/>
- [46] R. Kuo, „Why Borderlands 2 Has the Most Stylish Guns in Gaming“, The Wall Street Journal, 19. Apr. 2012. Aufgerufen: 23.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wsj.com/articles/BL-SEB-69805>
- [47] F. Spufford, „Masters of their universe“, The Guardian, 20. Okt. 2003. Aufgerufen: 23.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/books/2003/oct/18/features.weekend>
- [48] Siemens, „3D modeling“. Siemens. Aufgerufen: 23.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/3d-modeling/>
- [49] D. Thilakanathan, „3D Modeling For Beginners: Learn everything you need to know about 3D Modeling!“. D. Thilakanathan, März 2016.
- [50] Autodesk, „Was ist 3D-Modellierung?“. Autodesk. Aufgerufen: 29.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.autodesk.com/de/solutions/3d-modeling-software>
- [51] Dragonfly, „Question: Why do Game Engines use triangles?“. Dragonfly. Aufgerufen: 30.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dragonflydb.io/faq/why-game-engines-use-triangles>
- [52] M. Zikei, „Quads versus Tris in 3D Modeling: Differences and similarities“. SelfCAD, 8. Juni 2023. Aufgerufen: 30.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.selfcad.com/blog/quads-versus-tris-in-3d-modeling-differences-and-similarities>
- [53] A. Chopine, „3D Art Essentials: The Fundamentals of 3D Modeling, Texturing, and Animation“. Taylor & Francis Ltd., 27. Juli 2017.



- [54] Frozenbyte, „3D Asset Workflow“. Frozenbyte. Aufgerufen: 31.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://wiki.frozenbyte.com/index.php/3D_Asset_Workflow
- [55] iLogos, „3D Character Modeling: Complete Guide to 3D Character Design“. iLogos. Aufgerufen: 31.7.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://ilogos.biz/3d-character-modeling-complete-guide-to-3d-character-design/>
- [56] O. Baechler, X. Greer, „Blender 3D By Example“. 2. Aufl. Packt Publishing, 29. März 2020.
- [57] Kusumo, „SG CYBERPUNK FEMALE cartoon“. Turbosquid.com, 8. Aug. 2022. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.turbosquid.com/3d-models/sg-cyberpunk-female-cartoon-1939592>
- [58] Netflix, „Cyberpunk: Edgerunners“. Netflix, 2022. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.netflix.com/de/title/81054853>
- [59] Seb3dmodellig, „Ich werde realistische Modelle erstellen und sie in die Unreal Engine importieren“. Fiverr.com. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.fiverr.com/seb3dmodellig/create-3d-models-based-on-what-you-ask-of-me>
- [60] Verm_9, „Not your baby Cyberpunk“. Sketchfab.com, 24. Mai 2021. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://sketchfab.com/3d-models/not-your-baby-cyberpunk-d242f08a7c394b8691baad683e5c2b0d>
- [61] Ready Player Me, „Readyplayerme Cyberpunk“. Sketchfab.com, 4. Dez. 2020. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://sketchfab.com/3d-models/readyplayerme-cyberpunk-b2d04d66114043efa759e204fe615580>
- [62] Ready Player Me, „Cyberpunk female full-bosy character“. Sketchfab.com, 16. Feb. 2021. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://sketchfab.com/3d-models/cyberpunk-female-full-body-character-25db1f1e45f948ec9a74b30356766908>
- [63] D. Bariakova, „Hydra: From Concept to 3D Character“. 80.lv, 27. Feb. 2020. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://80.lv/articles/hydra-from-concept-to-3d-character>
- [64] Boris3Dstudio Remix, „Cyberpunk Girl“. Stl24.com. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://stl24.com/en/catalogue/figurines-simple/STKPR_0312.html
- [65] Wolfesstudio, „Cyberpunk Character - Tattooed Woman PBR - PROMOTION VR / AR / low-poly 3d model“. Cgtrader.com, 11. Aug. 2020. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cgtrader.com/3d-models/character/woman/cyberpunk-tattooed-woman-pbr-unreal-engine-4>
- [66] Owsam3d, „Midpoly Cyberpunk Female Character“. Turbosquid.com, 31. Juli 2023. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-midpoly-cyberpunk-female-character-2104387>
- [67] L. Vet, „Girl Cyberpunk“. Epicgames.com, 6. Juli 2022. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://marketplace-website-node-launcher-prod.ol.epicgames.com/ue/marketplace/en-US/product/girl-cyberpunk>
- [68] Artlix Studio, „Customizable 3D Cyberpunk Characters Vol 2“. Epicgames.com, 1. Feb. 2024. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://marketplace-website-node-launcher-prod.ol.epicgames.com/ue/marketplace/en-US/product/customizable-3d-cyberpunk-characters-vol-2>
- [69] VirtuosoWJ, „V Cyberpunk - My first stylized 3D character :)“. Reddit.com, 16. Jan. 2021. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reddit.com/r/ZBrush/comments/kyqmx1/v_cyberpunk_my_first_stylized_3d_character/



- [70] Retrostylegames.com, „Cyberpunk Skater Girl & Props | 3D Model & Futuristic Game Environment“. Retrostylegames.com. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://retrostylegames.com/portfolio/cyberpunk-skater-girl/>
- [71] 12345sa945, „Cyberpunk-style character builder“. 3DExport.com. Aufgerufen: 24.6.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.3dexport.com/3dmodel-cyberpunk-style-character-builder-434249.htm>
- [72] S, Schlechter, „Essential Guide to 3D File Formats“. 3D Cloud, 5. Mai 2020. Aufgerufen: 1.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://3dcloud.com/3d-file-formats/>
- [73] C. Zhang u.a., „A Complete Survey on Generative AI (AIGC): Is ChatGPT from GPT-4 to GPT-5 all you need?“. Arxiv.org, 21. März 2023. Aufgerufen: 2.8.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.11717>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2303.11717>
- [74] C. Li u.a., „Generative AI meets 3D: A Survey on Text-to-3D in AIGC Era“. Arxiv.org, 10. Mai 2023. Aufgerufen: 2.8.2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.06131>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2305.06131>
- [75] Urheberrechtsgesetz, §106, Abs. 1
- [76] D. Luebke u.a. „Level of Detail for 3D Graphics“. Morgan Kaufmann, 31. Juli 2002. [Online]. Verfügbar unter: <https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Game%20Development/Designing/Level%20of%20Detail%20for%203D%20Graphics.pdf>
- [77] 3D Ace, „Does Polygon Count matter in 3D Modeling for Game Assets?“. 3D Ace, 3. Jan. 2024. Aufgerufen: 3.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://3d-ace.com/blog/polygon-count-in-3d-modeling-for-game-assets/>
- [78] P. Rao, „50 Years of Video Game Industry Revenues, by Platform“. Visualcapitalist.com, 31. Dez. 2023. Aufgerufen: 4.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.visualcapitalist.com/video-game-industry-revenues-by-platform/>
- [79] Luma AI. Genie. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://lumalabs.ai/genie>
- [80] Masterpiece. Masterpiece X. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.masterpiecex.com>
- [81] Meshy LLC. Meshy. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.meshy.ai>
- [82] Tripo. Tripo AI. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tripo3d.ai/>
- [83] Open AI. ChatGPT. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://chatgpt.com>
- [84] Canva Inc. Canva. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.canva.com/>
- [85] Polycam. Ai Texture Generator. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://poly.cam/tools/ai-texture-generator>
- [86] Charmed AI, Inc. Charmed. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://charmed.ai/>
- [87] Deepmotion. Saymotion. (2024). Aufgerufen: 7.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://saymotion.deepmotion.com>
- [88] M. Armandpour u.a., „Re-imagine the Negative Prompt Algorithm: Transform 2D Diffusion into 3D, alleviate Janus problem and Beyond“. Arxiv.org, 11. Apr. 2023. Aufgerufen 6.8.2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.04968>. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2304.04968>
- [89] Adobe Inc. Adobe Express. (2024). Aufgerufen 6.8.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://new.express.adobe.com/text-to-image>



EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

KI als 3D Artist - Nutzbarkeitsanalyse von künstlicher Intelligenz im 3D-Design-Prozess

selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

13.8.2024

Datum



Unterschrift

