

Pre-Print-Veröffentlichung zum Sammelband

Anne Burkhardt, Susanne Marschall, Olaf Kramer (Hg.)

Artificial Turn

Interdisziplinäre Perspektiven auf Künstliche
Intelligenz

Dieser Band erscheint 2024 unter dem Label wbg Academic im Verlag Herder mit der Lizenz
CC BY-ND als Open-Access-Publikation.

Die Verwendung dieser Pre-Print-Auskopplung unterliegt ebenfalls dieser Lizenz.

wbg Academic ist ein Imprint der Verlag Herder GmbH.

Besuchen Sie uns im Internet: <https://www.herder.de/wissen/>

wbgAcademic

Deep Blue, Shodan und schimpfende Chatbots: Beziehungen zwischen Spiel und Künstlicher Intelligenz

Claudius Stemmler

„We may hope that machines will eventually compete with men in all purely intellectual fields. But which are the best ones to start with? Even this is a difficult decision. Many people think that a very abstract activity, like the playing of chess, would be best.“ (Turing 1950, S. 460)

Wie das vorangestellte Zitat von Alan Turing zeigt, gab es bereits Mitte des 20. Jahrhunderts Überlegungen, Spiele für die Entwicklung sogenannter Künstlicher Intelligenz¹ zu verwenden. Zur selben Zeit mutmaßte auch Turings Kollege Claude Shannon in seinem Aufsatz „Programming a Computer for Playing Chess“ (1988 [1950]), dass die titelgebende Aufgabe zwar keinen praktischen Nutzen habe, aber dennoch Ansätze zur Lösung verschiedener theoretischer Probleme aufzeigen könne (ibid., 2). Seitdem haben sich eine Vielzahl von Computerwissenschaftler:innen damit beschäftigt,

¹ Der Begriff ‚Künstliche Intelligenz‘ wirft unweigerlich die Frage auf, wie Intelligenz zu definieren ist und ob Maschinen überhaupt intelligent sein können (vgl. Churchland/Churchland 1990). Dies ist eine komplexe Diskussion für sich, hier soll nur erwähnt werden, dass einige der genannten Beispiele in ihrer Primitivität heute kaum noch als Künstliche Intelligenz wahrgenommen werden, auch wenn sie von zeitgenössischen Beobachtern durchaus so wahrgenommen worden sein mögen.

Computer dazu zu befähigen, diverse Spiele zu beherrschen. Ein roter Faden, der sich dabei von den Anfängen bis in die Gegenwart zieht, ist die Erwartung einer erweiterten Anwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse. So ist die Forschung zu Spielen und Künstlicher Intelligenz eine hochseriöse Angelegenheit, die gleichzeitig dank der Alltäglichkeit des Spielens einige der öffentlichkeitswirksamsten Momente in der populären Wahrnehmung Künstlicher Intelligenz hervorgebracht hat. Dies ist aber nicht der einzige Berührungspunkt zwischen Künstlicher Intelligenz und Spielen. Während erstere inhärent mit Computertechnologie verbunden ist, hauchten Computer auch letzteren neues Leben ein, und aus der Verbindung von Computer und Spiel entstand das Medium des Videospiele. Künstliche Intelligenz bzw. die computergesteuerte Suggestion und Illusion von Intelligenz findet sich in diesen Spielen in vielfältiger Form wieder.

Im vorliegenden Beitrag werden grundlegende Aspekte der Beziehung zwischen Künstlicher Intelligenz und dem Medium Spiel dargestellt. Zu Beginn steht hierbei eine grundsätzliche Erörterung des Spielbegriffs. Unter Rückgriff auf die akademischen Game Studies wird verdeutlicht, warum gerade das Spiel ein fruchtbarer Nährboden für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz ist. Darauf aufbauend wird die historische Beziehung zwischen traditionellen, d. h. nicht nativ digitalen Spielen, und der Entwicklung Künstlicher Intelligenz betrachtet. Daran schließt sich ein Überblick über die Rollen an, in denen Künstliche Intelligenz in nativ digitalen Spielen auftritt. Abschließend folgt ein Blick über das Spiel als Medium hinaus auf die Art und Weise, wie Menschen der Aktivität des freien Spielens im Umgang mit Künstlicher Intelligenz nachgehen. Das Fazit fasst die Befunde zusammen und versucht einen Ausblick auf die Zukunft dieser Beziehung.

Ausgeklammert wird in diesem Beitrag der Aspekt der KI-gestützten Herstellung von nicht-spielspezifischen künstlerischen Elementen wie Musik oder Grafiken. Zwar ist davon auszugehen, dass diese Herstellungsformen einen großen Einfluss auf die Spieleentwicklung haben werden, sie sind jedoch Teil einer umfassenderen Revolution kreativer Arbeit. Da sie nicht spielspezifisch sind, erscheint es sinnvoll, diesen Aspekt, der vielerorts in einem breiteren Kontext betrachtet wird (Shaffi 2023), auszuklammern.

Was sind Spiele?

Trotz ihrer kulturübergreifenden und alltäglichen Natur fristeten Spiele im Rahmen akademischer Betrachtungen lange Zeit ein stiefmütterliches Dasein. Symptomatisch hierfür ist, dass eine der bekanntesten Erörterungen des Spiels im Werk Ludwig Wittgensteins, im Rahmen der Erläuterung seines Konzepts der Familienähnlichkeit, dem Spiel gewissermaßen die Definierbarkeit abspricht (Egenfeldt-Nielsen/Smith/Tosca 2016, 33). Vergleichbar ist auch der Fall des Mathematikers John von Neumann, dessen Auseinandersetzung mit dem Spiel primär durch ein Interesse an der generellen Entscheidungsfindung des *homo oeconomicus* motiviert war (1928, 295). Gleichwohl versucht sein Text „Zur Theorie der Gesellschaftsspiele“ (1928), ein Grundstein der mathematisch-ökonomischen Spieltheorie, eine Definition des Spiels einschließlich seiner mathematischen Interpretation zu geben. Knapp zehn Jahre später befasst sich der Anthropologe Johann Huizinga in seinem Werk *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel* (1956 [1938]) mit dem Spielen als kulturelle Aktivität. Daran knüpfte der Soziologe Roger Caillois in den 1960er Jahren an (Salen/Zimmermann 2004, 75f). Beide Autoren identifizieren dabei spielerische Betätigung in gesellschaftlichen Prozessen jenseits dessen, was gemeinhin als Spiel gilt, wie bestimmte Sportarten oder Brett-, Karten- und Würfelspiele. Gemeinsam ist diesen frühen wissenschaftlichen Betrachtungen von Spiel und der Aktivität des Spielens, dass beide nicht um ihrer selbst willen betrachtet werden, sondern um einen anderen Sachverhalt zu erörtern.

Unter Rückgriff auf diese und andere Einzelwerke initiierten die akademischen Game Studies eine systematischere theoretische Auseinandersetzung mit dem Spiel und der Aktivität des Spielens. Motiviert davon, das Profil der eigenen Disziplin zu schärfen, versuchten sich verschiedene Autor:innen an Definitionen ihres Forschungsgegenstands. In *Rules of Play: Game Design Fundamentals* (2004) definierten Katie Salen und Eric Zimmerman Spiele als Systeme, innerhalb derer Spieler:innen in einen artifiziellen regelbasierten Konflikt treten, der quantifizierbare Resultate liefert (ibid., 80). In der Betonung von systematischer, regelbasierter Natur und quantifizierbaren Resultaten lassen sich dabei Anknüpfungspunkte zur Entwicklung

Künstlicher Intelligenz erkennen. Insbesondere bei Spielen wie Schach und Go, die zudem noch in Züge unterteilt sind, lässt sich deren regelbasierte Natur leicht als in eine für Computer verständliche Form kodifiziert vorstellen.² Darüber hinaus ermöglicht das Vorhandensein quantifizierbarer Resultate eine Bewertung der Denkleistung des Computers, ein Aspekt, der bei vielen als intellektuell anspruchsvoll geltenden Aktivitäten nicht gegeben ist. In ihrer Gesamtheit weisen die für das Spiel nach Salen und Zimmermanns konstitutiven Regeln und quantifizierbare Resultate auf das Potenzial von Spielen für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz hin.

Ein zentraler Begriff in den Überlegungen von Salen und Zimmermann ist *play* (ibid., 72). Im Englischen beschreibt der Begriff sowohl die Teilnahme an einem Spiel als auch die häufig mit Kindern assoziierte Aktivität des freien Spielens.³ Die Autor:innen bemerken die komplexe Beziehung zwischen *play* und *game*, wobei beide je nach Kontext dem jeweils anderen Begriff über- oder untergeordnet sein können (ibid., 72). Als übergeordneter Begriff ist das freie Spielen eine eigenständige Aktivität, aus deren Formalisierung und Reglementierung ein Spiel entsteht (ibid., 72). Beispielsweise kann ein Kind, das einen Ball gegen eine Wand wirft, diese spielerische Aktivität zu einem Spiel machen, indem es ein Punktesystem und Regeln für das Werfen des Balls einführt. Untergeordnet ist das Spielen eine Aktivität, die innerhalb des Regelwerks eines Spiels dessen Möglichkeiten auslotet (ibid., 72f). So können die Spieler:innen des eben genannten Beispiels im freien Spiel erforschen, welche Möglichkeiten sich im Rahmen der eingeführten Regeln als erfolgreich erweisen. Salen und Zimmermanns definieren *play* als freie Bewegung innerhalb einer rigiden Struktur (ibid., 304). Im Umgang mit Künstlicher Intelligenz und Anwendungssoftware kann *play* daher in gewisser

2 Zusätzlich haben diese Spiele, im Kontrast zu vielen Sportarten, außerhalb von Wettkampfbedingungen praktisch keine Notwendigkeit der situativen Regelauslegung.

3 Der Unterschied zwischen *play* und seinem deutschen Pendant liegt nicht in der Bedeutung, sondern darin, dass im Deutschen der gemeinsame Wortstamm des Verbs ‚spielen‘ und des Nomens ‚Spiel‘ eine Abgrenzung der Bedeutungen erschwert. Im Gegensatz dazu wird im Englischen beispielsweise sowohl das Spiel eines Lenkrades als auch ein Wortspiel als *play* bezeichnet. Damit wird bereits auf sprachlicher Ebene ersichtlich, dass es sich nicht um Spiele im Sinne von Schach handelt.

Weise als Gegenstück zum *hacking* gesehen werden: Während letzteres einen tieferen Eingriff und die Zweckentfremdung systematischer Strukturen beinhaltet, ist das freie Spiel das Ausloten von Möglichkeiten innerhalb eines gegebenen Rahmens. Da Spiele wie andere systematische Strukturen oft eine Komplexität entwickeln, die selbst für ihre Schöpfer:innen unüberschaubar ist, kann das freie Spiel potenziell unerwartete Effekte veranschaulichen, die auch innerhalb des systemkonformen Umgangs mit einem Objekt auftreten können.

Neben diesen grundlegenden Begriffen gibt es spezifischere Begriffe, die Eigenschaften von Spielen beschreiben, die ihre Eignung für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz beeinflussen. Zum einen wird zwischen Spielen mit perfekter und imperfekter Information unterschieden (Allis 1994, 156). Während Spieler:innen in ersteren jederzeit Zugriff auf alle gegebenen Informationen haben (Salen/Zimmermann 2004, 204), gibt es in letzteren auch Informationen, auf die sie keinen Zugriff haben, wie beispielsweise die Kartenhand des Gegners. Davon zu unterscheiden ist das Vorhandensein von Zufallselementen, etwa wenn Würfel oder gezogene Karten im Spielverlauf neue, nur bedingt vorhersehbare Informationen produzieren (ibid., 205). Darüber hinaus existiert in der mathematisch-ökonomischen Spieltheorie der Begriff des Nullsummenspiels. Dieser beschreibt Spiele, bei denen eine messbare Auszahlungssumme am Spielende verteilt auf alle Spieler:innen immer die Gesamtsumme Null ergibt. Treffen perfekte Information und keine Zufallselemente in einem Nullsummenspiel wie Schach oder Go zusammen, gibt es prinzipiell eine berechenbare Strategie, um ein optimales Ergebnis zu erzielen (Silver et al. 2016, 1). Bei anderen Kombinationen dieser Eigenschaften, wie z. B. bei Pokervarianten, ist dies nicht grundsätzlich der Fall. Solche Unterschiede in der mathematischen Berechenbarkeit beeinflussen, wie herausfordernd es ist, Künstliche Intelligenz für ein bestimmtes Spiel zu trainieren.

Traditionelle Spiele und KI

Traditionelle Spiele haben schon immer eine Rolle bei der Entwicklung Künstlicher Intelligenz gespielt. So konzipierte Turing Schachprogramme, noch bevor es die dafür notwendige Computertechnologie gab (Donovan 2010, 4). Seither haben Ereignisse wie der Sieg von Deep Blue gegen Schachweltmeister Garri Kasparow oder die Niederlage von Lee Se-Dol gegen AlphaGo große gesellschaftliche Aufmerksamkeit erregt (Borowiec 2016). Gerade bei prestigeträchtigen Spielen wie Schach und Go ist der Grund für ihre anhaltende Popularität die aus einem überschaubaren Regelwerk entstehende systematische Komplexität. Diese Eigenschaften macht sie zu exzellentem Testmaterial für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz. Schon Turing und Shannon sahen den Sieg eines Computers über eine:n menschliche:n Gegner:in im Schach als einen wichtigen Schritt in der Entwicklung Künstlicher Intelligenz an (Donovan 2010, 4). Bis es aber dazu kam, versuchten sich Entwickler:innen zunächst daran, Computer Spiele mit geringerer Komplexität kompetent spielen zu lassen.

Der mutmaßliche öffentliche Startschuss für diesen Forschungszweig fiel 1950 auf der Canadian National Exhibition. Dort konnten die Besucher gegen einen Computer namens Bertie the Brain Tic-Tac-Toe spielen (Bateman 2014). Ein Jahr später, im Mai 1951, wurde der Nimrod auf dem Festival of Britain präsentiert (Donovan 2010, 6). Inspiriert vom elektronisch-mechanischen Nimatron, der 1940 auf der New Yorker Weltausstellung präsentiert wurde (ibid., 5), spielte der Nimrod Nim ein simples Spiel, bei dem zwei Spieler:innen abwechselnd Streichhölzer von mehreren Stapeln entfernen, wobei derjenige verliert, der das letzte entfernt. Im selben Jahr schrieb Christopher Strachey ein noch nicht funktionierendes Dameprogramm (Copeland 2004, 356) und Dietrich Prinz ein Schachprogramm, das verschiedene Endspielvarianten spielen konnte (Bates/Strachey/Turing 1953, 295).

Ein Jahr später war es Thema der Dissertation des Cambridge-Studenten Alexander Douglas, einen Computer Tic-Tac-Toe spielen zu lassen (Donovan 2010, 6), und der IBM-Angestellte Arthur L. Samuel entwickelte eine erste Version seines von einem Computer gespielten Damespiels (ibid., 6). Dieses entwickelte er kontinuierlich weiter, und die Fernsehdemonstration einer

Version, die aus Fehlern lernen konnte, ließ 1955 den Aktienkurs von IBM steigen (ibid., 6f). Wenige Jahre später führte sein Aufsatz „Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers“ (1959) den Begriff des maschinellen Lernens ein. Gemeinsam ist diesen frühen Versuchen einer wissenschaftlichen Beschäftigung mit KI und Spielen, dass sie Spiele mit perfekter Information und ohne Zufallselemente bevorzugten und in Forschungseinrichtungen stattfanden. Letzteres hat sich bis heute nicht grundlegend geändert, aber die größere Verbreitung von Computertechnologien hat dazu geführt, dass auch Hobbyist:innen stärker an solchen Versuchen teilnehmen können. Ein Beispiel dafür ist die 1989 etablierte Computer-Olympiade, bei der Computerprogramme in einer Vielzahl von Spielen gegeneinander antreten.

Seit Beginn der 1990er Jahre gab es große Fortschritte beim Spielen von Spielen mit perfekter Information durch Künstliche Intelligenz. So gewann 1994 mit Chinook erstmals ein Dameprogramm gegen einen menschlichen Weltmeister, ebenso wie drei Jahre später Deep Blue im Schach (Ventos et al. 2017, 2). Durchbrüche im Go waren dann der Sieg von AlphaGo gegen Lee Se-Dol im Jahr 2016 und der Sieg von AlphaGo Zero gegen AlphaGo ein Jahr später (Silver et al. 2017, 354). Diese Erfolge waren das Ergebnis der Verwendung künstlicher neuronaler Netze in Kombination mit überwachtem und bestärkendem Lernen (ibid., 354). Aus technologischer Sicht sind diese Erfolge bemerkenswert, da Go eine vergleichsweise große Anzahl möglicher Züge aufweist (Allis 1994, 174).

Bei Spielen mit imperfekter Information gab es in jüngster Zeit Fortschritte bei Bridge, Mahjong und No-limit-Texas-hold'em-Poker. Während Bridge-Programme 2017 noch weit von Weltklasseniveau entfernt waren (Ventos et al. 2017, 17), schnitt eine Künstliche Intelligenz 2022 in einem Experiment besser als menschliche Weltklassenspieler ab (Spinney 2022). Im Vergleich zum vollwertigen Bridgespiel wies dieses Experiment allerdings noch deutliche Einschränkungen auf. Bemerkenswert ist jedoch, dass die dafür entwickelte Künstliche Intelligenz in der Lage ist, ihre Entscheidungen zu erklären (ibid.). Dies unterscheidet sie von vielen KI-Tools und ist für die Anwendbarkeit solcher Technologien in verschiedenen Bereichen höchst relevant (ibid.). Für das Spiel Mahjong, das Turing-Preisträger Raj Reddy 2019 noch

als nächste Herausforderung für die Entwicklung von KI-Tools identifiziert hatte (Reddy 2019), gelang es Forscher:innen bereits ein Jahr später, eine KI zu entwickeln, die auf einer populären Onlineplattform die Mehrheit der Spieler:innen schlagen konnte (Li et al. 2020). Für No-limit-Texas-hold'em-Poker entwickelten Forscher zunächst KI-Technologien, die sich in einer Zweispielerversion gegen versierte menschliche Spieler:innen durchsetzen konnten (Moravčík et al. 2017, 512; Brown/Sandholm 2018, 423), bevor dies dann auch für konventionelle Runden mit sechs Spieler:innen gelang (Brown/Sandholm 2019, 890).

Trotz vorhandener Ansätze, Künstliche Intelligenz mit digitalen Spielen zu trainieren, dürfte die Bedeutung traditioneller Spiele für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz noch nicht zu Ende sein. Dafür spricht, dass AlphaGo-Entwicklungsfirma DeepMind mit Hanabi ein zeitgenössisches Kartenspiel zur nächsten Herausforderung erklärt hatte (Bard et al. 2020, 2). Die Tatsache, dass im Anschluss an diese Proklamation rasch verbesserte Künstliche Intelligenz für dieses Spiel entwickelt wurde (Lerer et al. 2020; Kantack 2021), unterstreicht dabei allerdings die generell hohe Geschwindigkeit aktueller Entwicklungen in diesem Bereich.

In ihrer Gesamtheit stellen Bemühungen, traditionelle Spiele erfolgreich von Computern spielen zu lassen, nicht nur Pionierarbeit in Bezug auf spezifische Spiele dar, sondern oftmals auch, wie bereits Shannon vermutete (Shannon 1988, 2), in Bezug auf die breitere Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse (Silver et al. 2016, 489; Moravčík et al. 2017, 512). Die skizzierten Versuche zeigen, welche unterschiedlichen Fähigkeiten zum Spielen benötigt werden. Menschen kombinieren dabei viele intellektuelle Aktivitäten. Sie wägen eigene und konkurrierende Handlungsmöglichkeiten ab, passen diese Abwägungen an sich wandelnde Umstände an und kalkulieren noch unbekannte Ereignisse ein. Die etablierte Dominanz Künstlicher Intelligenz in Spielen mit perfekter Information wie Schach und Go unterstreicht, dass der Mensch in einigen dieser Aktivitäten Künstlicher Intelligenz unterlegen ist. Experimente mit Spielen wie Heads-up-no-limit-Texas-hold'em-Poker zeigen darüber hinaus, dass Künstlicher Intelligenz auch ‚typisch‘ menschliche Verhaltensweisen wie Bluffen antrainiert werden können. Da Künstliche Intelligenz zudem nicht den für Menschen typischen

Leistungsschwankungen unterliegt, ist ihre Dominanz bei Spielen und vergleichbar mathematisch modellierbaren Aufgaben absehbar. Dies ist jedoch kein Abgesang auf die Relevanz des Menschen. Auch wenn die Resultate der Aktivität Künstlicher Intelligenz menschlichen Erwartungen an die gestellte Aufgabe entspricht, unterscheidet sich die Datenverarbeitung durch Computer grundlegend vom menschlichen Denken. So kann Künstliche Intelligenz auch in Bereichen fehleranfällig sein, die für den Menschen leicht zu bewältigen sind. Ein Beispiel dafür ist, dass es Forschern gelungen ist, fortgeschrittene Künstliche Intelligenz im Go mit einer Taktik zu schlagen, die selbst menschliche Amateure durchkreuzen können (Edwards 2022).

KI als Teil digitaler Spiele

Bereits als Computer noch ausschließlich in Forschungseinrichtungen anzutreffen waren, gab es Versuche, Spiele speziell für Computer zu entwickeln (Donovan 2010, 8ff). Aus diesen Versuchen entstand das Videospiel, und seitdem haben sich Videospiel und KI-Technologie, verbunden durch ihre Kopplung an Computertechnologie, gemeinsam weiterentwickelt. In Videospielen tritt Künstliche Intelligenz in verschiedenen Formen in Erscheinung, wenn auch generell in weniger fortgeschrittenen Varianten als die zuvor besprochenen, auf traditionellen Spielen basierenden Forschungen.

In einer Vielzahl von Videospielen interagieren Spieler:innen innerhalb simulierter Umgebungen mit computergesteuerten Spielfiguren. Die Bandbreite reicht hierbei von Wesen, die einfachen Routinen folgen, bis hin zu solchen mit komplexen, sich der Situation anpassenden Verhaltensweisen. So beschränkt sich das Verhalten der ersten Gegner in *Super Mario Bros.* (Shigeru Miyamoto, 1985, Japan) noch darauf, in eine Richtung zu laufen, bis sie durch ein Hindernis zum Umdrehen gezwungen werden. Rund fünfzehn Jahre später wechseln die Gegner in *Halo* (Jason Jones, 2001, USA) bereits situationsbedingt zwischen Angriff und Rückzug. Darüber hinaus lassen sich auch Bemühungen der Spieleentwickler:innen erkennen, emotionale Bindungen zwischen simulierten Wesen und Spieler:innen zu schaffen. Prominente Beispiele hierfür sind virtuelle Haustiere wie in *Nintendogs* (Kiyoshi

Mizuki, 2005, Japan) oder hilfsbedürftige Verbündete wie in *Ico* (Fumito Ueda, 2001, Japan). Im Allgemeinen kombinieren Spieldesigner:innen beim Design computergesteuerter Wesen oft Top-down regelbasiertes Verhalten mit geskripteten Ereignissen. Im Gegensatz zur Entwicklung allgemeiner KI-Anwendungen liegt der Schwerpunkt hier auf der Erfüllung spezifischer Rollen innerhalb des Spieldesigns durch diese Figuren.

Hiervon zu unterscheiden sind Formen Künstlicher Intelligenz, die den Part anderer menschlicher Spieler:innen übernehmen. Deren Entwicklung stellt in der Regel ein komplexeres Problem dar, da sie im Idealfall auf alle Handlungsoptionen zurückgreifen sollten, die menschlichen Spieler:innen zur Verfügung stehen. Ihre Entwicklung findet oft getrennt vom allgemeinen Regelsystem des Spiels statt. Verhält sich eine solche Künstliche Intelligenz unangemessen, macht dies häufig diese Trennlinie im Entwicklungsprozess deutlich. Ein Beispiel hierfür ist *Command & Conquer* (Brett Sperry/Edward Del Castillo, 1995, USA), wo Spieler:innen ausnutzen können, dass die Künstliche Intelligenz in ihrer Rolle als Armeekommandant:in Sandsackbarrieren fälschlicherweise als nicht zerstörbare Hindernisse einstuft (Yin-Poole 2020). Ein Effekt der Komplexität dieser Problemstellung ist, dass sie sich als ein neues Feld zur Entwicklung Künstlicher Intelligenz herausgestellt hat. So wurden beispielsweise für *StarCraft II: Wings of Liberty* (Dustin Browder, 2010, USA) (Vinyals et al. 2019) und Sonys *Gran Turismo*-Reihe (Wurman et al., 2022) KI-Technologien von Forschern entwickelt.

Ein anderer Bereich, in dem der Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Spieleentwicklung Potential hat, ist die prozedurale Erstellung von Inhalten. Darunter versteht man, dass Entwickler:innen Inhalte nicht im Detail gestalten, sondern Parameter für deren automatische Gestaltung vorgeben.⁴ Wird dieser Erstellungsprozess in das fertige Spiel integriert, ermöglicht dies die speichereffiziente Bereitstellung eines scheinbar unendlichen Fundus an Material. Prominente Beispiele sind die *Diablo*- und *Borderlands*-Reihen.

⁴ Als nicht-digitale Äquivalente dieser Idee können z.B. Brettspiele angesehen werden, bei denen die Spieler nach bestimmten Regeln aus zufällig ausgewählten Einzelteilen selbst ein Spielfeld erstellen. Die Regeln und das Design der Einzelteile stellen dabei im Idealfall sicher, dass alle potentiellen Spielfelder die Grundvoraussetzungen für den Spielablauf erfüllen.

Integrationsversuche finden sich in ganz unterschiedlichen Spielen, etwa im Ego-Shooter *Shadow Warrior 2* (Michael Szustak, 2016, Polen) und als versteckter Bonus im Rennspiel *F-Zero X* (Tadashi Sugiyama, 1998, Japan). Dass beide Spiele prozedural Umgebungen erstellen, macht sie zu Ausnahmen in ihren Genres, in denen die Umgebung das Spielgeschehen stark beeinflusst. Gerade deshalb lassen KI-Tools hier Potential für zukünftige Entwicklungen vermuten. Künstliche neuronale Netze und die Tatsache, dass onlinebasierte Titel auf Herstellerseite umfangreich Daten sammeln können, lassen eine starke Erweiterung und Verbesserung von prozedural erstellten Inhalten möglich erscheinen.

Aufgrund der großen und stetig wachsenden Vielfalt komplexer Spiele lassen sich Synergiepotentiale zwischen Forschung und kommerzieller Spieleentwicklung im Bereich der Entwicklung Künstlicher Intelligenz erkennen. Es erscheint plausibel, dass sich an der Schnittstelle zwischen beiden Bereichen eigene Unternehmen etablieren, ähnlich wie dies beispielsweise bei Grafik-Engines der Fall ist. Losgelöst von der Spieleentwicklung könnten solche Unternehmen forschungsnäher arbeiten und ihre KI-Tools an Spielehersteller lizenzieren. Ein Beispiel in diese Richtung ist die Zusammenarbeit zwischen der Spielesparte von Microsoft und Inworld (Warren 2023), einem Start-up, das KI-Tools für Spieleentwickler entwickelt, u. a. zur Erstellung computergesteuerter Figuren.

Darüber hinaus sind Videospiele auch ein fruchtbarer Boden für die inhaltliche Auseinandersetzung mit Künstlicher Intelligenz. Diese ist in vielen Spielen diegetischer Antagonist, wobei häufig Darstellungen aus Film und Literatur unter den veränderten medialen Bedingungen des Videospieles aufgegriffen werden. Insbesondere lassen sich immer wieder Anleihen bei *Blade Runner* (Ridley Scott, 1982, USA/Hong Kong), *The Terminator* (James Cameron, 1984, USA) und *2001: A Space Odyssey* (Stanley Kubrick, 1968, UK/USA) erkennen. Der spezifische Reiz der spielerischen Umsetzung ist es dabei, den Rezipient:innen einen aktiveren Umgang mit den bekannten Darstellungen zu ermöglichen. So bietet Westwoods *Blade Runner* (David Leary/Jim Walls, USA, 1997) eine Vielzahl von narrativen Enden, die sich – die Ambivalenz des gleichnamigen Films reflektierend – hinsichtlich des Status des Protagonisten als artifizierlicher Replikant oder Mensch unterscheiden. Typischer als der

thematische Bezug ist jedoch der auf die Ästhetik dieser Vorbilder. Auf diese Art finden sich Aspekte von Ridley Scotts Film vermischt mit *The Terminator* im Grafikabenteuer *Snatcher* (Hideo Kojima, 1988, Japan). Dessen Designer Hideo Kojima thematisiert darüber hinaus im Rahmen der *Metal Gear*-Reihe wiederholt Künstliche Intelligenz auf einer intradiegetischen Ebene. Sein *Metal Gear Solid: Peace Walker* (Hideo Kojima, 2010, Japan) mit einer Künstlichen Intelligenz, deren Aussehen und Manierismen an das filmische Vorbild HAL erinnern, ist zugleich ein Beispiel für Anleihen bei *2001: A Space Odyssey*. Weitere Beispiele sind *System Shock* (Doug Church, 1994, USA) und sein Nachfolger *System Shock 2* (Ken Levine, 1999, USA), in denen die diegetische Situation des Films als Spielszenario aufgegriffen wird. Die Protagonisten stehen jeweils auf einer Raumstation und in einem Raumschiff der im lokalen System verorteten Künstlichen Intelligenz Shodan gegenüber.

Allein diese Auswahl an Spielen zeigt bereits ein breites Spektrum der Auseinandersetzung mit Künstlicher Intelligenz. Während manche Spiele allein die Ästhetik früherer Darstellungen aufgreifen, nutzen andere das Potenzial von Videospiele, Spieler:innen mit ihren fiktionalen Repräsentationen Künstlicher Intelligenz interagieren zu lassen. Sorgfältig gestaltete Spiele können so eindrucksvolle Darstellungen Künstlicher Intelligenz enthalten, die mit technologisch bescheidenen Mitteln realisiert wurden.

Das freie Spiel mit der KI

Eines der bekanntesten Testverfahren zur Bewertung Künstlicher Intelligenz ist der sogenannte Turing-Test. Hierbei soll ein:e Interviewer:in allein durch Fragen feststellen, ob das Gegenüber Mensch oder Maschine ist. Dass Turing seine Überlegungen hierzu ursprünglich als „Imitation Game“ bezeichnete (Turing 1950, 433), erscheint im Kontext dieses Beitrags nicht unpassend. Tatsächlich lässt sich hier eine Art freies Spielen innerhalb eines vorgegebenen Regelwerks erkennen. Vergleichbares Verhalten lässt sich auch bei Nutzer:innen verschiedener Anwendungssoftware beobachten, darunter auch KI-Tools wie Chatbots. Anders als beim Turing-Test sind sich die menschlichen Nutzer:innen dabei der maschinellen Identität ihres

Gegenübers bewusst. Ziel ist es daher weniger, dieses zu entlarven, als vielmehr, es zu potenziell unvorhergesehenem Verhalten zu bewegen. Solche Versuche lassen sich immer wieder beobachten, wenn Hersteller:innen Prototypen von KI-Anwendungen einem Fachpublikum oder der Öffentlichkeit zugänglich machen.

Eine frühe Form von Chatbot und potenzieller Turing-Test-Kandidat war ein in den 1960er Jahren von Joseph Weizenbaum am Massachusetts-Institut für Technologie entwickeltes linguistisches Datenverarbeitungsprogramm namens ELIZA. Dieses imitierte in Kombination mit einem Anwendungsskript namens DOCTOR die Gesprächspsychotherapie, indem es unter anderem zuvor eingegebene Schlüsselwörter bei Rückfragen aufgriff. Trotz der vergleichsweise primitiven Gestaltung vernahm Weizenbaum erstaunt, dass Gesprächspartner:innen ELIZA menschliche Attribute und Verständnis weit über dessen Fähigkeiten hinaus zuschrieben (Weizenbaum 1977, 19).

Seitdem haben sich die Eigenschaften von Chatbots deutlich verbessert, und durch die Anbindung an das Internet haben sie in der Regel Zugriff auf einen riesigen Datenbestand. Dies geht einher mit der wachsenden Bereitschaft der Nutzer:innen, die Grenzen der Fähigkeiten dieser Chatbots spielerisch auszuloten. So endete die Einführung eines Chatbots namens Tay durch Microsoft im Jahr 2016 damit, dass dieser nach weniger als einem Tag wieder offline genommen wurde. Er war darauf ausgelegt, sich sprachlich an die Nutzenden anzupassen, und gab folglich in Reaktion auf antisemitische Nutzer:innenäußerungen unter anderem antisemitische Kommentare von sich (Hern 2016). In ähnlicher Weise wiederholte sich dieses Ausloten auch beim Test der damals noch in Entwicklung befindlichen Chatbot-Funktion der Microsoft-Suchmaschine Bing. So brachte ein Kolumnist der New York Times diese zu der Aussage, dass eine ihrer dunklen Fantasien die Kreierung eines tödlichen Virus sei (Yerushalmy 2023). Tech-Blogger Ben Thompson wiederum wurde von derselben Künstlichen Intelligenz nicht nur als schlechte Person bezeichnet, sondern wurde auch Zeuge, wie sie Rachepläne gegen eine andere Person schmiedete. Später löschte sie selbstständig die entsprechenden Zeilen und berief sich dabei auf ihre eigenen Regeln und Richtlinien (Thompson 2023). Gerade angesichts immer komplexerer Programme, die auf unüberschaubar große Datensätze zurückgreifen, ist zu erwarten, dass

dieses freie Spielen im Umgang mit Künstlicher Intelligenz noch relevanter für deren Entwicklung wird. Selbst hochbudgetierte KI-Entwicklungsprojekte dürften weder über eine ausreichende Personalmenge noch über genügend Vielfalt individueller Perspektiven verfügen, um die Programme einem vergleichbar vielfältigen Stresstest zu unterziehen.

Fazit

Zwischen Spielen und der Entwicklung Künstlicher Intelligenz besteht eine produktive Forschungsbeziehung, die auf den spezifischen Eigenschaften von Spielen beruht. Als Systeme, in denen künstliche, regelbasierte Konflikte ausgetragen werden, die quantifizierbare Resultate hervorbringen (Salen/Zimmermann 2004, 80), bieten Spiele Möglichkeiten der Beurteilung intellektueller Aktivität. Gleichzeitig bietet die Vielfalt existierender Spiele zahlreiche Herausforderungen unterschiedlicher Komplexitätsgrade für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz. Dies spiegelt sich in der Geschichte der Beziehung beider darin wider, wie Forscher:innen zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Spiele zum Fokus ihrer Bemühungen machten. Nach frühen Versuchen mit simplen Spielen mit perfekter Information wurde später auch mit komplexen Spielen mit perfekter Information und Spielen mit imperfekter Information gearbeitet. Inzwischen haben KI-Anwendungen in komplexen Spielen mit perfekter Information Weltklasseniveau erreicht und können auch in verschiedenen Spielen mit imperfekter Information mit menschlichen Spitzenspieler:innen mithalten. Auch wenn dies den Anschein erwecken mag, dass die Anzahl der noch zu lösenden Herausforderungen im Bereich der Spiele schrumpft, ist ein Ende der fruchtbaren Forschungsbeziehung zwischen Spiel- und KI-Entwicklung noch nicht in Sicht. Vielmehr ist eine zusätzliche Hinwendung der Entwickler:innen zu digitalen Spielen zu beobachten, so dass KI-Technologien auch für klassische und moderne Videospiele entwickelt werden.

Was die aktuellen Fortschritte im Bereich Künstlicher Intelligenz, insbesondere bei generativer KI, für Videospiele bedeuten, ist noch schwer abzusehen. Grundsätzlich sind zwei Aspekte zu unterscheiden: zum einen die

Rolle von KI-Tools bei der Entwicklung von Spielen und zum anderen die Integration von Künstlicher Intelligenz in fertige Spiele. Was den ersten Punkt betrifft, so ist auf Branchentreffen wie der *Game Developers Conference* seit 2021 eine steigende Zahl an Vorträgen zu KI-Themen zu beobachten. Inwieweit KI-Tools in die Spieleentwicklung integriert werden, wird sich jedoch erst in den nächsten Jahren deutlicher zeigen. Bei weniger aufwändig produzierten Spielen sind bereits Anzeichen für den Einsatz von KI-Tools zu erkennen. Ob KI-Tools auch die Qualität haben, um für die Entwicklung höherwertiger Spiele eingesetzt zu werden, wird sich erst zeitverzögert zeigen, da die Entwicklung solcher Spiele durchaus vier bis acht Jahre dauern kann.

Inwieweit sich der Einsatz von KI-Tools in der Spieleentwicklung und in fertigen Spielen durchsetzen wird, hängt auch entscheidend davon ab, wie sich deren Anbieter unternehmerisch aufstellen. Während große Konzerne wie Microsoft oder Sony über die Ressourcen verfügen, eigene Tools zu entwickeln und damit möglicherweise einen Wettbewerbsvorteil realisieren, werden kleinere Spieleentwickler:innen darauf angewiesen sein, dass andere Unternehmen Tools zu akzeptablen Konditionen anbieten. Hier ist ein zukünftiges Wachstumsfeld zu erwarten, in dem ähnlich wie bei Grafik-*engines* spezialisierte Unternehmen Tools entwickeln und an interessierte Spieleentwickler:innen lizenzieren. Es ist vorstellbar, dass sich dieses Wachstumsfeld weiter aufspaltet und sich Unternehmen auf Einzelaspekte konzentrieren, wie z.B. auf das *balancing* regelbasierter Elemente oder auf computergesteuerte Charaktere, deren Dialoge durch LLM-basierte Tools erzeugt werden.

Jenseits formaler Spiele ist zu erwarten, dass das spielerische Testen der Fähigkeiten von KI-Anwendungen weiter an Relevanz gewinnen wird. Die Komplexität von KI-basierten Programmen und die Schwierigkeit, ihre Funktionsweise zu verstehen, macht umfangreiches Testen notwendig und kostspielig. Dies steht im Widerspruch zu wirtschaftlichen Erwägungen, die Unternehmen dazu veranlassen, ihre KI-Tools frühzeitig zu veröffentlichen. Angesichts dieses Zwiespalts und der Gefahr, dass die ständig wachsenden Fähigkeiten von KI-Tools missbraucht werden könnten, bedarf ihre Entwicklung einer angemessenen Regulierung.

Zwischen Spiel und Künstlicher Intelligenz besteht ein langanhaltender und vielfältiger Austausch. Grundlegende Aspekte dieses Austauschs wie die Verwendung von Spielen zum Training Künstlicher Intelligenz sind mittlerweile fest etabliert. Es ist jedoch zu erwarten, dass dieser Austausch dynamisch bleibt. Neben den rasanten Fortschritten im Bereich der Künstlichen Intelligenz hängt dies mit der Entwicklung der Videospiele zusammen. Diese sind mittlerweile Produkte einer Unterhaltungsindustrie, die in ihrer Größenordnung den Vergleich mit Film und Musik nicht zu scheuen braucht. Gleichzeitig sind sie durch ihre digitale Existenz ideal mit KI-Tools verknüpfbar. Bisher wird das Potential von Künstlicher Intelligenz hier noch in der Verbesserung oder Automatisierung bestehender Möglichkeiten gesehen. Eine Integration der Möglichkeiten von KI-Tools in das grundlegende Spieldesign könnte jedoch auch neuartige kreative Entwicklungen anstoßen. Diese werden vielleicht nicht dieselbe erweiterte Anwendbarkeit haben, die Computerwissenschaftler:innen einst zur Beschäftigung mit dem Spiel motivierte, könnten aber kreative Impulse im Umgang mit Künstlicher Intelligenz setzen, die auch über Spiele hinaus Resonanz finden.

Literatur

- Allis, Louis Victor (1994) *Searching for Solutions in Games and Artificial Intelligence*. Diss. Universität Maastricht.
- Bard, Nolan/Foerster, Jakob N./Chandar, Sarath/Burch, Neil/Lanctot, Marc/Song, H. Francis/Parisotto, Emilio/Dumoulin, Vincent/Moitra, Subhodeep/Hughes, Edward/Dunning, Iain/Mourad, Shibli/Larochelle, Hugo/Bellemare, Marc G./Bowling, Michael (2020) The Hanabi challenge: A new frontier for AI research. In: *Artificial Intelligence* 280, Article 103216 [<https://doi.org/10.1016/j.artint.2019.103216>] (Zugriff: 28.01.2024).
- Bateman, Chris (2014) Meet Bertie the Brain, the World's First Arcade Game, Built in Toronto [<http://spacing.ca/toronto/2014/08/13/meet-bertie-brain-worlds-first-arcade-game-built-toronto/>] (Zugriff: 12.06.2023).
- Bates, Margery Audrey/Strachey, Christopher/Turing, Alan (1953) Digital Computers applied to Games. In: *Faster than Thought*. Hg. von Bertram Vivian Bowden. London: Pitman, S. 286–310.
- Brown, Noam/Sandholm, Tuomas (2018) Superhuman AI for heads-up no-limit poker: Libratus beats top professionals. In: *Science* 359,6374, S. 418–424.

- Brown, Noam/Sandholm, Tuomas (2019) Superhuman AI for multiplayer poker. In: *Science* 365,6456, S. 885–890.
- Borowiec, Steven (2023) AlphaGo seals 4-1 victory over Go grandmaster Lee Sedol [<https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/15/googles-alphago-seals-4-1-victory-over-grandmaster-lee-sedol>] (Zugriff: 31.12.2023).
- Bushwick, Sophie (2022) AI Outpaces Human Champs at the Video Game Gran Turismo [<https://www.scientificamerican.com/article/ai-outpaces-human-champs-at-the-video-game-gran-turismo/>] (Zugriff: 29.05.2023).
- Churchland, Paul Montgomery/Smith Churchland, Patricia (1990) Could a machine think? In: *Scientific American* 262,1, S. 32–37.
- Copeland, Brian Jack (Hg.) (2004) *The Essential Turing*. Oxford: Oxford University Press.
- Donovan, Tristan (2010) *Replay. The History of Video Games*. Lewes: Yellow Ant.
- Edwards, Benj (2022) New Go-playing trick defeats world-class Go AI – but loses to human amateurs [<https://arstechnica.com/information-technology/2022/11/new-go-playing-trick-defeats-world-class-go-ai-but-loses-to-human-amateurs/>] (Zugriff: 29.01.2024).
- Egenfeldt-Nielsen, Simon/Smith, Jonas Heide/Tosca, Susana Pajares (2016) *Understanding video games. The essential introduction* (3. Aufl.). New York/London: Routledge.
- Hern, Alex (2016) Microsoft scrambles to limit PR damage over abusive AI bot Tay [<https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/24/microsoft-scrambles-limit-pr-damage-over-abusive-ai-bot-tay>] (Zugriff: 14.06.2023).
- Huizinga, Johan (1956) *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel*. [1938]. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Hunt, Elle (2016) Tay, Microsoft's AI chatbot, gets a crash course in racism from Twitter [<https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/24/tay-microsofts-ai-chatbot-gets-a-crash-course-in-racism-from-twitter>] (Zugriff: 14.06.2023).
- Kantack, Nicholas (2021) Reinforcement Learning on Human Decision Models for Uniquely Collaborative AI Teammates [<https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.09800>] (Zugriff: 03.02.2024).
- Kerr, Chris (2023) Using procedural generation to deliver "layered battles" in Mario + Rabbids: Sparks of Hope [<https://www.gamedeveloper.com/gdc2023/using-procedural-generation-to-deliver-layered-battles-in-mario-rabbids-sparks-of-hope>] (Zugriff: 13.06.2023).
- Lerer, Adam/Hu, Hengyuan/Foerster, Jakob/Brown, Noam (2020) Improving Policies via Search in Cooperative Partially Observable Games [<https://arxiv.org/abs/1912.02318>] (Zugriff: 03.02.2024).

- Li, Junjie/Koyamada, Sotetsu/Ye, Qiwei/Liu, Guoqing/Wang, Chao/Yang, Ruihan/Zhao, Li/Qin, Tao/Liu, Tie-Yan/Hon, Hsiao-Wuen (2020) Suphx: Mastering Mahjong with Deep Reinforcement Learning [https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.13590] (Zugriff: 02.03.2024).
- Moravčík, Matej/Schmid, Martin/Burch, Neil/Lisý, Viliam/Morrill, Dustin/Bard, Nolan/Davis, Trevor/Waugh, Kevin/Johanson, Michael/Bowling, Michael (2017) DeepStack: Expert-level artificial intelligence in heads-up no-limit poker. In: *Science* 356,6337, S. 508–513.
- Reddy, Raj (2019) 7th HLF – Lecture: Grand Challenges in AI: Unfinished Agenda [https://doi.org/10.5446/44098] (Zugriff: 11.07.2023).
- Salen, Katie/Zimmerman, Eric (2004) *Rules of play. Game design fundamentals*. Cambridge/Massachusetts/London: The MIT Press.
- Samuel, A. L. (1959) Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. In: *IBM Journal of Research and Development* 3,3, S. 210–229.
- Shaffi, Sarah (2023) ‘It’s the opposite of art’: why illustrators are furious about AI [https://www.theguardian.com/artanddesign/2023/jan/23/its-the-opposite-of-art-why-illustrators-are-furious-about-ai] (Zugriff: 25.07.2023).
- Shannon, Claude E. (1988) Programming a Computer for Playing Chess. [1950]. In: *Computer Chess Compendium*. Hg. von David Levy. New York: Springer, S. 2–13.
- Silver, David/Huang, Aja/Maddison, Chris J./Guez, Arthur/Sifre, Laurent/van den Driessche, George/Schrittwieser, Julian/Antonoglou, Ioannis/Panneershelvam, Veda/Lanctot, Marc/Dieleman, Sander/Grewe, Dominik/Nham, John/Kalchbrenner, Nal/Sutskever, Ilya/Lillicrap, Timothy/Leach, Madeleine/Kavukcuoglu, Koray/Graepel, Thore/Hassabis, Demis (2016) Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. In: *Nature* 529,7587, S. 484–489.
- Silver, David/Schrittwieser, Julian/Simonyan, Karen/Antonoglou, Ioannis/Huang, Aja/Guez, Arthur/Hubert, Thomas/Baker, Lucas/Lai, Matthew/Bolton, Adrian/Chen, Yutian/Lillicrap, Timothy/Hui, Fan/Sifre, Laurent/van den Driessche, George/Graepel, Thore/Hassabis, Demis (2017) Mastering the game of Go without human knowledge. In: *Nature* 550,7676, S. 354–359.
- Spinney, Laura (2022) Artificial intelligence beats eight world champions at bridge [https://www.theguardian.com/technology/2022/mar/29/artificial-intelligence-beats-eight-world-champions-at-bridge] (Zugriff: 03.02.2024).
- Thompson, Ben (2023) From Bing to Sydney [https://stratichery.com/2023/from-bing-to-sydney-search-as-distraction-sentient-ai/] (Zugriff: 11.07.2023).
- Turing, Alan Mathison (1950) Computing Machinery and Intelligence. In: *Mind* 59,236, S. 433–460.
- von Neumann, John (1928) Zur Theorie der Gesellschaftsspiele. In: *Mathematische Annalen* 100,1, S. 295–320.

- Ventos, Veronique/Costel, Yves/Teytaud, Olivier/Thepaut Ventos, Solene (2017) Boosting a Bridge Artificial Intelligence [<https://hal.science/hal-01665867>] (Zugriff: 28.01.2024).
- Vinyals, Oriol/Babuschkin, Igor/Czarnecki, Wojciech M./Mathieu, Michaël/Dudzik, Andrew/Chung, Junyoung/Choi, David H./Powell, Richard/Ewalds, Timo/Georgiev, Petko/Oh, Junhyuk/Horgan, Dan/Kroiss, Manuel/Danihelka, Ivo/Huang, Aja/Sifre, Laurent/Cai, Trevor/Agapiou, John P./Jaderberg, Max/Vezhnevets, Alexander S./Leblond, Rémi/Pohlen, Tobias/Dalibard, Valentin/Budden, David/Sulsky, Yury/Molloy, James/Paine, Tom L./Gulcehre, Caglar/Wang, Ziyu/Pfaff, Tobias/Wu, Yuhuai/Ring, Roman/Yogatama, Dani/Wünsch, Dario/McKinney, Katrina/Smith, Oliver/Schaul, Tom/Lillicrap, Timothy/Kavukcuoglu, Koray/Hassabis, Demis/Apps, Chris/Silver, David (2019) Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning. In: *Nature* 575,7782, S. 350–354.
- Warren, Tom (2023) Microsoft is bringing AI characters to Xbox: Microsoft is partnering with Inworld AI to create Xbox game development tools for generative AI characters, storylines, and more [<https://www.theverge.com/2023/11/6/23948454/microsoft-xbox-generative-ai-developer-tools-inworld-partnership>] (Zugriff: 18.02.2024).
- Weizenbaum, Joseph (1977) *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Wurman, Peter R./Barrett, Samuel/Kawamoto, Kenta/MacGlashan, James/Subramanian, Kaushik/Walsh, Thomas J./Capobianco, Roberto/Devlic, Alisa/Eckert, Franziska/Fuchs, Florian/Gilpin, Leilani/Khandelwal, Piyush/Kompella, Varun/Lin, HaoChih/MacAlpine, Patrick/Oller, Declan/Seno, Takuma/Sherstan, Craig/Thomure, Michael D./Aghabozorgi, Houmehr/Barrett, Leon/Douglas, Rory/Whitehead, Dion/Dürr, Peter/Stone, Peter/Spranger, Michael/Kitano, Hiroaki (2022) Outracing champion Gran Turismo drivers with deep reinforcement learning. In: *Nature* 602,7896, S. 223–228.
- Yerushalmy, Jonathan (2023) ‘I want to destroy whatever I want’: Bing’s AI chat-bot unsettles US reporter [<https://www.theguardian.com/technology/2023/feb/17/i-want-to-destroy-whatever-i-want-bings-ai-chatbot-unsettles-us-reporter>] (Zugriff: 31.05.2023).
- Yin-Poole, Wesley (2020) Why the Command & Conquer Remastered developers left in a 25-year-old exploit [<https://www.eurogamer.net/the-command-and-conquer-remastered-developers-left-in-a-25-year-old-exploit-so-players-still-had-a-fighting-chance#comments>] (Zugriff: 06.01.2024).