

Universität Bamberg  
Angewandte Informatik

Seminar KI: gestern, heute, morgen

Künstliche Kreativität - Können Computer kreativ sein?

von

Marco Dorner

26.02.2017

betreut von  
Professor Dr. Ute Schmid

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>3</b>
2.1	Definition von Kreativität . . . . .	3
2.2	The Painting Fool . . . . .	5
2.3	Mathematische Systeme . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Eine Formale Definition von Kreativität</b>	<b>6</b>
3.1	Überblick . . . . .	6
3.2	Formale Definition . . . . .	7
3.3	Beispiele . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Evaluation von Kreativität</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>11</b>

Können Computer kreativ sein? Diese Arbeit möchte einen Überblick über den Forschungsbereich bieten. Dabei wird über mögliche Definitionen der Kreativität gesprochen. Unter Anderem wird Margaret Bodens Definition beschrieben. Verschiedene Ansätze sich dem Thema zu nähern werden angesprochen. Zum einen praktische Ansätze wie Simon Coltons Painting Fool, zum anderen auch mathematische und formale Ansätze. Dabei wird besonders die formale Theorie der Kreativität von Jürgen Schmidhuber behandelt. Zuletzt versucht die Arbeit die Frage nach einer Evaluation von Computerkreativität zu beleuchten. Ohne eine mögliche Evaluation der Ergebnisse scheint der Forschungszweig keine stabile wissenschaftliche Grundlage zu besitzen. Anna Jordanous schlägt hierzu SPECS als standatisiertes Verfahren vor.

## 1 Einleitung

Die Frage, ob Computer oder Programme intelligent sein können, scheint heute bereits beantwortet. Der Sieg von Deep Blue 1996 über den Schachweltmeister kann als Meilenstein in der Entwicklung von Künstlicher Intelligenz angesehen werden. Mit verbesserter Hardware und angepassten Algorithmen konnte AlphaGo Anfang 2016 mit dem Sieg über den Weltmeister in Go ein weiteres populäres Problem lösen (vgl. DeepMind.com (2017)). Auch in Bereichen wie Medizin, Finanzen, Kriegsführung<sup>1</sup> kommt intelligente Software zum Einsatz. In vielen Bereichen wird daher bereits jetzt menschliches Personal durch intelligente Programme ersetzt. Ein japanischer Versicherer hat beispielsweise damit begonnen IBM Watson zu nutzen. Damit würden 34 Mitarbeiter ersetzt (vgl. spiegel.de (2017)). Doch in wie weit kann ein Computer Menschen ersetzen? Müssen Menschen am Ende überhaupt nicht mehr arbeiten? Die Domäne der Kreativität scheint den Menschen vorbehalten zu sein. Kunst und Musik, aber auch Forschung und Wissenschaft, sind Bereiche, die unter anderem ein gewisses Maß an Kreativität erfordern. Es ergeben sich daher zwei Fragestellungen: Zum einen die Frage „Können Computer kreativ sein?“. Zum anderen „Ist künstliche Kreativität ein relevanter Forschungszweig der Künstlichen Intelligenz?“. Letztere zweifelt an, ob wissenschaftliches Arbeiten in diesem Bereich wegen einer schwammigen Definition überhaupt möglich ist.

Ada Lovelace, bekannt als eine Mathematikerin des 19. Jahrhunderts, und vermutlich die erste Person, die ein Computerprogramm geschrieben hat, schreibt dazu Folgendes: „The Analytical Engine has no pretensions whatever to originate anything. It can do [only] whatever we know how to order it to perform.“ In anderen Worten spricht sie einem Computer jegliche Kreativität ab, da Computer nur das ausführen, was von Menschen geschriebene Programme ihnen vorgeben. Sollte ein Computer also kreativ erscheinen müsste die Kreativität auf den Programmierer zurückgeführt werden (vgl. Boden (2013)).

In der folgenden Arbeit wird zuerst auf die Hintergründe zur Erforschung von Künstlicher Kreativität eingegangen. Dabei wird eine etablierte Definition von Kreativität darge-

---

<sup>1</sup><http://www.army-technology.com/projects/mantis>

stellt, sowie verschiedene Forschungsansätze aus dem Bereich der Computerkreativität aufgezeigt. Konkret wird auf den Painting Fool von Simon Colton eingegangen und dem Automated Mathematician von Lenat. Danach wird die Formale Theorie der Kreativität von Jürgen Schmidhuber vorgestellt. Anna Jordanous Ansatz für eine standardisierte Evaluation von Computerkreativität rundet die Suche nach einer Definition der Kreativität mit der Beschreibung eines passenden Evaluationsverfahren ab. Schließlich werden die Ergebnisse zusammengefasst und es wird versucht die Frage „Können Computer kreativ sein?“ zu beantworten.

## **2 Hintergrund**

### **2.1 Definition von Kreativität**

Kreativität wird oft mit dem erschaffen von etwas Neuem in Verbindung gebracht. Oft fehlt aber eine genauere Definition. Wie auch Jordanous (2012) zeigt liefern Wörterbücher nur unzureichende Beschreibungen. Eine mögliche präzisere Definition liefert Margaret A. Boden. Sie definiert Kreativität so: „Creativity is the ability to come up with ideas or artefacts that are new, surprising, and valuable“ Boden (2007). Kreative Ideen sind also neu, überraschend und von Wert. Bei der Definition von neu unterscheidet sie zwischen zwei Arten von neu: Zum einen ein psychologisches Neu. Für eine Person ist eine Idee dann neu, wenn sie die Idee vorher noch nie hatte. Dabei ist es völlig unerheblich, ob jemand anders diese Idee bereits hatte (P-creativity). Zum anderen gibt es ein historisches Neu (H-creativity), welches neu in einen globalen Kontext stellt. Eine Idee ist dann neu, wenn die Person selbst, sowie noch niemand anders zuvor diese Idee hatte. Das nächste Kriterium versucht Boden auf drei Arten zu beschreiben. Sie beschreibt damit auf welche Art die Idee zustande kam. Anhand der Arten dieser Überraschung teilt Boden auch die Kreativität ein. Sie beschreibt die kombinatorische Kreativität, die Erkundung von konzeptionellen Räumen (conceptual spaces) und der Veränderung von solchen Räumen.

#### **Kombinatorische Kreativität**

Die kombinatorische Kreativität ist das Erzeugen von ungewöhnlichen oder unbekanntem Kombinationen von gewöhnlichen oder bekannten Dingen. Analogien fallen in diese Kategorie. Beispielweise brachte Rutherford 1911 den Vergleich, die Struktur eines Wasserstoffatoms sei wie die Struktur des Sonnensystems. Die Planeten umkreisen die Sonne, wie die Elektronen den Nukleus. Er übertrug damit bekannte Prinzipien auf eine andere Domäne. Im künstlerischen Bereich würde man Collagen als diese Art der Kreativität bezeichnen.

#### **Erkunden des kreativen Raums**

Die anderen Arten der Kreativität beziehen sich auf den konzeptionellen Raum in welchem die Idee in gewisser Weise bereits angelegt ist. In der Computerwissenschaft würde

man einen solchen Raum auch als Suchraum definieren. So könnte ein solcher Raum alle möglichen Züge eines Schachspiels enthalten, mögliche Sätze einer Sprache oder alle möglichen Atome. Als Beispiel für den künstlerischen Bereich könnte man sich eine bestimmte Kunstrichtung oder Musikrichtung vorstellen. Ein konzeptioneller Raum enthält also alle denkbaren Ideen und Möglichkeit. Dabei ist es möglich, dass der Raum unendlich groß ist. Ein Weg der Kreativität ist das aktive Erkunden dieses Raums. Jede so entdeckte Idee passt gut in die bisherige Denkweise.

### **Verändern des kreativen Raums**

Das Verändern des konzeptionellen Raums kann man sich so vorstellen, dass der Raum so verändert wird, dass eine bisher unmögliche Idee möglich wird. Diese Ideen sind wohl die, die am meisten überraschen und daher auch schwer zu beschreiben sind. In der Wissenschaft ändern diese Ideen oft grundsätzliche Denkweisen oder eröffnen komplett neue Wege. Ein historisches Beispiel ist die Diskussion über das heliozentrische und das geozentrische Weltbild. Im 15. und 16. Jahrhundert versuchten die Wissenschaftler Nikolaus Kopernikus und Galileo Galilei das heliozentrische Weltbild durchzusetzen. Da es nicht in die damalige Denkweise (=konzeptioneller Raum) passte, wurde es vehement abgelehnt.

### **Mehrwert einer kreativen Idee**

Zuletzt bleibt die Frage nach dem Wert einer kreativen Idee offen. Ohne Frage kann eine zufällige Kombination von Dingen etwas Neues sein. Wenn der Wert nicht beurteilt werden würde, dann könnte ein Computerprogramm unendlich viele kreative Wortfolgen produzieren (Boden, 2013). Daher ist es unerlässlich nach dem Wert einer Idee zu fragen. Doch anders als bei neu und überraschend, so Boden, gibt es unzählige Möglichkeiten den Wert einer Idee festzustellen. Es ist schwierig eine Definition für interessant, schön, elegant zu finden, da diese Werte von Menschen mit verschiedenen sozialen oder kulturellen Hintergründen, diese anders bewerten. Hinzu kommt noch, dass diese Werte sich auch mit der Zeit verändern können. Je nach Definition des Problemraums und der darin geltenden Regeln, ist es daher einfacher oder schwerer Kreativität abzubilden.

### **Verschiedene Definitionen von Kreativität**

Auch andere im Bereich der Computerwissenschaften haben sich über eine Definition der Kreativität Gedanken gemacht. Nach Colton (2008) gibt es für Kreativität drei Standbeine: skill, imagination and appreciation. Ein System ohne diese drei Eigenschaften würde nicht als kreativ wahrgenommen. Damit impliziert er auch, dass ein kreatives System nur für den Betrachter kreativ erscheinen muss. Ritchie (2007) hat 18 Kriterien für kreative Systeme erarbeitet. Nach diesen formalen Punkten könne das Produkt eines kreativen Systems evaluiert werden. Colton et al. (2011) haben die Modelle FACE und IDEA erarbeitet, welche den Wert einer kreativen Handlung und die Wirkung einer solchen Handlung auf ein ideales Publikum abbilden. Dieses wurde aber soweit mir bekannt

nicht weiter zu einer Evaluationsmethode entwickelt. Die Erkenntnisse sollten aber zur Formulierung einer Computational Creativity Theory führen.

## 2.2 The Painting Fool

Simon Colton geht mit dem Projekt The Painting Fool<sup>2</sup> den Weg die künstliche Kreativität praktisch zu untersuchen. Als Professor für Computational Creativity am Goldsmiths der Universität London Der Painting Fool ist ein Softwaresystem, das mit Hilfe verschiedener Eingabewerte Bilder erzeugen kann. Das Ziel der Forschungsgruppe ist es ein Softwaresystem zu entwickeln, das eines Tages wirklich als eigentständiger kreativer Künstler angesehen wird.

### Überblick

Kernmerkmale des Painting Fools sind seine „skillful, appreciative and imaginative behaviours“ (deutsch: kunstfertigen, verständnisvollen, erfinderischen Verhaltensweisen). Mit diesen drei Punkten erfüllt Colton seine eigene Definition von dem was als kreativ wahrgenommen wird (Colton, 2008). Der Painting Fool implementiert diese drei Kriterien folgendermaßen: Der Painting Fool simuliert physische Pinselstriche. Den Prozess der Bilderzeugung kann man sogar beobachten. Der Painting Fool hat eine Palette an Pinselstrichen und Rendermethoden eingebaut aus denen gewählt werden kann (teils autonom, teils durch den Benutzer). Des Weiteren kann der Painting Fool Emotionen in Text und Gesichtsausdrücken von Menschen erkennen. Zuletzt der imaginative Teil: Der Painting Fool ist in der Lage automatisiert Szenen, mit Hilfe von Design Grammatiken, zu erzeugen (Colton et al., 2015). Es bleibt anzumerken, dass der Painting Fool Techniken aus verschiedenen Bereichen der Computerwissenschaft, wie zum Beispiel der Computergrafik, dem Information Retrieval und auch Machine Learning, implementiert.

### Arbeitsablauf

Der Arbeitsablauf mit dem Painting Fool funktioniert so: Zuerst gibt der Benutzer über eine mehrseitige Benutzeroberfläche die gewünschten Parameter ein. Darunter fallen Einstellungen zum Pinselstrichrenderings, sowie Angabe von Beispielbildern und Begriffen. Danach erzeugt der Painting Fool ein digitales Bild. Dabei wird der physische Malprozess eines Pinsels simuliert. Der Painting Fool kann nicht vollständig autonom Bilder erzeugen. In einem aktuellen Entwicklungsschritt ist der Painting Fool in der Lage durch eine Kamera seine Erzeugnisse zumindest teilweise zu evaluieren und die Ausgabe zu verbessern (Colton et al., 2015).

### Wert der Painting Fool Bilder

Ob die Bilder ästhetischen Ansprüchen genügen, wird allerdings durch die Benutzer des Painting Fools beurteilt. Somit ist der Prozess zu einem fertigen Bild ein iteratives Verfahren der zwischen Anpassung der Eingabeparameter und dem Erstellen des Bildes hin

<sup>2</sup><http://www.thepaintingfool.com/index.html>

und herwechselt. Somit muss man sagen, dass die von Boden geforderte Komponente eines Mehrwerts, den das kreative Produkt bieten muss, hier keiner klaren Definition unterliegt. Allerdings können die von Painting Fool erzeugten Bilder sehr wohl gewisse Werte vorweisen. Sie wurden auf Ausstellungen präsentiert und mehrfach verkauft. Sogar Auftragsarbeiten hat das Team um den Painting Fool bereits erhalten (Colton, 2012b). Ein Aspekt der Forschung mit dem Painting Fool ist eine soziale Studie, wie Menschen, von Computer erzeugte Kunst annehmen. Welchen Wert würden Menschen von Computern erzeugte Kunst anrechnen?

## 2.3 Mathematische Systeme

Im Jahr 1982 hat Lenat and Davis ein Computerprogramm entwickelt, das in der Domäne von Zahlen selbstständig kreativ agieren sollte. Dabei hat das Programm beispielsweise die Reihe der Primzahlen als auffällige und interessante Entdeckung herausgestellt. Da dieses System viele Produktionsregeln und Heuristiken fest integriert hatte, wurde es als überangepasst kritisiert (Colton et al., 2001). Colton (2012a) hat versucht diesen Ansatz in seiner Arbeit aufzugreifen und ebenfalls ein Computerprogramm zur automatischen Formulierung einer mathematischen Theorie zu erzeugen. Sein HR System (benannt nach den Mathematikern Hardy und Ramanujan) funktioniert mit deutlich weniger Produktionsregeln. Auch das HR System kann viele interessante Zahlenreihen identifizieren. Um nur eine zeigen: Die Reihe refaktorierbaren Zahlen. Bei diesen Zahlen ist die Anzahl der Teiler ebenfalls ein Teiler:

$$1, 2, 8, 9, 12, 18, 24, 36, 40, 56, 60, 72, 80, 84, 88, 98, \dots$$

Diese Ansätze sind unterschiedliche Herangehensweisen an die Problemstellung wie künstliche Intelligenz funktionieren kann. Keine davon erhebt den Anspruch eine formale Definition zur Kreativität zu liefern, was die Implementierung von Kreativität erschwert. Jürgen Schmidhuber möchte mit seiner Formalen Theorie der Kreativität diese Lücke schließen.

## 3 Eine Formale Definition von Kreativität

### 3.1 Überblick

Mit seiner formalen Theorie der Kreativität möchte Jürgen Schmidhuber die bisher eher informellen Definitionen von Kreativität aus der Philosophie und der Psychologie in eine formale Form bringen, die es ermöglicht entsprechende Programme umzusetzen. Dabei greift er unter anderem Ideen der Philosophen Kant und Danto auf und bringt sie in eine für die Computerwissenschaften taugliche Form. Die Grundidee seiner Theorie beschreibt er mit folgendem Satz: „creativity and curiosity are about actively making or finding novel pattern“. Mit seiner Theorie beschreibt er einen autonomen Agenten, der aktiv neuartige (novel) interessante Muster (pattern) erzeugt und findet. Mit interessant ist in diesem Kontext gemeint, dass eine Regelmäßigkeit oder Systematik gefunden werden konnte.

## 3.2 Formale Definition

Ein kreativer Agent benötigt:

- einen Lernalgorithmus, der den zukünftigen Erfolg maximiert
- ein vorrausschauendes, adaptives Modell der Welt
- Formel zur Berechnung der intrinsischen Belohnung (reward)
- einen reward optimizer oder reinforcement learner, der die Belohnungen in Aktionen übersetzt

Im Folgenden sei  $t \in \{1, 2, 3, \dots, T\}$  ein diskreter Zeitschritt des lernenden Agenten.  $T$  sei die maximale Lebensdauer, die nicht vorher bekannt sein muss. Zu jedem Zeitpunkt  $t$  gibt es drei Werte. Den Eingabevektor  $x(t)$ , die Ausgabe bzw. Aktion  $y(t)$  und den Belohnungswert (reward)  $r(t)$ . Diese drei Werte werden als Tripel  $h(t) = [x(t), y(t), r(t)]$  festgehalten.  $h(\leq t)$  enthält alle diese Tripel bis zum Zeitpunkt  $t$ . Das Ziel des Agenten ist es den zukünftigen Erfolg  $u(t)$  zu maximieren:

$$u(t) = E_{\mu} \left[ \sum_{\tau=t+1}^T r(\tau) \middle| h(\leq t) \right] \quad (1)$$

$E_{\mu}$  repräsentiert hier eine probabilistische Verteilung aller möglichen Reaktionen der Umwelt. Unter Berücksichtigung der bekannten Historie  $h(\leq t)$  ist diese Funktion von den zukünftigen Belohnungen abhängig. Die Belohnungsfunktion  $r(t)$  kann aus eine Kombination von externer und intrinsischer Belohnung (Reward) bestehen:

$$r(t) = g(r_{ext}(t), r_{int}(t)) \quad (2)$$

Die Funktion  $g$  dient hierbei als Mapping-Funktion und kann beispielsweise als simple Addition der beiden Werte definiert werden. Der externe Reward ist die Rückmeldung der Umwelt, wie das Erreichen eines vorgegebenen Ziels oder das Vorfinden von Hindernissen. Für kreative Agenten ist allerdings vor allem der intrinsische Reward interessant. Für einen puren kreativen Agenten gilt  $r_{ext}(t) = 0$ , für alle  $t$ . Um diese möglichst gut schätzen zu können wird ein entsprechendes adaptives Modell  $p$  der Welt benötigt. Dieses Modell ist immer abhängig von der bisherigen Historie. Das Modell beinhaltet die Konsequenzen aller möglichen Interaktionen mit der Umwelt.  $p(t)$  beschreibt in gewisser Weise  $h(\leq t)$ .  $r_{ext}(t)$  wird genau dann gewährt, wenn das Modell verbessert werden konnte.

$$r_{int}(t+1) = f \left[ C(p(t), h(\leq t+1)), C(p(t+1), h(\leq t+1)) \right] \quad (3)$$

Wie Formel 3 zeigt, setzt sich der intrinsische Reward für einen Zeitpunkt  $t+1$  aus zwei Teilen zusammen. Die Mappingfunktion  $f$  bestimmt, wie die beiden Werte verrechnet werden. Für die weiteren Überlegungen bietet es sich an von  $f(a, b) = a - b$  auszugehen.  $C(p, h)$  beschreibt die Qualität des Modells  $p$ , gemessen an der Historie  $h$ . In anderen



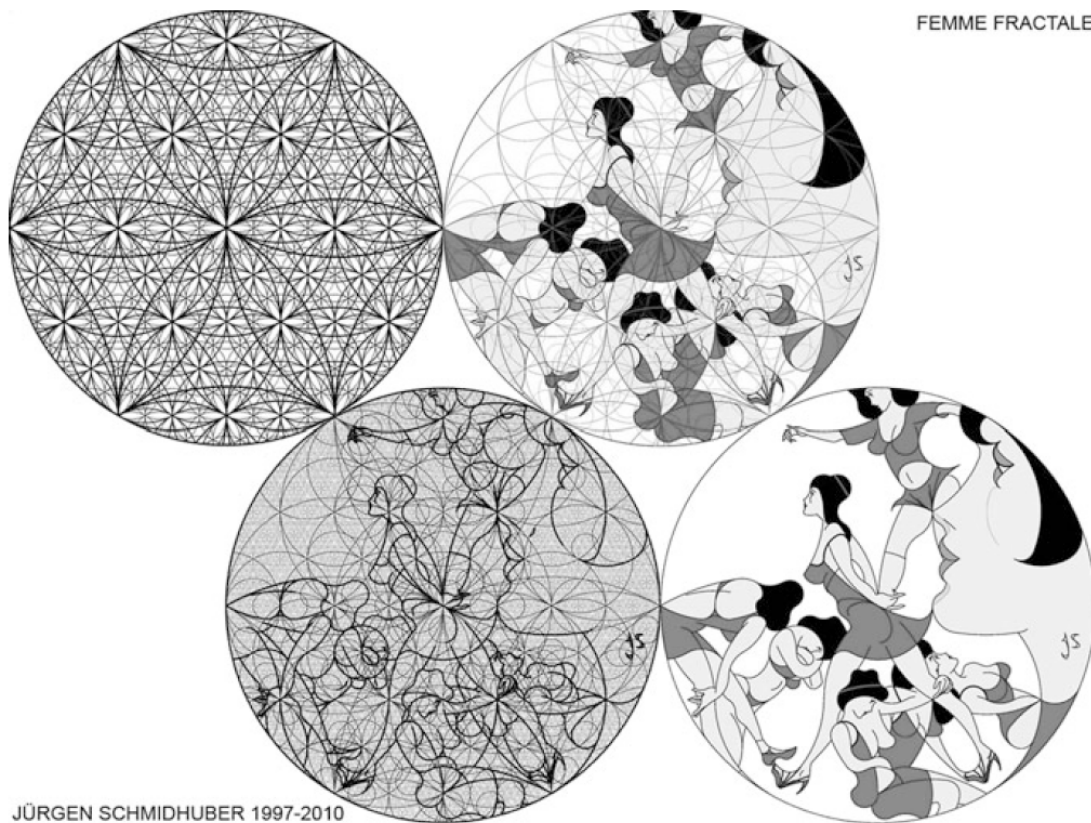
Worten, wie gut  $h$  durch  $p$  beschrieben werden kann.  $C(p(t), h(\leq t+1))$  gibt mit welchem Aufwand das Modell  $p(t)$  den neuen Zeitpunkt beschreiben kann.  $C(p(t+1), h(\leq t+1))$  respektive verwendet bereits das adaptierte Modell  $p(t+1)$ . Der Wert der Formel 3 ist dementsprechend positiv, wenn die Daten aus  $h(\leq t+1)$  mit einem neuen Modell besser (mit weniger Zusatzinformationen) beschrieben werden können als mit dem bestehenden.

$$C_{xry}(p, h(\leq t)) = \sum_{\tau=1}^t \left( \|pred(p, x(\tau)) - x(\tau)\|^2 + \|pred(p, r(\tau)) - r(\tau)\|^2 + \|pred(p, y(\tau)) - y(\tau)\|^2 \right) \quad (4)$$

$C_{xry}$  ist ein Beispiel für die Qualitätsbewertung von  $p$ . Hierbei wird die komplette Historie berücksichtigt.  $pred(p, x(\tau))$  liefert den von  $p$  geschätzten Wert von  $x(\tau)$ . Je weniger sich der jeweilige Schätzwert von eigentlichen Wert unterscheidet, desto kleiner ist  $C_{xry}$ . Entsprechend lässt sich ein  $C_l$  definieren, dass die benötigten Bits, die zur verlustfreien Komprimierung von  $h$  durch  $p$  nötig sind. Je kleiner  $C_l$ , desto mehr Regelmäßigkeiten konnten in  $h$  gefunden werden und zur Komprimierung genutzt werden. An dieser Stelle kommen Ideen aus der Informationstheorie zum Einsatz, wie zum Beispiel von Huffman.

### 3.3 Beispiele

Als Nebenprodukt seiner Arbeiten zu den formalen Theorien von Kreativität und Schönheit hat Jürgen Schmidhuber die Low-Complexity Art entwickelt. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass die Bilder mit relativ kurzen Algorithmen erzeugt werden können. Als weiterer Anspruch soll dies für den Betrachter auch erkennbar sein. Genauso wie, dass das Bild ansprechend ist. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, setzt sich das Bild aus Segmenten regelmäßig positionierter Kreise unterschiedlicher Größe zusammen. Im Zusammenhang mit der Formalen Theorie der Kreativität kann man sich die Bildgrundlage mit allen Kreisen als möglichen Teil des irgendwie gelernten Weltmodells  $p$  vorstellen. Sobald neue Bilder nichts mehr zum Weltmodell beitragen, zum Beispiel indem die komplette Grundlage gelernt wurde, stuft der Algorithmus die Bilder als uninteressant ein (kein intrinsischer Reward). Im Umkehrschluss würde ein kreativer Agent solange Bilder einer Art erzeugen bis er sie komplett verstanden hat. Es ist offensichtlich, dass ein entsprechend generativer Algorithmus vorhanden sein muss, der in der Lage ist Bilder zu erzeugen. Um das Beispiel der Komprimierungsqualität  $C_l$  noch einmal aufzugreifen: Ein Agent der die vergangenen Zeitschritte ein stetig schwarzes Bild beobachtet hat, kann dieses effektiv in seinem Weltmodell kodieren. Zum Beispiel (in natürlicher Sprache) mit „immer schwarz“. Abweichungen würde er als Ausnahmen speichern, wie zum Beispiel „außer  $t=3$ , Bild ist weiß“. Bekommt der Agent ein weiteres schwarzes Bild zu sehen, kann er dies mit geringem Aufwand mit dem bestehenden Modell  $p(t)$  kodieren. Da er das Modell nicht weiter optimieren, ist der Aufwand (verwendete Bits) für  $p(t+1)$  der gleiche. Demzufolge ist der intrinsische Reward gleich null. Der Agent möchte neue



JÜRGEN SCHMIDHUBER 1997-2010

Abbildung 1: Low Complexity Art (Schmidhuber (2012))

Bilder sehen, um  $p$  zu verbessern. Bekommt er nun als Eingabebild ein weißes Rauschen, dann kann er dies in  $p(t)$  nicht effektiv kodieren. Stattdessen muss dieses Bild annähernd Pixel für Pixel abgelegt werden. Da es sich bei Rauschen um eine Zufallsfolge handelt wird es auch ein angepasstes Modell  $p(t+1)$  schwer haben Regelmäßigkeiten zu finden. Das heißt beide Modell benötigen annähernd gleich viele Bits. Auch hier ist der intrinsische Reward null. Das weiße Rauschen erfüllt jetzt zwar die Bedingung etwas Neues zu liefern, verfügt aber über keine Regelmäßigkeiten, daher ist auch das für den kreativen Agenten uninteressant.

#### 4 Evaluation von Kreativität

Versucht man nun nach den Vorgaben von Schmidhubers Theorie der Kreativität ein System zu entwickeln oder ein System das Bilder erzeugen kann, vergleichbar mit dem Painting Fool, dann stößt man letztlich auf die Frage: Wie kann das kreative System evaluiert werden? Ist das System kreativ? Ist dieses System kreativer als jenes? Um diese Fragen beantworten zu können wird ein plausibles Evaluationssystem benötigt. Eine

Evaluation fehlt gerade den früheren Arbeiten in diesem Bereich häufig (vgl. Jordanous (2012)). Das mag an der eingangs angesprochenen Schwierigkeit einer allgemeingültigen Definition von Kreativität liegen. Denn eine solche Definition müsste als Grundlage für Evaluationskriterien standhalten.

### **Verschiedene Definitionen von Kreativität**

Colton (2008), Ritchie (2007), Colton et al. (2011), Schmidhuber (2012) und Boden (2007) bringen verschiedene Definitionen von Kreativität mit ins Spiel. Jede davon könnte zur Evaluation eines Systems hergenommen werden. Wichtig ist natürlich, dass die Definition genau präzise genug formuliert ist, um einzelne Punkte bemessen zu können. Bei Bodens Definition bleibt die Frage nach dem Mehrwert offen und müsste daher vor einer Evaluation festgelegt werden.

### **Standardisiertes Verfahren zur Evaluation von kreativen Systemen SPECS**

Anna Jordanous versuchte mit SPECS ein standardisiertes Verfahren zur Evaluation von kreativen Systemen zu entwickeln (vgl. Jordanous (2012)). In SPECS wird besonders darauf eingegangen, dass nicht immer alle Bewertungskriterien für jedes System gleich wichtig sind. So ist kreative Musikerzeugung anders zu beurteilen als kreative Bilderzeugung oder die Entwicklung einer mathematischen Theorie. Es wird also berücksichtigt, dass die Werte in verschiedenen Bereichen unterschiedlich sind. Durch eine Analyse verschiedener Texte mit Methoden aus der Computerlinguistik konnten Begriffe, die häufig in Verbindung mit Kreativität vorkommen extrahiert werden. Zu Clustern zusammengefasst ergaben sich folgende 14 Oberbegriffe. Jordanous (2012) versteht diese als Grundbausteine um Kreativität zu definieren:

- Aktive Beteiligung am Prozess
- Originalität
- Umgang mit Unsicherheit
- Entwicklung während des Prozesses
- Fachwissen
- Soziale Interaktion
- Allgemeinwissen
- Spontanität
- Erzeugen von etwas Neuem
- Evaluierung von Möglichkeiten
- Unabhängigkeit
- Wert bzw. Mehrwert
- Emotional im Prozess eingebunden
- Experimentierfreude

Je nach Anwendungsgebiet können verschiedene Bereiche stärker oder schwächer in die Evaluation von Computerkreativität einbezogen werden. Die Methode sieht folgende Schritte vor:

1. Welcher Definition von Kreativität soll das System gerecht werden?
2. Ableitung von Standards aus der gegebenen Definition (aus Punkt 1)

### 3. Test des Systems anhand der Standards

SPECS stellt es frei welche Definition von Kreativität genutzt wird. Ebenso auf welche Art das System getestet wird. Die Absicht ist es durch diesen standardisierten Prozess eine detaillierte Bewertung des Systems zu erhalten. Dies ermöglicht es das System entsprechend zu verbessern, sowie anderen Arbeiten darauf aufzubauen.

## 5 Zusammenfassung und Fazit

Die Forschung um künstliche Kreativität befindet sich in einem Bereich der sowohl Psychologie als auch Computerwissenschaft insbesondere Künstliche Intelligenz betrifft. Wie oben erläutert gibt, es viele verschiedene Ansätze kreative Computersysteme zu entwickeln. Am Ende wird eine Evaluation, mangels ausreichender Definition von Kreativität, schwierig. Margaret Boden beschreibt mit ihrer Definition kreative Produkte als neu, überraschend und von (Mehr-)Wert. Das Problem das sie sieht, ist das der erforderliche Mehrwert nicht einfach zu definieren ist. Simon Colton definiert ein kreatives System als kunstfertig, verständnisvoll und erfinderisch. Für ihn reicht es aus, wenn das System kreativ erscheint. Auch seine Arbeit mit dem Painting Fool zeigt, dass nicht alle erzeugten Bilder einen (subjektiven) Mehrwert für den Betrachter erfüllen. Der Prozess wird mehrfach durchlaufen, bis ein Bild den Ansprüchen gerecht wird. Anna Jordanous definiert Kreativität als eine Kombination von verschiedenen Bausteinen (diese decken auch die Punkte von Boden und Colton mit ab) und versucht zu sensibilisieren, dass es nicht die eine Definition von Kreativität gibt. Jürgen Schmidhuber definiert eine formale Theorie der Kreativität. Nach seiner Definition ist Kreativität das Finden von etwas vorher Unbekanntem, in dem eine Regelmäßigkeit entdeckt werden kann. Seine Formale Theorie bietet eine theoretische Grundlage für das Entwickeln von kreativen Agenten. Für eine Implementierung ist allerdings ein entsprechendes Model der Welt (des Problemraums) nötig, sowie die konkrete Umsetzung der Machine-Learning Algorithmen. Je nach Anwendungsgebiet ist die Qualitätsbewertungsfunktion (vgl. Formel 4) anders zu formulieren. Zur Evaluation von kreativen Systemen, schlägt Jordanous schließlich einen Prozess vor, der eine auf den Anwendungsfall angepasste Definition von Kreativität vorsieht und gegen daraus resultierende Standards evaluiert. Am Ende bleibt aber die Frage: Können Computer kreativ sein? Die Beantwortung der Frage steht und fällt mit der Definition. Daher kann auch keine klare Antwort darauf gegeben werden. Dennoch, so Boden (2007), können solche Computersysteme dabei helfen die menschliche Kreativität besser zu verstehen. Wie lange es noch dauert bis Jürgen Schmidhubers Traum vom künstlichen Wissenschaftler, der seine Arbeit für ihn erledigt, erfüllt ist, und ob dies jemals der Fall ist, bleibt noch unklar.

### Computer als kreativer Kollaborator

McCormack and d’Inverno (2012) zeigen einen Aspekt auf, der in dieser Arbeit noch nicht angesprochen wurde. Sie stellen kreative Computersysteme in Beziehung mit dem Menschen (siehe Abbildung 2). Mit steigender Kreativität des Computersystems, nimmt der

## COMPUTER



Abbildung 2: Computer-Human Relation nach McCormack and d’Inverno (2012)

Einfluss des menschlichen Benutzers ab. Ganz links könnte man sich einen Grafiker vorstellen, der ein Grafikprogramm bedient. Ganz rechts wäre das Programm selbstständig und benötigt nur noch eine Art Mentor, der eventuell nur die Ergebnisse bewertet. Dazwischen besteht ein collaboratives Verhältnis, bei dem Mensch und Computer sich gegenseitig Ergebnisse liefern. Sie weisen darauf hin, dass ein solcher kreativer Agent auch die menschliche Kreativität unterstützen und erweitern kann.

## Literatur

- Margaret A Boden. 2007. Creativity in a nutshell. *Think* 5, 15 (2007), 83–96.
- Margaret A Boden. 2013. *Creativity and Computers*. Vol. 17. Springer Science & Business Media. 3–26 pages.
- Simon Colton. 2008. Creativity Versus the Perception of Creativity in Computational Systems.. In *AAAI spring symposium: creative intelligent systems*, Vol. 8.
- Simon Colton. 2012a. *Automated theory formation in pure mathematics*. Springer Science & Business Media.
- Simon Colton. 2012b. The painting fool: Stories from building an automated painter. In *Computers and creativity*. Springer, 3–38.
- Simon Colton, John Charnley, and Alison Pease. 2011. Computational creativity theory: The FACE and IDEA descriptive models. In *Proceedings of the Second International Conference on Computational Creativity*. 90–95.
- Simon Colton, Jakob Halskov, Dan Ventura, Ian Gouldstone, Michael Cook, and Blanca Perez-Ferrer. 2015. The Painting Fool sees! new projects with the automated painter. In *Proceedings of the 6th International Conference on Computational Creativity*. 189–196.
- Simon Colton, Alison Pease, and Graeme Ritchie. 2001. The effect of input knowledge on creativity. *Technical Reports of the Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence* (2001).
- DeepMind.com. 2017. DeepMind AlphaGo. <https://deepmind.com/research/alphago/>. (2017). Aufgerufen am 16.02.2017.
- Anna Jordanous. 2012. A standardised procedure for evaluating creative systems: Computational creativity evaluation based on what it is to be creative. *Cognitive Computation* 4, 3 (2012), 246–279.
- D Lenat and R Davis. 1982. AM: Discovery in Mathematics as Heuristic Search in Knowledge System in Artificial Intelligence. (1982).
- Jon McCormack and Mark d’Inverno. 2012. *Computers and Creativity: a Roadmap*. (2012).
- Graeme Ritchie. 2007. Some empirical criteria for attributing creativity to a computer program. *Minds and Machines* 17, 1 (2007), 67–99.
- J. Schmidhuber. 2012. A Formal Theory of Creativity to Model the Creation of Art. In *Computational Creativity*, J. McCormack and M. d’Inverno (Eds.). MIT Press.

spiegel.de. 2017. Spiegel-online: Versicherer ersetzt Mitarbeiter durch IBMs Watson. <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/fukoku-mutual-life-versicherer-ersetzt-mitarbeiter-durch-ibms-ki-watson-a-1128670.html>. (2017). Aufgerufen am 16.02.2017.