

Künstliche Intelligenz und Klimakrise

Maike Knoll, Hochschule der Medien, Stuttgart maike.knoll@gmx.de

1 Einleitung

Die immer wichtiger und dringender werdende Klimakrise zwingt in allen Lebensbereichen zum Handeln. Spätestens jetzt muss neu gedacht und Technologien entwickelt werden, die im Kampf gegen den Klimawandel helfen können. Die Arbeit mit Künstlichen Intelligenzen bietet unendliche Möglichkeiten einen schnellen Fortschritt zu erzielen. Trotzdem sollte die Künstliche Intelligenz selbst auf ihre Nachhaltigkeit untersucht werden. Deshalb sollten sich Entwickler*innen die Frage stellen: Wie umweltschädlich ist unsere Technologie? Und noch wichtiger: Was können wir tun, um die Entwicklung nachhaltig zu gestalten? In diesem Bericht wird untersucht, welche Entwicklungen es heute schon gibt, wie umweltschädlich die Systeme sind und was hinsichtlich dessen verbessert werden kann.

2 Der Sieben-Punkte-Plan

Der KI Bundesverband ist das größte Unternehmensnetzwerk für Künstliche Intelligenz (KI) in Deutschland [1]. Der Verband legte im Februar 2021 ein Positionspapier vor. "KI hat ein hohes Potenzial, Prozesse effizienter und energiesparender zu gestalten", schreiben die Autor*innen des Positionspapiers [2]. In diesem werden sieben Schritte beschrieben, um den Klimaschutz und die Nachhaltigkeit, gerade im Energiesektor, zu fördern.



KI BUNDESVERBAND

Abbildung 1: Logo des KI Bundesverbands [2]

Die Energiewirtschaft ist weltweit der größte Kohlenstoffdioxidemittent. Rund 73,2 Prozent fallen auf diesen Sektor an. [3] Neben der Umstel-

lung auf die Versorgung mit erneuerbaren Energien werden auch neue Technologien, unter anderem mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz, erforscht und entwickelt, um die Energiewirtschaft zu entlasten. Diese neuen Technologien sollen, nach dem Bundesverband KI, unter Anbetracht von sieben Punkten entwickelt werden. Diese sind zusammengefasst:

1. **Durchgehende Erhebung von Daten in Bezug auf Nachhaltigkeit und Klimaschutz:** Das Hauptproblem bei der Entwicklung von KI ist häufig der Mangel an Daten. Daten müssen anonym gesammelt werden und Anreize sollen geschaffen werden, dass Privatpersonen und Unternehmen ihre Daten erheben und teilen. [2]
2. **Klimaschutzrelevante Daten müssen öffentlich verfügbar sein:** Unternehmen müssen verpflichtet werden können, die Daten zu übermitteln. [2]
3. **Schaffung von Nachhaltigkeits-Plattformen zur übergreifenden Zusammenarbeit:** Mehr Zusammenarbeit durch neue Plattformen, auf denen Ideen, Probleme und Daten sicher ausgetauscht und somit gemeinsam an nachhaltigen Projekten gearbeitet werden kann. [2]
4. **Bewertung der Nachhaltigkeit von Unternehmen:** Unternehmen sollen aufgrund ihrer Nachhaltigkeit bewertet werden und "gute" Unternehmen bei Förderungen bevorzugt werden. [2]
5. **Förderung von nachhaltigen Projekten:** Projekte, die dem 2-Grad-Ziel förderlich sind sollen bei der Förderung priorisiert werden. [2]

6. **Förderung von Innovationen zum Schutz des Klimas durch Wettbewerbe:** Mehr Wettbewerbe für Klimaschutzprojekte. [2]

7. **Minimierung negativer Auswirkungen und Eindämmung von Rebound Effekten:** KI Algorithmen sind oft sehr energieaufwändig. Es muss abgeschätzt werden, wie sinnvoll KI Lösungen sind, da sie selbst einen hohen CO₂ Ausstoß haben. Darüber hinaus sollte bei Entwickler*innen ein Bewusstsein über die Emissionen des KI-Trainings geschaffen werden. [2]

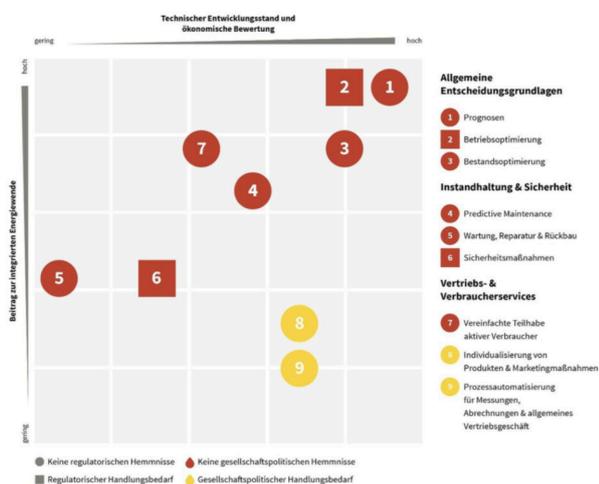


Abbildung 2: Chancen von Künstlicher Intelligenz gegen den Klimawandel [2]

In Abbildung 2 wird dargestellt, wie die KI in der Energiebranche Anwendung finden kann. Der KI Bundesverband präzisiert drei Bereiche: Vorhersagen, Optimierungen und Erhöhungen grüner Energieangebote durch Prognosen und Wartung. [2]

3 Was wird aktuell entwickelt?

Warum ist es so wichtig, KI zu verwenden, um die Klimakrise zu bekämpfen? Die KI eröffnet Möglichkeiten, an die wir bisher noch nicht gedacht haben und ermöglicht neue Einblicke und Erkenntnisse, wie wir sie bisher nicht erlangen konnten. Zum Beispiel kann KI uns ermöglichen, unser Ökosystem als Ganzes zu verstehen. Jedoch

ist das ein übergreifendes und ambitioniertes Ziel. Es gibt aber bereits heute viele Ansätze, die die Einzelteile beim Verstehen dieses komplexen Systems lösen. [4]

Überall auf der Welt arbeiten Innovator*innen an der Entwicklung von Technologien gegen die Klimakrise, um zum Beispiel Waldbrände zu verhindern oder Umweltrisiken in gefährdeten Gebieten zu minimieren. In der Energiewirtschaft können Emissionen durch den Einsatz von KI-Technologie reduziert werden, durch zum Beispiel KI-Systeme, die in Gebäuden und Städten eingesetzt werden können, um die Heizung und Kühlung automatisch zu steuern. Im Verkehrssektor können KI-Lösungen genauere Verkehrsprognosen über den Berufsverkehr und die Nachfrage für den öffentlichen Nahverkehr optimieren. KI kann dazu beitragen, die Ernteerträge besser zu überwachen, den Bedarf an überschüssigem Wasser zu verringern und die Verschwendung von Lebensmitteln zu minimieren. Und auch allgemein können CO₂-Emissionen schon heute genau geschätzt werden, da große Datenmengen durch verschiedenste Messgeräte zur Verfügung stehen und diese präzise interpretiert werden können. [5, 6]

Nachfolgend werden einzelne Beispiele für Innovationen in den Sektoren Müll, Wetter, Energie und Essen detaillierter illustriert.

3.1 Müll

In der Müllwirtschaft wird viel geforscht, um eine höhere Recyclingquoten zu erlangen. Das Unternehmen Smarter Sorting hat ein System entwickelt, welches Artikel, die zurückgegeben wurden, nicht mehr direkt in den Abfalleimer wandern lässt, sondern die beste Entscheidung darüber trifft, ob es wiederverwendet, gespendet oder recycelt werden kann. Somit kann 70% Abfallmenge der Einzelhändler reduziert werden. [7]

Greyparrot ist ein KI-Startup, das die Transparenz und Automatisierung im Recycling erhöhen will, indem es dynamisch die Preise von verderblichen Produkten anpasst und somit Lebensmittelverschwendung vorbeugt. Außerdem entwickelt das Unternehmen auch Lösungen für die Sortierung von Abfällen wie Glas, Pappe, Zeitungen, Papier, Dosen und Kunststoffen. Hierdurch kann die

Abfallwirtschaft optimiert werden. [8]

Solch ein System wird auch an der Hochschule der Medien im Studiengang Audiovisuelle Medien entwickelt und nennt sich der Future Bin "FuBi" [9].

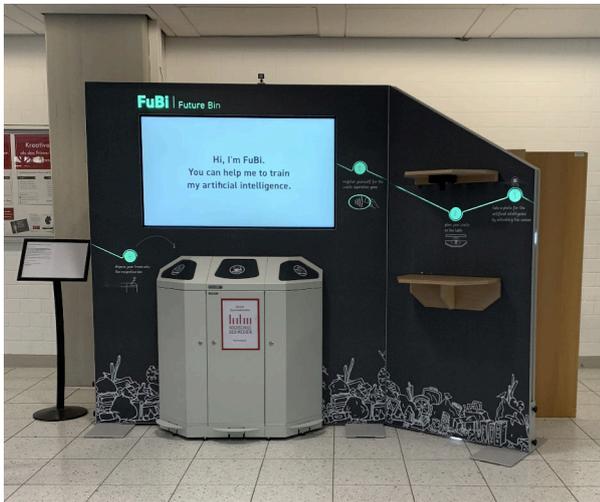


Abbildung 3: FuBi in der HdM

3.2 Wetter

Die Künstliche Intelligenz ist vor allem für die Vorhersage extremer Klimatrends und Klimamustern wichtig geworden. Google nutzt beispielsweise Machine Learning, um eine detaillierte Prognose über Niederschläge zu erhalten. Dies ermöglicht eine schnelle Vorhersage von Wettermustern. Die klassischen Wettervorhersagen stützen sich auf sogenannte numerische Wettervorhersagen. Sie können das Wetter für die nächsten Tage vorher-sagen, indem sie auf Daten von Wettersatelliten und lokalen Wetterstationen zurückgreifen. Dies funktioniert aber nur für längere Vorlaufzeiten und nicht für Vorhersagen unter zwei Stunden. Google hingegen prognostiziert Werte von Radardaten und nimmt diese als Indikator für Niederschläge, was Ergebnisse innerhalb von Minuten liefert. Für die Notfallplanung, Wasserwirtschaft und Landwirtschaft sind diese Methoden, welche sich Gegenwartsvorhersagen (Nowcasting) nennen, von großem Vorteil. [10]

Tropische Wirbelstürme, Wetterfronten und atmosphärische Flüsse können mit einer Genauigkeit von 89 bis 99 Prozent durch KI erkannt werden [11]. Deep Learning ist in der Lage, Systeme

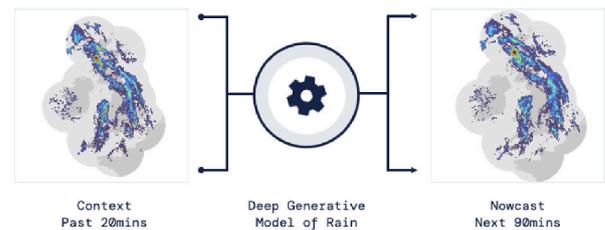


Abbildung 4: Die letzten 20 Minuten des beobachteten Radars werden verwendet, um probabilistische Vorhersagen für die nächsten 90 Minuten unter Verwendung eines Deep Generative Model of Rain (DGMR) bereitzustellen [10].

zu analysieren und zu simulieren. Dadurch können Modelle erstellt werden, die von Wissenschaftler*innen und Forscher*innen betrachtet werden, um solide Entscheidungen zu finden.

Die Anzahl und das Ausmaß von Waldbränden haben in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Jährlich brennen über 4,4 Millionen km² Wald [12]. Die Brände verursachen Schäden von Milliarden Euro und setzen weltweit circa acht Milliarden Tonnen CO₂ frei, was 10% der weltweiten Emissionen entspricht. Im Vergleich sind das mehr als der weltweite Automobilverkehr. Das Münchner Unternehmen OroraTech entwickelte eine KI-gestützte Lösung für dieses Problem: ein globales, satelliten-basiertes Frühwarnsystem für Waldbrände. Das System wird weltweit von staatlichen Behörden und privaten Unternehmen genutzt. Selbstgebaute Satelliten erkennen Waldbrände von einer Fläche ab zehn mal zehn Metern Größe innerhalb von einer halben Stunde. [13]

Es existieren viele weitere Anwendungsfälle im Hinblick auf den Klimawandel und dessen Vorhersage. Zum Beispiel arbeiten an der NYU Wissenschaftler*innen daran, das Klima durch KI zu simulieren um so genauere Prognosen machen zu können [14]. Mit dem Ziel den Ozean zu heilen und tote Küstengebiete wieder zum Leben erwecken, arbeitet die Ocean Data Alliance mit verschiedenen Städten zusammen um deren Abwassersysteme zu verbessern und Umweltfreundlicher zu machen [14] und die National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) arbeitet an KI-Prognosen über Wetterereignisse wie Hurrikane [15]. IBM arbeitet mit dem Green Horizons Projekt an der Prognose von Luftverschmutzung (zum Bei-

spiel durch Feinstaub) bis zu 72 Stunden im Voraus mit einer Genauigkeit von bis zu einem Kilometer. Dazu werden die Daten von Verkehrskameras und Wettersatelliten verwendet, um die Luftverschmutzung nicht nur vorzusagen, sondern auch zu prognostizieren woher sie kommt und wohin sie sich bewegt [14].

3.3 Energie

Auch in der Energiewirtschaft wird viel geforscht. WattTime ist eine gemeinnützige Organisation, die Technologielösungen anbietet. Gerade bei der Energieversorgung sind Städte, Unternehmen und auch Privatpersonen verschwenderisch. Häufig wird auch nicht darauf geachtet, ob der gelieferte Strom grüner, nachhaltiger Strom ist. WattTime möchte es daher jedem leicht machen, seine Emissionen in Hinblick auf die Energie zu reduzieren und dabei trotzdem nicht auf Komfort verzichten zu müssen und auch keine Mehrkosten zu tragen. Ihre Künstliche Intelligenz sendet Echtzeitdaten über saubere Energie. Das bedeutet, dass an ein mit dem Internet verbundenen Smart Devices Daten gesendet werden, wodurch Thermostate in Wohngebäuden, Kühlschränke und andere elektrische Geräte ihren Stromverbrauch verschieben können. Dieser wird zeitlich so verschoben, dass nur noch Strom aus sauberen Energiequellen gespeist wird. [16]

3.4 Essen

Für die Diagnose und Behandlung von Nutzpflanzen werden Landwirte in Entwicklungsländern von Künstlichen Intelligenzen unterstützt. Durch Machine Learning können indische Landwirte bis zu 30% höhere Ernteerträge erzielen. Hierfür wird zum Beispiel der beste Zeitpunkt für die Aussaat ermittelt. [17]

Machine Learning Algorithmen ermöglichen es bereits heute, systematisch neue Inhaltsstoffe oder Rezepturen zu finden, die als Ersatz für tierische Produkte dienen können um diese möglichst schmackhaft zu gestalten. Ein Beispielunternehmen hierfür ist NotCo. Sie produzieren unter anderem pflanzlichen Milchersatz auf Basis von Kohl und Ananaskonzentrat. Der Algorithmus, welcher für diese außergewöhnlichen Rezeptur verantwortlich ist, verfügt über eine Datenbank mit mehr



Abbildung 5: NotCos KI Chef Giuseppe [18]

als 400.000 Pflanzen. Dieser analysiert mithilfe von KI das tierische Produkt auf struktureller Ebene und gibt dann eine Reihe von Rezepten zurück, die das Unternehmen mit Köchen nachkocht. [18]



Abbildung 6: Inhaltsstoffe "NotMilk" [19]

4 Welcher Konflikt entsteht?

"It's time to start thinking about doing AI in a more environmentally friendly way." - Prof. Virginia Dignum, Umeå University, Sweden [20]

Künstliche Intelligenz kann demzufolge Klimaprognosen verbessern, herausfinden, wie erneuerbare Energien zugeteilt werden können und selbst unseren Fußabdruck im Hinblick auf das Essen verbessern, doch die Klimaauswirkungen der Algorithmen werden kaum bedacht. Ein großes Pro-

blem der KI ist der Energieverbrauch. Die großen Datenmengen, die für ein stabiles System benötigt werden, müssen gespeichert werden. Diese Rechenzentren verbrauchen eine große Menge an Energie. In nördlichen Ländern Europas und in Kanada gibt es Datenfarmen, welche so viel Energie verbrauchen wie eine kleine Stadt [21]. Und auch das Training selbst läuft für moderne KI-Systeme meist tagelang auf Hochleistungs-GPUs. Die University of Massachusetts führte eine Studie zur Lebenszyklusanalyse von KI-Systemen durch. Das Ergebnis dieser Studie: Das Training eines KI-Modells zur Verarbeitung menschlicher Sprache kann im Schnitt zum Training von 4.789 Modellen über einen Zeitraum von sechs Monaten fordern und dadurch zu Emissionen von fast 300.000 Kilogramm CO₂ führen. Dies entspräche dem Fünffachen eines durchschnittlichen Autos inklusive dessen Herstellung. [22] Es stellt sich also die Frage, ob die KI ihre verursachten Kohlenstoffemissionen durch ihren Vorteil überhaupt ausgleichen kann.

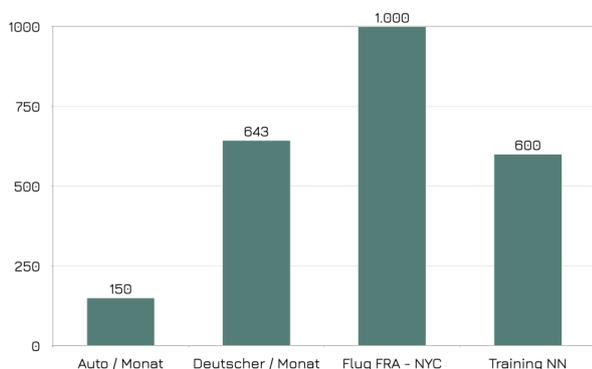


Abbildung 7: Vergleich CO₂-Emissionen

In der erstellten Grafik (Abbildung 7) kann der Vergleich verschiedener CO₂-Ausstößen betrachtet werden. Ein Mittelklasse-Auto stößt im Monat circa 150kg CO₂ aus [23]. Ein/e Deutsche/r Bürger*in emittiert im Schnitt im Monat 643kg [24]. Ein Flug vom Frankfurter Flughafen nach New York City hat einen Ausstoß von einer Tonne CO₂ [25]. Und das einmalige Training eines Neuronalen Netzes mit 110 Millionen Parametern stößt schon 600kg CO₂-Emissionen aus [22]. Im Vergleich ist das Training also eine beachtliche Summe von ungefähr so viel, wie ein/e Deutsche/r Bürger*in in einem ganzen Monat.

Bis 2025 könnten 10% des gesamten Stromverbrauches auf Rechenzentren entfallen, welche zu großen Teilen oder auch ausschließlich für KI-Modelle verwendet werden, prognostiziert der schwedische Forscher Anders Andrae [21]. Es gibt aber Ansätze, die auch hier versuchen möglichst umweltfreundlich zu sein.

5 Welche Ansätze gibt es, den Konflikt zu lösen?

5.1 Rechenzentren

Die Kühlung in Rechenzentren ist einer der Energieverbrauch-Hotspots. Neben der Nutzung von grünen Energieressourcen wurde das Rechenzentrum bei Google selbst mit KI verbessert: DeepMind-Forscher*innen fokussieren sich seit Jahren darauf, den Energieverbrauch zu reduzieren. Sie begannen, mit dem Google-Rechenzentrumsteam zusammenzuarbeiten. Mithilfe deren wurden Machine Learning Systeme trainiert, welche auf den Daten von Tausenden von Sensoren im Rechenzentrum und verschiedenen Betriebszenarien basieren. So konnte die Dynamik von Rechenzentren verstanden und die Effizienz optimiert werden. Google konnte damit bereits 2016 40% ihres Energieverbrauchs für die Kühlung einsparen. [26]

Aber auch in Deutschland wird Wert darauf gelegt den Schaden für die Umwelt zu reduzieren. Der Hochleistungsrechner "HoreKa" der Karlsruher Forschungsuniversität KIT zählt zu den 15 schnellsten Rechnern Europas [27]. Zudem wirbt das KIT mit einem grünen Thema: Auf der internationalen "Green500Liste der energieeffizientesten Supercomputer weltweit landet HoreKa auf Platz 18. Noch besser bewertet aus Deutschland sind zwei Rechner aus dem Forschungszentrum Jülich in Nordrhein-Westfalen (Plätze 11 und 13) sowie auf Rang 17 ein Supercomputer der Max-Planck-Gesellschaft, der in Garching bei München steht. [28] In Karlsruhe wird die Heißwasser-Kühlung des Rechnergebäudes genutzt, um den Energieeinsatz zur Kühlung so minimal wie möglich zu halten. Und auch im Winter wird die Abwärme "recycelt": Die Büroräume werden damit beheizt. [27]

5.2 TecoGAN

Auch in anderen Bereichen lassen sich durch Künstliche Intelligenzen Rechenzeiten minimieren. So zum Beispiel im Bereich "Rendering". Um aus dreidimensionalen Daten ein Bild zu erstellen wird 3D gerendert. Hierbei wandelt die Computergrafik 3D Meshes in 2D Bilder um [29]. Beim Rendering wird ein Bild Pixel für Pixel aus einer festen Kameraperspektive berechnet [30]. Für Filme werden meist zwischen 24 und 30 Frames pro Sekunde (FPS) generiert. Ab circa 15 FPS nimmt das menschliche Gehirn bei Bildern eine Bewegung wahr, bei 24 FPS werden sie flüssig aufgenommen, eine höhere FPS ist aber umso besser. [31] Hierbei wird schnell klar, dass bei längeren Clips, Kurzfilmen oder ganzen Filmen sehr viele Frames benötigt werden. Bei einem 90-minütigen Film sind es schnell um die 150.000 Frames, die gerendert werden müssen. Bei einer Rechnung mit durchschnittlich fünf Minuten Renderzeit pro Frame sind das schätzungsweise 520 Tage, die ein Rechner benötigen würde, um einen ganzen Film zu rendern. Dies führt also zu einem hohen Zeit- und Kostenaufwand. Oftmals muss hierfür eine sogenannte Renderfarm herangezogen werden. Bei einer Renderfarm sind mehrere Computer miteinander vernetzt, um die Rechenleistung zu erhöhen [32]. Die Vorteile einer Renderfarm sind eine verkürzte Renderzeit der Bilder und es kann gleichzeitig am Arbeitsrechner weitergearbeitet werden, da dieser nicht mit rendern beschäftigt ist. Eine Renderfarm führt aber schnell zu hohen Kosten und zu einer verlagerten Umweltbelastung. [33] So hat zwar der eigene Rechner einen niedrigeren Energieaufwand, doch das Problem wird nur auf andere Rechner verteilt. Aus genannten Gründen beschäftigen sich viele Wissenschaftler*innen mit der Forschung, das Render-Problem zu verbessern. Ein Beispiel dieser Forschung sind die sogenannten TecoGANs. Diese beschäftigen sich mit der Hochskalierung von Low Resolution (LR) Bildern. Im Speziellen bedeutet dies, dass sie LR-Bilder in das Netzwerk geben und vier Mal höher aufgelöste Bilder zurückbekommen. [34] Weil die Bilder so nur noch in einer vier Mal kleineren Auflösung gerendert werden müssen, spart diese KI sehr viel Renderzeit ein.

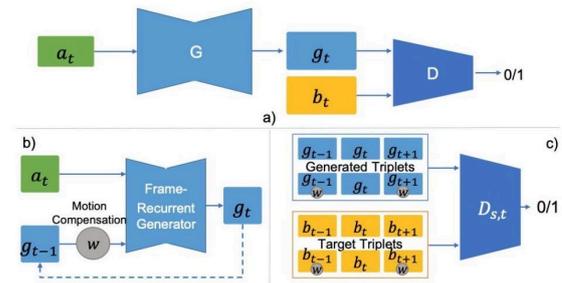


Abbildung 8: Aufbau eines TecoGANs [35]

TecoGANs sind eine spezielle Art von GANs, wie in Abbildung 8a) zu sehen. Die Erweiterung des TecoGANs zusätzlich zu einem gewöhnlichen GAN sind Teil b) und Teil c). Teil b) stellt den "Frame-Recurrent Video Super-Resolution" (FRVSR) dar. Dies ist ein Generator, der mit dem vorherigen Frame (g_{t-1}) rekursiv lernt. Mit dem in der Abbildung dargestellten Motion Compensator werden die Frames (g_{t-1}) so verzerrt, dass sie auf das momentane Bild (a_t) passen. Mit dieser Methode können zuvor gelernte Attribute einfacher auf folgende Bilder angewandt werden. In Teil c) beschäftigt sich TecoGAN mit einem Discriminator, welcher das vorherige (g_{t-1}) und nachfolgende (g_{t+1}) zusätzlich zum aktuellen (g_t) anschaut. [34]

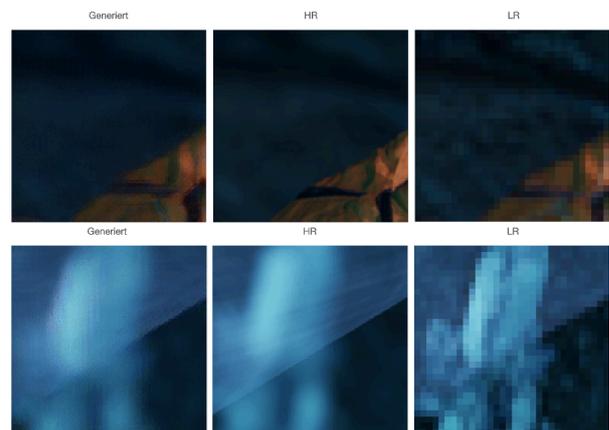


Abbildung 9: TecoGAN Training

In Abbildung 9 ist ein durchgeführtes TecoGAN-Experiment auf den Daten einer Studioproduktion der HdM zu sehen. Links sind die mit TecoGAN generierten Bilder im Vergleich zu den gerenderten High Resolution Bildern rechts und links Low Resolution gerenderten Ausschnitt-

ten. Durch dieses Experiment konnte die zu Anfang betrachtete Renderzeit von rund 520 Tagen für 150.000 auf einem Rechner auf ungefähr 11 Stunden heruntergesetzt werden. Pro 22 Frames hat die Inferenz circa sechs Sekunden gedauert. Hinzu kommt aber noch die Renderzeit für das in Low Resolution gerenderte Bild. Trotz dessen wäre TecoGAN eine zeitsparende Alternative, welche aber noch weiter trainiert werden muss, bis die Bilder eine optimierte Qualität aufweisen.

6 Fazit

”All of these (data-intensive techniques) are extremely dangerous for the environment unless you can use those techniques in a way that, while using a lot more energy, save a lot more energy because they provide for more efficient solutions” - Prof. Andrea Renda, head of global governance and digital economy expert at the Centre for European Policy Studies [20]

Künstliche Intelligenz wird sich als wichtiger Baustein im Kampf gegen die Klimakrise erweisen. Bereits heute gibt es zahlreiche Technologien unter anderem im Bereich der Mülltrennung, der Wettervorhersagen, dem privaten und auch öffentlichen Sektor, die der Menschheit in den ausschlaggebenden Zeiten des Klimawandels helfen können und eine Möglichkeit bieten, verheerende Schäden zu prognostizieren und dadurch Schaden zu minimieren oder sogar abzuwenden. Mit weiteren KI-Innovationen können wir erwarten, dass noch mehr vielschichtige Lösungen für den Klimawandel entstehen. Da moderne KI Systeme aber selbst sehr energieintensiv sind sollten Entwickler*innen, Forscher*innen und Wissenschaftler*innen allerdings immer abwägen, ob die Systeme und Algorithmen mehr Vorteile mit sich bringen, als das sie schaden.

Literatur

- [1] KI Bundesverband. <https://ki-verband.de/>. [Aufgerufen am 03.01.2022].
- [2] KI Bundesverband. Wie künstliche Intelligenz Klimaschutz und Nachhaltigkeit fördern kann. <https://ki-verband.de/wp-content/uploads/2021/02/KIBV-Klima-Positionspapier-1.pdf>, 2021. [Aufgerufen am 04.01.2022].
- [3] Stefanie Schäffer. Die größten CO₂-Verursacher in Deutschland und weltweit. <https://energiemarie.de/energietipps/co2/verursacher>, 2022. [Aufgerufen am 26.02.2022].
- [4] XPRIZE. Ai for good - sustainability. <https://www.youtube.com/watch?v=mJ6rjJiIHy0>, 2017. [Aufgerufen am 12.02.2022].
- [5] Mark Minevich. Ai champions driving new industry solutions for climate change. <https://www.forbes.com/sites/markminevich/2021/03/31/ai-champions-driving-new-industry-solutions-for-climate-change/>, 2021. [Aufgerufen am 14.02.2022].
- [6] Mark Minevich. 11 examples of ai climate change solutions for zero carbon. <https://www.forbes.com/sites/markminevich/2021/10/08/11-examples-of-ai-climate-change-solutions-for-zero-carbon/?sh=22930b6c2251>, 2021. [Aufgerufen am 14.02.2022].
- [7] Bettina Reckter. Nichts für die Tonne. <https://www.vdi.de/news/detail/nichts-fuer-die-tonne>, 2021. [Aufgerufen am 06.03.2022].
- [8] Greyparrot. <https://www.greyparrot.ai/>. [Aufgerufen am 18.02.2022].
- [9] Hochschule der Medien. Fubi - future bin. <https://www.hdm-stuttgart.de/media/thek/projectpage/3700/details>, 2021. [Aufgerufen am 11.01.2022].
- [10] DeepMind. Nowcasting the next hour of rain. <https://deepmind.com/blog/artificial-forecasting>, 2021. [Aufgerufen am 18.02.2022].
- [11] Renee Cho. Artificial intelligence—a game changer for climate change and the environment. <https://news.climate.columbia.edu/2018/06/05/artificial-intelligence-climate-environment/>, 2018. [Aufgerufen am 18.02.2022].
- [12] OroraTech. Wegbereiter einer emissionsfreien Zukunft. <https://www.youtube.com/watch?v=74sXhLC5I8A>, 2021. [Aufgerufen am 14.01.2022].
- [13] Martin Pacher. Ororatech. https://brutkasten.com/ororatech-forest-1/?utm_source=brutkasten&utm_medium=referral&utm_campaign=brutkasten_backlinks&utm_content=link_sharing, 2022. [Aufgerufen am 07.01.2022].
- [14] Mark Minevich. Ai champions driving new industry solutions for climate change. <https://www.forbes.com/sites/markminevich/2021/03/31/ai-champions-driving-new-industry-solutions-for-climate-change/?sh=35f151b24f66>, 2021. [Aufgerufen am 17.01.2022].
- [15] USA GOV. National oceanic and atmospheric administration. <https://www.usa.gov/federal-agencies/national-oceanic-and-atmospheric-administration>, 2021. [Aufgerufen am 19.01.2022].
- [16] Watttime. <https://www.watttime.org/>. [Aufgerufen am 28.02.2022].
- [17] Kasmin Fernandes. Artificial intelligence in agriculture in India. <https://theCSRjournal.in/artificial-intelligence-in-agriculture-in-india/>, 2020. [Aufgerufen am 21.02.2022].
- [18] NotCo. <https://notco.com/us/>, . [Aufgerufen am 28.02.2022].
- [19] NotCo. <https://www.greenqueen.com.hk/latam-bezos-backed-notco-debuts-cabbage-chicory-plant-milk-in-usa-retail-stores/>, . [Aufgerufen am 03.03.2022].

- [20] Annette Ekin. Ai can help us fight climate change. but it has an energy problem, too. *Horizon: The EU Research & Innovation Magazine*. <https://horizonmagazine.eu/article/ai-can-help-us-fight-climate-change-it-has-energy-problemtoo.html>, 2019. [Aufgerufen am 03.02.2022].
- [21] Annette Ekin. Ai can help us fight climate change. but it has an energy problem, too. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/ai-can-help-us-fight-climate-change-it-has-energy-problem-too>, 2019. [Aufgerufen am 04.03.2022].
- [22] Karen Hao. Training a single ai model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes. *MIT technology Review*, 2019. [Aufgerufen am 27.02.2022].
- [23] Matthias Janson. So viel co2 stoßen autos aus. <https://de.statista.com/infografik/25742/durchschnittliche-co2-emission-von-pkw-in-deutschland-im-jahr-2020/>, 2021. [Aufgerufen am 20.01.2022].
- [24] European Commission, Joint Research Centre, J Olivier, D Guizzardi, E Schaaf, E Solazzo, M Crippa, E Vignati, M Banja, M Muntean, G Grassi, F Monforti-Ferrario, and S Rossi. *GHG emissions of all world: 2021 report*. Publications Office, 2021. doi: doi/10.2760/074804. [Aufgerufen am 20.01.2022].
- [25] Kompensationsrechner. https://co2.myclimate.org/de/portfolios?calculation_id=4630294. [Aufgerufen am 20.01.2022].
- [26] R Evans and J Gao. Deepmind ai reduces google data centre cooling bill by 40%, july 2016. *Blog*: <https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>. [Aufgerufen am 20.01.2022].
- [27] Karlsruher Institut für Technologie. Supercomputer des kit einer der 15 schnellsten in europa. <https://nachrichten.idw-online.de/2021/06/28/supercomputer-des-kit-einer-der-15-schnellsten-in-europa/>, 2021. [Aufgerufen am 01.03.2022].
- [28] GmbH Prometheus. Green500 list - november 2021. <https://www.top500.org/lists/green500/list/2021/11/>, 2021. [Aufgerufen am 01.03.2022].
- [29] Wikipedia. Bildsynthese — Wikipedia, the free encyclopedia. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bildsynthese&oldid=211024616>, 2021. [Aufgerufen am 03.03.2022].
- [30] Robert Marass. Konzeption und prototypische Umsetzung eines Orientierungsspiels. https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/5941/file/BACHELORARBEIT_Robert_Marass_MK08w1-B.pdf, 2015. [Aufgerufen am 03.03.2022].
- [31] Wikipedia. Bildfrequenz — Wikipedia, the free encyclopedia. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bildfrequenz&oldid=212816708>, 2021. [Aufgerufen am 04.03.2022].
- [32] Rebusfarm. Was ist eine Renderfarm? <https://us.rebusfarm.net/de/de-blog/3080-was-ist-eine-renderfarm-alles-was-du-uber-renderfarmen-wissen-musst>. [Aufgerufen am 04.03.2022].
- [33] Quora. Welche Vor- und Nachteile hat die Verwendung einer Renderfarm? <https://de.quora.com/Welche-Vor-und-Nachteile-hat-die-Verwendung-einer-Render-Farm>. [Aufgerufen am 04.03.2022].
- [34] Mengyu Chu, You Xie, Jonas Mayer, Laura Leal-Taixé, and Nils Thuerey. Learning temporal coherence via self-supervision for gan-based video generation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(4):75–1, 2020. [Aufgerufen am 05.03.2022].
- [35] Mengyu Chu, You Xie, Jonas Mayer, Laura Leal-Taixe, and Nils Thuerey. Learning Temporal Coherence via Self-Supervision for GAN-based Video Generation (TecoGAN). *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(4), 2020. [Aufgerufen am 05.03.2022].