

Künstliche Intelligenz ermöglicht automatisiertes Smartphone-Recycling

Tom Jost, Nermeen Abou Baker

Um Elektroaltgeräte wie Smartphones automatisiert und effizient für das Recycling aufbereiten zu können, müssen im ersten Schritt die Produktmodelle identifiziert werden. Denn: Nur die Kenntnis von Produktmerkmalen und Bauplänen ermöglicht es, die Geräte so zu öffnen und zu zerlegen, dass wertvolle Rohstoffe, aber auch Schadstoffe getrennt erfasst werden können. Wissenschaftler:innen des Prosperkollegs setzen Künstliche Intelligenz für die Klassifizierung der Modelle ein und können mit dem Transfer-Learning-Ansatz spannende Erfolge erzielen.

Mobiltelefone als Rohstofflager

Kaum ein Elektrogerät wird schneller durch ein neues Modell ersetzt als ein Smartphone. Nach einer aktuellen Studie des Branchenverbandes Bitkom gibt es inzwischen in fast 98 Prozent der Haushalte in Deutschland ein Mobiltelefon - und drei Viertel der 62 Millionen Nutzerinnen und Nutzer besitzen ein Modell mit Vertragsbindung. Entsprechend häufig tauscht allein diese Kundengruppe ihr Gerät gegen ein aktuelleres ein.

Begünstigt durch die Geschäftsmodelle der Smartphone-Hersteller und Mobilfunkanbieter, wächst somit der Berg ausrangierter Geräte stetig an. Die Bitkom schätzt, dass bei einem jährlichen Absatz von etwa 20 Millionen Smartphones allein in Deutschland inzwischen mehr als 200 Millionen Geräte in den Schubladen ihrer Besitzer verstauben. Wie viele - vor allem ältere oder defekte - Geräte im Laufe der Zeit achtlos im Abfall gelandet sind, lässt sich dagegen nur schwer ermitteln (statista 2022).

Sicher ist, dass die Entsorgung in der Mülltonne für Mobiltelefone die denkbar schlechteste Endverwendung darstellt. Die Geräte enthalten bis zu 45 verschiedene Substanzen, darunter einige giftige. Allerdings auch wertvolle Elemente: neben Silber und Kupfer etwa Gold, das in der ergiebigen Goldmine der Welt mit einem Anteil von fünf Gramm pro Tonne Abraum geschürft wird, in einer Tonne Alt-Smartphones allerdings mit 250 Gramm enthalten ist. Elektrogeräte wie Smartphones stellen also in defektem Zustand eine beachtliche Rohstoffquelle dar (Umweltbundesamt 2022).

Daher liegt es nahe, dass sich das „Circular Digital Economy Lab“ (CDEL) des Prosperkollegs mit dem verbesserten Recycling von Smartphones beschäftigt. Das CDEL-Team hat dazu ein Forschungs- und Demonstrationslabor aufgebaut, das mit Künstlicher Intelligenz, Kamertechnik, Transportbändern, Roboterarmen, einem Hochdruck-Wasserstrahl und einer Röntgenkabine ausgestattet ist. Ziel ist es, Geräte automatisiert so zu öffnen und zu zerschneiden, dass die zentralen Komponenten und Rohstoffe – anders als beim konventionellen Recycling - in saubere Fraktionen getrennt werden können. Das bedeutet zum Beispiel, das Gerät zu öffnen, ohne den Akku zu zerstören (siehe dazu auch den RETHINK-Beitrag [Pre-Recycling mit chirurgischer Präzision: Robotisierte Zerlegung von Elektrokleinern](#)).

Modellvielfalt – Herausforderung für die Objekterkennung

Dazu müssen im ersten Schritt Gerätetyp, Hersteller und Modell des Geräts klassifiziert werden (z. B. Smartphone, Apple, iPhone 6), um Informationen über das „Innenleben“ des Geräts abrufen und an die Roboterstrecke für die Zerlegung weitergeben zu können.

Zunächst kommt eine Fotobox zum Einsatz, die das Smartphone von allen Seiten und aus verschiedenen Winkeln fotografiert. Diese Bilder werden mit einer Datenbank abgeglichen, die zuvor mit einer großen Anzahl von Abbildungen von Smartphones gefüttert und mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) „trainiert“ wurde. Um den großen Datenhunger dieses Ansatzes zu stillen, werden zur Beschaffung von Bildmaterial auch Webcrawler eingesetzt. Das sind Computerprogramme, die das Internet nach verfügbaren Produktfotos von Smartphones durchsuchen und diese abspeichern.

Viele der Bilder sind jedoch für die Klassifizierung der Geräte nicht brauchbar: Abbildungen von Verpackungen, Ladegeräten oder bunten Displaymotiven müssen aussortiert und die Informationen in der Datenbank entsprechend aufbereitet werden. Da die meisten Smartphones auf der Vorderseite

gleich aussehen und die Geräte im Recycling-Prozess immer einen schwarzen Bildschirm haben, möglicherweise sogar Beschädigungen des Displays aufweisen, erfolgt die Erkennung eines Mobiltelefons in der Regel über dessen Rückseite, wo Markenschriftzug und Kameragrößen wie -anordnungen eine bessere Differenzierung erlauben.



Abbildung 1: Fotobox im ersten Abschnitt der Zerlegestrecke, Quelle: eigene Darstellung

Ist das Modell erkannt, werden weitere Spezifikationen in online verfügbaren Datenbanken wie Phone DB (<https://phonedb.net/>) abgerufen – sofern sie hinterlegt sind. Phone DB verfügt über eine umfassende, allerdings nicht vollständige Übersicht von Mobiltelefonen der letzten 20 Jahre. Die Zahl der erfassten Hersteller ist knapp dreistellig, allein von Apples iPhone gibt es mittlerweile 33 Modell-Varianten. Hinterlegt sind Informationen zu Gewicht, Größe und Farben, Akkus, CPU, Kameras, Displays und Explosionszeichnungen, die zeigen, wo die Komponenten im Gehäuse liegen.

Alle für den weiteren Prozess benötigten Daten werden nun über eine Schnittstelle an die Roboteranlage übergeben. Hier wird aus den Informationen ein 3-D-Modell des Objekts erzeugt und Schnittpläne für den Hochdruckwasserstrahl erstellt. Ist die Klassifikation des Gerätes auf dem beschriebenen Weg nicht möglich, kommt das Röntgengerät zum Einsatz, um aus den Aufnahmen abzuleiten, wie die Schnitte durch das Gehäuse der Geräte zu setzen sind.

KI – Lernen mit Algorithmen

Doch wie genau kommt im beschriebenen Verfahren die Künstliche Intelligenz zum Einsatz? Und was ist eigentlich darunter zu verstehen? Von „Künstlicher Intelligenz“ (KI) spricht man, wenn ein programmiertes System einen gewissen Grad an Autonomie besitzt. Das System arbeitet nicht einfach vorgegebene Regeln ab, sondern es ist in der Lage, eine Situation eigenständig zu bewerten. Sogenannte künstliche neuronale Netze bilden die Basis von KI-Systemen. Um unterschiedliche Objekte mit Hilfe von KI-Systemen automatisiert erkennen zu können, ist es notwendig, die Systemparameter der

künstlichen neuronalen Netze zu trainieren. Dies geschieht, indem ein Algorithmus große Datenmengen durchforstet und nach Mustern und Strukturen sucht, Zusammenhänge und Unterschiede erkennt, Vergleiche und Ableitungen erschließt. Dabei analysiert und verbessert der Algorithmus sein Vorgehen mit jedem neuen Durchgang – mit anderen Worten: er lernt.

Um diese Zusammenhänge zu verdeutlichen, nutzen die Wissenschaftler:innen am Prosperkolleg gerne das Beispiel vom Kleinkind, das zum ersten Mal eine Katze sieht. Die Katze hat eine bestimmte Körperform, vier Pfoten, einen markanten Kopf und einen Schwanz. Das Kind lernt: Dies ist eine Katze. Wenig später sieht es ein Tier, das die Erscheinung einer Katze besitzt, sein Fell ist aber nicht schwarz, sondern gefleckt. Hier lernt das Kind, dass es offenbar unterschiedliche Katzen-Rassen gibt, dass es sich bei allen Unterschieden aber doch um Katzen handelt. Im nächsten Schritt erscheint ein Tier, das auf vier Pfoten geht, einen Kopf und einen Schwanz hat sowie ein weiß-braun geflecktes Fell. Es ist allerdings viel größer. Je mehr Bilder hinzukommen, desto sicherer wird die Annahme, dass dies eine spezielle Katze sein muss - die man schließlich „Tiger“ nennt. Sieht das Kind anschließend Fotos von einer Giraffe, kann es aufgrund seiner Lernprozesse eigenständig feststellen, dass es sich hier keinesfalls um eine Katze handelt.

Die Methode hat jedoch den Nachteil, dass sie auf große Datenmengen angewiesen ist, mit denen die Mustererkennung trainiert wird – in Anwendungsfall des CDEL viele Bilder von Smartphones. Darüber hinaus benötigt sie hohes Speichervolumen, trainierende Spezialist:innen und sie kostet viel Zeit. Wenn man jedoch - bildlich gesprochen - in einer neuen Anwendung nicht mehr verschiedene Katzen erkennen möchte, sondern Hunde, statt Smartphones vielleicht Akkuschauber, fängt die Trainingsarbeit wieder von vorne an. Für jede neu hinzugekommene Aufgabe müssen die Systemparameter von Grund auf neu gelernt werden. Das System ist also relativ unflexibel.

Transfer Learning – Erlerntes übertragen

Die im Rahmen des Prosperkolleg-Projekts verfolgte alternative Strategie zur Lösung von Klassifizierungsproblemen ist das Transfer Learning (TL). Die Idee dahinter: Wenn sich die Lernschritte ähneln und ein bereits trainiertes neuronales Netz zur Verfügung steht, ist es naheliegend, die Methode auf eine verwandte Klassifizierungsaufgabe anzuwenden.

Das menschliche Gehirn ist dazu problemlos in der Lage, die algorithmische Nachbildung der Prozesse nicht ganz so einfach. Die Herausforderung für die Wissenschaft besteht aktuell darin, eine Systemarchitektur aufzubauen und zu modellieren, die neue Informationen so abbilden kann, dass sich anhand weniger Beispiele neue Objektklassen erkennen lassen. Dabei wird in die Struktur der künstlichen neuronalen Netze eingegriffen und bereits gelernte Parameter werden zur Lösung neuer Aufgaben genutzt.



Der Vorteil: Statt einer Vielzahl von Bildern werden zur Erkennung eines bestimmten Gerätes nur noch wenige Abbildungen benötigt.

Dass es funktioniert, ähnliche Objekte automatisiert zu erkennen und das Erlernete auf andere Objekte zu übertragen, konnte im „Circular Digital Economy Lab“ am Beispiel von Smartphones und Akkuschaubern in einem begrenzten

Untersuchungsfeld gezeigt werden. Weiter gedacht lässt sich das Konzept jedoch auch auf andere Geräte und größer dimensionierte Anlagen der Recyclingwirtschaft übertragen und damit das wertvolle Innenleben unserer ausgedienten Alltagsgegenstände wiedergewinnen.

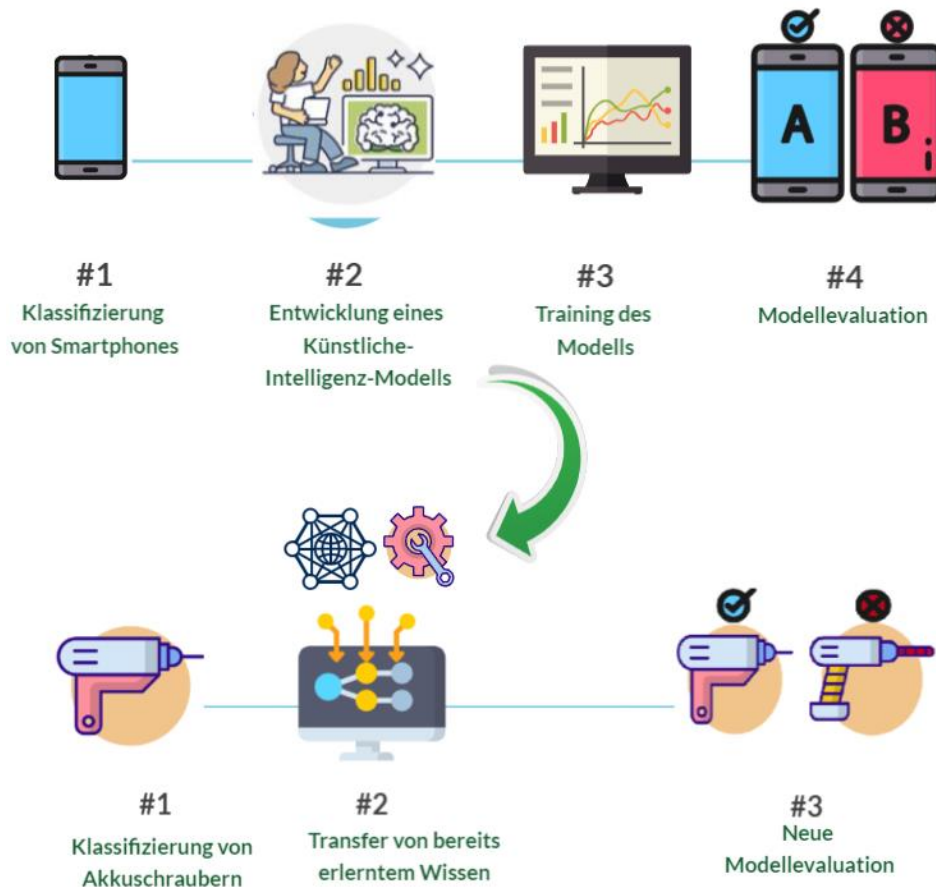


Abbildung 2: Transfer-Learning-Konzept, Quelle: eigene Darstellung



Literatur

Nermeen Abou Baker, Jonas Stehr, Uwe Handmann (2022): Transfer Learning Approach towards a Smarter Recycling. In: 31st International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2022), Bristol, United Kingdom, https://doi.org/10.1007/978-3-031-15919-0_57.

Nermeen Abou Baker, Paul Szabo-Müller, Uwe Handmann (2021): Transfer learning-based method for automated e-waste recycling in smart cities. In: EAI Endorsed Transactions on Smart Cities, 5(16):1–9, 4 2021, <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.16-4-2021.169337>.

statista (2022): Statistiken zur Smartphone-Nutzung in Deutschland. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/themen/6137/smartphone-nutzung-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 05.09.2022.

Umweltbundesamt (2022): Elektroaltgeräte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-resourcen/produktverantwortung-in-derabfallwirtschaft/elektroaltgeraete>, zuletzt geprüft am 05.09.2022.

Reihe

RETHINK. Impulse zur zirkulären Wertschöpfung / Enabling the Circular Economy | Uwe Handmann, Wolfgang Irrek, Sabine Büttner (Hrsg.)
ISSN (Print) 2750-6215 | ISSN (Online) 2750-6223 | 1. Auflage, 07.09.2022
Online abrufbar unter: www.prosperkolleg.ruhr

Impressum / Kontakt

Prosperkolleg e.V.
Gladbecker Straße 19b, 46236 Bottrop
Germany
info@prosperkolleg.ruhr



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Titelbild: www.unsplash.com, Photo by Thor Alvis, bearbeitet

