

Information 114

Künstliche Intelligenz im Einsatz

Innovationen in der Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit



BIOABFALL KANN VIEL SAUBERER SEIN!

c-detect erkennt Störstoffe bereits bei der Sammlung.

Das neue, auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierende, Erkennungssystem kommt jedem Störstoff auf die Spur. So gelingt die Einhaltung der neuen Bioabfallverordnung: 100 Prozent Kontrolle, höhere Recyclingquoten, gezieltes Stoffstrommanagement, weniger Mikroplastik in den Böden und mehr Umweltbewusstsein.

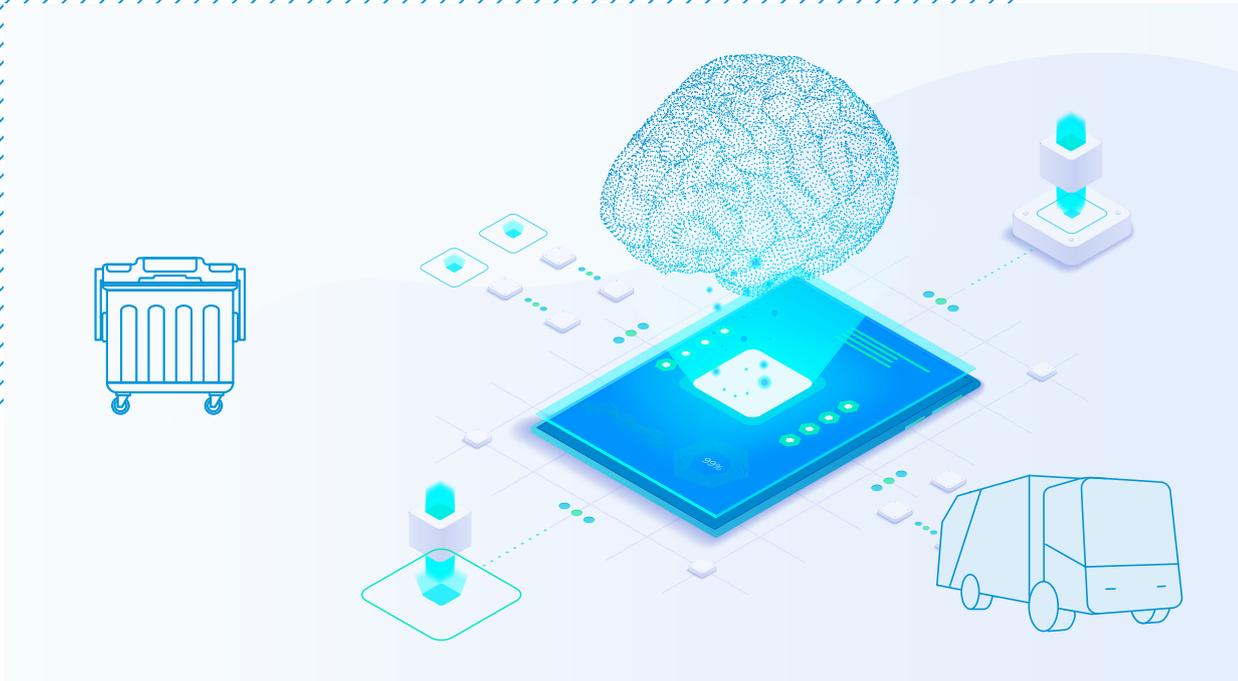
c-trace – Ihr IT-Partner für intelligente Systemlösungen



MEHR INFOS

Inhalt

Einleitung	4
1. Abfallwirtschaft und Künstliche Intelligenz	5
1.1 Bedeutung der Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit	5
1.2 Aktuelle Herausforderungen	5
1.3 Rolle der Künstlichen Intelligenz (KI) in der modernen Welt	5
2. Grundlagen der Künstlichen Intelligenz	7
2.1 Definition und Konzepte der KI	7
2.2 Typen von KI	7
2.3 Historische Entwicklung und Meilensteine	8
3. Einsatzgebiete von KI in der Abfallwirtschaft	9
3.1 KI in der Sammlung und Transportlogistik	9
3.2 KI in der Qualitätskontrolle	12
3.3 KI bei der Abfallerfassung auf Wertstoffhöfen	14
3.4 KI im Fuhrpark und in der Mobilität	16
3.5 KI in der Sortierung und Verwertung	23
3.6 KI in der Anlagenüberwachung und Wartungsplanung	24
3.7 KI in der Kundenkommunikation und im Beschwerdemanagement	25
3.8 KI in Verwaltung und Rechnungswesen	27
3.9 KI im Personalwesen	30
3.10 KI im Arbeits- und Gesundheitsschutz	31
4. Vorteile und Herausforderungen	32
4.1 Effizienzsteigerung und Kostensenkung	32
4.2 Umweltvorteile und Nachhaltigkeit	32
4.3 Technologische Hürden	33
4.4 Datenschutz- und Wettbewerbsaspekte	34
4.5 IT-Sicherheit und KI	34
4.6 Sonstige ethische Aspekte	35
4.7 Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt	35
Exkurs KI Verordnung: Schulungspflichten der Unternehmen	36
5. Schlussfolgerung und Ausblick: Die Bedeutung der KI für die Zukunft der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung	37



Einleitung

Künstliche Intelligenz (KI) oder Artificial Intelligence (AI) hat durch die mediale Berichterstattung spätestens in den Jahren 2022/23 – als ChatGPT vorgestellt wurde – deutlich an öffentlicher Aufmerksamkeit gewonnen und wird von großen Kreisen der Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und der Gesellschaft insgesamt als Thema, das viel Potenzial bietet und gleichzeitig eine große Reichweite an Veränderungen mit sich bringt, wahrgenommen. Künstliche Intelligenz dient dazu, Prozesse zu automatisieren, zu rationalisieren und insbesondere diese im Vergleich zu der manuellen bzw. auch intellektuellen Verrichtung durch den Menschen radikal zu beschleunigen.

„Künstliche Intelligenz“ ist ein Megatrend, der viele Chancen bietet, allerdings auch Risiken beinhaltet. Das Thema ist sehr komplex und bedarf daher der genauen Analyse und Einordnung in den richtigen Kontext. Diese Informationsschrift zielt darauf ab, das Thema „Künstliche Intelligenz“ mit Blick auf ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit verständlich und nachvollziehbar zu präsentieren, um es für die Leserinnen und Leser greifbar zu machen.

Es wird hierbei auch deutlich werden, dass „Künstliche Intelligenz“ in diversen Gebieten bereits seit einiger Zeit im Einsatz ist, nur nicht als solche wahrgenommen wird.

Die Infoschrift wird nach einer Definition und Beschreibung der Unterformen der Künstlichen Intelligenz insbesondere auf die Einsatzmöglichkeiten der KI – insbesondere auf Grundlage konkreter schon in der Praxis gelebter Fallbeispiele – eingehen. Die in dieser Informationsschrift dargestellten Best Practices basieren auf erprobten Vorgehensweisen, Pilotprojekten und Testphasen, die in der Vergangenheit durchgeführt wurden. Sie stellen eine Momentaufnahme bewährter Ansätze dar, deren aktueller Stand nicht in allen Fällen verifiziert werden konnte. Dennoch bieten sie wertvolle Einblicke und praxisnahe Impulse für die Weiterentwicklung eigener Strategien.

Einzelne Beispiele wurden in diesem Zusammenhang auch aus der Spartenzeitschrift VKS NEWS übernommen, um bereits veröffentlichte und praxisorientierte Ansätze einem breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen. Darüber hinaus haben verschiedene Mitgliedsunternehmen weitere Fallbeispiele beigesteuert, die die Vielfalt und Anwendbarkeit von KI-Lösungen in der kommunalen Abfallwirtschaft unterstreichen. Für diese Beiträge möchten wir uns herzlich bedanken.

Die Infoschrift hat den Anspruch, einen möglichst praktischen Überblick und eine Bestandsaufnahme zum aktuellen Einsatz von KI in der Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit zu geben und Potenziale für die Zukunft aufzuzeigen.

Wir wünschen eine anregende Lektüre.

1. Abfallwirtschaft und Künstliche Intelligenz

1.1 Bedeutung der Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit

Die Abfallwirtschaft, d. h. die Abfallerfassung und Zuführung der Abfälle zu einer hochwertigen Verwertung bzw. Beseitigung, sowie die Aufrechterhaltung der Stadtsauberkeit durch eine effektive Stadtreinigung sind elementare Dienstleistungen der kommunalen Daseinsvorsorge.

Die Siedlungsabfallentsorgung ist in der für den Bereich der IT-Sicherheit einschlägigen KRITIS-Verordnung gar als kritische Dienstleistung eingestuft, deren Nicht-Erfüllung in bedeutenden Schäden für das Gemeinwohl resultieren kann und deren Gewährleistung daher einen besonders hohen Stellenwert hat.

Die Stadtreinigung hat – ebenso wie die Abfallsammlung – vor allem einen hygienischen Zweck, nämlich Verunreinigungen und Ablagerungen im öffentlichen Straßenraum zu beseitigen. Daneben dient die Stadtreinigung aber auch der Ästhetik des Stadtbilds und der Erzielung einer hohen Lebensqualität für die Bevölkerung. Zudem erhöht ein sauberer, gut gepflegter urbaner Raum das subjektive Sicherheitsgefühl der Menschen, da er mit Ordnung und Pflege assoziiert wird.

Der Ausfall bzw. eine mangelnde Erfüllung der Dienstleistungen der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung können daher massive Auswirkungen auf die Lebensqualität und das Sicherheitsgefühl vor Ort haben. Daher ist es wesentlich, dass die Prozesse der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung auf einem technisch hohen Niveau, d.h. nach dem Stand der Technik, und mit hoher Qualität und im Sinne der Bürgerbedürfnisse realisiert werden. Hierbei können neue Anwendungen der Künstlichen Intelligenz einen wesentlichen Beitrag leisten.

1.2 Aktuelle Herausforderungen

Die kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung ist ein Feld, in dem Innovationen auf der Tagesordnung stehen. Etwa wird der Fuhrpark sowohl mit Blick auf Abfallsammelfahrzeuge als auch auf Straßenkehrmaschinen peu à peu auf alternative Antriebe umgestellt sowie für diese eine neue Ladeinfrastruktur geschaffen. Auch die Abfallbehandlungsanlagen müssen sich auf immer strengere Emissionsgrenzwerte einstellen. Insgesamt streben viele Unternehmen Klimaneutralität an. Daher sind viele Bereiche der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Transformationen unterworfen.

Die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung stehen derzeit jedoch auch vor diversen konkreten Herausforderungen, die maßgeblich durch den Einsatz von KI adressiert werden könnten. Zum einen spielt der Fachkräftemangel eine immer größere Rolle. Um alle Tätigkeitsfelder der Abfallwirtschaft und der Straßenreinigung gut abdecken zu können, benötigen die kommunalen Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetriebe neben un- und angeleitetem Personal bestimmte Fachkräfte mit nachgewiesener Berufsausbildung, etwa Berufskraftfahrer, Logistiker, chemisch ausgebildetes Personal in der Schadstoffsammelstelle, IT-Experten, Fachleute zur Bedienung und Überwachung der Anlagen und vieles andere mehr. Die Rekrutierung des gesamten Fachpersonals gestaltet sich allgemein schwierig – besonders jedoch in Regionen mit einem hohen Wettbewerb um Arbeitskräfte. Die schon derzeit spürbaren Probleme, geeignetes Fachpersonal zu finden und auf Dauer an die Betriebe der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung zu binden, werden in den nächsten Jahren aufgrund des demografischen Wandels noch weiter verschärft werden.

Andererseits erheben die Kundinnen und Kunden der Unternehmen der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung immer höhere Ansprüche an die Qualität der Leistung. Das „Just-in-time“-Prinzip etwa bei der Zustellung von Paketen, das Einkaufen rund um die Uhr, etc. lassen die Bürgerinnen und Bürger auch flexible Serviceangebote in der kommunalen Abfallwirtschaft erwarten. Durch eine höhere Flexibilität und die schnellere Umsetzung von passgenauen Lösungen können KI-Lösungen auch zu einer dauerhaft hohen Kundenzufriedenheit beitragen.

Auch die Erzielung von Klimaneutralität mit einer notwendigen drastischen Reduzierung an CO₂-Emissionen führt dazu, dass die Leistungen der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung so effizient wie möglich, d.h. unter dem Einsatz von möglichst geringem und rationellem Mitteleinsatz unter Erzielung eines möglichst hohen Outputs, ausgeführt werden bzw. gewisse Prozessschritte ggf. auch entfallen können. Auch hier kann die KI helfen, um die Intensität der Dienstleistungen nachfragegerecht zu steuern.

1.3 Rolle der Künstlichen Intelligenz (KI) in der modernen Welt

Die Künstliche Intelligenz ist eine disruptive Technologie, die das Potenzial hat, weitreichende Veränderungen in verschiedenen Branchen, darunter auch sehr bürgernahen Bereichen wie dem öffentlichen Dienst, dem Schul- und Bildungswesen, dem öffentlichen Nahverkehr, etc. herbeizuführen. Sie wird dazu beitragen, Prozesse zu automatisieren und die Effizienz zu erhöhen.

Sie ermöglicht zudem personalisierte Empfehlungen, verbessert die Analyse großer Datenmengen und unterstützt Entscheidungen in Echtzeit. Gleichzeitig wirft sie ethische Fragen auf, insbesondere in Bezug auf Datenschutz, Arbeitsmarktveränderungen und die Kontrolle von Algorithmen. In vielen Bereichen eröffnet KI jedoch auch neue Möglichkeiten für Innovationen und Problemlösungen, die zuvor als unmöglich galten.

Künstliche Intelligenz hat insgesamt maßgebliche Auswirkungen auf die Möglichkeiten des Wissenserwerbs und der Aktualisierung des Wissens, der Schaffung von intellektuellen oder künstlerischen Werken, der privaten wie geschäftlichen Kommunikation und Interaktion, des Zusammenlebens und der Arbeitswelt.

Im Bereich der Abfallsammlung und Stadtreinigung wird KI in diversen Anwendungsbereichen bereits eingesetzt. So ermöglichen Sensoren in Müllbehältern schon jetzt eine effiziente Überwachung der Füllstände, wodurch die Müllentsorgung bedarfsgerechter und ressourcenschonender geplant werden kann. Detektionssysteme in Abfallbehältern erhöhen zudem den Nutzen, indem sie Fehlwürfe identifizieren und sich daraus entsprechende Maßnahmen ableiten lassen.

Selbstfahrende Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge sowie Drohnen nutzen KI, um sicher durch die Umwelt zu navigieren. Dies könnte in Zukunft die Transport- und Logistikbranche mehr und mehr revolutionieren und damit auch die Verkehrssicherheit erhöhen. Denn KI-basierte Systeme optimieren den Verkehr in Städten durch intelligente Ampelsysteme und Verkehrsanalysen, um Staus zu vermeiden, die Sicherheit zu erhöhen und die Effizienz im Sinne einer nachhaltigen Mobilität zu steigern.



2. Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

2.1 Definition und Konzepte der KI

Nach der gängigen Definition ist Künstliche Intelligenz ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem maschinellen Lernen befasst. Damit wird angestrebt, bestimmte Prozesse, die bisher auf menschliches Anleiten und die menschliche Intelligenz angewiesen waren, zu automatisieren.

Hierbei gibt es die sogenannte „schwache“ KI, deren Lösungen sich auf bestimmte Aufgaben beschränken und nicht den Anspruch haben, die menschliche Intelligenz zu imitieren. Dagegen möchte die sogenannte „starke“ oder „allgemeine KI“ menschliche Intelligenz nachbilden und breitere kognitive Leistungen erzielen.¹ Der Begriff „starke KI“ bezieht sich auf eine Form der Künstlichen Intelligenz, die in der Lage wäre, allgemeine menschliche kognitive Fähigkeiten nachzubilden. Eine starke KI würde also nicht nur in spezifischen Bereichen wie der Bild- oder Spracherkennung oder der Datenanalyse gut performen (wie es die derzeitige „schwache KI“ tut), sondern wäre in der Lage, flexibel und autonom zu lernen, zu verstehen und zu handeln, ähnlich wie ein Mensch.

Aktuell existiert noch keine starke KI. Alle modernen KI-Systeme, auch die fortschrittlichsten, sind Beispiele für schwache KI, die in einem engen Bereich wie etwa Sprachverarbeitung, medizinische Diagnosen oder autonomes Fahren arbeiten. Eine starke KI, die wirklich ein breites, menschliches Bewusstsein und die Fähigkeit zur Selbstreflexion besitzen würde, bleibt derzeit ein theoretisches Konzept und ein Ziel der KI-Forschung. Es gibt darüber hinaus viele ethische, philosophische und technische Fragen, die bei der Entwicklung einer starken KI berücksichtigt werden müssen.

2.2 Typen von KI

Die Unterarten von KI sind in der Literatur nicht einheitlich kategorisiert, das im Folgenden dargestellte „Maschinelle Lernen“ wird teilweise im öffentlichen Diskurs mit KI gleichgesetzt. Im Folgenden werden einige Unterarten der KI dargestellt, die in der Literatur häufiger verwendet werden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Maschinelles Lernen

Beim maschinellen Lernen identifiziert ein System anhand von Beispielen Muster oder Regelmäßigkeiten, die es einsetzen kann, um neue Daten oder Eingaben zu klassifizieren². Maschinelles Lernen ist dabei auf große Mengen historischer Daten angewiesen, um anhand von Modellen diese Muster zu extrahieren.³ Die Modelle erlauben es, neue Daten zu interpretieren oder aus ihnen Voraussagen für Empfehlungen, Warnungen oder Entscheidungen zu generieren.⁴ Maschinelles Lernen ist hierbei eine Alternative zum herkömmlichen Programmieren. Statt eines Programms etwa mit einer Berechnungsvorschrift werden dem Computer Beispieldaten gegeben. Lernmethoden oder –algorithmen extrahieren daraus statistische Regelmäßigkeiten, die sie in Form von Modellen darstellen. Diese Modelle können auf neue, zuvor noch nicht gesehene Daten reagieren, indem sie sie in Kategorien einordnen.⁵

Es gibt hier verschiedene Unterarten von Lernverfahren in der KI, diese bestehen in dem überwachten Lernen, dem unüberwachten Lernen und dem Verstärkungslernen (Reinforcement-Lernen). Beim überwachten Lernen ist das Lernen begrenzt auf bestimmte Vorgaben, was erlernt werden soll, etwa das Unterscheiden von Vögeln und Hunden auf entsprechend vorgezeichneten Bildern. Beim unüberwachten Lernen wird nur eine Aufgabe gestellt, aber es gibt keine Hilfsmittel. Das System scannt die eingegebenen Daten und versucht selbständig, darin Muster und Regelmäßigkeiten zu erkennen. Verstärkungslernen bedeutet, dass sich das System einen eigenen Weg sucht und immer wieder Feedback erhält. Das bedeutet, das System testet verschiedene Aktionen und bekommt immer wieder Rückmeldungen, auch Belohnungen oder Bestrafungen genannt, und verändert sein Verhalten dann entsprechend, um möglichst viele positive Rückmeldungen zu bekommen.

Deep Learning

Deep Learning ist dem Grunde nach ein besonders fortgeschrittener Bereich des maschinellen Lernens, der erst in den letzten Jahren zum Tragen kommt und als wesentliche Voraussetzung die Verfügbarkeit von großen Datenmengen und leistungsstarken Computern hat. Deep Learning basiert auf künstlichen neuronalen Netzen (KNN). Neuronale Netze sind wiederum Vorgängen des

1 Fraunhofer Big Data 2017, Zukunftsmarkt Künstliche Intelligenz – Potenziale und Anwendungen, S. 5.

2 Vgl. Lenzen, Manuela, Künstliche Intelligenz, 2018, S. 52.

3 Fraunhofer, a.a.O., S. 6.

4 Fraunhofer, a.a.O., S. 6.

5 Fraunhofer, a.a.O. S. 8.

menschlichen Gehirns nachempfunden und sorgen über die Verknüpfung von Eingangs-, Zwischen- und Ausgangsneuronen in Form von Gleichungen für einen stetigen Lernprozess⁶. Das Lernen in diesen „tiefen, aus vielen Neuronenschichten bestehenden Netzen“ ist der Inbegriff des „Deep Learning“. Deep Learning ermöglicht es, Prognosen zu treffen und diese zu hinterfragen. Der Mensch greift in die Analysen und Prozesse nicht mehr ein. Damit ist Deep Learning der Sammelname für eine Gruppe von Techniken für selbstgesteuertes maschinelles Lernen, bei denen Algorithmen sich selbst klüger machen. Damit werden die KNN nicht programmiert, sondern trainiert. Wichtige Anwendungsfälle sind die Sprach- und Textverarbeitung, die Bild- und Videoverarbeitung sowie auch das Generieren von neuen Beispielen, d.h. neuen Texten oder Bildern (generative KI).

Natural Language Processing

Bei Natural Language Processing (NLP) handelt es sich um eine spezifische Methode, mit der Forscher versuchen, natürliche Sprache zu erfassen und mithilfe von Algorithmen computerbasiert zu verarbeiten. So soll eine weitreichende Kommunikation zwischen Mensch und Computer möglich werden, damit sich Anwendungen per Sprache steuern und bedienen lassen. Bekannte Anwendungsfälle sind hier Sprachassistenten wie Siri oder Alexa, Chatbots, die als automatisierte Dialogsysteme in der Kundenbetreuung eingesetzt werden oder auch Übersetzungsdienste wie Google Translate, die auf NLP-Technologien basieren.

Knowledge Representation

Knowledge Representation enthält unter anderem das „Übersetzen“ von menschlichen Herangehensweisen, um bestimmte Probleme zu lösen, in eine formale Sprache bzw. Wissensmodelle, die künstliche intelligente Maschinen nutzen können, um dieselben Probleme zu lösen. Damit wird es diesen Maschinen u. a. ermöglicht, logisch zu denken, Schlussfolgerungen und Argumentationen zu entwickeln und Handlungsempfehlungen zu entwickeln.

2.3 Historische Entwicklung und Meilensteine

Diverse Tätigkeiten der Künstlichen Intelligenz sind heute schon relativ weit entwickelt. Etwa die Bilderkennung, die über die Jahre immer verlässlicher wurde. Das maschinelle Lesen ist – weil es sehr kontextabhängig ist – demgegenüber anspruchsvoller und befindet sich noch in der Phase der Perfektionierung. Modelle wie ChatGPT-4 und andere transformerbasierte Systeme können Texte inzwischen nicht nur verstehen, sondern auch situativ bedingt interpretieren, Zusammenfassungen erstellen, Fragen beantworten und sogar komplexe Inhalte analysieren. Es gibt jedoch immer noch Herausforderungen, insbesondere im Bereich des tieferen Verständnisses, der Mehrdeutigkeit und des kritischen Denkens. In spezialisierten Anwendungen, wie in der medizinischen oder rechtlichen Textanalyse, zeigt die Technologie bereits sehr gute Ergebnisse, aber menschliche Expertise bleibt nach wie vor unverzichtbar.

Der Umgang mit und der Einsatz von lernenden KNN ist in den letzten Jahren durch standardisierte Verfahren einfacher geworden. Dennoch ist ihre Entwicklung keineswegs trivial. Es gilt nicht nur, einen guten Trainingsdatensatz für ein bestimmtes Problem zu finden, sondern auch, unter den zahlreichen Verfahren dasjenige oder die Kombination derjenigen Verfahren auszuwählen, die für ein konkretes Problem am besten geeignet sind. Ein Algorithmus ist nur ein Teil der Lösung, es muss der entsprechende Datensatz gefunden werden⁷. Des Weiteren müssen die Daten, mit denen die KI trainiert wird, auch aktuell gehalten werden, damit die Fähigkeiten der KI nicht veralten.

⁶ <https://mindsquare.de/knowhow/kuenstliche-intelligenz/#starke-und-schwache-ki>

⁷ Vgl. Lenzen, a.a.O., S. 63.

3. Einsatzgebiete von KI in der Abfallwirtschaft

Einsatzgebiete von Künstlicher Intelligenz gibt es in diversen Unterbereichen der Abfallwirtschaft und der Stadtreinigung.

Diese berühren unter anderem Bereiche der

- **Robotik**, d. h. die Nutzung einer maschinell betriebenen autonomen Anlage, die aufgrund der KI ihre Umgebung wahrnimmt und ihr Verhalten interaktiv und in Echtzeit anpassen kann.⁸ Hier gibt es verschiedene Stufen der kognitiven Fähigkeiten der Roboter, die bei der Ausführung von lediglich vorprogrammierten Manipulationen beginnt, bis hin zu Robotern, die vollständig Objekt- und Personeneigenschaften erfassen und interpretieren können, die nicht unmittelbar beobachtbar sind (z. B. Mimik).
- **Sensorik**, d. h. der Einsatz von Sensoren, diese messen einzelne Prozesse und tragen zur Kognitivität der KI bei. Sensoren messen und überwachen Bewegungen, Temperaturen, Vibrationen, Druck, Füllstände, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit, Gewicht, Beschleunigung, Neigung und vieles mehr. Die KI analysiert im Weiteren diese Messwerte. Sie setzt sie zueinander in Beziehung und ermittelt daraus eine maschinelle Repräsentation über den aktuellen Zustand des Prozesses. So kann der jeweilige Prozess (z. B. Produktion, Bestellvorgang, Behandlungsverfahren) automatisiert, optimiert und energieeffizient gesteuert werden.⁹
- **Spracherkennung-KI**, insbesondere maschinelles Lernen und Deep Learning, spielt eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung von Spracherkennungssystemen. Durch neuronale Netzwerke lernen Modelle, Sprache präziser zu interpretieren, indem sie riesige Mengen an Daten analysieren. Mit Spracherkennung gelingt es schon heute, den Bereich Kundenservice teilweise zu automatisieren und Sprach-KI zur Beantwortung einfacher Kundenanfragen zu nutzen.
- **Bilderkennung-KI**, bezieht sich auf die Fähigkeit von Computern, Objekte, Szenen, Texte oder Personen in Bildern oder Videos zu identifizieren und zu interpretieren. Dies erfordert die Analyse visueller Daten und die Klassifizierung von Bildinhalten basierend auf vorher gelernten Mustern. KI hat die Bilderkennung massiv vorangetrieben und sie in vielen Anwendungsbereichen unverzichtbar gemacht.

Die Kombination von Deep Learning und Bildern hat dazu geführt, dass Maschinen visuelle Informationen mit einer Präzision und Geschwindigkeit analysieren können, die in der Vergangenheit nicht vorstellbar waren.

3.1 KI in der Sammlung und Transportlogistik

Die Abfallsammlung verläuft derzeit sowohl bei der Tonnenentsorgung von Hausmüll (Restmüll, Biomüll, PPK, u. a.) als auch bei der Depot- und Unterflurcontainersammlung vor allem turnusmäßig nach bestimmten vorab festgelegten Intervallen (etwa 1-wöchentlich oder 2-wöchentlich oder auch mehrmals wöchentlich).

Künstliche Intelligenz kann hier in verschiedener Weise eingreifen und die Tourenplanung perfektionieren, flexibilisieren oder auch völlig individualisieren.

Durch **Echtzeitüberwachung und permanente Sammlung und Auswertung von Daten** können die Touren laufend oder nach Wunsch in bestimmten Abständen angepasst werden. Die Sammeldaten, darunter insbesondere auch die Vorholzeiten für die Abfalltonnen vom Grundstück zum Fahrzeug sowie die Standzeiten der Fahrzeuge, die aus GPS-Daten der Fahrzeuge abgeleitet werden können, dienen als Grundlage, um die Sammeltouren entsprechend den von den Betrieben vorgegebenen Kriterien (etwa vorgegebene Einsatzzeit der Fahrzeuge, Einhaltung der Arbeitszeit bzw. Anpassung an bestimmte Schichtmodelle) zu optimieren.

Zwar werden die Sammeltouren regelmäßig angepasst, jedoch nicht bei jeder Fahrt vollständig verändert. Dies wäre insbesondere in Bereichen wie dem Teilservice problematisch, bei dem Bürger aktiv mitwirken, indem sie ihre Tonnen zur Abholung bereitstellen. Häufige Änderungen könnten hier zu Kommunikationsproblemen führen. Ziel ist daher nicht ein ständiger Wechsel der Routen, sondern vielmehr deren kontinuierliche Optimierung – und das, ohne vom Grundprinzip der periodischen Abfuhr abzuweichen. Auch das Flottenmanagement profitiert von dieser Optimierung, etwa durch die laufende Auswertung von GPS-Daten.

Natürlich können die Touren aber auf Wunsch unter Nutzung der jeweils neuesten Daten auch permanent neu adaptiert werden.

⁸ Vgl. Fraunhofer, a.a.O., S. 12., das ist die fortgeschrittene Form der Robotik, es gibt auch Roboter ohne Nutzung von KI.

⁹ <https://www.industrie-energieforschung.de/kuenstliche-intelligenz>

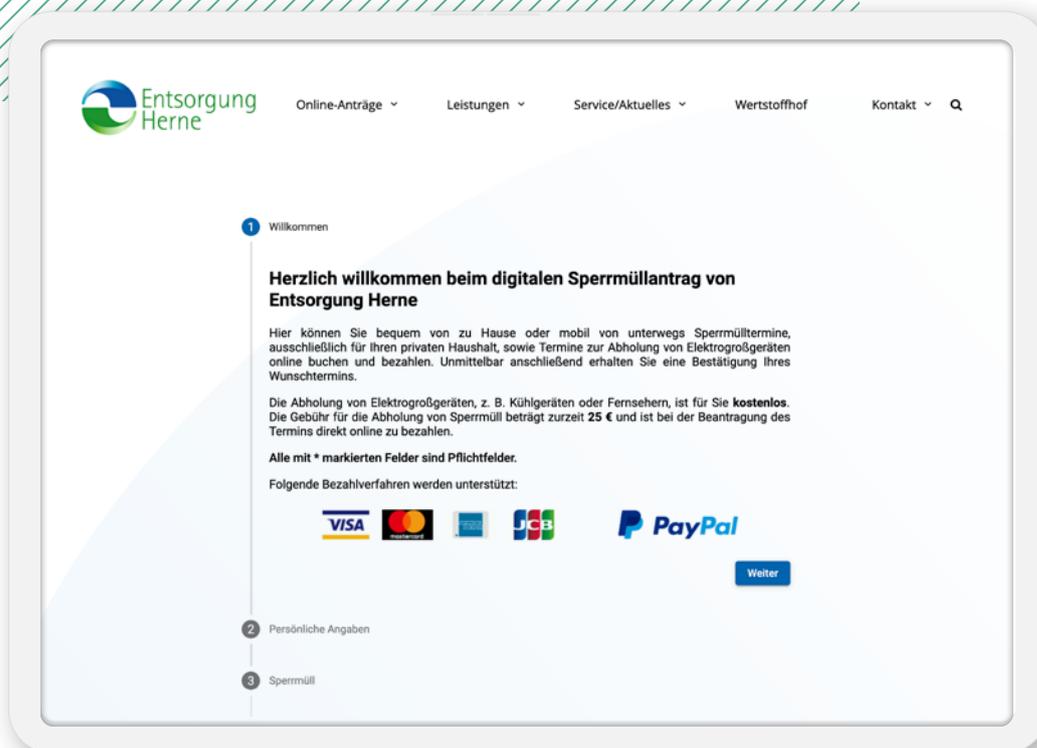
Eine weitere Möglichkeit ist es, von feststehenden Touren abzurücken und ausschließlich Touren „on demand“ anzubieten. Hier würde die jeweilige Tonne nur noch geleert, wenn diese etwa über einen Sensor als voll gemeldet würde. Hierbei werden Sensoren verwendet, die über Funk das Signal aussenden, dass sie zur Abholung bereitstehen. Diese völlige Individualisierung der Abfalltouren eignet sich derzeit vor allem im Bereich der Depot- und Unterflurcontainer. Depot- und Unterflurcontainer sind oft groß und schwer zugänglich, was eine regelmäßige manuelle Überprüfung der Füllstände ineffizient macht. Sensoren können den

Füllstand in Echtzeit überwachen und melden, wann der Container geleert werden muss, wodurch Leerfahrten vermieden werden und die Entsorgungen effizienter geplant werden können. Besonders bei stark frequentierten Standorten können Container schnell überfüllt werden. Sensoren warnen hier frühzeitig, bevor der Container überläuft bzw. Beistellungen erfolgen, was zusätzlich zu einer besseren öffentlichen Sauberkeit beiträgt. Die gesammelten Daten der Sensoren ermöglichen zudem eine datenbasierte Optimierung der Containerplatzierungen. Dadurch können ineffiziente Standorte oder Nutzungsgewohnheiten besser identifiziert und angepasst werden.

PRAXISBEISPIEL:

Digitale Sperrmüllanmeldung

Entsorgung HERNE AÖR



Bequeme Online-Buchung von Abholterminen mit direkter Bezahlung für Bürgerinnen und Bürger

Die Entsorgung Herne hat ihre Sperrmüllanmeldung sowie die daraus resultierenden Sammeltouren unter Nutzung von KI von manuell auf automatisiert umgestellt. Ein KI-gestütztes Prognosesystem errechnet auf Grundlage von maschinellem Lernen die Dauer und das Gewicht einer Abholung basierend auf der detaillierten Gegenstandsliste jedes Kunden. Auf Grundlage dieser Daten – in Verbindung mit den von der Entsorgung Herne festgelegten

Restriktionen (Schichtzeit, Fahrzeugeigenschaften und gegebenen Fahrzeugkapazitäten, nicht planbare Tage, gesperrte Straßen, Straßenzeitfenster etc.) und festgelegten Optimierungsparametern (u. a. kurze Wege, Pünktlichkeit, Lokalität) – zeigt das System an, an welchem Tag der Auftrag eingeplant werden kann. In den Entsorgungslösungen, die in diesem Fall das System adiutaByte anbietet, kann jedoch prinzipiell eine ganze Reihe von Faktoren



erfasst und korreliert werden, unter anderem Qualifikationen und Fähigkeiten der Mitarbeiter, Kapazitäten und Verfügbarkeiten der Fahrzeugflotte, Standorte der Kunden, Verkehrsaufkommen auf der Strecke, Mitarbeiter- oder Kundenwünsche und Kosten von Mitarbeitern und Fahrzeugen. Die Vorteile einer KI-gestützten anstelle einer manuellen Planung liegen laut adiutaByte in Zeitersparnis, höherer Mitarbeiter- und Kundenzufriedenheit, der Möglichkeit, auf unvorhergesehene Änderungen zu reagieren, und einer dauerhaften Kostensenkung bei gleicher Auftragslage.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 251
https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_251_digitalisierung



Ein KI-System berechnet nach den Angaben der Bürgerinnen und Bürger Abholdauer und -gewicht und plant Touren unter Berücksichtigung betrieblicher Vorgaben.

PRAXISBEISPIEL:

Sensorgestützte Überwachung von Depotcontainern

AWISTA Kommunal GmbH

Im Rahmen einer Stadtsauberkeitskampagne wurde die AWISTA Kommunal GmbH beauftragt, 50 Problem-Depotcontainerstandplätze für Papier, Pappen und Kartonagen (PPK) besonders zu kontrollieren, zu reinigen und Beistellungen zu beseitigen. Ende 2019 entschied sich AWISTA, in diesem Zusammenhang ein Pilotprojekt zur Sensortechnik für PPK-Depotcontainer zu starten. Das Ziel des Piloten war es, an 25 der beauftragten 50 Problemstandplätzen mittels Sensortechnik zu testen, inwieweit die Sauberkeit der Standplätze erhöht und gleichzeitig der logistische Aufwand reduziert werden kann. In der Praxis soll der Sensor den Füllstand „Container voll“ des jeweiligen Depotcontainers möglichst in Echtzeit an ein Frontend in der Disposition übermitteln. Nach Eingang der Meldung wird ein Reinigungsteam angewiesen, den Standplatz anzufahren und diesen wieder in einen einwandfreien Zustand zu versetzen und gegebenenfalls Leerungen durchzuführen. So sollen die täglichen Anfahrten vermieden werden. Kurzum: Es sollte ein „betrieblicher Mängelmelder“ geschaffen werden.

Im Ergebnis lagen die Vollmeldungen im Bereich PPK bei einer Genauigkeit von 94,3 Prozent. Bei Glas ist die Genauigkeit ähnlich. Die Füllstandmessung ermöglicht somit eine bedarfsgerechte Leerung und trägt nachweislich zur Verbesserung der Stadtsauberkeit bei, da Beistellungen und Überfüllungen reduziert werden können.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 251

https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_251_digitalisierung



3.2 KI in der Qualitätskontrolle

Die Qualität der gesammelten Abfallströme, d.h. die Sortenreinheit der gebildeten Fraktionen und die Minimierung von Störstoffen, ist eine wesentliche Voraussetzung für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft.

Zur Erhöhung der Sortenreinheit der Abfallfraktionen, darunter Bioabfall, Verpackungen, Altpapier, können Detektionssysteme eingesetzt werden, die mit KI arbeiten.

Detektionssysteme

Detektionssysteme dienen dazu, die Abfälle im Rahmen der Abfallsammlung auf ihre Qualität zu prüfen. Im Grunde gibt es zwei Hauptmethoden, um Störstoffe zu detektieren, die eine setzt vor der Schüttung der Abfälle an, die andere nach der Schüttung. Eine Methode hierbei ist, Störstoffe vor der Schüttung über den Metallanteil des gesamten Tonneninhalts zu detektieren – wobei hier der Metallanteil stellvertretend für andere Fehlwürfe steht. Alternativ wird vor dem Entleeren auch eine fotografische Aufnahme von oben gemacht, welche die Zusammensetzung des Abfalls dokumentiert und die gewonnenen Daten in einer Datenbank gespeichert werden.

Die zweite Methode analysiert die Abfälle nach dem Entleeren mithilfe von Sensoren oder Kameras. Dabei wird eine detaillierte Übersicht über die Zusammensetzung des unmittelbar zuvor entleerten Abfalls erstellt, die umfangreiche Informationen über mögliche Störstoffe liefert.

Sensoren und Kameras spielen hierbei eine zentrale Rolle bei der Detektion von Müll in Fahrzeugen, insbesondere bei der Identifizierung von Störstoffen und der Analyse der Abfallzusammensetzung. Optische Kameras sind in der Lage, Bilder des Mülls aufzunehmen, der im Fahrzeug transportiert wird. Diese Bilder werden dann durch spezialisierte Bildverarbeitungssoftware analysiert, die mithilfe von Algorithmen Muster erkennt und die verschiedenen Arten von Abfällen klassifiziert.

Sensoren, beispielweise Infrarotsensoren (IR), hingegen messen die Wärmestrahlung von Objekten im Abfall und können so unterschiedliche Materialien differenzieren. Da verschiedene Materialien unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten und Strahlungseigenschaften haben, können IR-Sensoren verwendet werden, um zu erkennen, ob ein Objekt beispielsweise aus Kunststoff, Metall oder Papier besteht.

Ultraschalltechnologie wird eingesetzt, um die Dichte und Struktur von Abfall zu messen. Sie funktioniert durch das Aussenden von Schallwellen, die von Objekten im Müll reflektiert werden. Anhand

der zurückkommenden Schallwellen können die Dichte und Struktur des Mülls abgeschätzt werden.

In modernen Müllfahrzeugen arbeiten diese Technologien oft zusammen. Ein typisches Beispiel ist, dass Kameras Bilder des Mülls aufnehmen, während Infrarot- und Ultraschallsensoren zusätzliche Informationen zur Materialzusammensetzung liefern.

Die Daten werden in Echtzeit verarbeitet und mit einer Datenbank abgeglichen, die Informationen zu verschiedenen Abfallarten enthält. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen helfen dabei, Muster zu erkennen und Rückschlüsse auf die Abfallzusammensetzung zu ziehen, wodurch eine effiziente Trennung und eine genauere Identifikation von Störstoffen ermöglicht wird.



In Rostock wurde ein Pilotprojekt durchgeführt, bei dem ein Abfallsammelfahrzeug mit Ident- und Telematiksystem sowie einer Wascheinrichtung eingesetzt wurde. Ziel war die Entwicklung eines volldigitalen Workflows zur Verbesserung der Abfalltrennung. Dafür wurde ein zusätzliches System in die vorhandene Ident- und Telematikanwendung eingebunden. Außenkameras wurden am Fahrzeug montiert, deren Systemobjektive von oben in die Behälter blicken, um deren Inhalt automatisiert zu erfassen. Die KI analysiert die Kamerabilder und erkennt Störstoffe – die Auswertung kann dabei flexibel nach Anwendervorgaben justiert werden.

Wird eine Fehlbefüllung detektiert, kann die Rechneinheit, die in den bestehenden Bordcomputer integriert ist, aktiv einen Stopp der Leerung auslösen. Dies erlaubt das gezielte Aussetzen der Behälterleerung – unterstützt durch visuelle Hinweise wie Anhänger oder Aufkleber am betroffenen Behälter. Die Onboard-Ident- und Telematikanlage erfasst zudem Behälternummer und GPS-Position, übermittelt diese an die Einsatzsoftware und ermöglicht dort eine automatisierte Weiterverarbeitung.

Nutzung von KI zur Beurteilung der Abfallqualität bei Anlieferungen an eine Anlage

KI kann auch genutzt werden zur Beurteilung der Qualität der angelieferten Abfälle bei gleichzeitiger Festlegung der angemessenen Gebühr.

PRAXISBEISPIEL:

Bonitur neu definiert:

KI-Kamera mit Flächenanalyse

Zweckverband

Entsorgungsregion West (ZEW)

Der Zweckverband Entsorgungsregion West (ZEW) hat ein vierstufiges qualitätsbasiertes Gebührenmodell für Bioabfälle aus der haushaltsnahen Biotonnensammlung eingeführt. Die Festlegung der Gebühr erfolgt bei Anlieferung unmittelbar nach dem Abkippvorgang durch visuelle Beurteilung der Sortenreinheit. Die Qualitätsklassen orientieren sich an dem Boniturschema der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK)-Untersuchungsmethode zur qualitativen Beurteilung fester Abfälle. Sehr stark verschmutzte Anlieferungen sind für die biologische Behandlung ungeeignet und werden als Restabfall verwertet.

Visueller Eindruck	Anzahl Fremdstoffe > 100 mm	Gebühr
unverschmutzt/ wenig verschmutzt (grün bzw. grün-gelb)	0 bis 4	31,23 €/t
verschmutzt (gelb)	5 bis 10	61,23 €/t
stark verschmutzt (gelb-rot)	11 bis 15	91,24 €/t
sehr stark verschmutzt (rot)	> 15	141,23 €/t

Die Anzahl der Fremdstoffe > 100 mm bezieht sich auf ein Boniturfenster von 5 m².

Die Bonitur wird sowohl für die Direktanlieferungen an der Kompostierungs- und Vergärungsanlage in Würselen als auch für die Anlieferungen an der Umladestation in Horm durchgeführt. Nach der Umladung ist ein Herkunftsbezug nicht mehr möglich. Die Bonitur wird durch geschultes Personal an den jeweiligen Standorten vorgenommen. Ein subjektiver Einfluss bei der Bonitur kann daher nicht vollkommen ausgeschlossen werden.

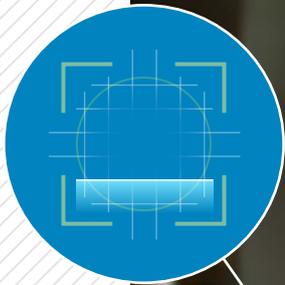
Durch den Einsatz eines **KI-gestützten Kamerasystems** soll die Bonitur objektiviert werden. Das System wird aktuell zunächst in der Umladehalle in Horm getestet. Sobald der Bioabfall aus den Abfallsammelfahrzeugen auf dem Betriebsgelände abgekippt wird, wird eine Kamera auf das Haufwerk gerichtet und der Abfall wird auf Grundlage von Erfahrungswerten, die mittels KI immer weiterentwickelt werden, mit Blick auf das Vorhandensein von Störstoffen bewertet. Innerhalb einer einjährigen Testphase wird geprüft, ob das Kamerasystem die Bonitur des Anlagenpersonals ersetzen kann. Dazu ist eine Anpassung des Boniturschemas erforderlich. Im Gegensatz zum bisherigen Boniturschema arbeitet das Kamerasystem nicht mit einer Fremdstoffanzahl, sondern mit einem prozentualen Flächenanteil der sichtbaren Oberfläche.

Das System wird aktuell erprobt und kann bei erfolgreicher Prüfung an weiteren Standorten genutzt werden.

3.3 KI bei der Abfallerfassung auf Wertstoffhöfen

Künstliche Intelligenz findet zunehmend Anwendung auf Wertstoffhöfen, um die Abfallentsorgung effizienter und benutzerfreundlicher zu gestalten. Durch den Einsatz digitaler Technologien können Wartezeiten in Echtzeit prognostiziert, der Zutritt automatisiert und die Entsorgungsprozesse optimiert werden. KI hilft dabei, Abfallströme besser zu steuern, die Kapazität der Container vorherzusagen und den gesamten Betrieb zu überwachen. Diese Innovationen bieten den Bürgerinnen und Bürgern einen verbesserten Service und entlasten gleichzeitig das Personal auf den Höfen.

Ein KI-gestütztes Kamerasystem bewertet Bioabfall beim Abkippen – mit dem Ziel, Störstoffe objektiv zu erkennen und den Prüfprozess zu optimieren.



PRAXISBEISPIEL:

Wertstoffhof der Zukunft**Zweckverband Abfallwirtschaft
Kreis Bergstraße (ZAKB)**

Ab 2025 wird der Wertstoffhof des Zweckverbands Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB) durch eine digitale Lösung und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) verbessert. Nutzer können über die ZAKB-App ihre Abfälle anmelden, Zeiten buchen und Zahlungen digital vornehmen. Der Besuch wird effizienter und bequemer, da der Zutritt automatisch erfolgt: Die Schranke öffnet sich, sobald das System das Fahrzeug über das Nummernschild als registrierten Nutzer erkennt. Wartezeiten werden prognostiziert, und Kunden können auch außerhalb der regulären Öffnungszeiten selbstständig Abfälle entsorgen. KI wird dabei helfen, Wartezeiten in Echtzeit zu kalkulieren, den Bedarf an bestimmten Containern vorherzusagen und die Abfallströme effizient zu steuern. Das Pilotprojekt in Bürstadt sammelt Erfahrungen, um das Konzept zu optimieren, das in den nächsten zehn Jahren auf allen größeren Wertstoffhöfen umgesetzt werden soll. Dabei werden digitale Dienste und KI den Service für die Kunden erweitern, das Personal entlasten und das Wertstoffhof-Erlebnis modernisieren.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 291

https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_291_digitale_infrastruktur_



3.4 KI im Fuhrpark und in der Mobilität

Der Einsatz Künstlicher Intelligenz bietet vielfältige Möglichkeiten, um Fahrzeuge im kommunalen Bereich effizienter und intelligenter zu gestalten.

Fahrerassistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind ein bereits weitgehend eingeführter Baustein im Fuhrpark der kommunalen Abfallwirtschaft. So sind Rückfahrassistenten oder Abbiegeassistenten allseits bekannt und werden regelmäßig als standardmäßige Ausstattung von Fahrzeugen beschafft. Viele FAS werden zunehmend mithilfe KI verbessert umgesetzt. Hier werden gemäß einer Studie des Fraunhofer Instituts Schwarmintelligenz, Maschinelles Sehen (kamerabasiert), radar- und sensorbasiertes Erfassen/Schließen und Maschinelles Lernen eingesetzt, um die Funktionen der FAS zu verbessern. Neben den gebräuchlichen Assistenten werden hier Nachtsichtsysteme oder Spurverlassassistenten erwähnt.¹⁰

Fahrzeuge als Datenspeicher und -lieferant

Moderne Fahrzeuge sind mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, die eine Vielzahl an Daten unterschiedlichster Art aufnehmen, auswerten und weitergeben können. Die Fahrzeuge, die in der Abfallwirtschaft, in der Stadtreinigung und im Winterdienst eingesetzt werden, können durch entsprechende technische Applikationen unter Nutzung von KI (Sensorik, Maschinelles Sehen) somit auch als Datenspeicher und -übermittler (mobile Datensammler) eingesetzt werden. Neben der permanenten Verarbeitung von Verkehrsdaten (Stau, Zustand der Verkehrsflüsse, etc.), die etwa für die Tourenoptimierung genutzt werden können (siehe oben Tourenplanung), kann etwa auch der Zustand der Straßen allgemein oder die Straßenqualität bei spezifischer Witterung (etwa Schneefall oder Glatteis) in Echtzeit datenrelevant aufbereitet und für bestimmte Zwecke intern im Unternehmen oder als Serviceleistung für andere Unternehmen genutzt werden. Eine weitere Anwendung ist die Evaluation der Straßenverkehrssicherheit bei Straßenabschnitten, nachdem Baustellenaufbrüche geschlossen wurden, oder auch ein Monitoring der Netzabdeckung (Internet) in einem gewissen Gebiet.

¹⁰ Vgl. Fraunhofer, a.a.O., S. 25.

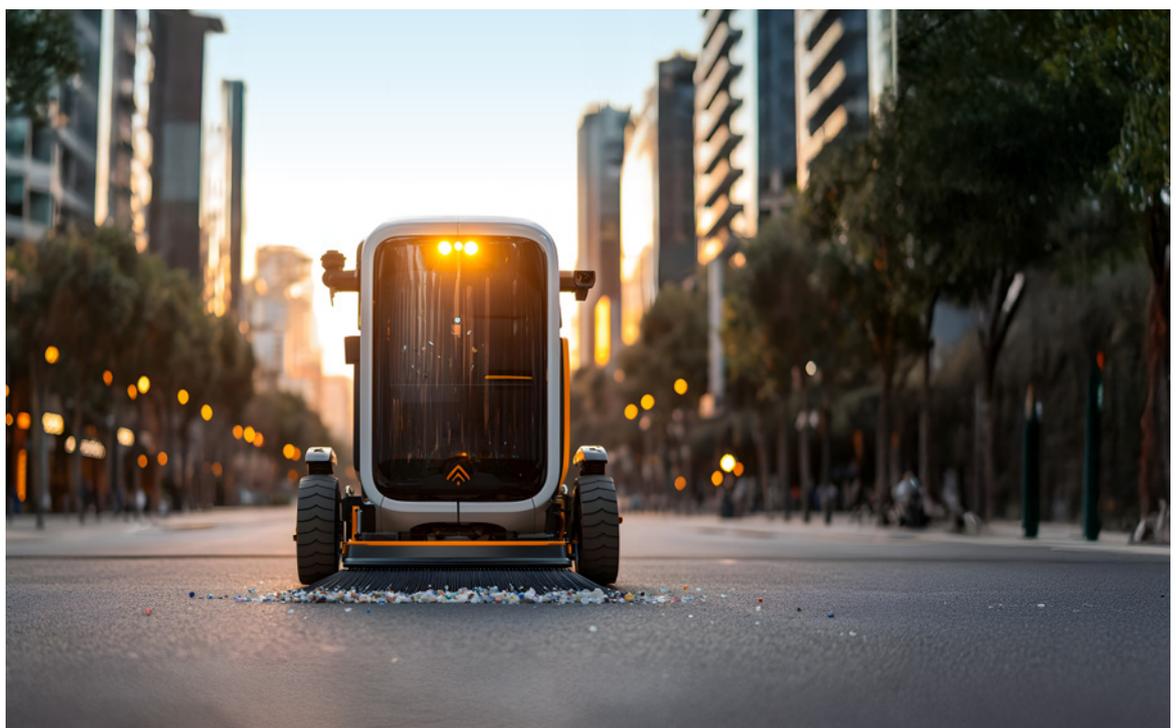
Im **Winterdienst** können in Echtzeit erfasste und übermittelte Daten zur Schneemenge und Straßenbeschaffenheit die Grundlage für eine präzise und effiziente Einsatzplanung bilden. Dies bedeutet, dass Streu- und Räummaßnahmen nur dann ergriffen werden, wenn sie notwendig sind, und dass diese Maßnahmen dann effizienter und gezielter durchgeführt werden können. Dies trägt nicht nur zur Kostenreduktion bei, sondern stellt auch sicher, dass die erforderlichen Maßnahmen rechtzeitig und gemäß den geltenden Vorschriften durchgeführt werden.

Ein weiteres rechtliches Problem kann durch Über- oder Unterstreuerung entstehen. Eine zu hohe Streumenge kann negative Umweltauswirkungen haben, während zu wenig Streumaterial gefährliche Straßenverhältnisse zur Folge haben kann. KI kann dabei helfen, die Streumenge zu optimieren, indem sie genau berechnet, wie viel Streumaterial bei den jeweiligen Wetterbedingungen erforderlich ist. Dies stellt sicher, dass die Maßnahmen sowohl umweltfreundlich als auch rechtlich unbedenklich sind.

KI-basierte Systeme können vor allem eine **lückenlose Dokumentation** aller Winterdienstmaßnahmen gewährleisten. Diese Systeme sammeln in Echtzeit Daten zu Streu- und Räumaktivitäten (z. B. wann und wo Salz gestreut oder Schnee geräumt wurde) und speichern diese Informationen. Diese Daten können als rechtssichere Nachweise dienen, falls es zu rechtlichen Auseinandersetzungen kommt, z. B. bei Unfällen, die auf vorgeblich unzureichende Winterdienstmaßnahmen zurückgeführt werden.

Sauberkeitsmessungen in der Straßenreinigung werden zudem mithilfe von KI-basierten Systemen an Fahrzeugen effizienter gestaltet. Diese Systeme verwenden Bilderkennungsalgorithmen, um Verschmutzungen und Abfälle auf Straßenoberflächen zu identifizieren. Kamergestützte Sensoren erfassen Bilder der Straßenabschnitte und die KI analysiert diese, um den Verschmutzungsgrad zu bewerten. Die KI kann verschiedene Arten von Abfällen und Verschmutzungen unterscheiden und kann so eine präzise Bewertung der Sauberkeit liefern. Diese automatisierte Methode ermöglicht eine genauere Überwachung, schnellere Reaktionszeiten für Reinigungsmaßnahmen und insgesamt eine verbesserte Effizienz in der Straßenreinigung.

Abfall- und Straßenreinigungsfahrzeuge als Datenlieferanten werden auch zukünftig eine nicht unerhebliche Rolle im Kontext von Smart-City-Konzepten spielen. Durch ihre routinemäßigen Einsätze können die Fahrzeuge wertvolle Daten über städtische Infrastrukturen, Verkehrsströme und Umweltbedingungen sammeln. Die Analyse dieser Daten kann dazu beitragen, die Effizienz von Reinigungs- und Entsorgungsdiensten zu optimieren, Ressourcen besser zu planen, Kosten zu senken, die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu erhöhen und die Umweltbelastung zu reduzieren. Zudem können die gesammelten Informationen zur Verbesserung der städtischen Planung und zur Entwicklung smarterer Städte beitragen. Mobilitätsdaten können zudem in städtische Datenplattformen integriert werden, um ganzheitliche Lösungen für urbane Herausforderungen zu entwickeln.





PRAXISBEISPIEL:

Kiels Kehrmaschine lernt mit – dank KI

Abfallwirtschaftsbetrieb Kiel

KI-Kehrmaschine erkennt Abfälle und erstellt eine Heatmap der Verschmutzung.

In der Straßenreinigung des Abfallwirtschaftsbetriebs Kiel (ABK) wird seit Juni 2023 Künstliche Intelligenz an der Kehrmaschine eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine KI, die zurzeit hauptsächlich im Innenstadtbereich der gut 250.000 Einwohner zählenden Landeshauptstadt eingesetzt wird.

Die Kehrmaschine ist 6 Stunden an 6 Tagen die Woche unterwegs und erfasst im Echtzeitmodus einen Boden-Radius von 5 Metern rechts und 5 Metern vorwärts. Die Kamera, die an der Kehrmaschine installiert ist, nimmt Abfälle wie Zigaretten, Iqos, Papier, Zeitungen, PET-Flaschen, Blätterhaufen, Glasflaschen, Alu-Dosen, Robidog (Hundekotbeutel) sowie Kaugummi auf. Aufgrund dieser ermittelten Daten wird ein örtlicher Abfall-Atlas auf einer Heatmap dargestellt.

Der Abfallwirtschaftsbetrieb Kiel führt hierzu aus: „Was bringt uns die KI im Zusammenhang mit Stadtsauberkeit? Wir erstellen Dokumentationen, wann und wo gereinigt worden ist. Dies kann im Fall von Beschwerden als Nachweis angefügt werden. Zudem können Reinigungsintervalle, die bei uns starr und fest in der Satzung verankert sind, mit diesen Fakten angepasst werden. Denn wir erhalten mit den neutral erfassten Daten nachweisbare Informationen,

ob der seit Jahren eingeteilte Reinigungsturnus noch den aktuellen Anforderungen entspricht. Eine Leerung von Abfalleimern nach Bedarf ist ebenfalls ein Vorteil. Künftig sind Reinigungs- und Kehrmaschineneinsätze aufgrund der Datenlage individuell anpassbar. In der Praxis haben wir uns die KI-Auswertungen zunächst zur Optimierung der Standorte unserer 40 Kippen-Orakel (spezielle Zigarettenbehältnisse mit integrierter Abstimmfunktion) zu Nutze gemacht. In der ersten Runde der Installation dieser Behältnisse haben wir aus der Erfahrung heraus die Standorte gewählt. Die KI hat uns zu unserer eigenen Überraschung bislang nicht identifizierte Hotspots aufgezeigt und einige Standorte als weniger kritisch offenbart. 1 Millionen gesammelte Kippen alleine in den Anfangsmonaten von Juni bis Dezember 2023 sind eine Zahl, die für sich spricht. Ein Erfolg auch dank KI.“

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 279
https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_279_stadtbildpflege_



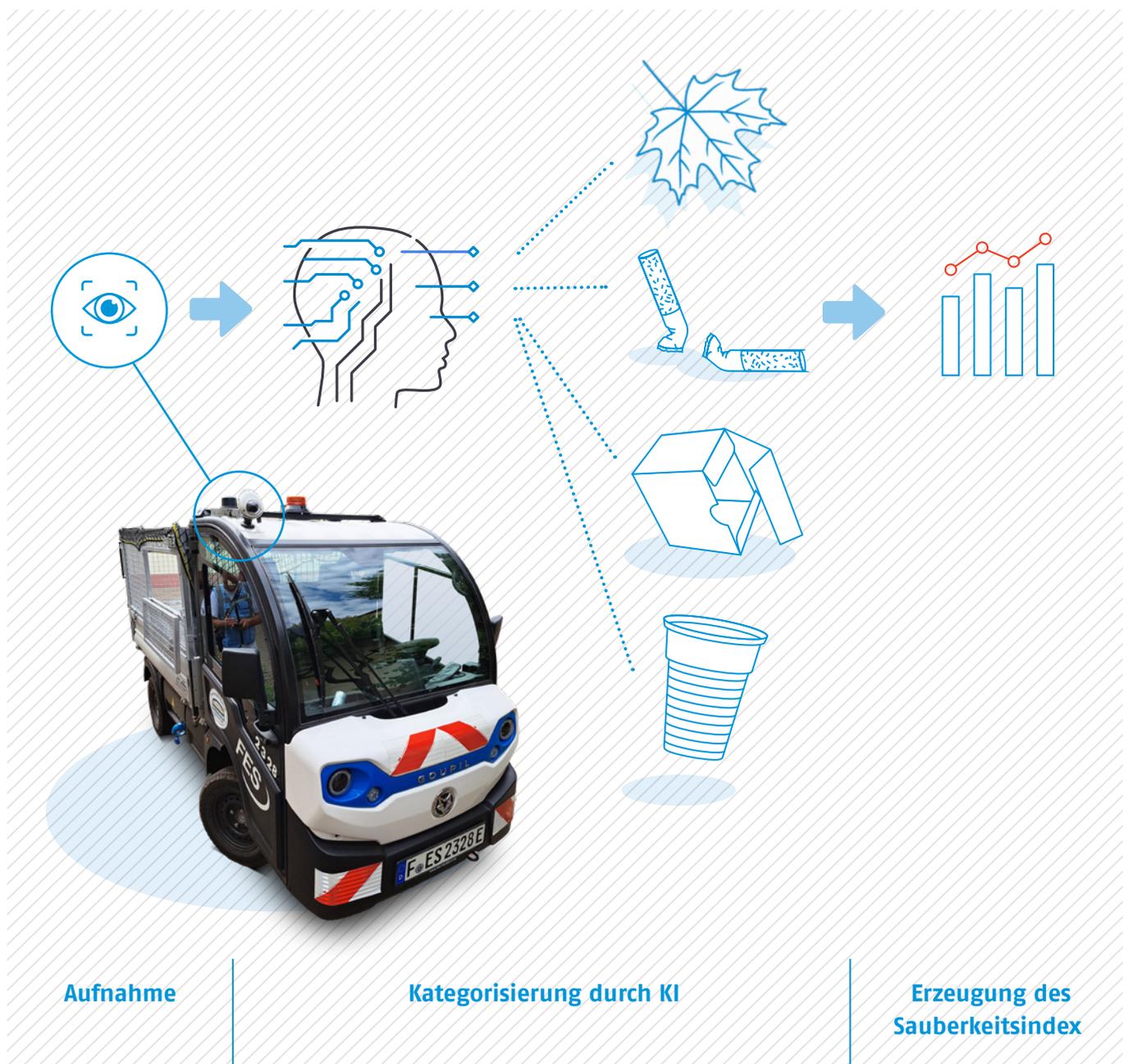
PRAXISBEISPIEL:

KI-gestützter Sauberkeitsindex

FES Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES)

Zur Verbesserung der Stadtsauberkeit setzt die FES das KI-basierte Kamerasystem Cortexia an, das auf unterschiedlichen Fahrzeugen verbaut werden kann. Während der betrieblichen Fahrten erfassen die Kameras kontinuierlich Bilder der Straßen und Gehwege. Die aufgenommenen Daten werden in Echtzeit analysiert, wobei die KI zwischen verschiedenen Arten von Verschmutzungen, wie bspw. Papier, Zigaretten oder Laub, unterscheiden kann. Basierend auf diesen Analysen berechnet das System einen Sauberkeitsindex, der den aktuellen Zustand eines bestimmten Bereichs quantifiziert.

Fahrzeug (E-Goupil G4) der FES mit verbauten Cortexia System

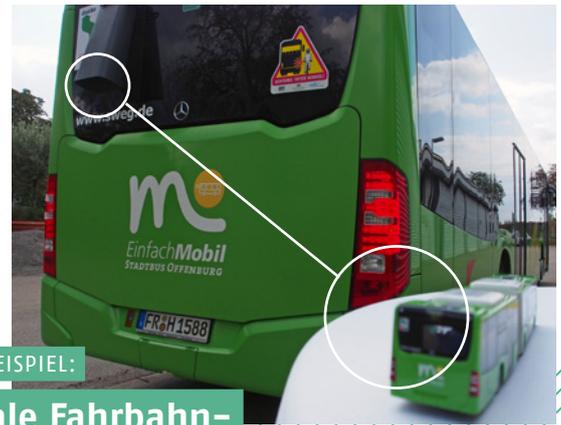


Seit den frühen 2000er-Jahren gibt es bereits etablierte Systeme zur Qualitätssicherung, die Kennzahlen zur Stadtsauberkeit erheben. Diese liefern eine fundierte Datengrundlage, um Entscheidungen gegenüber politischen Gremien und subjektiven Wahrnehmungen besser zu rechtfertigen. Allerdings ist der Stichprobenumfang dieser manuellen Erhebungen begrenzt, während Cortexia durch seine kontinuierliche Datenerfassung eine viel größere Abdeckung erreicht. Dennoch gibt es Unterschiede: Die etablierte Kennzahl, die von geschultem Personal erhoben wird, kann oft detailliertere Einblicke liefern, da sie qualitative Aspekte besser erfasst. Zudem erkennt Cortexia noch nicht jede Art von Verschmutzung, was bedeutet, dass beide Methoden aktuell eher ergänzend als ersetzend betrachtet werden sollten.

Das neue System erfasst nicht nur den Sauberkeitszustand, sondern stellt darüber hinaus relevante Daten für unterschiedliche Nutzergruppen bereit. Mitarbeitende im Außendienst erhalten Hinweise auf aktuelle Verschmutzungen, um ihre Einsätze besser planen zu können. Betriebsleiter nutzen zusammengefasste Übersichten zur Koordination von Personal und Ressourcen. Verwaltung und Management greifen auf Auswertungen zurück, die bei der Entwicklung langfristiger Reinigungsstrategien und bei politischen Entscheidungen unterstützen. Der Mehrwert des Systems liegt somit in der bedarfsgerechten Aufbereitung der Daten für die jeweilige Nutzergruppe.

Trotz der genannten Potenziale gibt es bei der Implementierung von KI-Systemen wie Cortexia auch Herausforderungen:

- **Zuständigkeitsabgrenzung:** Nicht jede Verschmutzung liegt in der Verantwortung der kommunalen Reinigung. Privatgrundstücke, Bahnflächen oder straßenbegleitendes Grün fallen oft nicht in den Zuständigkeitsbereich der städtischen Betriebe. Die Herausforderung besteht darin, diese Bedingungen möglichst gut im System abzubilden.
- **Wachsende Systemkapazitäten:** Cortexia ist ein lernendes System, dessen Erkennungsfähigkeiten sich mit der Zeit erweitern. Das bedeutet, dass Kennzahlen aus vergangenen Jahren nicht immer mit aktuellen Daten vergleichbar sind.
- **Einschränkungen durch Fahrzeugreichweite:** Die Datenerfassung von Cortexia ist an die betrieblichen Routen der Fahrzeuge gebunden. Fußgängerzonen, Treppenanlagen oder schwer zugängliche Gebiete werden nicht immer erfasst. Daher ist die Wahl geeigneter Fahrzeuge und alternativer Datenerfassungsmethoden entscheidend, um ein umfassendes Bild der Stadtsauberkeit zu erhalten.



PRAXISBEISPIEL:

Digitale Fahrbahn- überwachung

Technische Betriebe Offenburg

Ein Bus in Offenburg trägt zur Verkehrssicherheit bei, indem er mit einem mobilen Sensor den Fahrbahnzustand überwacht. Dafür sitzt am Heck ein Brotdosen-großer Kasten mit ausgeklügelter Technik. Der mobile StraßenwetterSENSOR Lufft MARWIS überwacht während der Fahrt den Fahrbahnzustand und sendet die Daten in Echtzeit an den Winterdienst. Der Bus fährt täglich über die Straßen der Stadt und liefert kontinuierlich Informationen zur Verkehrssicherheit. Der Winterdienst nutzt diese Daten, um Einsätze schneller und gezielter zu planen. Seit 2018 sind die Sensoren bereits an elf LKW der Winterdienstflotte der TBO (Technische Betriebe Offenburg) im Einsatz, und der Bus der SWEG ist das zwölfte Fahrzeug. Diese Zusammenarbeit ist für beide Seiten vorteilhaft, da die Busse ihre gewohnte Route fahren und zusätzlich zur Datensammlung beitragen, ohne zusätzlichen Aufwand. Die gesammelten Daten werden auf einer digitalen Stadtkarte erfasst, und bei kritischen Situationen erfolgt ein sofortiger Einsatz des Winterdienstes. Für die Zukunft plant man, weitere Busse und Fahrzeuge mit Sensoren auszustatten und die Daten auch benachbarten Gemeinden zur Verfügung zu stellen.

Am Hauptstandort ergänzt inzwischen eine fest installierte Wetterstation die mobilen Sensoren. Sie dient als Referenz und ermöglicht genauere Wetterprognosen. Künftig sollen die Daten über ein Bürgerportal öffentlich zugänglich sein – auch für den Sommerbetrieb, etwa zur Dokumentation von Hitzeextremen oder zur Vernetzung mit dem städtischen Wassermanagement.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 252
https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_252_baubetriebsh_fe



Autonom fahrende Systeme

Eine besonders einschneidende Entwicklung ist das **autonome Fahren** von Straßenreinigungsmaschinen bzw. von Abfallsammelfahrzeugen. Autonomes Fahren ist ohne Künstliche Intelligenz nicht vorstellbar. KI-Systeme in autonomen Fahrzeugen verarbeiten diverse Daten parallel und in Echtzeit¹¹: Den Straßenverlauf, die Straßenschilder und Ampeln sowie die Bewegungen der anderen Verkehrsteilnehmer und vieles mehr. Dafür muss das KI-System lernen, diese Daten zu interpretieren. Mit sehr umfanglichen

Datensätzen trainieren die Entwickler die Künstliche Intelligenz und testen deren Entscheidungen. Das KI-System entwickelt mit fortschreitenden Tests z. B. die Fähigkeit im Straßenverkehr, sicher zu navigieren. Es lernt, bei unvorhergesehenen Ereignissen, wie dem abrupten Abbremsen eines anderen Autos, schnell zu reagieren.

Die Entwicklung ist hierbei bei Straßenreinigungsmaschinen schon weiter fortgeschritten als bei Abfallsammelfahrzeugen, wo noch keine umfanglichen Tests in den Mitgliedsunternehmen bekannt sind.



PRAXISBEISPIEL:

Autonome Kehrmaschine im Test

Wirtschaftsbetriebe Duisburg

Im Mai 2020 haben die Wirtschaftsbetriebe Duisburg am Recyclinghof Nord mit dem Testbetrieb einer autonomen Kehrmaschine der Firma Enway begonnen. Durch den Testzeitraum von etwa einem Jahr konnte die Kehrmaschine ausgiebig getestet werden. Es handelte sich hierbei um eine kleine Kehrmaschine, in der spezielle Sensoren verbaut sind. Durch sie können eine flexible Routenplanung und eine intelligente Hindernisvermeidung ermöglicht werden.

Dies geschieht über eine Kombination von Kameras und Lasersensoren (LiDAR, engl. Light Detection And Ranging), mit denen der Reinigungsroboter seine Umgebung erkennt und sich orientiert. Zusätzliche technische Ausstattung oder Markierungen im Einsatzgebiet werden nicht benötigt. Die Laufzeit der Maschine beträgt gut sechs Stunden. Die Aufladung des Akkus erfolgt dabei auf manuellem Weg. Die Kehrmaschine kann sowohl im autonomen als auch im manuellen Modus betrieben werden und sowohl

über WiFi als auch über Mobilfunk kommunizieren. Dabei ist eine weitgehend standortunabhängige Steuerung der Maschine per Handy-App möglich.

Insgesamt ist der Testbetrieb der autonomen Kehrmaschine aus Sicht der WBD als positiv zu bewerten, da wertvolle Erkenntnisse gewonnen wurden. Der Versuch habe gezeigt, dass die Sensorik bereits gut funktioniert.

Ziel des Einsatzes der autonomen Straßenreinigungsmaschine ist es dabei nicht, Personal einzusparen. Autonome Kehrmaschinen könnten jedoch in Zukunft effektiv und wirtschaftlich in einem kontinuierlichen „Wechselbetrieb“, in dem zwischen dem manuellen Betrieb mit einer Fahrerin oder einem Fahrer und dem autonomen Betrieb in den Nachmittagsstunden gewechselt wird. Die Nutzung solcher Roboter kann langfristig auch den Arbeits- und Gesundheitsschutz verbessern, indem Roboter den Beschäftigten schwere Arbeiten abnehmen können.

Derzeit müssen erst die verkehrsrechtlichen Voraussetzungen geschaffen werden, damit autonome Kehrmaschinen tatsächlich ohne Fahrer eingesetzt werden dürfen. Dies erfordert eine Anpassung der bestehenden Gesetze und Vorschriften, die bislang auf den Einsatz von Fahrzeugen mit menschlichen Fahrern ausgelegt sind. Zudem müssen umfangreiche Tests und Prüfungen durchgeführt werden, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit der autonomen Maschinen im Straßenverkehr zu gewährleisten.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 261

https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/detail/ausgaben.vks_news_261



¹¹ <https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Wie-geht-Internet/KI-Autonomes-Fahren/ki-autonomes-fahren.html>

PRAXISBEISPIEL:

Mit KI gegen Kleinstmüll: Autonomer Reinigungsroboter räumt auf

Berliner Stadtreinigung AÖR

Um den Herausforderungen von kleinteiligem Müll in Grün- und Parkanlagen zu begegnen, kooperiert die Berliner Stadtreinigung (BSR) seit Beginn des Jahres 2021 mit dem Startup Angsa Robotics. Gemeinsam arbeiten sie an der Entwicklung eines intelligenten Roboters für die autonome Entfernung von kleinteiligem Müll auf Grünflächen. Der Angsa-Reinigungsroboter ist ein autonom fahrendes Reinigungsgerät, das mithilfe von Sensoren, Kameras und einer Saugvorrichtung Kleinstabfälle von Rasenflächen aufsammeln kann. Die im Roboter verbauten künstliche Intelligenz ermöglicht die zuverlässige Erkennung von kleinen und teilweise verdeckten Objekten. Trainiert wird die künstliche Intelligenz mithilfe eigener Datensätze von realen Müll-Bildern. Der Roboter unterscheidet so Müllobjekte von anderen Objekten wie Pflanzen oder Insekten, was den Schutz der Tier- und Pflanzenwelt gewährleistet.

Im praktischen Einsatz zeigt sich, wie die autonome Kehrmaschine sinnvoll in den Arbeitsalltag integriert werden kann. Nach Planung einer Tour durch die Einsatzleitung fährt die Reinigungsgruppe mit dem Roboter zur gekennzeichneten Fläche. Dort übernimmt der Roboter auf Knopfdruck eigenständig die Reinigung der Fläche. Der Mitarbeiter kann währenddessen einer anderen Aufgabe nachgehen und z.B. den Park von Großabfällen befreien. Der Roboter soll als Unterstützung der BSR-Reinigungskräfte dienen, um die Qualität des Reinigungsergebnisses innerhalb einer Grünanlage zu verbessern. Er soll aber keine Beschäftigten ersetzen.

Nach ersten Erkenntnissen lässt sich sagen, dass der Angsa-Reinigungsroboter ein Produkt ist, das die Effizienz und Qualität der Grünflächenreinigung erheblich verbessern kann. Es bleibt abzuwarten, wie sich der Roboter bewährt und ob er flächendeckend zum Regeleinsatz kommen kann.

Falls Sie mehr erfahren möchten: VKS NEWS 289

https://vku.epaper-publishing-one.de/kiosk/edition/ausgaben.vks_news_289_stadtbildpflege_



Der Angsa-Reinigungsroboter ist ein autonom fahrendes Reinigungsgerät.

3.5 KI in der Sortierung und Verwertung

Gerade eine hochwertige stoffliche Verwertung von Abfällen (Wertstoffen) hat als Voraussetzung, dass die in die Recyclingstufen eingeführten Abfälle sortenrein sind und möglichst wenig Störstoffe enthalten, die ggf. ansonsten die Qualität des Endprodukts beeinträchtigen könnten. Auch aufgrund der permanent höheren Vorgaben zu den zu erzielenden Recyclingquoten müssen die Sortierprozesse, die eine Sortenreinheit der Abfälle erwirken sollen – etwa im Bereich der stark durchmischten Fraktionen wie der Leichtkunststoffabfälle, der Batterien oder der Alttextilien – teilweise stark optimiert werden.

In verschiedenen Regionen wird die Sortierung der Leichtkunststoffe, der Batterien und der Alttextilien noch manuell vollzogen, in anderen Regionen wird dies bereits vollautomatisch erledigt.

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz kann im Rahmen einer automatisierten Sortierung helfen, die Sortierqualität deutlich zu verbessern. Verschiedene Betriebe haben Ansätze entwickelt, auf Basis von **Deep Learning** Abfallströme gezielter zu analysieren, Sortierprozesse zu optimieren und Anlagenbetreibern verwertbare Daten für eine bessere Entscheidungsfindung zu liefern. Das Zusammenspiel zwischen Deep Learning und bildverarbeitungs-basierten Sensoren und Robotik wird etwa eingesetzt, um den Müllsortierprozess an kritischen Punkten zu analysieren und den Betreibern laufend Daten zu liefern etwa mit Blick auf die genaue Messung des Durchsatzes, der Rückgewinnungsraten und der Reinheit des Outputs¹².

Bisher haben sich die Entwicklungen auf diesem Gebiet vor allem auf kleinteilige Abfälle wie Kunststoffabfälle konzentriert, womit das nachfolgende Forschungsprojekt begründet wird.

PRAXISBEISPIEL:

Automatisierte Sortierung von Großabfällen durch Robotik

Projekt „Smart Recycling Up“

Im Jahr 2022 startete unter anderem das vom Bundesumweltministerium geförderte Projekt **„Smart Recycling Up“**, das einen Ausblick gibt auf die zukünftigen Schwerpunkte der KI-gestützten Sortiertechnik. An dem Projekt sind u. a. die Abfall-Service Osterholz GmbH und die KAVG Kreisabfallverwertungs GmbH Minden-Lübbecke beteiligt.¹³

Das Projekt plant den Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Robotik, um eine Technologie zur automatisierten Sortierung großstückiger Abfälle – wie Sperrmüll oder Bauschutt – zu entwickeln und einen aktiven Beitrag zum besseren Recycling und für eine effizientere Kreislaufwirtschaft zu leisten. Im Gegensatz zu kleineren Reststoffen, die automatisiert getrennt werden können, müssen Abfälle wie Sperrmüll oder Bauschutt zunächst noch aufwändig zerkleinert werden. Ziel von „Smart Recycling Up“ ist es, Materialien mithilfe von moderner Sensorik, KI-Methoden und Robotik vollautomatisch zu identifizieren, zu klassifizieren



¹² <https://www.k-online.de/de/k-mag/kuenstliche-intelligenz/polyperception-ki-sortierung-recycling>

¹³ <https://www.z-u-g.org/foerderung/ki-leuchttuerme-fuer-umwelt-klima-natur-und-ressourcen/projekt/smart-recycling-up/>

und zu sortieren. Erzielt werden soll eine gesteigerte Anlagenverfügbarkeit durch verbesserte Ausschleusung von Störstoffen in der Vorsortierung und eine Erhöhung des Erfassungsgrades von Wertstoffen durch Automatisierung und KI. Aus ökonomischer Sicht versprechen KI und Robotik einen gesteigerten Erlös durch eine Verbesserung der Rezyklatqualität, höhere Erfassungsgrade von Wertstoffen und deren Vermarktung als Sekundärrohstoffe, eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit und damit eine Reduzierung von Wartungs- und Reparaturaufwand und -kosten sowie eine Verringerung der Kosten zur Entsorgung von Reststoffen.¹⁴

PRAXISBEISPIEL:

Smarte Sperrmülltrennung – KI gewinnt Holz für neue Nutzung

EKOcity Center

Beim EKOcity Center wird für die Sperrmüllaufbereitung eine KI-unterstützte Verteil- und Sortiertechnik zur Separation von unbehandelten Hölzern, zur stofflichen Verwertung in Spanplatten, aus Sperrmüll eingesetzt.

Am Anfang der Trenntechnik wird der Materialstrom mittels eines KI-unterstützten Verteilsystems (DiscSpreader-Scheibenverteiler der Fa. Westeria) optimal auf ein Beschleunigungsband verteilt. Die Scheiben werden mithilfe von künstlicher Intelligenz automatisch ausgerichtet. Kameras über dem Förderband überwachen permanent, wie das Material verteilt wird. Der selbstlernende Algorithmus sammelt permanent neue Daten und kann sich dadurch auf jede Veränderung im Materialstrom sehr schnell einstellen. Das patentierte System wird direkt auf das Beschleunigungsband montiert und sorgt dadurch für maximale Effizienz anschließender Sortieraggregate.

In der Separationstechnik handelt es sich um eine hochpräzise Sortierung mehrerer Materialströme mit einer Deep Learning-Technologie.

Dank KI-basierter visueller Klassifizierung identifiziert die Sortiertechnologie GAINnext™ der Fa. Tomra tausende von Objekten in Millisekunden und macht damit einen hohen Durchsatz von bis zu 2.000 Auswürfen pro Minute je nach Anwendung möglich.

Mit seiner integrierten Deep-Learning-Software erkennt GAINnext™ schwer zu klassifizierende Objekte und reduziert so den Bedarf an manueller Sortierung. Das System automatisiert komplexe Aufgaben, die mit herkömmlicher optischer Abfallsortierung nicht zu bewältigen sind. Die intelligente Technologie klassifiziert auch sich überlappende Objekte und sorgt für hochpräzise Sortierung, indem es die Flugbahn der Materialien berechnet. Die Technologie ist dank ihrer Netzwerkanbindung schnell zu optimieren, die Maschinen-Leistung kann kontinuierlich verbessert und Ausfallzeiten reduziert werden. Auch sind eine Cloud-basierte Überwachung möglich und digitale Anwendungsdienste einsetzbar.

3.6 KI in der Anlagenüberwachung und Wartungsplanung

Ein bedeutender Anwendungsbereich von Künstlicher Intelligenz ist die intelligente Steuerung von Anlagen sowie die frühzeitige Erkennung von Wartungsbedarf.

Eine wesentliche Funktion haben KI-basierte Anwendungen etwa zur Identifikation des Wartungsbedarfs von Recycling- bzw. Müllverbrennungsanlagen. Durch die kontinuierliche Überwachung von Sensordaten und den Einsatz fortschrittlicher KI-Algorithmen zur Früherkennung von Wartungsbedarf können Ausfallzeiten minimiert und die Lebensdauer der Anlagen verlängert werden.¹⁵ Diese vorbeugende Wartung stellt sicher, dass die Recycling- bzw. sonstigen Behandlungsprozesse störungsfrei ablaufen, womit die Qualität des Behandlungsverfahrens und der Output-Produkte gesteigert wird.

Thermische Behandlungsanlagen

Mit Blick auf die Steuerung von Anlagen ist etwa die Verbesserung der Beschickung von Müllverbrennungsanlagen mit Abfällen ein wichtiges Einsatzgebiet. Eine Anwendung stellt der Einsatz einer Kombination von Video- und Wärmebildkamera in einem feuerfesten Gehäuse dar, welche auf die letzten Zonen der Verbrennung gerichtet ist. Die aufgenommenen Thermografie-Bilder werden digital ausgewertet. Daraus lassen sich die aktuellen Temperaturen in der Brennkammer ermitteln, die wiederum Einfluss auf die Geschwindigkeit der Beschickungsanlage, die Lüftungssteuerung und letztlich die Emissionswerte haben. Der Prozess läuft aufgrund der Verwendung von Komponenten Künstlicher Intelligenz automatisiert ab, die Beschickung der Anlage mit Abfällen kann damit optimiert werden.¹⁶

¹⁴ <https://eu-recycling.com/Archive/37280>

¹⁵ <https://www.it-p.de/blog/ki-recycling/>

¹⁶ <https://www.iqony.energy/tircantabria>

Abfalldeponien

Deponien sind ein Teil der Entsorgungslandschaft, bergen ein vergleichsweise hohes Schadstoffpotenzial und bedürfen umfassender Gefährdungsbeurteilungen für einen sicheren Anlagenbetrieb. Dieser enthält neben den technischen Voraussetzungen auch qualifiziertes geschultes Personal. Damit der sichere Anlagenbetrieb auch zukünftig gewährleistet werden kann, ist es zwingend notwendig, die durch den Klimawandel resultierende Extremwetterdynamik unter Berücksichtigung des demografischen Wandels frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Während der demografische Wandel bekannt ist, sind Auswirkungen von standortbezogenen Extremwetterereignissen unbekannt. Vor diesem Hintergrund sind anlagentechnische Maßnahmen für den Normalbetrieb und insbesondere für den Störfall zu überprüfen.

Die Nutzung von KI-Modellen zur Unterstützung des Deponiebetriebs ermöglicht eine Vielzahl von Möglichkeiten. Hierzu zählen die Echtzeit-Prozessoptimierung, welche einen höheren Reinigungs- bzw. Behandlungsdurchsatz von Sickerwasser/Deponiegas ermöglicht und gleichzeitig zu erheblichen Einsparungen bei Betriebsmitteln führt, sowie ein verringertes Emissionspotenzial. Darüber hinaus wird durch die optimierte „Wetter“-Vorhersage der sichere Betrieb der Anlagen gewährleistet, indem das Gefährdungspotential minimiert wird.

Des Weiteren ermöglicht die Anwendung von KI-Modellen die Identifikation von Schwachstellen im Anlagenbetrieb und den Prozessen durch die Simulation bestimmter „Extremwetterereignisse“. Dieser präventive Ansatz trägt dazu bei, potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Schließlich erfolgt eine Optimierung der Personalressourcen, indem maßgeschneiderte KI-Modelle klassische Tätigkeiten durch zukunftsorientierte Aufgaben kompensieren.

PRAXISBEISPIEL:

Intelligente Frühwarnsysteme:

KI schützt Deponien vor Wetterrisiken

Abfallwirtschaftsbetriebe

Grafschaft Bentheim (AWB)

Gerade für Abfalldeponien ist Regen ein kritischer Faktor: Wasser, das auf den Deponiekörper trifft und dort versickert, kann mit Schadstoffen belastet sein. Es muss deshalb aufgefangen und in der betriebseigenen Kläranlage gereinigt werden, bevor es in die Umwelt gelangen darf. Bei starkem Regen kann die Kläranlage jedoch an ihre Grenzen stoßen. Auch längere Trockenphasen können den Betrieb belasten. Künstliche Intelligenz kann künftig dabei helfen, Deponien besser gegen Starkregen und andere Extremwetterereignisse zu wappnen.

Um die Anlage zukunftssicher aufzustellen, setzen die Abfallwirtschaftsbetriebe Grafschaft Bentheim (AWB) auf ein KI-gestütztes Warnsystem.

An der Zentraldeponie Wilsum II (westliches Niedersachsen) wurde erstmals ein KI-Hybrid-System entwickelt und implementiert, das drei Kernkomponenten integriert: Ein umfassendes Sensornetzwerk zur Echtzeiterfassung deponiespezifischer Parameter, die Einbindung deutscher und niederländischer Wetterdaten sowie detaillierte Abflussmodelle der Deponie. Das System basiert auf einem international einzigartigen KI-Modell, das durch die Hybridisierung von Deep Learning mit physikalisch-basierten Modellen eine präzise Echtzeitvorhersage von Sickerwasserständen und potentiellen Gefährdungsszenarien ermöglicht – mit einer Beschleunigung um den Faktor 10^6 gegenüber konventionellen hydrodynamisch-numerischen Modellen.

3.7 KI in der Kundenkommunikation und im Beschwerdemanagement

Kommunale Abfallwirtschaftsunternehmen sind auf eine tatkräftige, kompetente und bürgerorientierte Kommunikation angewiesen.

Die Kommunikation berührt Aspekte wie:

- Abfall- / Kundenberatung;
- Öffentlichkeitsarbeit zu bestimmten Themenfeldern: etwa sortenreine Erfassung von Bioabfall, richtige Entsorgung von Altbatterien vor dem Hintergrund der Brandentstehung, Nutzung von Wiederverwendungsangeboten, etc.;
- Auftragsmanagement: Entgegennahme und Bearbeitung von Aufträgen (etwa in der Sperrmüll- oder Wertstoffsammlung, Ummeldung von Tonnenstandplätzen, Reduzierung von Behältervolumina, etc.);
- Beschwerdemanagement: Entgegennahme und Bearbeitung von Kundenbeschwerden.

In vielen Unternehmen ist bisher die händische Abarbeitung der einzelnen Anträge bzw. Vorgänge noch an der Tagesordnung. Jedoch lassen sich zahlreiche kommunikative Dienstleistungen mithilfe von KI verbessern. Nebenbei kann eine deutliche Einsparung an menschlicher Arbeitskraft ohne Verlust von Serviceleistung bewirkt werden. Die Implementierung von Chatbots beispielsweise ist eine KI-basierte Möglichkeit, wie Bürgerinnen und Bürger Informationen erhalten, und ermöglicht eine effizientere und zielgerichtete Beratung, gerade bei wiederkehrenden und grundlegenden Thematiken und Routineanfragen. Statische Chatbots wurden bereits seit den 1990 Jahren entwickelt. Im Laufe der Zeit wurden Systeme, die einfachere Aufgaben mithilfe der schwachen KI lösen, durch lernfähige multimodale Assistenten ersetzt.¹⁷ Die entsprechende Verbesserung kognitiver Assistenzsysteme wurde durch den technischen Fortschritt bei Sprachtechnologien, Maschinellem Lernen, Big Data und Real-time Analytics ermöglicht.¹⁸

Chatbots nutzen sogenannten „Conversational AI“, d. h. die Künstliche Intelligenz, die auf Grundlage von „Machine Learning“ und „Natural Language Processing“ (siehe oben) darauf hinwirkt, dass Sprachbots oder Virtuelle Assistenten menschliche Interaktionen imitieren, Sprache und Text erkennen und deren Bedeutung in mehrere Sprachen übersetzen können.¹⁹

Durch den Einsatz von Chatbots lässt sich die externe Kundenkommunikation so weit automatisieren, dass Mitarbeitende von der Bearbeitung wiederkehrender Anfragen entlastet werden. Dies führt zu einer spürbaren Reduktion des Verwaltungsaufwands und damit zu Kosteneinsparungen. Gleichzeitig können sich die Kundenserviceteams verstärkt auf komplexe Anliegen konzentrieren, die menschliches Fachwissen erfordern. Darüber hinaus lassen sich Chatbots über Schnittstellen zu internen Datenbanken nahtlos in die bestehende IT-Infrastruktur eines Entsorgungsunternehmens integrieren.

Für den Kunden bietet diese Automatisierung über Bots einige Vorteile: Im Erstkontakt mit dem Unternehmen erhält der Kunde jederzeit, d. h. insbesondere auch außerhalb der üblichen Geschäftszeiten, eine Antwort. Der Kunde hat die Möglichkeit, direkt – ohne Wartezeit und ohne das Bedienen zusätzlicher Auswahlmenüs wie bei Telefonhotlines – mit dem Chatbot zu kommunizieren. Da Chatbots gleichzeitig mehrere Kontakte bedienen und Probleme lösen können, helfen sie Entsorgungsunternehmen, die Servicequalität auch in Spitzenzeiten konstant zu halten und alle Kundenanfragen schnell und vollständig zu beantworten. Nicht nur in der direkten Interaktion, sondern auch im Hintergrund sind Chatbots für Entsorgungsunternehmen ein nützliches Werkzeug der Digitalisierung, Kunden besser zu verstehen und datenbasierte Entscheidungen zu treffen. Fast alle Chatbots bieten die nötigen Werkzeuge, um wichtige Kennzahlen zu erfassen und zu verarbeiten. Der Chatbot hilft ferner dabei, schnell eine Antwort auf für den Kundendienst bzw. die Öffentlichkeitsarbeit zentrale Fragen zu finden:

- Wonach suchen Kunden?
- Wie sieht die Kundeninteraktion aus?
- Wie bewerten Kunden die Interaktion?

Statt diese Daten manuell zu recherchieren, zu erfassen und zu verarbeiten, übernimmt das der Chatbot. So entsteht eine solide Datengrundlage, um den Kundenservice immer weiter zu verbessern und die Kundenerfahrung noch mehr in den Mittelpunkt zu stellen.²⁰

¹⁷ Fraunhofer, a.a.O., S. 36.

¹⁸ Fraunhofer, a.a.O., S. 36.

¹⁹ <https://www.ibm.com/topics/conversational-ai>

²⁰ <https://www.cobuddy.de/kundenservice-4-0-so-punkten-entsorgungsunternehmen-mit-chatbots-bei-ihren-kunden/>

PRAXISBEISPIEL:

Kundenberatung per Chatbot**APM Abfallwirtschaft****Potsdam-Mittelmark GmbH**

Die APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH hat einen Chatbot als zusätzliches Kommunikationstool eingerichtet. Der Chatbot soll die häufigsten Fragen der Bürger zur Müllentsorgung schnell und unkompliziert beantworten, darunter insbesondere die immer wiederkehrenden Fragen, um den Mitarbeitern zeitliche Kapazitäten für komplexere Sachverhalte zu ermöglichen. Dem lag die Überlegung zugrunde, dass Chatbots gerade für einfache und wiederkehrende Anfragen konsistente und standardisierte Antworten bieten. Die Qualität der Kundenkommunikation kann dadurch deutlich verbessert werden und es kann sichergestellt werden, dass alle Kunden dieselben Informationen erhalten.

Der Chatbot „Müllbert“ fungiert als virtueller Portier insbesondere in der Kundenberatung. Er bietet rund um die Uhr zuverlässige Informationen zur Abfallentsorgung im Landkreis Potsdam-Mittelmark. Dabei wurde durch die sympathische Gestaltung des Chatbots darauf geachtet, auch Emotionen zu wecken und das Markenimage des Unternehmens zu stärken.

Optisch entschieden sich die APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH für das schon vorab existente Müllwerker-Maskottchen „Müllbert“, das im Rahmen der Umweltbildung und als Werbeartikel auf Messen an die Zielgruppe der Bürgerinnen und Bürger in physischem Format ausgegeben wurde. Bei der Einrichtung des Chatbots legte die APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH Wert auf eine natürliche Sprachverarbeitung und die klare Kommunikation gegenüber den Anwendern dahingehend, dass sie es mit einem automatisierten System zu tun haben, das noch hinzulernen müsse. Ein solches Vorgehen kann Beschwerden vorbeugen, sollte der Chatbot einmal eine Frage nicht beantworten können.

Nicht zuletzt standen der Datenschutz und die Datensicherheit im Mittelpunkt der Vorabermägungen, insbesondere wenn sensible Informationen ausgetauscht werden, wie z. B. persönliche Daten von Kunden. Der Chatbot weist deshalb eingangs auf die zu bestätigenden Datenschutzrichtlinien hin und sensibilisiert den Benutzer dafür, keinesfalls persönliche Eingaben wie Namen, Kundennummern o. ä. zu tätigen.

Nach der Einführung, d. h. der Scharfschaltung des Chatbots auf der ebenfalls erneuerten Webseite – per Kaltstart – gab es unzählige positive Rückmeldungen von Bürgern. Rückblickend kann gesagt

werden, dass eine Realisierungsdauer von zwei bis drei Monaten einzuplanen ist, um einen brauchbaren Chatbot zu generieren. Ebenfalls von ausschlaggebender Bedeutung ist es, bei der Vorabkommunikation mit „offenen Karten“ zu spielen, d. h. offen mitzuteilen, dass der Chatbot noch nicht alles weiß und durch Updates immer leistungsfähiger in seiner Antwortkompetenz wird. Dazu zählt auch die Berücksichtigung von Neuerungen in der Entwicklung, z. B. Lösungen zu finden für Situationen der sogenannten Disambiguation, d. h. sprachlicher Mehrdeutigkeit. Im Ergebnis stellt der Chatbot dem Anwender nunmehr Rückfragen, um sein Anliegen zu konkretisieren, wenn mehr als eine Antwort zutreffend ist.

Die APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH ist sich nunmehr auch dessen bewusst, dass der Chatbot aktiv und ohne zeitliche Verzögerung für tagesaktuelle Themen parallel zu den Webseiten-News des Abfallwirtschaftsbetriebes mit trainiert werden muss. Auch tagesaktuelle Themen im News-Bereich der Webseite werden mitunter sofort Thema bei der Befragung des Chatbots, worauf dieser ebenfalls entsprechend antworten musste. Infolgedessen geht bei der APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH seitdem die Praxis der Newsbeitrag-Veröffentlichung auf der Webseite mit einer ebenso thematischen Aktualisierung des Antwortpotenzials des Chatbots einher.

3.8 KI in Verwaltung und Rechnungswesen

Durch den Einsatz von KI können wiederkehrende Aufgaben wie die Verarbeitung von Rechnungen, das Erstellen von Finanzberichten oder die Analyse von Berichten automatisiert werden. Dies führt zu einer erheblichen Reduzierung von Fehlern und ermöglicht es den Mitarbeitern, sich auf strategischere Aufgaben zu konzentrieren, während die KI gleichzeitig durch maschinelles Lernen Muster und Anomalien in großen Datenmengen erkennt, um frühzeitig auf potenzielle Probleme oder Unregelmäßigkeiten hinzuweisen.

PRAXISBEISPIEL:

KI vereinfacht Wareneingang und Buchhaltung

Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM)

Der Abfallwirtschaftsbetrieb München betreibt eine Kfz-Werkstatt, bei der regelmäßig Wareneingänge z. B. in Form von Werkzeugen,

Betriebsmitteln und Ersatzteilen im Lager zu erfassen sind. Für die Buchhaltung würden sich deutliche Erleichterungen durch eine KI-unterstützte Anwendung ergeben, mit deren Hilfe die unterschiedlichen Wareneingänge (auch unter Berücksichtigung von Preisänderungen, Mengenabweichungen, Falschlieferungen, Reklamationen) und die dazugehörigen Bestellungen/Rechnungen schneller abgestimmt werden können.

Wareneingangs-/Rechnungseingangs-Verrechnungskonten (WE/RE-Verrechnungskonto) werden bebucht, wenn Waren geliefert und Rechnungseingänge mit Materialbezug erfasst werden. Dabei werden Buchungen, die sich auf die gleiche Bestellung und Bestellposition beziehen, fortgeschrieben, aber nicht automatisch ausgeglichen. Offene Posten werden in der Buchhaltung entsprechend ihrer Bestellnummer bzw. einer Referenz und der Bestellposition analysiert, ob sie sich wertmäßig zu Null saldieren (Postenausgleich). Hierzu müssen Bestellungen, Wareneingänge sowie Rechnungen regelmäßig miteinander abgeglichen werden. Posten, die sich nicht saldieren lassen bzw. einander zugeordnet werden können, bleiben als offene Posten auf dem WE/RE-Verrechnungskonto stehen. Die Gründe sind vielfältig, warum die Posten nicht korrespondieren, weshalb es zunächst einer Abklärung bedarf, um diese anschließend (i. d. R. ertrags- oder aufwandswirksam) korrekt zu bereinigen. Der gesamte Prozess zum Postenausgleich ist daher in der Praxis häufig aufwendig und fehleranfällig, wodurch sich WE/RE-Verrechnungskonten mit langen „offene-Posten-Listen“ durchaus zu buchhalterischen „Müllhalden“ entwickeln können.

SAP bietet hierzu z. B. eine Hilfestellung für die Buchhaltung durch maschinelles Lernen bei der Abstimmung von WE/RE-Verrechnungskonten an. Maschinelles Lernen ist eine Unterart der KI, bei der ein System anhand von Beispielen Muster oder Regelmäßigkeiten identifiziert, die es einsetzen kann, um neue Daten oder Eingaben zu klassifizieren. Mit Hilfe von SAP Fiori-Apps gleicht das System die Waren- und Rechnungseingänge automatisch anhand

eines vorab definierten Regelwerks ab. Hilft das Regelwerk nicht weiter, kommt die eingebaute Lernfähigkeit zum Zug: Das System analysiert hierbei historische Datensätze, also Entscheidungen und Zuordnungen, die Sachbearbeitende in vergleichbaren Situationen getroffen haben. Auf dieser Basis soll einem/r Buchhalter/in beim Postenausgleich die ideale Vorgehensweise vorgeschlagen werden. Neu sind auch die umfassenden Analysemöglichkeiten, die SAP-Fiori-App bündelt hierzu alle relevanten Informationen. Auf einen Blick sieht das Team den Status der Konten, intelligente Filter leiten den Blick auf die relevanten Abweichungen und eine Drilldown-Analyse zeigt per Klick die Hintergründe und Zusammenhänge der Abweichung.

Das integrierte Maschinen-Lernen-Szenario bringt künftig weitere Vorteile. Wird beispielsweise ein entsprechendes Verlässlichkeitsniveau für einen vom System vorgeschlagenen Prozessschritt erreicht, lassen sich laut SAP die manuellen Entscheidungs- und Bearbeitungsschritte vollständig automatisieren.

PRAXISBEISPIEL:

Roboter gestützte Prozessautomatisierung entlastet Verwaltung

Abfallwirtschaftsbetrieb Stadt Nürnberg (ASN)

Im Zuge des Online-Zugangs-Gesetzes (OZG) wurden auch in Nürnberg zahlreiche Services der Stadt als Onlinedienste eingeführt.

Abbildung 1:

Roboter gestützte Prozessautomatisierung für den Prozess „Sperrmüllanträge bearbeiten“



- Online-Sperrmüllantrag geht in E-Mailpostfach der Sperrmüllabteilung ein
- Roboter öffnet die E-Mail



- Roboter übernimmt die Daten in das Fachverfahren ACS NEO.
- Roboter vergibt den Termin für die Sperrmüllabholung



- Roboter schickt eine automatische E-Mail zur Terminvergabe an den Antragsteller

Der Abfallwirtschaftsbetrieb Stadt Nürnberg (ASN) und das Amt für Digitalisierung und Prozessorganisation (DiP) brachten gemeinsam verschiedene digitale Dienstleistungen auf den Weg. Unter anderem einen Onlinedienst zur Anmeldung von Sperrmüll. Inzwischen gehen fast alle 12.000 jährlichen Anmeldungen für den kostenfreien Sperrmüll über diesen Weg ein.

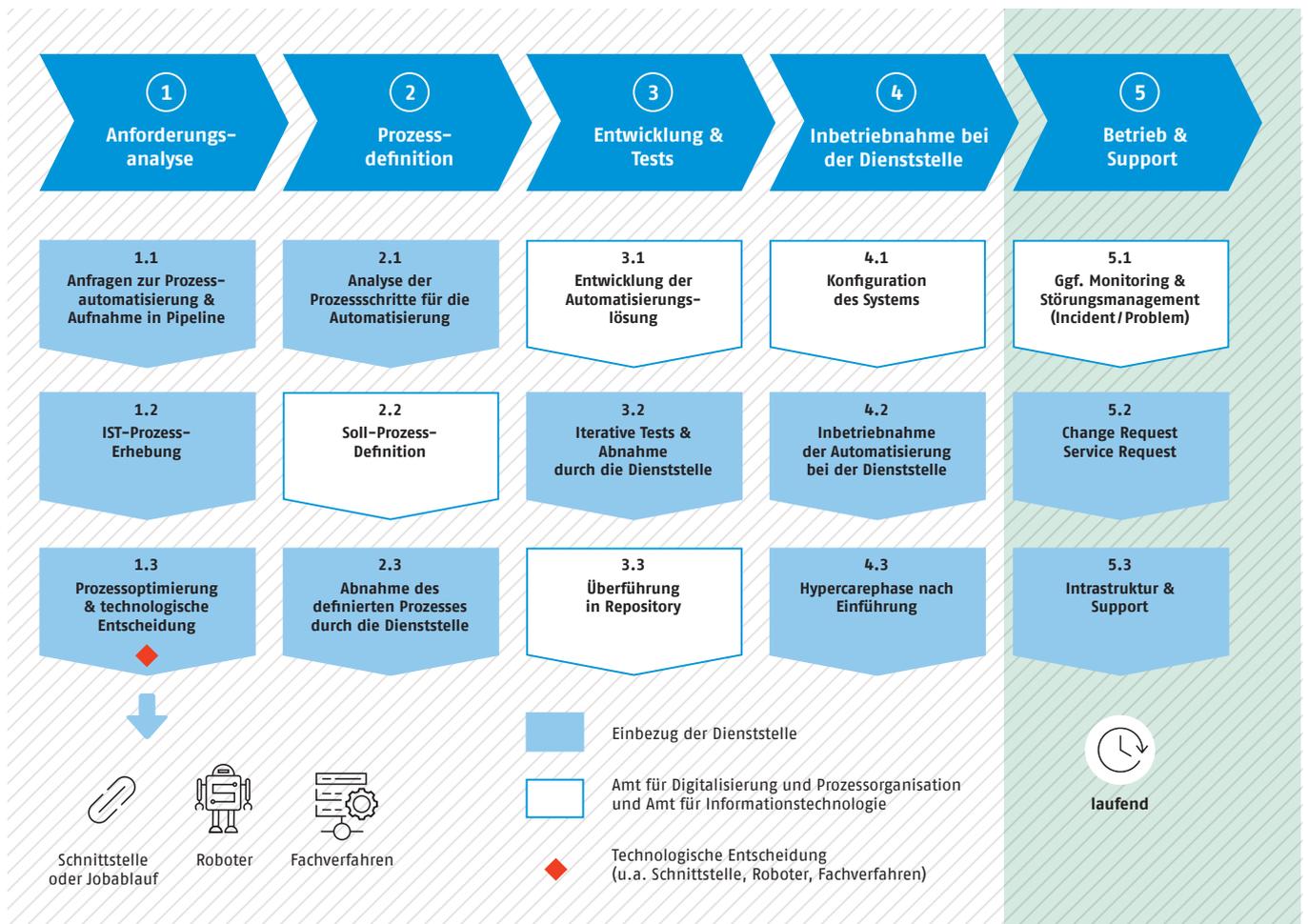
Wie überall galt es auch in der Stadtverwaltung Nürnberg bei der großflächigen Implementierung von bürgerfreundlichen Onlinediensten den Balanceakt zwischen „Masse“ und „Klasse“ zu bestreiten:

- A) „Masse“: Es wurden Front-Ends für die Onlinedienste gebaut, die Datenübernahme in die relevanten Fachverfahren für die Sachbearbeitung aber vorerst zurückgestellt.
- B) „Klasse“: Das benutzerfreundliche Portal „Mein Nürnberg“ wurde auf- und ausgebaut. Es bietet eine zentrale Anlaufstelle für eine Vielzahl von Onlinedienstleistungen für Bürgerinnen, Bürger und Unternehmen.

Einer der Prozesse aus der Kategorie A ist der Sperrmüllantrag. Dieser wurde nun mit Hilfe eines Softwareroboters Ende zu Ende gestaltet (siehe Abbildung 1). Die Sperrmüllanträge gehen online ein. Der Roboter übernimmt selbstständig im Hintergrund den Datenabgleich und die Prüfung. Anschließend überträgt er die Daten ins Fachverfahren. Das Vorgehen führt zu einer niedrigeren Durchlaufzeit bei der Bearbeitung der Anträge und damit zur Entlastung der Mitarbeitenden. Die manuelle Übertragung eines Falls dauert aktuell etwa zehn Minuten. Bei circa 12.000 Anträgen im Jahr ergibt sich damit eine Entlastung der Mitarbeitenden von etwa 2.000 Stunden.

Die Lösung, die nun bei ASN genutzt wird, war vorher bereits erfolgreich beim Sozialamt der Stadt Nürnberg im Einsatz. Dort unterstützt der Roboter bei der Bearbeitung von Wohngeldanträgen. Mithilfe der Kolleginnen und Kollegen des Amtes für Digitalisierung und Prozessorganisation (DiP) und des Amtes für Informationstechnologie (IT) wurde diese Lösung auf den Sperrmüll-Prozess der ASN übertragen. Das folgende Schaubild visualisiert das grundlegende Vorgehen bei der Einführung des Roboters (Abbildung 2).

Abbildung 2:
Vorgehensmodell – Von der Idee zum automatisierten Prozess



Zunächst wurde im Rahmen der Anforderungsanalyse das Prozessmodell aktualisiert. Dabei wurde der Prozess „Sperrmüllanträge bearbeiten“ analysiert. Anschließend wurde der bestehende Onlinedienst an die aktuellen Anforderungen angepasst.

In intensiver Zusammenarbeit wurden als nächstes die Prozessschritte der Sachbearbeitung ermittelt und dokumentiert. Dafür wurde jeder Schritt von der Datenübertragung vom Online-Antrag (PDF) in das Fachverfahren bis hin zur Terminvergabe festgelegt und eine Plausibilitätsprüfung (z. B. Anmeldung von zehn Sofas – wahrscheinlich Tippfehler – Prüfung durch Sachbearbeitung) durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Daten wurde dann der Roboter entwickelt. Hans-Peter Kauppert (2. Werkleiter ASN) dazu: „Mithilfe der robotergestützten Prozessautomatisierung erfolgt eine weitestgehend treffsichere Übertragung der Daten vom Onlinedienst in unser Fachverfahren. Auch wenn an einigen Stellen die Eingaben überprüft werden müssen, erleichtert der Einsatz des Roboters die Bearbeitung sehr deutlich. Durch den Entfall der doch recht „spaßbefreiten“ Tipp-Arbeit gewinnen wir erheblich an Zeit, die wir an anderer Stelle besser einsetzen können.“

Weitere Prozesse werden derzeit geprüft, verbessert und – wo es sinnvoll ist – automatisiert. Ein nächster geplanter Schritt ist der Einsatz des „Roboterkollegen“ (eine teilautomatisierte KI-Lösung) zur Optimierung der Behälterverwaltung. Ziel ist es, die Datenqualität weiter zu erhöhen. Dabei soll der Roboter künftig auch automatisch prüfen, ob die meldende Person überhaupt berechtigt ist, Änderungen an der Behältergröße vorzunehmen oder neue Behälter zu bestellen bzw. abzumelden.

3.9 KI im Personalwesen

KI kann auch eine wesentliche Rolle im Rahmen der Automatisierung des Personalmanagements spielen.

Zum einen können in der innerbetrieblichen Kommunikation zwischen Personalabteilung und Mitarbeitenden für einfache Anfragen des Personals zu wiederkehrenden Themen Chatbots eingesetzt werden, z. B. wenn es um allgemeine Fragen zu Urlaub oder Elternzeit geht. Ein weiterer möglicher Einsatzbereich ist die Unterstützung von Mitarbeitenden beim Auffinden von geeigneten Trainings. Die heutigen Chatbots werden in der Regel mit vorgefertigten Antworten gefüttert und können damit einen Teil von typischen Anfragen beantworten. Sogenannte Large-Language-Modelle, die derzeit noch in der Entwicklung sind, werden es ermöglichen, dass fast jede Frage beantwortet werden kann. Die KI beantwortet dann Fragen von Mitarbeitenden zu

Personalprodukten und Services oder ersetzt einen großen Teil der Recruitingprozesse, sei es die Erstellung von Stellenbeschreibungen oder die Beschreibung von Karrierewegen oder beim Onboarding. KI wird zur zentralen Schnittstelle für HR-Services und wird nicht nur Auskunft geben, sondern auch beraten. Auch im Bereich der Karriereberatung wird die KI eine Rolle spielen. Mitarbeiter könnten einen Chatbot an die Seite bekommen, der ihnen Karrierepfade aufzeigt und dazugehörige personalisierte Schulungen vorschlägt.²¹ Des Weiteren gibt es die Anwendung des Matching²², wo Initiativbewerbungen („Blindbewerbungen“) seitens der HR-Abteilung eines Unternehmens mithilfe einer KI-Anwendung mit vorhandenen Stellen abgeglichen werden und diejenigen Stellen angezeigt werden, für die die Bewerber geeignet sind. Generative KI kann auch in Competence Centern bei konzeptionellen Tätigkeiten eingesetzt werden. Diese kann genutzt werden, wenn erste Entwürfe für Betriebsvereinbarungen oder ein kreatives Konzept zur Talententwicklung erstellt werden sollen. Die bisherige Internetrecherche oder die Konsultation von Fachliteratur kann damit über Anregungen über generative KI ergänzt, wenn nicht gar weitgehend ersetzt werden.

PRAXISBEISPIEL:

KI-gestütztes Recruiting

Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH

Der Fachkräftemangel in vielen Bereichen der Abfallwirtschaft zwingt die Unternehmen, sich stetig mit den neuesten Formen des Personal-Recruiting zu beschäftigen, um offene Stellen besetzen zu können. Die APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH fand bei ihrer Recherche zu neuen modernen Formen der Mitarbeitergewinnung das Unternehmen Talenthafen GmbH, deren intelligentes Recruiting-System überzeugte.

Die Talenthafen GmbH nutzt Künstliche Intelligenz als zentrales Werkzeug, um für Unternehmen, unter anderem auch aus der Abfallbranche, die besten Mitarbeiter zu gewinnen. In einer Zeit, in der klassische Recruiting-Methoden oft nicht mehr ausreichen, ermöglicht die von Talenthafen genutzte datengetriebene Herangehensweise eine gezielte und effiziente Ansprache qualifizierter

21 <https://www.humanresourcesmanager.de/future-of-work/ki-in-hr-chancen-nutzen-und-risiken-bestmoeglich-minimieren/>

22 Siehe Handelsblatt vom 15. Oktober 2024, „Wie fair ist der KI-Check Ihrer Bewerbung?“

Fachkräfte. Durch intelligente Algorithmen werden sogenannte Kandidatenreisen über alle relevanten digitalen Medien gesteuert – vom ersten Sichtkontakt bis hin zur finalen Bewerbung. Besonders hervorzuheben ist der Erfolg der Pilot-Kampagne zwischen der Talenthafen GmbH und der APM Abfallwirtschaft Potsdam-Mittelmark GmbH: Hier konnte nicht nur eine signifikant höhere Bewerberqualität erzielt werden, sondern gleichzeitig die Kosten für die Personalgewinnung deutlich gesenkt werden. Der entscheidende Vorteil liegt in der Lernfähigkeit der Systeme von Talenthafen – mithilfe von Feedback zu den generierten Kandidaten wird jede Kampagne im Verlauf automatisch „gefüttert“ und dadurch immer präziser und wirksamer.

Die Grundlage der von Talenthafen genutzten KI-gestützten Recruiting-Strategie ist ein selbstlernendes System, das kontinuierlich Daten auswertet und daraus Muster erkennt. Zu Beginn einer Kampagne analysiert die KI das Anforderungsprofil sowie die Merkmale idealer Kandidaten und gleicht diese mit verfügbaren Daten aus dem digitalen Raum ab – etwa aus sozialen Netzwerken, Jobplattformen oder branchenspezifischen Communities. Im Anschluss steuert sie hochpräzise Werbeanzeigen und Inhalte an potenzielle Bewerberinnen und Bewerber aus, die diesen Kriterien entsprechen. Der besondere Mehrwert entsteht jedoch im Verlauf der Kampagne: Die KI sammelt fortlaufend Feedback – beispielsweise, welche Profile sich bewerben, wie weit sie im Prozess kommen und wie gut sie letztlich zur ausgeschriebenen Stelle passen. Dieses Wissen fließt in Echtzeit zurück ins System, das daraufhin seine Zielgruppenansprache und Ausspiellogik immer weiter verfeinert. So entsteht ein dynamischer, lernender Prozess, der nicht nur Streuverluste minimiert, sondern mit jedem Schritt treffsicherer und kosteneffizienter wird.

3.10 KI Im Arbeits- und Gesundheitsschutz

Auch im Arbeits- und Gesundheitsschutz können Prozesse – etwa Unterweisungen bzw. das Betriebliche Gesundheitsmanagement – durch KI unterstützt werden.

So wird derzeit in Betrieben verschiedener Branchen zum Beispiel eine KI-Anwendung namens „Isa“ getestet²³, die zur Unterstützung des Gesundheitsmanagements in Betrieben entwickelt wurde. Äußerlich besteht sie in einem kleinen Tablet, das z. B. auf den Schreibtisch gestellt wird und das über KI-unterstützte Sensorik den Mitarbeitern über den Tag Tipps geben kann, wie sie gesundheitsschonend arbeiten können, etwa mit Blick auf die Haltung, Einstellung der Schreibtischhöhe, Bewegungspausen, etc.

PRAXISBEISPIEL:

Künstliche Intelligenz

für mehr Mitarbeitendengesundheit

Berlin Recycling GmbH

(Tochterunternehmen der BSR)

Mit dem Ziel zu agieren, anstatt zu reagieren wurde bei Berlin Recycling ein Pilotprojekt Künstliche Intelligenz gestartet. Die Idee: eine dynamische, gesundheitserhaltende Tourenplanung – individuell angepasst an die Präferenzen der Mitarbeitenden. Grundlage für die KI-basierte Tourenplanung sollten Daten über Mitarbeitende, Fahrzeuge und Touren sein. Die Daten über Berlins Straßen und Touren lagen bereits vor – ebenfalls die technischen Informationen über die Fahrzeuge. Was fehlte, waren die Informationen über die Mitarbeitenden. Um Daten zusammen zu tragen, hat die KI-Projektgruppe des Entsorgers Mitarbeitendenbefragungen durchgeführt. Wie alt sind die Mitarbeitenden? Was sind gesundheitliche Handicaps? Welche Touren fallen schwer, welche leichter? Die Daten wurden dann an in das KI-Programm eingespielt, welches die Daten sammelt und auswertet und basierend darauf individuell passende Routen vorschlägt. Die von den Mitarbeitenden freiwillig angegebenen Informationen wurden ausschließlich für die Tourenplanung verwendet, was schriftlich vereinbart wurde.²⁴

Falls Sie mehr erfahren möchten: #ai_berlin

<https://ai-berlin.com/de/blog/article/interview-mit-bianka-rieder-ceo-von-berlin-recycling>



²³ Siehe Handelsblatt vom 11. Dezember 2024, „Algorithmus als Stressbremse“.

²⁴ <https://www.civic-innovation.de/wettbewerb/praemierte-ideen/runde-1/ki-basierte-tourenplanung-fuer-verbesserte-mitarbeitergesundheit-und-nachhaltigen-strassenverkehr>

4. Vorteile und Herausforderungen

In den folgenden Abschnitten wird der Mehrwert der KI in der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung erläutert, denn der gezielte Einsatz von Künstlicher Intelligenz bietet der Abfallwirtschaft vielfältige Chancen.

4.1 Effizienzsteigerung und Kostensenkung

Der gezielte Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Abfallwirtschaft kann verschiedene Herausforderungen, die unter Kapitel 1.2 erläutert wurden, adressieren. Dabei bringt KI natürlich auch eine Reihe von Vorteilen mit sich, die sowohl operative Prozesse verbessern als auch strategische Entwicklungen unterstützen können.

Zum einen kann Künstliche Intelligenz das für die verschiedenen Aufgaben eingesetzte Personal entlasten bzw. auch ersetzen. Jedenfalls führt der Einsatz von künstlicher Intelligenz bei der richtigen Anwendung zu einer Erhöhung der Produktivität, ggf. zur Senkung der Kosten und auch tendenziell zur Reduzierung der Fehlerquote.²⁵ Diese Effekte können den Fachkräftemangel und die Herausforderungen, die aus dem demografischen Wandel mit Blick auf das Arbeitskräfteangebot resultieren, abmildern.

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz kann in der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung auf vielfältige Weise zur Kostensenkung beitragen – etwa durch effizientere Sammeltouren, optimierte Behandlungsverfahren, verbesserte Sortierung und Vermarktung von Abfällen, gezieltere Reinigungsmaßnahmen sowie eine beschleunigte Verwaltung und Kundenkommunikation. Damit sind auch ökonomische Aspekte wie Gebührenstabilität ein wesentlicher Antrieb für den verstärkten Einsatz von KI.

Allerdings müssen im Einzelnen die Kosten, die für die Anschaffung von KI-Anwendungen notwendig sind, gegen die mit dieser Anwendung zu erzielenden ökonomischen Vorteile abgewogen werden. Im Einzelfall kann das Ergebnis durchaus lauten, dass Prozesse bereits weitgehend optimiert sind und der Einsatz einer – ggf. teuren – KI-Anwendung nicht ökonomisch und daher nicht angemessen ist.

Zugleich ist es wichtig, den verantwortungsvollen Umgang mit KI-Anwendungen zu fördern. Damit die Potenziale von KI voll ausgeschöpft werden können, sollten die Ergebnisse weiterhin kritisch geprüft und plausibilisiert werden – insbesondere dann, wenn etwa die Datenbasis nicht repräsentativ ist oder die Anwendung noch Optimierungspotenzial aufweist. In vielen Fällen bleibt daher die menschliche Nachkontrolle ein wertvoller Bestandteil zur Qualitätssicherung und Fehlervermeidung.

4.2 Umweltvorteile und Nachhaltigkeit

Auch die Erhöhung der Effizienz etwa von Recycling- bzw. Behandlungsverfahren, die bessere Steuerung von Anlagen inklusive der Identifikation von Wartungsbedarf sorgen dafür, dass die Umweltbilanz der Verfahren verbessert und die Recyclingprodukte, etwa durch die bessere Ausschleusung von Störstoffen, die genauere Sortierung und die bessere Anlagenführung, verbessert werden. Neben der potenziellen Senkung des CO₂-Ausstoßes und einem damit einhergehenden Beitrag zur Klimaneutralität wirken sich optimierte Recyclingprozesse durch eine verbesserte Einsetzbarkeit und Vermarktbarkeit der Sekundärrohstoffe (Recyclingprodukte) aus und ermöglichen so eine Kreislaufwirtschaft.

Auch die Optimierung von Sammelrouten auf Basis von KI führt zu effizienteren Touren für Müllfahrzeuge und hilft Emissionen zu reduzieren.

Allerdings bestehen gegen eine zu einseitig positive ökologische Würdigung der Effekte der KI auch deutliche Bedenken.

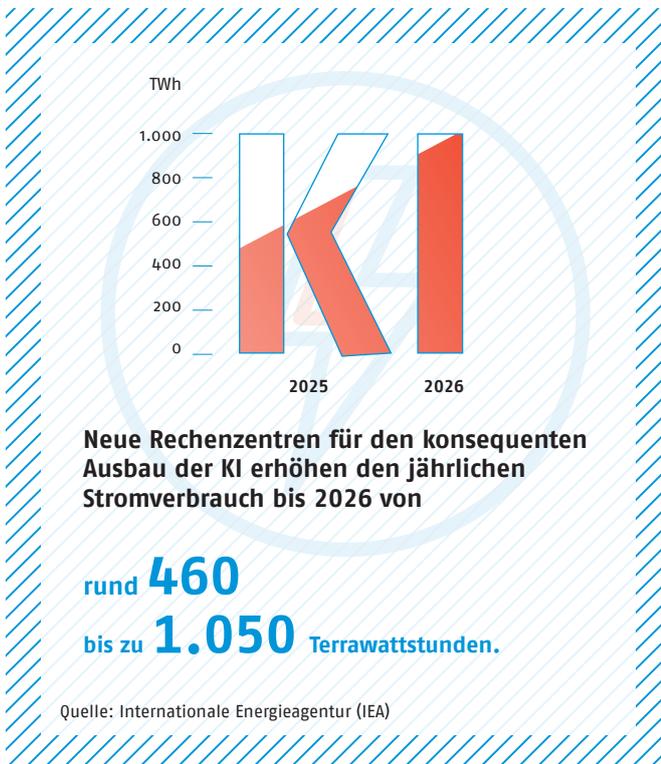
In Abgrenzung zum klassischen Computing basiert das Machine Learning, wie in Kapitel 2 beschrieben, auf sehr großen Datenmengen und parallelen Rechenprozessen. Damit geht eine erhöhte Rechenleistung einher. Nach Aussage des ÖKO-Instituts werden ungefähr 1,5 Prozent des deutschen Strombedarfs allein für Rechenzentren genutzt.²⁶ Das ÖKO-Institut führt hierzu weiter aus: „Dieser Bedarf wird in Zukunft weiter steigen. Denn Computer-Anwendungen werden derzeit mit immer mehr KI-Funktionen ausgestattet. So verbraucht beispielsweise eine Anfrage via ChatGPT ein Mehrfaches an Strom gegenüber einer klassischen Suchanfrage²⁷.

²⁵ Vgl. Fraunhofer, a.a.O., S. 19.

²⁶ ÖKO-Institut, Pressemitteilung vom 08. August 2024, Umweltwirkungen von KI sollten sichtbar werden.

²⁷ Laut einem Artikel in der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung handelt es sich um den Faktor 10, siehe „Der große Stromhunger der KI“, FAS, 04. August 2024.

KI-Ausbau erhöht den Energiebedarf



Wenn KI-Funktionen auch in normale Office-Anwendungen, wie Text- und Bildbearbeitungsprogramme, Einzug halten, steigt deren Strombedarf erheblich an. Die Umweltwirkungen treten sowohl beim Training als auch im Betrieb von KI-Systemen auf. Allein das Trainieren von ChatGPT in der Version 3 hat schätzungsweise 500 Tonnen CO₂ verursacht, eine einzelne Anfrage fällt mit rund 4,5 Gramm CO₂ ins Gewicht.²⁸ Bei einem konsequenten Ausbau der KI müssen daher eine Vielzahl weiterer Rechenzentren an das Netz gehen, die Internationale Energieagentur (IEA) erwartet dabei, dass der jährliche Stromverbrauch der Rechenzentren bis 2026 von rund 460 auf bis zu 1.050 Terrawattstunden ansteigen wird.²⁸ Absehbar sind Kapazitätsengpässe der Stromnetze in Ballungsräumen, so dass hier eine weitere Ansiedlung von Rechenzentren auf Hindernisse stößt.²⁹

Andererseits sind in jüngster Zeit neue KI-Anwendungen auf den Markt gekommen, etwa Deep Seek, die nach Eigenaussage einen niedrigeren Energiebedarf erfordern. Hier können jedoch in dieser Infoschrift noch keine verlässlichen Aussagen bzw. Vergleiche getroffen werden.

Es bleibt zunächst also die Frage, ob die skizzierten positiven Effekte der höheren Effizienz von Prozessen, die auf KI basieren, die ebenso bestehenden negativen Umwelteffekte aufwiegen.

Diese Fragen sind laut dem Öko-Institut vielfach noch offen und bedürfen weiterer Forschung einerseits und gesetzlicher Regulierung andererseits.

In den folgenden Abschnitten werden die Herausforderungen bei der Implementierung von KI erläutert.

4.3 Technologische Hürden

Diverse technologische Hürden lassen in verschiedenen Bereichen den Einsatz der KI noch stark in der Entwicklung befindlich und noch nicht marktreif erscheinen.

Im Allgemeinen sind die Qualität und Zuverlässigkeit einer KI stark von den Daten abhängig, mit denen sie trainiert wurde. Sind diese Daten fehlerhaft, schlecht ausgewählt oder unzureichend repräsentativ, besteht die Gefahr, dass die KI falsche Muster erlernt. In einem solchen Fall können nur die Entwickler der KI – durch den Einsatz verbesserter Daten und angepasster Algorithmen – eine Korrektur vornehmen, nicht jedoch die Nutzer. Dieses Problem betrifft KI-Systeme im Allgemeinen, weshalb sie kontinuierlich mit aktuellen Daten trainiert werden müssen, um langfristig leistungsfähig und relevant zu bleiben.

Verschiedene Aspekte verhindern in Teilbereichen, dass das durch die KI generell Mögliche auch rechtlich erlaubt wird. Das gilt etwa prominent für ein tatsächlich fahrerloses autonomes Fahren von Straßenreinigungsmaschinen im öffentlichen Straßenverkehr, geschweige denn Abfallsammelfahrzeugen. Gerade aufgrund der gravierenden Sicherheitsaspekte und ernststen potenziellen Unfallgefahren beim autonomen Fahren reicht auch eine nur an Perfektion grenzende Verlässlichkeit nicht aus. Ferner besteht das Risiko von Hackerangriffen auf die Technik, die beim autonomen Fahren potenziell verheerende Wirkungen entfalten könnten. Es können hierbei Situationen entstehen, in denen etwa Sensordaten durch eine entsprechende Manipulation falsch interpretiert werden.

Ein Testlauf zum autonomen Fahren von US-Wissenschaftlern im Jahr 2018 zeigte, dass ein KI-System durch einen Zettel auf einem Stoppschild so verwirrt war, dass es statt des Stoppschildes ein Tempolimit interpretiert hat. Das KI-System hat also keine Warnung ausgegeben, dass es ein unbekanntes Objekt sieht. Es hat stattdessen eine der bekannten Optionen gewählt und auf einer falschen Grundlage agiert.

Je nach Anwendungsbereich und den möglichen Schäden, die durch eine Fehlfunktion der KI entstehen könnten, wird der Einsatz von KI in technologisch noch nicht vollständig ausgereiften

²⁸ Siehe FAS, a.a.O.

²⁹ Siehe FAS, a.a.O.

Anwendungen unterschiedlich streng reguliert und in vielen Fällen entweder stark eingeschränkt oder nur unter bestimmten Auflagen genehmigt.

4.4 Datenschutz- und Wettbewerbsaspekte

Ein wesentlicher Aspekt beim Einsatz von KI ist die Prüfung, ob der Einsatz dem Datenschutz gerecht werden kann und imstande ist, sowohl persönliche als auch Geschäftsgeheimnisse zu schützen. Damit sind sowohl datenschutz- wie wettbewerbsrechtliche Herausforderungen angesprochen, die vor dem Einsatz von KI im großen Stil von den Betrieben geprüft werden müssen.

Etwa generative KI, die Texte oder Abbildungen erfasst, lernt mit jeder Anfrage und speichert Daten. Deshalb muss vorab festgelegt werden, welche Daten die Nutzer gegenüber einer entsprechenden KI-Anwendung offenlegen dürfen und welche nicht, besonders kritisch sind hierbei persönliche Daten und kritische Geschäftsdaten.

So schreibt etwa die Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES) mit Blick auf den FES-Sprachassistenten: Trotz der offensichtlichen technischen Herausforderungen war die wohl größte Hürde für die Produktivsetzung des FES Sprachassistenten das Thema Datenschutz – verbunden mit einem enormen Aufwand für das Prüfen von Datenschutzerklärungen und Nutzungsbedingungen. Eine umfangreiche Datenschutzfolge- und Risikoabschätzung durch Datenschutzexperten der FES und der Stadt Frankfurt am Main ergab letztlich, dass die Nutzung der cloudbasierten Technologie unter Berücksichtigung der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) vertretbar ist. Gerade für kleine und mittlere Unternehmen ohne ausreichende Mittel zur konsequenten Nachverfolgung und Umsetzung des Themas Datenschutz werden rechtliche Aspekte schnell zu größeren Hürden als der eigentliche Umgang mit neuen Cloud-Technologien aus dem Portfolio großer Technologieplattform-Anbieter. Somit kommt der Wahl der zugrundeliegenden Basistechnologie eine maßgebliche strategische Rolle zu.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft den verantwortungsvollen Umgang mit Künstlicher Intelligenz, insbesondere im Hinblick auf möglichen Missbrauch. Dazu zählen etwa die unzulässige Überwachung von Mitarbeitenden, das digitale Nachstellen (Stalking) von Kolleginnen und Kollegen oder die Manipulation von Bild- und Videomaterial mit dem Ziel, Personen oder Wettbewerber gezielt zu diskreditieren. In diesem sensiblen Bereich bestehen noch zahlreiche offene Fragen, die hier lediglich angesprochen, aber nicht im Detail behandelt werden können.

In diesem Zusammenhang wird regelmäßig von großem Widerstand seitens der Beschäftigten und Betriebsräte berichtet, die insbesondere eine verstärkte Überwachung durch den Einsatz von

KI-Technologien befürchten. Solche Bedenken sind nachvollziehbar, da KI-Anwendungen in der Lage sind, umfangreiche Daten zu erfassen und auszuwerten, was potenziell zu einem Verlust von Privatsphäre und einem Gefühl der ständigen Kontrolle führen kann.

Im Rahmen der Einführung von KI-Technologien empfiehlt es sich daher, frühzeitig zu prüfen, ob und in welcher Form eine Beteiligung der Betriebsräte geboten ist.

Aufgrund der obenstehend skizzierten Risiken der KI, die teilweise für den Betrieb schwerwiegende Folgen haben können, wird es auch von großer Bedeutung sein, dass die Betriebsleitungen in den kommunalen Betrieben der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung frühzeitig einen Handlungsrahmen setzen, welche Aspekte im Umgang mit KI zu beachten sind und welche Anwendungen für die Mitarbeitenden unter welchen Maßgaben freigegeben werden.

4.5 IT-Sicherheit und KI

KI kann wie jede digitale Anwendung Hackerangriffen ausgesetzt sein, die die Anwendung ggf. manipulieren bzw. korrumpieren und dadurch Schäden auslösen. KI-Anwendungen können jedoch auch von Hackern dafür eingesetzt werden, Cyberangriffe leichter durchführen zu können.

In einem aktuellen Forschungsbeitrag hat das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) untersucht, wie sich Künstliche Intelligenz (KI) auf die aktuelle Cyberbedrohungslage auswirkt. Dazu identifiziert der Bericht KI-gestützte Anwendungen, die bereits heute für den offensiven Einsatz zugänglich sind und bewertet, wie sich diese Bedrohungen in naher Zukunft entwickeln könnten.

„So genannte generative KI, insbesondere große Sprachmodelle, senkt die Einstiegshürden für Cyberangriffe und erhöht Umfang, Geschwindigkeit und Schlagkraft schadhafter Handlungen im digitalen Raum. Neben allgemeinen Produktivitätsgewinnen für böswillige Akteure stellt das BSI derzeit eine maligne Nutzung vor allem im Bereich des Social Engineering und bei der Generierung von Schadcode fest.

KI ermöglicht es Angreifenden, mit geringsten Fremdsprachenkenntnissen, qualitativ hochwertige Phishing-Nachrichten zu erstellen: Herkömmliche Methoden zur Erkennung betrügerischer Nachrichten, wie die Prüfung auf Rechtschreibfehler und unkonventionellen Sprachgebrauch, reichen zur Erkennung von Phishing-Angriffen damit nicht mehr aus.

Einen Schritt weiter als die Unterstützung von Cyberangriffen, die durch Menschen ausgeführt werden, geht die Erstellung von Malware durch KI: Große Sprachmodelle sind bereits heute in der Lage,

einfachen Schadcode zu schreiben. Darüber hinaus existieren erste Proofs of Concept, nach denen KI für die automatische Generierung und Mutation von Malware eingesetzt werden kann. Allerdings sind bösartige KI-Agenten, die vollkommen eigenständig IT-Infrastrukturen kompromittieren können – also Künstliche Intelligenz, die zur vollständigen Angriffsautomatisierung führt – aktuell nicht verfügbar und werden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in naher Zukunft nicht verfügbar sein. Allerdings ist KI bereits heute in der Lage, Teile eines Cyberangriffs zu automatisieren.“³⁰

4.6 Sonstige ethische Aspekte

Problematisch ist im Rahmen der KI allgemein, dass Ergebnisse durch den Einsatz von Algorithmen zustande kommen, von denen der Nutzer nicht weiß, wie sie erstellt worden sind. Ob es sich um Produktempfehlungen handelt, die Filterung der wichtigsten Nachrichten des Tages, die Einstufung von Bewerbern für einen Arbeitsplatz oder ähnliches: eine zum Teil schier unglaubliche Menge von Daten wird durch die KI bzw. den Algorithmus sortiert und gereiht.³¹ Alle Daten, die zur Verfügung stehen, können oft aufgrund ihrer puren Masse nicht dargestellt werden. Insofern macht sich der Nutzer abhängig von Algorithmen, die in der Regel für ihn nicht nachvollziehbar, d. h. intransparent sind und daher bei einer einseitigen oder kommerziell bzw. politisch „interessierten“ Programmierung Ergebnisse liefern, die ggf. die Einzelperson bei der objektiven Einzelbegutachtung der Daten nicht erzielt hätte. Es bleibt festzuhalten, dass auch Algorithmen keine „objektiven“ Entscheidungen treffen können – etwa bei der Beurteilung von Menschen. Vielmehr hängt ihre Qualität davon ab, mit welcher Sorgfalt und auf Grundlage welcher Datenqualität sie abgeleitet wurden.³²

Es ist also entscheidend, Künstliche Intelligenz (KI) regelmäßig zu prüfen, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse richtig und zuverlässig sind. Unkontrollierte KI-Systeme können fehlerhafte oder irreführende Informationen generieren, was zu schwerwiegenden Konsequenzen führen kann. Die Überprüfung ermöglicht es, Verzerrungen und Diskriminierung in den Algorithmen zu identifizieren und zu beheben. Zudem ist die Einhaltung ethischer Standards unerlässlich, um das Vertrauen der Nutzer in KI-Anwendungen zu stärken. Regelmäßige Qualitätskontrollen helfen, Sicherheitsrisiken zu minimieren, insbesondere in sensiblen Bereichen wie im Gesundheits- und Rechtswesen. Durch die Überwachung von KI-Systemen können Unternehmen und Organisationen auch die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften sicherstellen.

Bei manchen Prozessen ist der Einsatz der KI auch nur teilweise empfehlenswert. Ein Beispiel im Bereich des Einsatzes von KI bei der Personalauswahl ist hierbei erhellend. In einem Interview mit dem Handelsblatt führte die Personalberaterin Anna Lütten hierzu aus: „Für welche Stellen ein KI-gestützter Recruiting-Prozess genutzt wird, unterscheidet sich je nach Branche oder Jobprofil stark. Dass KI viele Bewerbungen schnell bearbeiten könne, ist dann von Vorteil, wenn etwa ein neues Logistikzentrum eröffnet wird und ein sehr hoher Bedarf an Mitarbeitern besteht. Je spezialisierter ein Job ist, desto eher wird sich auch weiterhin persönlich ein Recruiter die Bewerbung anschauen“. Im Ergebnis müssten Personaler sich immer fragen, ob sie durch den KI-Scan vielversprechende Anwärter verlieren, die sie manuell gefunden hätten.“³³

4.7 Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt

Künstliche Intelligenz (KI) hat das Potenzial, zahlreiche Arbeitsplätze zu transformieren, indem sie Routineaufgaben automatisiert und somit die Effizienz steigert. Dies könnte jedoch auch zu einer Verdrängung von Arbeitskräften in bestimmten Bereichen führen, insbesondere in Berufen, die stark auf repetitive Tätigkeiten angewiesen sind. Gleichzeitig entstehen durch die Einführung von KI neue Jobs, insbesondere in Bereichen wie Datenanalyse, KI-Entwicklung und -Wartung, was eine Umschulung und Weiterbildung der bestehenden Arbeitskräfte erforderlich macht. Eine wichtige Herausforderung besteht darin, dass viele Arbeitnehmende möglicherweise nicht über die erforderlichen digitalen Fähigkeiten verfügen, um sich in der neuen Arbeitswelt zurechtzufinden. Unternehmen und Politik müssen daher proaktive Maßnahmen ergreifen, um Umschulungsprogramme und Qualifizierungsmaßnahmen anzubieten. Nach einer im Handelsblatt referenzierten Umfrage des Personaldienstleisters Randstad (Stand: Anfang 2024) ist in Deutschland der Umgang mit Künstlicher Intelligenz noch nicht weitverbreitet. Nur acht Prozent der deutschen Arbeitnehmer hätten in den vergangenen zwölf Monaten KI-Schulungsangebote erhalten, obwohl sich immerhin 20 Prozent eine KI-Weiterbildung wünschen. Andererseits hat in Indien bereits fast jeder vierte Beschäftigte KI-Kurse besucht.³⁴

Darüber hinaus sollte die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine gefördert werden, um die Stärken beider Seiten optimal zu nutzen. Langfristig könnte die Implementierung von KI nicht nur die Produktivität erhöhen, sondern auch die Arbeitsweise in vielen Branchen grundlegend verändern.

30 https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navii/Presse/Pressemitteilungen/Presse2024/240430_Paper_Einfluss_KI_Cyberbedrohungslage.html

31 Vgl. Lenzen, a.a.O. S. 67.

32 Vgl. Lenzen, a.a.O., S. 177.

33 Handelsblatt vom 15. Oktober 2024, „Wie fair ist der KI-Check Ihrer Bewerbung?“

34 Handelsblatt vom 23. Februar 2024, S. 28.



Exkurs KI Verordnung: Schulungspflichten der Unternehmen

Vor dem Hintergrund der Herausforderungen, die mit der Nutzung von KI verbunden ist, werden erstmalig auch bestimmte Schulungspflichten für Unternehmen hinsichtlich der KI statuiert.

Am 1. August 2024 ist die europäische Verordnung über künstliche Intelligenz (Verordnung 2024/1689; KI-VO) in Kraft getreten. Die KI-VO legt insbesondere eine Vielzahl von Pflichten für alle Akteure fest, die künstliche Intelligenz (KI) entwickeln oder einsetzen. Die konkreten Pflichten sind davon abhängig, welches Risiko einem KI-System zugeschrieben wird und welche Art von Akteur man ist. Insbesondere legt die KI-VO auch Pflichten für die Unternehmen fest, die KI als „Betreiber“ lediglich einkaufen und nutzen. Ein Beispielfall ist der Einsatz von Chat-GpT im Unternehmen. Da es sich um eine europäische Verordnung handelt, ist diese direkt anwendbar und muss nicht mehr in deutsches Recht umgesetzt werden.

Im Grundsatz müssen sich alle Unternehmen ab dem 2. August 2026 an die Regeln der KI-VO halten. Einzelne Regeln gelten allerdings schon vor bzw. erst nach diesem Zeitpunkt. Insbesondere die Pflicht zum Aufbau von KI-Kompetenz nach Art. 4 KI-VO gilt bereits ab dem 2. Februar 2025 (vgl. Art. 113 lit. a).

Nach Art. 4 KI-VO müssen Betreiber von KI-Systemen sicherstellen, dass ihr Personal, das KI-Systeme einsetzt, über ein ausreichendes Maß an KI-Kompetenz verfügt. KI-Kompetenz ist die Fähigkeit, KI-Systeme sachkundig einzusetzen und dessen Chancen und Risiken zu verstehen (vgl. Art. 3 Nr. 56 KI-VO).

Auch wenn noch nicht ganz klar ist, was die KI-Kompetenz umfasst, sollten zumindest folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Identifizierung des Personals, das mit KI-Systemen im Unternehmen in Berührung kommt. Einteilung in verschiedene Gruppen je nach Kenntnisstand und Art der in Frage stehenden KI-Systeme;
- Schulungsplan aufsetzen und Schulungen durchführen;
- Erarbeitung interner Richtlinien, Standards und Arbeitsanweisungen zum Einsatz von KI im Unternehmen;
- Berücksichtigung der Mitbestimmungsrechte des Betriebsrats.

Die Pflicht zum Aufbau von KI-Kompetenz ist nicht auf Hochrisiko-KI-Systeme begrenzt. Allerdings müssen Mitarbeiter beim Einsatz von Hochrisiko-KI-Systemen umfassender geschult werden als solche Mitarbeiter, die nur mit unkritischen KI-Systemen zu tun haben.

Ein Verstoß gegen Art. 4 KI-VO ist nicht bußgeldbewehrt. Allerdings kann in Haftungsprozessen die fehlende Umsetzung der KI-Kompetenz als Verletzung einer unternehmerischen Sorgfaltspflicht gewertet werden. Insbesondere in Fällen von Fehlfunktionen oder Schäden durch KI-Systeme könnten Gerichte prüfen, ob das Unternehmen angemessene Schulungsmaßnahmen umgesetzt hat.

5. Schlussfolgerung und Ausblick: Die Bedeutung der KI für die Zukunft der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Künstliche Intelligenz (KI) zu einem integralen Bestandteil des modernen Lebens geworden ist, mit tiefgreifenden Auswirkungen auf Wirtschaft, Gesellschaft und Technologie. Die Art und Weise, wie wir arbeiten, kommunizieren, reisen und sogar denken, wird zunehmend durch KI beeinflusst.

Künstliche Intelligenz spielt eine zunehmend wichtige Rolle auch in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit. Wie umfassend erläutert und dargestellt, sind die Herausforderungen in diesen Bereichen vielschichtig: von der effizienten Mülltrennung über die Optimierung von Abholrouten bis hin zur Sicherheit und Sauberkeit öffentlicher Räume. KI-Technologien bieten Lösungen, die nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch die Umweltbelastung reduzieren und die Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger verbessern.

Ein zentraler Aspekt der Abfallwirtschaft ist die Mülltrennung. Hier kann KI durch Bildverarbeitungstechnologien helfen, verschiedene Materialien automatisch zu erkennen und zu sortieren. Mit Kameras und Sensoren ausgestattete Sortieranlagen nutzen maschinelles Lernen, um die Recyclingquote zu erhöhen, indem sie wertvolle Rohstoffe effektiver identifizieren und trennen. Dies führt nicht nur zu einer Reduzierung des Restmülls, sondern unterstützt auch die Kreislaufwirtschaft, indem Materialien langfristig verwertet werden können.

Die Überwachung der Sauberkeit in Städten ist ein weiteres Beispiel, wo KI einen wesentlichen Unterschied herbeiführen kann. Zukünftig könnten Drohnen und Kameras Schäden und Verschmutzungen automatisch in Echtzeit erfassen und melden. KI-gestützte Systeme können diese Daten analysieren und gezielte Maßnahmen zur Reinigung und Instandhaltung vorschlagen. So wird eine proaktive statt reaktive Sauberkeitspolitik möglich, die nicht nur die Effizienz der Stadtreinigung steigert, sondern auch zu einem saubereren und sichereren urbanen Lebensraum beiträgt.

Künstliche Intelligenz kann auch dazu beitragen, das Bewusstsein der Bürgerinnen und Bürger für Sauberkeit und Abfallvermeidung zu stärken. So können KI-gestützte Apps zum Beispiel in Echtzeit über die richtige Abfallentsorgung informieren, praktische Tipps zur Müllvermeidung geben oder mit spielerischen Elementen (Gamification) die Motivation erhöhen, sich aktiv an Reinigungsaktionen zu beteiligen.

Die Integration von KI in die Abfallwirtschaft bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich. Datenschutz und Sicherheit sind wichtige Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, insbesondere wenn personenbezogene Daten verarbeitet werden. Eine transparente Kommunikation über die Verwendung von Daten und die Vorteile von KI ist entscheidend, um das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger aber auch der Mitarbeitenden zu gewinnen. Auch muss der ökonomische Nutzen, der mit der Nutzung einer KI-Anwendung einhergeht, mit den Kosten abgewogen werden, die mit der Lizenz für die Nutzung der KI-Anwendung verbunden sind. Gleichsam muss auch der erhöhte Energieaufwand, den die Nutzung der KI mit sich bringt, gegen einen ökologischen Mehrnutzen an anderer Stelle abgewogen werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein gezielter Einsatz von KI das Potenzial hat, die kommunale Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit grundlegend zu transformieren. Von der effizienteren Mülltrennung über optimierte Abholrouten, gezieltere Stadtreinigung bis hin zu innovativen Lösungen zur Bürgerbeteiligung – die Möglichkeiten sind vielfältig. Um jedoch die vollen Vorteile von KI zu nutzen, sind eine enge Zusammenarbeit zwischen Kommunen, Technologieanbietern und Bürgerinnen und Bürgern wie auch eine sorgfältige Berücksichtigung ethischer, ökonomischer und rechtlicher Aspekte notwendig.

Nur so kann eine nachhaltige und zukunftsfähige Abfallwirtschaft gewährleistet werden, die den Bedürfnissen der heutigen und zukünftigen Generationen gerecht wird.

Impressum

Wir danken den Mitgliedsunternehmen für die freundliche Bereitstellung praxisnaher Beispiele und ihre wertvolle Unterstützung.

Verband kommunaler Unternehmen (VKU)
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Fon +49 30 58580-0
info@vku.de
www.vku.de

Gestaltung und Realisation

VKU Verlag GmbH | Corporate Media
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Fon: +49 30 58580-852
www.vku-verlag.de

Redaktion

Alexander Neubauer
Senior Fachgebietsleiter Abfall- und Wertstofflogistik
Verband kommunaler Unternehmen e.V.
Invalidenstr. 91
10115 Berlin
Fon: +49 30 58580-165
Mobil: +49 170 8580-165
neubauer@vku.de

Yvonne Krause
Senior Fachgebietsleiterin Stadtsauberkeit, Winterdienst
und Baubetriebshöfe
Verband kommunaler Unternehmen e.V.
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Fon: +49 30 58580-262
Mobil: +49 170 8580-168
krause@vku.de

Bildnachweis

Cover: © 沈军 贡 – stock.adobe.com
Seite 4: © Graf Vishenka – stock.adobe.com
Seite 6: © Graf Vishenka / Piere – stock.adobe.com
Seite 8: © Graf Vishenka – stock.adobe.com
Seite 10: © grafius – stock.adobe.com
Seite 11: © Entsorgung Herne AöR
Seite 13: © Stadtentsorgung Rostock GmbH
Seite 15: © Anoo – stock.adobe.com
Seite 17: © Kepo & PixelMastery – beide stock.adobe.com
Seite 18: © Abfallwirtschaftsbetrieb Kiel
Seite 19: © FES Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES)
Seite 20: © Technische Betriebe Offenburg
Seite 21: © Wirtschaftsbetriebe Duisburg
Seite 22/23: © Angsa Robotics GmbH | Berliner Stadtreinigung
Seite 36: © JackF – stock.adobe.com

Diese Publikation wurde auf Recyclingpapier gedruckt.

ISBN 978-3-87750-945-6

Stand August 2025

