KI ist mehr als nur Machine Learning

Anwendungsbereiche von Operations Research in Unternehmen

Der Begriff Künstliche Intelligenz (KI) taucht immer häufiger in den verschiedensten Bereichen auf. Start-ups wollen mit KI-gestützten Systemen den Markt revolutionieren, Technologieunternehmen wie Google, Amazon und IBM investieren Milliarden in die Forschung und Entwicklung, aber auch Filme wie Ex Machina befassen sich mit der Frage, was KI eigentlich ist und wo deren Grenzen liegen.

Definition von Künstlicher Intelligenz

Definitionen gibt es viele, in der Praxis wird KI jedoch häufig mit Machine Learning-Methoden zur Mustererkennung und Vorhersagen gleichgesetzt. Eine intelligente Automatisierung kann aber viele weitere KI-Methoden nutzen wie beispielsweise Optimierungsalgorithmen, Natural Language Processing oder Ontologien.

John McCarthy, einer der Organisatoren der Dartmouth Konferenz^{1,2}, definierte KI in dem Artikel "What is AI?"³ als "Wissenschaft zur Herstellung intelligenter Maschinen, insbesondere intelligenter Computerprogramme." Der Technologiekonzern Microsoft definiert KI anschaulich als "Technologien, die menschliche Fähigkeiten im Sehen, Hören, Analysieren, Entscheiden und Handeln ergänzen oder stärken."

Im Allgemeinen wird dabei zwischen zwei Arten von KI unterschieden: Schwache KI sind Systeme, die kognitive Fähigkeiten ersetzen können, die bislang als rein menschliche Fähigkeiten galten und so vorab definierte Aufgaben lösen. Starke KI sind Systeme, die menschliche Fähigkeiten in unterschiedlichen Punkten erreichen oder sogar übersteigen.

Bisher zählen alle KI-Modelle noch zur schwachen KI, obwohl die Intelligenz der Systeme immer weiter zunimmt. In der Bildverarbeitung können beispielsweise Netze so trainiert werden, dass sie Hunde von Katzen auf Fotos unterscheiden können. Dies entspricht einer schwachen KI, da die Unterscheidung eine intelligente, menschliche Fähigkeit ist, aber keiner starken KI, da ein Mensch noch weit mehr als nur zwei Tiere unterscheiden kann.

Teilgebiete von Künstlicher Intelligenz

Künstliche Intelligenz ist ein Oberbegriff, der verschiedene Technologien umfasst. Derzeit sind Machine Learning (ML) und Deep Learning wahrscheinlich die bekanntesten Teilgebiete, jedoch nicht die Einzigen. John McCarthy listet in "What is AI?" einen Auszug auf, der unter anderem auch Logik, Suchalgorith-

men, Heuristiken und genetische Algorithmen umfasst.

Machine Learning sind Algorithmen, die so auf großen Datenmengen trainiert werden, dass sie Muster und Korrelationen erkennen und auf neue Daten anwenden können. Ein Alltags-Beispiel hierfür sind die Recommender-Modelle von Onlinehändlern. Basierend auf den aktuellen Artikeln im Warenkorb werden automatisch Vorschläge für weitere Artikel gemacht. Dabei läuft im Hintergrund ein System, dass alle bisherigen Einkäufe kennt und daraus bereits Gesetzmäßigkeiten abgeleitet hat. Ein Beispiel: Ein Kunde kauft einen Sonnenschirm und ein Badetuch, so kauft er mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Sonnencreme. Liegen diese Artikel dann im Warenkorb, erhält der Kunde nahezu in Echtzeit weitere Vorschläge.

Entscheidend für die Qualität des Machine Learning-Modells sind ausreichend große, verfügbare Datenmengen und eine gewisse Korrelation innerhalb der Datenmenge. Das genaue Muster muss dabei nicht zwingend bekannt sein. Ist beides gegeben, können Machine Learning-Modelle für eine Vielzahl von Anwendungen genutzt werden, von Erkennen von Risiko-Faktoren in Gesundheitsdaten über automatisierte Klassi-

8 AWV-Informationen 4/2022

¹ Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Dartmouth_workshop (abgerufen am 20.07.2022).

² John McCarthy et al: A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligenz. Hanover, 1955 (online: http://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf (PDF-Datei, 77 KB; abgerufen am 20.07.2022).

³ John McCarthy: What is Artificial Intelligence? Stanford, 2007 (online: http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf; PDF-Datei, 0,1 MB; abgerufen am 20.07.2022).

fizierung von E-Mails bis hin zur Bonitätsprüfung.

Mathematische Optimierung

In manchen Fällen möchte man aber über Vergleichsdaten hinaus einen Vorschlag für eine bestimmte sehr gute, möglicherweise sogar optimale Entscheidung erhalten. Bei der Routenplanung kann es beispielsweise auch hilfreich sein, die genutzten Routen von anderen Nutzern zu erfahren. Eigentlich möchte man aber einen Vorschlag für die schnellste oder kürzeste Route unter den aktuellen Gegebenheiten.

Hier braucht es neben der Mustererkennung eine weitere menschliche Fähigkeit, deren Automatisierung äußerst gewinnbringend ist, nämlich das Lösen von Optimierungsproblemen.

Jedes Optimierungsproblem ist charakterisiert durch eine oder mehrere Zielgrößen, die optimal erfüllt sein sollen. In der Routenplanung wären das die Länge der Route oder die Fahrtzeit oder eine Kombination aus beiden. Darüber hinaus kann man aber in der Regel nicht frei aus allen Möglichkeiten wählen, sondern hat Bedingungen, die zwingend erfüllt sein müssen. Ein Vorschlag für eine sehr kurze Route hilft beispielsweise wenig, wenn die Route über einen nichtbefahrbaren Abschnitt führt. Diese notwendigen Bedingungen nennt man Hard Constraints. Bedingungen, die bestmöglich erfüllt sein sollen, Soft Constraints.

Anders als beim Machine Learning sind für Optimierungsprobleme nicht die verfügbaren Vergleichsdaten relevant. Es genügt, wenn alle Informationen zur Problembeschreibung vorliegen, d.h. Startund Endpunkt der Route, Distanzen und gegebenenfalls Verkehrsdaten. Die Herausforderung bei Optimierungsproblemen ist meist die Größe des Suchraumes. Für viele Probleme gibt es eine schier

endlose Anzahl an möglichen Optionen, aus denen die Beste schnell gefunden werden soll. Um die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen zu finden, ist eine möglichst gute Suchstrategie nötig. Hier kommt einem jedoch zugute, dass in vielen Fällen eine sehr gute Lösung in der Praxis bereits ausreicht, um eine deutliche Verbesserung zum Status quo zu erzielen. Approximationsalgorithmen, die solche sehr guten Lösungen effizient finden, gibt es für viele Optimierungsprobleme.

Lösung von Optimierungsproblemen mit genetischen Algorithmen

Genetische Algorithmen sind solche Approximationsalgorithmen aus der Bionik, d.h. sie orientieren sich an erfolgreichen Verfahren in der Biologie. In der Evolution gilt bekanntermaßen das Prinzip "survival of the fittest" nach Charles Darwin, das besagt, dass sich über mehrere Generationen die am besten angepassten (fittesten) Individuen durchsetzen. Die unterschiedlichen Individuen in jeder Generation entstehen dabei durch Kombination und Mutation aus den Genen der vorherigen Generation.

Diese Idee wurde 1960 von Forschern der University of Michigan in die Informatik übertragen. Ein genetischer Algorithmus startet zunächst mit einer zufälligen, initialen Auswahl an Lösungen, die alle notwendigen Bedingungen erfüllen. In der Selektionsphase werden alle möglichen Lösungen bewertet und nur die Besten ausgewählt. In der Rekombinationsphase werden aus zwei oder mehreren dieser Lösungen neue Lösungen generiert, die in der Mutationsphase zufällig abgewandelt werden. Daraus resultiert eine neue Generation, die aus den besten Lösungen der initialen Auswahl hervorgeht, aber sich doch in einigen Ausprägungen unterscheidet. Mit dieser neuen Generation wird nun wie mit der ersten Generation verfahren und dieser Prozess

so lange wiederholt, bis man eine sehr gute Lösung gefunden hat.

Für das Navigationsproblem entspricht jedes dieser Individuen einer Route, die Start und Ziel verbindet. Diese Routen werden nach ihrer Länge in Kilometern bewertet, man spricht hier auch von der Fitness der Lösung.

Das Ziel ist es, das fitteste Element, also die kürzeste Route zu finden. Dazu wählt man aus einer Menge an zufälligen Routen, die kürzesten aus und erstellt neue Routen, indem man entweder zwei Routen zu einer neuen Route kombiniert oder die Routen zufällig verändert. Aus allen neuen Routen wählt man wieder die Kürzesten aus und verändert sie nach dem beschriebenen Muster weiter, bis man über einen längeren Zeitraum keine signifikante Verbesserung mehr finden kann.

Während sich die Mutationen in der Beschreibung nach einem manuell sehr aufwendigen Prozess anhören, können Computer diese in Millisekunden und für viele Pläne parallel durchführen und so innerhalb von Minuten Tausende von verschiedenen Routen vergleichen. Wie gut genetische Algorithmen funktionieren, hängt vom konkreten Anwendungsfall ab und von der Problemgröße. Für viele Beispielanwendungen konnte aber nachgewiesen werden, dass mit diesem Ansatz sehr gute Lösungen in einer praktikablen Zeit gefunden werden.

Da die Mutationen und Rekombinationen in diesem Ansatz frei wählbar sind, können genetische Algorithmen auf eine Vielzahl an Optimierungsproblemen angewandt werden.

Anwendungsmöglichkeiten von Optimierungsproblemen in der Praxis

Möglichkeiten für den Einsatz von Optimierungsproblemen finden

AWV-Informationen 4/2022 9

sich dabei in allen Sektoren und Wirtschaftszweigen, z.B. in der Transport- und Logistikbranche, im Finanzsektor oder in großen Produktionsketten.

Analog zur Produktion können in Verwaltung und Einkauf ebenfalls Arbeitsabläufe optimal aufgesetzt und Arbeiten verteilt werden. Ebenso können Roadmaps mit komplexeren Abhängigkeiten nach Kosten-und-Nutzen optimiert werden. Auch im Gesundheitswesen können für eine Dienstplanung, die Wünsche und Arbeitszeiten der Mitarbeitenden bestmöglich berücksichtigt, genetische Algorithmen eingesetzt werden.

Vorteile von Operations Research und genetischen Algorithmen

Durch den Einsatz von Optimierungsmodellen in Unternehmen kann eine direkte Entscheidungshilfe geschaffen werden, die nicht nur einen Überblick über Zusammenhänge gibt, sondern auch direkte Handlungsempfehlungen. Durch Machine Learning-Modelle werden Korrelationen in den Daten sichtbar. Eine Korrelation sagt jedoch noch nichts über die Kausalität aus. Ein anschauliches Beispiel hierfür bezieht sich auf Störche und die Geburtenraten. In Europa ist die Geburtenrate besonders hoch in Gegenden, in denen auch viele Störche vorkommen.4 Damit ist jedoch nicht bewiesen, dass Störche Kinder bringen, stattdessen kommen in ländlichen Gegenden mehr Störche vor und dort ist auch die Geburtenrate höher. Was die treibenden Faktoren hierfür sind und ob überhaupt ein Zusammenhang besteht, geht aus der Korrelation nicht hervor.

Optimierungsmodelle geben eine bestmögliche Entscheidung in einem komplexen System vor. Diese Entscheidungen sind optimal hinsichtlich (Zeit-)Effizienz, Kosten oder Einnahmen und bringen damit einen direkt messbaren Mehrwert für das Unternehmen. Für die Umsetzung sind keine großen Datenmengen nötig, jedoch ein tiefergehendes Verständnis des vorliegenden Problems und zumindest Grundkenntnisse über effiziente Implementierungen und einsetzbare Lösungsalgorithmen.

Der gesamte Ablauf von der Modellentwicklung über Simulationen bis hin zur Entscheidungsfindung und -umsetzung mit Optimierungsmodellen wird als Operations Research bezeichnet. Operations Research (OR) und Künstliche Intelligenz haben damit einen großen Überschneidungsbereich, sind aber jeweils auch eigenständige Forschungsbereiche.

In einer idealen Data Strategy ergänzen sich KI- und OR-Techniken, d.h. Machine Learning und Optimierungsmodelle. Um noch einmal das Routenbeispiel aufzugreifen: mit dem genetischen Algorithmus kann die Route mit der kürzesten Dauer in einem großen Netz bestimmt werden – wie lange aber ein bestimmter Streckenabschnitt dauert und ob es auf einigen Strecken zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich zu Stau kommen wird, dafür werden wiederum Machine Learning-Modelle benötigt.

ML-Algorithmen können also wichtige Input-Faktoren für die Optimierungsmodelle liefern, auch Informationen, die bisher noch nicht bekannt waren oder nur intuitiv erkannt wurden. Optimierungsmodelle leiten daraus opti-

male Handlungsempfehlungen ab, oder können die Endresultate verschiedener Optionen simulieren.

Natürlich ist es umgekehrt auch möglich, aus Optimierungsmodellen Daten für Machine Learning-Modelle zu generieren und so noch weitere Zusammenhänge zu erkennen.⁵

Umsetzung in der Praxis

Wie Unternehmen nun Optimierungsmodelle implementieren und nutzen können, hängt zunächst vom Umfang und der Art der Problemstellungen ab. Konzerne mit einer Vielzahl an zentra-Ien Operations Research Use Cases wie zum Beispiel Bahnunternehmen haben meist eigene Abteilungen mit Fachexpert:innen, die individuelle Modelle erforschen und entwickeln. Unternehmen, die eher einzelne Use Cases haben, für die sich die Investition in eine gesamte Abteilung nicht lohnt, sollten zunächst überlegen, ob ihr Use Case ein sehr spezifischer Sonderfall ist, oder ob dieses Optimierungsproblem ähnlich wie z.B. Routenoptimierung oder Dienstplanung häufig vorkommt.

Für solche Standardprobleme gibt es meist bereits fertige Softwarelösungen, die schnell eingesetzt und deren Ergebnisse evaluiert werden können. Bei diesen Lösungen sollte aber sorgfältig überprüft werden, ob sie wirklich alle nötigen Anforderungen beinhalten. Fehlt nur eine Hard Constraint, so kann die ganze Lösung für den Anwendungsfall bereits unbrauchbar sein. Daher sollte vorher intern eine genau Problemdefinition und Spezifikation, insbesondere hinsichtlich der notwendigen Bedingung, durchgeführt werden.

10 AWV-Informationen 4/2022

⁴ Robert Matthews: Der Storch bringt die Babies zur Welt. Birmingham, 2001 (online: http://www3.math.uni-paderborn.de/~agbiehler/sis/sisonline/struktur/jahrgang21-2001/heft2/Langfassungen/2001-2_Matth.pdf; PDF-Datei, 0,2 MB; abgerufen am 20.07.2022).

⁵ Nicolad Rückert: Machine Learning in Kombinatin mit Operations Research. Ein Überblick und Ausblick (Präsentation, online: https://www.mle.hamburg/pdf/2020-11-04-internal_MLE_event-slides-nicolas_rueckert.pdf; PDF-Datei, 0,8 MB; abgerufen am 20.07.2022).

Ist der Anwendungsfall sehr speziell oder werden mit den Standardlösungen keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt, so kann das Unternehmen eine Individuallösung nutzen. Es gibt viele Beratungs- und Entwicklungsfirmen, die das Modell und einen passenden Algorithmus entwickeln. Diese Lösungen decken dann alle Kundenbedürfnisse ab, werden meistens aber nicht gewartet oder weiterentwickelt. Diese Variante bietet sich also für einen sehr festen Anwendungsfall an, bei dem in absehbarer Zeit weder das Modell noch die Struktur an den Input annasst werden muss.

Darüber hinaus gibt es auch Anbieter von kommerziellen Optimierungsalgorithmen, d.h. die Lösungsroutine selbst ist fest implementiert und wird ständig weiterentwickelt, die Modellierung muss für das Unternehmen aber individuell angelegt werden. Die Modellierung kann hier entweder selbst durchgeführt oder aber mit Partnerfirmen der Anbieter zusammen aufgesetzt werden. Diese Möglichkeit bietet sich bei allen Unternehmen an, bei denen das Optimierungsmodell sehr klar definiert ist und nur wenige Bedingungen hat. Damit lässt sich die Modellierung gut umsetzen und selbst warten. Bei nur wenigen Bedingungen ist die Anzahl an möglichen Lösungen aber im Allgemeinen sehr groß, weswegen der Einsatz von viel Rechenleistung und neuesten Lösungsalgorithmen auch sinnvoll ist. Durch die Nutzung von kommerziellen Algorithmen entstehen im Regelfall aber auch höhere, wiederkehrende Kosten, die den Nutzen natürlich nicht übersteigen sollte.

Gerade für kleinere und mittlere Unternehmen, die eine Individuallösung suchen, für die diese Investition aber mit einem höheren Risiko verbunden ist, kann es auch Sinn machen, den Einsatz zunächst im Rahmen eines Forschungsprojektes zu evaluieren und dadurch eigene Kompetenzen aufzubauen. Dabei können neueste Algorithmen und Ansätze getestet werden. Für die Forschenden ergibt sich die Chance auszutesten, ob ihre Ansätze Probleme aus der Praxis effizient lösen können. Die Unternehmen haben die Gelegenheit, die generelle Machbarkeit ihrer Modelle zu testen. Die Unternehmen steuern dabei zumeist eine konkrete Problembeschreibung, Hintergrundoder Domänenwissen, Daten und teilweise auch existierende Produktteile bei, die Forschungsinstitute Fachwissen und erste Prototypen für die Umsetzung.

Optimierung und Quantencomputer

Ein aktuell offenes Forschungsgebiet im Bereich Operations Research ergibt sich durch die neue Technologie der Quantencomputer. Im Vergleich zu einem klassischen Computer rechnet der Quantencomputer nicht mit Bits, sondern nutzt Quantenteilchen, sogenannte Qubits. Die Qubits fallen nach leichten Veränderungen immer wieder in ihren Grundzustand, den Zustand mit minimaler Energie, zurück. Dieser Quanteneffekt kann genutzt werden, um sehr schnell Minima in Optimierungsproblemen zu finden.

Um diese Technologie zu erforschen und einfach zugänglich zu machen, fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz PlanQK⁶, eine Plattform und Ökosystem für Quantencomputing in Deutschland. Dafür arbeiten aktuell 19 verschiedene Konsortialpartner aus Wirtschaft und Forschung zusammen, um verschiedenste Use Cases auf Quantencomputern zu erproben.

Im Rahmen von PlanQK arbeitet Planerio zusammen mit dem QAR-Lab⁷ der LMU München unter der Leitung von Prof. Linnhoff-Popien und Dr. Gabor derzeit an einer automatischen Dienstplanung und der Umsetzung eines genetischen Algorithmus auf Quantencomputern. Damit sollen die Qualität der Lösungen sowie die Berechnungszeiten nochmals deutlich verbessert werden. Dienstpläne sollen nahezu instantan berechnet werden können. Im Rahmen dieser Kooperation hat Planerio notwendige Daten, Branchen-Know-how sowie bisherige Erkenntnisse und Implementierungen beigesteuert, das QAR-Lab hat diese passend modelliert und für Quantencomputer adaptiert. Erste Dienstpläne konnten damit bereits erfolgreich auf Quantencomputern gelöst werden.

Fazit

Mit KI-Lösungen können nicht nur manuelle Prozesse abgelöst, sondern auch neue Erkenntnisse gewonnen werden. Je nach Anwendungsfall sollte dabei entschieden werden, ob Machine Learning oder Optimierungsmodelle zum Einsatz kommen oder eine Kombination aus beidem. Während Machine Learning-Modelle Zusammenhänge in Daten erkennen und wahrscheinliche Ausgänge vorhersagen können, liefern Optimierungsmodelle aus einer Vielzahl an Möglichkeiten die beste Option. Damit kann durch den Einsatz von Operations Research in Unternehmen direkt die Effizienz verbessert, Kosten gesenkt oder Gewinne gesteigert werden. Zur Umsetzung von Optimierungsmodellen ist jedoch Fachwissen nötig, dass durch interne Experten, Standardlösungen, Umsetzungspartner oder Forschungsprojekte einfließen kann.

AWV-Informationen 4/2022

⁶ Nähere Informationen über PlanQK online: https://planqk.stoneone.de (abgerufen am 20.07.2022).

⁷ Nähere Informationen über QARLab online: https://qarlab.de/en/start/ (abgerufen am 20.07.2022).