

# Anhang B

## Glossar

Mit Lea Reinhart

Dieses Glossar dient wie das gesamte Buch dem Ziel, den Leserinnen und Lesern einen Überblick zu verschaffen. Und auch hier gilt, dass wir uns manchmal zugunsten eines intuitiven Verständnisses einige Abstriche bei der mathematischen und fachlichen Präzision erlauben haben und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Die hier versammelten Erklärungen sind als Einstiegshilfe gedacht, nicht zur Klausur- oder Prüfungsvorbereitung.

**Abbildung** In der Mathematik eine eindeutige Zuordnung zwischen zwei *Mengen* A und B. Sie ist gegeben, wenn wir jedem Element von A genau ein Element von B zuordnen können.

**Ableitung** Mathematische *Funktion*, die die *Steigung* einer anderen mathematischen Funktion darstellt. Hat die ursprüngliche Funktion an der Stelle  $x = 5$  die Steigung 2, wird der Funktionswert der Ableitung genau an dieser Stelle 2 betragen.

**Agent** Im Kontext des *verstärkenden Lernens* ein programmierbarer Akteur, der mit einer *Umwelt* interagiert und lernen soll, ein Ziel zu erreichen. Ein Agent kann auf verschiedene Arten programmiert werden, beispielsweise mithilfe von *Q-Learning* und *Deep Q-Learning*.

**Aktivierung** In einem *neuronalen Netz* der Wert, den ein künstliches *Neuron* ausgibt. Dieser Wert ist abhängig von den Eingaben, den zugeordneten *Gewichten*, dem *Bias* und der *Aktivierungsfunktion*.

**Aktivierungsfunktion** In einem künstlichen *Neuron* eine Funktion, die aus der Summe aller *gewichteten* Eingaben eine Ausgabe berechnet. Sie bildet das Verhalten biologischer Nervenzellen nach, erst ein Signal abzufeuern, wenn das Potential des Zellkörpers einen Schwellwert über-

schreitet. Wenn ein neuronales Netz mittels *Gradientenabstieg* justiert werden soll, ist es unerlässlich, dass die Aktivierungsfunktion stetig ist, sich also eine *Ableitung* bilden lässt.

**Algorithmus** Verfahren zur Lösung einer Klasse von Problemen, das aus einer endlichen Anzahl von definierten Einzelschritten besteht und daher von einem Computerprogramm umgesetzt werden kann.

**Allgemeine Künstliche Intelligenz** Das bislang unerreichte Ziel vieler KI-Forscherinnen und -Forscher: eine KI, die im Gegensatz zu allen bekannten Anwendungen nicht auf eine einzige Klasse von Problemen spezialisiert ist, sondern genauso flexibel und vielseitig lernen und agieren kann wie ein Mensch.

**Assoziationsanalyse** Ein *Data-Mining*-Verfahren, das inhaltliche Zusammenhänge etwa in Playlisten, Warenkörben oder Texten findet, indem es die Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens von Songs, Produkten oder Begriffen auswertet.

**Aufmerksamkeit** Mechanismus in *neuronalen Netzen*, der einzelne Elemente einer Eingabesequenz stärker *gewichtet*, um bessere Vorhersagen oder Transformationen zu ermöglichen.

**Ausgabeschicht** Das hintere Ende eines *neuronalen Netzes*, das das Ergebnis einer Berechnung ausgibt.

**Autoencoder** Eine spezielle Architektur *neuronaler Netze*, die darauf trainiert wird, möglichst exakt das Signal auszugeben, das hineingegeben wurde. Das Signal läuft dabei durch eine *verdeckte Schicht*, die sehr viel weniger Neuronen besitzt als die *Ausgabe-* und *Eingabeschicht*, der sogenannte Flaschenhals. Autoencoder werden unter anderem zur *Dimensionsreduktion* genutzt.

**Backpropagation** Ein Lernverfahren, bei dem der an der *Ausgabeschicht* eines *neuronalen Netzes* berechnete Fehler – also der Unterschied zwischen der erwünschten und der tatsächlichen Ausgabe – Schicht für Schicht von hinten nach vorne durchgereicht und zur schrittweisen Anpassung der *Gewichte* mittels *Gradientenabstieg* genutzt wird.

**Bag of Words Encoding** Methode zur Textrepräsentation, die auf dem *One Hot Encoding* basiert. Der Text wird dabei als *Vektor* dargestellt. Dieser berücksichtigt allein, ob ein Wort in dem Text vorkommt (1) oder nicht (0) – die Reihenfolge der Wörter spielt also keine Rolle. Erweiterungen zählen die Häufigkeit oder setzen diese zur allgemeinen Häufigkeit des jeweiligen Worts ins Verhältnis.

**Batch** Beim *überwachten Lernen* eines *neuronalen Netzes* ist es sinnvoll, die *Trainingsbeispiele* nicht einzeln, sondern in Gruppen einzuspeisen. Solche Gruppen werden als *Batches* bezeichnet.

**Bias** In einem künstlichen *Neuron* die Entsprechung des Ruhepotentials einer biologischen Nervenzelle – also des Potentials des Zellkörpers, wenn keine Signale von anderen Zellen hineinfließen. Im künstlichen Neuron wird der Bias-Wert zur Summe der *gewichteten* Eingaben addiert. Der Bias-Wert verschiebt die *Aktivierungsfunktion* parallel zur x-Achse.

**Bilderkennung** Ein klassisches KI-Problem: Es soll automatisch erkannt werden, ob auf einem Foto etwa eine Katze, ein Hund oder eine bestimmte Person abgebildet ist oder nicht.

**Breitensuche** Ein Verfahren zur Durchsuchung eines *Graphen*, bei dem zunächst alle *Knoten* angesteuert werden, die nur eine Kante vom Ausgangspunkt entfernt sind, dann alle Knoten, die über zwei *Kanten* erreicht werden können, etc.

**Cluster** Im *Data-Mining* eine Gruppe von *Datenpunkten*, die als zusammengehörig erkannt wurden.

**Confidence** Eine Kenngröße der *Assoziationsanalyse*: Anteil der *Transaktionen*, in denen das *Item B* vorkommt, wenn auch *Item A* vorhanden ist.

**Data-Mining** Ein Verfahren, bei dem große Datenmengen *algorithmisch* nach verwertbaren Informationen durchsucht werden. Beispiele sind *k-means-Clustering* und *Assoziationsanalyse*.

**Datenpunkt** Wenn eine meteorologische Messreihe Werte für Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit sammelt, kann jedes einzelne Messergebnis als ein Datenpunkt in einem Raum mit drei *Dimensionen* betrachtet werden. Dieses Prinzip lässt sich auf beliebig viele Dimensionen erweitern.

**Deep Q-Learning** Eine Weiterentwicklung des *Q-Learning-Algorithmus* mittels Tabellen. Die Q-Werte werden hier nicht einzeln in einer Tabelle abgespeichert, sondern mithilfe vielschichtiger neuronaler Netze berechnet. Das Verfahren ist in der Lage, deutlich komplexere Probleme zu lösen als das ursprüngliche Q-Learning.

**Determiniertheit** Ein Ablauf gilt dann als determiniert, wenn er vollkommen durch die Ausgangsbedingungen festgelegt ist.

**Differenzvektor** Das Ergebnis der Subtraktion zweier *Vektoren*. Den Differenzvektor zwischen einem *Ortsvektor* A und einem Ortsvektor B kann man als Pfeil darstellen, der von der Spitze des Vektors B zur Spitze des Vektors A zeigt.

**Dimension** In einem n-dimensionalen Raum werden n Koordinaten benötigt, um eine Position eindeutig zu bestimmen. Eine Linie ist ein-dimensional, entsprechend genügt eine Koordinate. Eine Fläche besitzt zwei Dimensionen, es werden also zwei Koordinaten benötigt etc.

**Dimensionsreduktion** Wenn ein Datensatz zu viele *Dimensionen* aufweist, kann es notwendig sein, ihn zu vereinfachen, um bestimmte Berechnungen mit begrenzten Rechenkapazitäten überhaupt ausführen zu können. Dazu gibt es verschiedene Ansätze. Es können als weniger relevant erkannte Dimensionen ausgelassen oder vorhandene Dimensionen zusammengefasst werden. Auch ein *neuronales Netz*, das zur *Klassifizierung* genutzt wird, vollzieht eine Dimensionsreduktion, da es ein vieldimensionales Eingangssignal auf ein niedrigdimensionales Ausgangssignal reduziert.

**Diskret** Diskrete Zustände lassen sich meist durch ganze Zahlen repräsentieren. Ist ein Zustand diskret, bedeutet dies, dass er aus einer endlichen oder einer abzählbar unendlichen Menge von Zuständen stammt, also keine Zwischenstufen annehmen kann.

**Dynamische Programmierung** Ein Vorgehen, bei dem die Lösung eines komplexen Problems durch die schrittweise Berechnung von Teillösungen gefunden wird. Begonnen wird immer mit dem einfachsten Fall. Ein bekanntes Beispiel ist der *Levenshtein-Algorithmus*.

**Editierdistanz** Die Anzahl von Operationen – gemeint sind hier Einfügungen, Löschungen oder Ersetzungen einzelner Zeichen –, die notwendig sind, um eine Zeichenkette in eine andere umzu-

wandeln. Die Editierdistanz lässt sich mit dem *Levenshtein-Algorithmus* berechnen.

**Eingabeschicht** Das vordere Ende eines *neuronalen Netzes*, in das ein Signal eingespeist wird.

**Episode** Beim *verstärkenden Lernen* ein Zeitabschnitt, der beginnt, wenn der *Agent* auf eine Startposition gesetzt wird, und endet, wenn er einen Zielzustand erreicht.

**Epoche** Bei dem *überwachten Lernen* eines *neuronalen Netzes* der Abschnitt eines Trainings, in dem alle vorhandenen Trainingsbeispiele einmal zur *Backpropagation* genutzt wurden.

**Euklidische Distanz** Maß für den Abstand zwischen zwei Punkten im Raum, berechnet mit dem Satz des Pythagoras. Wird oft für die *Klassifizierung* und das *Clustering* von Datenpunkten verwendet.

**Faltungsnetz** Ein spezieller Typ neuronaler Netze, der besonders gut zur Verarbeitung von visuellen Daten geeignet ist.

**Filterkernel** Stammen ursprünglich aus der digitalen Bildbearbeitung. Mittels Filterkerneln lassen sich Bilder weichzeichnen und Kanten betonen. Sie sind elementare Bestandteile von *Faltungsnetzen*.

**Fluch der Dimensionalität** Eine Bezeichnung für ein Problem in *hochdimensionalen Räumen*: Mit jeder hinzugefügten *Dimension* vervielfacht sich das Volumen, das jeden einzelnen *Datenpunkt* umgibt. Das führt unter anderem dazu, dass aus Sicht der *euklidischen Distanz* die Entfernungen zwischen zufällig ausgewählten Paaren von Punkten in den meisten Fällen nur sehr geringe Unterschiede aufweisen. Daher liefert die euklidische Distanz kein aussagekräftiges Maß für die Ähnlichkeit von Datenpunkten in hochdimensionalen Räumen. Abhilfe schafft ein anderes Ver-

fahren zur Entfernungsmessung, die *Kosinus-Ähnlichkeit*.

**Funktion** In der Mathematik ordnet eine Funktion jedem Element einer Menge ( $x$ -Wert) ein Element einer anderen Menge ( $y$ -Wert) zu. So ordnet die Funktion  $y = f(x) = 2x$  jedem  $x$  das Doppelte von  $x$  als Funktionswert zu. In der Informatik ist der Funktionsbegriff sehr viel weiter gefasst und steht in den meisten Fällen für ein Stück Programmcode, das zur mehrfachen Verwendung unter einem Bezeichner gespeichert und an verschiedenen Stellen des Programms ausgeführt werden kann.

**Generative Adversarial Network (GAN)** Eine Bauform *neuronaler Netze*, die in der Lage ist, anhand von Beispieldaten (meist Bildern) neue Daten zu erzeugen, die Eigenschaften der Beispieldaten reproduzieren. Anhand Tausender Fotos von Kaffeetassen kann ein GAN lernen, »kaffeetassenartige« Bilder zu produzieren.

**Generator** Im Kontext des *überwachten Lernens* eines *neuronalen Netzes* ein Modul, das *Trainingsdaten* bereitstellt, variiert oder erzeugt.

**Gewicht** Wenn ein *Graph* ein U-Bahn-Netz darstellt, stehen die *Knoten* für Stationen und die *Kanten* für die Gleisverbindungen. Die Entfernungen zwischen den Stationen können mittels Gewichten repräsentiert werden. Im Kontext *neuronaler Netze* steht der Begriff für die Stärke einer Verbindung zwischen zwei Neuronen.

**Gradient** Eine  $n$ -dimensionale Vektorfunktion, die zu jedem Punkt einer  $n$ -dimensionalen Ursprungsfunktion anzeigt, in welcher Richtung die *Steigung* am größten ist. Die Länge des Vektors zeigt die Stärke der Steigung an. Der Gradienten basiert auf einer *Ableitung* der Ursprungsfunktion.

**Gradientenabstieg** Ein Verfahren, um ein *Minimum* einer *Funktion* zu finden, wenn eine direkte mathematische Berechnung zu komplex ist. In neuronalen Netzen wird der Gradientenabstieg

zur schrittweisen Justierung der *Gewichte* angewendet mit dem Ziel, die Fehler des Netzes zu minimieren.

**Graph** Graphen sind mathematische Modelle für netzartige Strukturen. Sie sind zusammengesetzt aus *Knoten* und *Kanten*. Wenn ein Graph ein Autobahnnetz modelliert, dann stehen die Knoten für Städte und die Kanten für Autobahnabschnitte.

**Hochdimensionaler Raum** Ein mathematischer Raum mit mehr als drei *Dimensionen*. In solchen Räumen können herkömmliche Intuitionen über Abstand und Geometrie versagen, was auch als *Fluch der Dimensionalität* bezeichnet wird

**Homonyme** Wörter, die gleich ausgesprochen oder geschrieben werden, aber unterschiedliche Bedeutungen haben. Homonyme verursachen Schwierigkeiten in Systemen, die geschriebene oder gesprochene Sprache verarbeiten.

**Item** In der *Assoziationsanalyse* die kleinste mögliche Einheit, zum Beispiel ein Produkt in einem Onlineshop oder ein Song in einem Musik-Streaming-Dienst.

**Itemset** Eine zusammengehörige Menge von *Items*, ein Gegenstand der *Assoziationsanalyse*.

**K-means-Clustering** Ein *Data-Mining*-Verfahren, das *Datenpunkte* aufgrund der räumlichen Nähe zueinander in *Cluster* einteilt.

**K-nächste-Nachbarn-Algorithmus** Ein *Algorithmus*, der nicht *klassifizierte Datenpunkte* einer Klasse zuordnet, indem er bereits klassifizierte Datenpunkte auswertet. Wenn die  $k$  nächstgelegenen Nachbarn eines nicht klassifizierten Punkts  $P$  zur Klasse  $Z$  gehören, wird  $P$  ebenfalls der Klasse  $Z$  zugeordnet.

**Kante** Die Verbindung zwischen zwei *Knoten* in einem *Graphen*. Kanten repräsentieren dabei oft

die Beziehungen zwischen den Knoten. Wenn diese Beziehungen unterschiedlich stark sind, erhalten die Kanten *Gewichte*.

**Klassifizierung** Eine häufig vorkommende Aufgabe für KI-Systeme. Immer geht es darum, eine Eingabe einer Klasse zuzuordnen. Das ist etwa bei der *Bilderkennung* der Fall, aber auch bei der Beurteilung von Blutbildern oder Kontobuchungen im Hinblick auf Krankheiten oder betrügerische Aktivitäten.

**Knoten** Knoten repräsentieren die Objekte in *Graphen*. Knoten, die miteinander in Beziehung stehen, sind durch *Kanten* verbunden.

**Kontinuierlich** Im Gegensatz zu *diskreten* Werten können die Abstände zwischen kontinuierlichen Werten unendlich weiter zerteilt werden. Die Schuhgröße 40 ist ein ganzzahliger, diskreter Wert, die Fußlänge 25,632 cm hingegen ist ein kontinuierlicher Wert, denn die Fußlänge kann eine unendliche (nicht abzählbare) Anzahl von Werten annehmen, während es nur eine endliche Menge von Schuhgrößen gibt.

**Koordinatensystem** Ein System von Achsen, das dazu dient, Punkte im Raum durch Koordinaten eindeutig zu lokalisieren. Ein zweidimensionales Koordinatensystem hat zwei Achsen. Entsprechend benötigen wir für die Lokalisierung eines Punkts zwei Koordinaten.

**Kosinus-Ähnlichkeit** Der Kosinus eines Winkels zwischen zwei *Vektoren* kann als Maß für deren Ähnlichkeit dienen. Ein Kosinus von 1 bedeutet, dass die Vektoren exakt in die gleiche Richtung zeigen. Je kleiner der Kosinus, desto stärker weicht die Richtung ab. Beträgt der Kosinus 0, sind die beiden Vektoren unabhängig voneinander. Beträgt er  $-1$ , zeigen sie genau in die entgegengesetzte Richtung. In *hochdimensionalen Räumen* wird die Kosinus-Ähnlichkeit zur Berechnung der Ähnlichkeit von *Datenpunkten* (bzw. deren *Ortsvektoren*) genutzt, da die *euklidi-*

*sche Distanz* wegen des *Fluchs der Dimensionalität* keine aussagekräftigen Ergebnisse liefert.

**Lernrate** Beim Training eines *neuronalen Netzes* und beim *Q-Learning* ein Faktor, der bestimmt, wie stark ein einzelner Lernschritt ein *Gewicht* beziehungsweise einen Q-Wert verändern kann.

**Levenshtein-Algorithmus** Ein Algorithmus zur Berechnung der *Editierdistanz*. Ein bekanntes Beispiel für *dynamische Programmierung*.

**Lift** Kenngröße aus der *Assoziationsanalyse*. Sie steht für das Verhältnis zwischen dem tatsächlichen gemeinsamen Vorkommen der *Items* A und B und einer bloß zufälligen Verteilung.

**Lineare Trennbarkeit** Wenn zwei *n-dimensionale Datenpunktmenge*n durch eine *n-dimensionale Ebene* voneinander getrennt werden können, gelten sie als linear trennbar. Im Kontext von *Klassifizierungsaufgaben* hängt von der linearen Trennbarkeit ab, welche Techniken zur Lösung überhaupt geeignet sind. So lassen sich linear trennbare Datenpunktmenge mit einem *neuronalen Netz* ohne *verdeckte Schicht* trennen, bei linear nicht trennbaren Datenpunktmenge ist hierfür mindestens eine verdeckte Schicht notwendig.

**Markow-Prozess** Abfolgen von *diskreten* Elementen – zum Beispiel Texte als Folgen von Buchstaben oder Wörtern – lassen sich mithilfe von Markow-Prozessen im Hinblick darauf untersuchen, welche Elemente wie häufig aufeinanderfolgen. Auf einen deutschsprachigen Text angewandt, lässt sich zum Beispiel feststellen, dass auf das Wort »Ich« häufiger die Wörter »bin« und »habe« folgen als etwa »buchstabiere« oder »flambiere«.

**Menge** Eine Ansammlung von Elementen, deren Zusammengehörigkeit durch Festlegung oder Definition gegeben ist: »Menschen, die das Sonnensystem verlassen haben«, »Die Zahlen 7, 23 und 42«, »Alle Bücher in meiner Bibliothek«,

»Alle ganzzahligen Vielfachen der Zahl 7«. Mengen können leer sein, eine endliche Anzahl von Elementen enthalten oder unendlich groß sein.

**Minimax-Algorithmus** Ein klassisches KI-Verfahren, mit dem sich eine bestimmte Klasse von Zwei-Personen-Spielen gewinnen lässt.

**Minimum, lokales und globales** Ein lokales Minimum einer Funktion bezeichnet eine Stelle  $x$ , an der der zugeordnete Wert  $y$  in der Umgebung von  $x$  minimal ist, also keinen geringeren Wert annimmt. Ein globales Minimum ist eine Stelle  $x$ , an der der zugeordnete Wert  $y$  für den gesamten Verlauf der Funktion minimal ist. In diesem Fall gibt es also keinen anderen Wert  $x$ , dem die Funktion ein kleineres  $y$  zuordnet. Bei komplexeren Funktionen lassen sich die Minima nicht direkt berechnen und können per *Gradientenabstieg* ermittelt werden.

**Mittelwert** Der Mittelwert einer *Dimension* eines Datensatzes ergibt sich, indem man alle Werte aufsummiert und das Ergebnis durch die Anzahl der gemessenen Werte teilt. Der Mittelwert wird oft genutzt, um Aussagen über einen Datensatz zu treffen: »Die durchschnittliche Satzlänge in diesem Text beträgt 7 Wörter.«

**Modell** Ein Modell ist eine Form von Abbildung, die bestimmte Aspekte des Abgebildeten berücksichtigt, andere hingegen außer Acht lässt. Im Kontext dieses Buchs wird der Begriff meist als Synonym für *neuronale Netze* verwendet, weil diese etwa das Unterscheidungsvermögen eines Menschen modellieren können.

**Nachbarschaft** Die Nachbarn eines *Knotens*  $K$  in einem *Graphen* sind alle Knoten, die durch eine *Kante* mit dem Knoten  $K$  verbunden sind.

**Näherungslösung** In vielen Situationen lässt sich die exakte Lösung eines Problems nicht berechnen. Das kann daran liegen, dass ein Lösungsverfahren unbekannt oder zu aufwendig ist oder

dass notwendige Informationen fehlen. Anstatt gänzlich auf eine Lösung zu verzichten, werden dann Verfahren gesucht, die eine Lösung liefern können, die für den jeweiligen Anwendungszweck ausreichend präzise ist.

**Neuron (künstlich)** Baustein eines *neuronalen Netzes*, modelliert nach dem Beispiel biologischer Nervenzellen. Neuronen sind in der Regel in Schichten angeordnet. Die Neuronen der *Eingabeschicht* erhalten ihre Aktivierung von außen. Die Neuronen in den *verdeckten Schichten* und in der *Ausgabeschicht* berechnen ihre Ausgaben (also ihre *Aktivierung*), indem sie die eingehenden Signale aus vorgeordneten Schichten *gewichten* und aufsummieren und das Ergebnis als Argument an die *Aktivierungsfunktion* übergeben.

**Neuronale Netze (künstlich)** Eine am Vorbild biologischer Nervensysteme orientierte Klasse von KI-Anwendungen. Sie sind aus *Neuronen* zusammengesetzt, die üblicherweise in Schichten angeordnet sind. Es gibt sehr unterschiedliche Anwendungsfälle und Architekturen. Gemeinsam ist allen neuronalen Netzen, dass sie Zuordnungen von Eingaben auf Ausgaben leisten und mittels *Backpropagation* und *Gradientenabstieg* darauf trainiert werden, die richtigen Zuordnungen zu treffen. Die Eingaben können etwa Fotos oder Messwerte aus einem Blutbild sein. Die zugeordneten Ausgaben könnten dann beispielsweise anzeigen, ob ein Foto eine Katze enthält oder ob das Blutbild auf eine bestimmte Krankheit schließen lässt.

**Nicht-Spieler-Charakter** Charakter in einem Computerspiel, der nicht von einem menschlichen Spieler gesteuert wird. KI-Algorithmen werden häufig genutzt, um diese Charaktere zu kontrollieren und menschliches Verhalten möglichst glaubwürdig zu simulieren.

**Nullsummenspiel** Spiel, bei dem der Gewinn des einen Spielers im gleichen Maße einen Verlust für den anderen Spieler bedeutet.

**One Hot Encoding** Technik zur Übersetzung von ganzen Zahlen in *Vektoren*, in denen genau ein Element 1 ist und alle anderen 0.

**Ortsvektor** Ein *Vektor*, dessen Beginn im Ursprung des *Koordinatensystems* liegt. Jedem *Datenpunkt* kann ein Ortsvektor zugeordnet werden, der auf diesen Punkt zeigt.

**Positional Encodings** Technik zur Hinzufügung von Positionsdaten zu Sequenzen für die Weiterverarbeitung in *neuronalen Netzen*. Dadurch wird es möglich, die Reihenfolge der Elemente in der Sequenz zu berücksichtigen.

**Pruning** Ein Verfahren, um den Rechenaufwand bei der Suche in einem baumförmigen *Graphen* zu begrenzen: Zweige, die im Hinblick auf das Ziel der Suche irrelevant oder weniger vielversprechend sind, werden ausgelassen, also beschnitten.

**Python** Eine universelle Programmiersprache, die häufig für die Programmierung von KI-Algorithmen genutzt wird.

**Q-Learning** Eine Form des *verstärkenden Lernens*, bei dem ein *Agent* mit einer *Umwelt* interagiert und lernen soll, eine Aufgabe zu lösen. Das kann etwa das erfolgreiche Spielen eines Computerspiels oder die Steuerung eines Fahrzeugs auf unebenem Gelände sein. Die Umwelt ist veränderlich und kann sich in verschiedenen Zuständen befinden. Der Agent kann über Aktionen mit der Umwelt interagieren und soll lernen, für jeden Umweltzustand jene Aktion zu wählen, die langfristig den höchsten Gewinn verspricht – das kann etwa ein Sieg im Spiel mit möglichst hohem Punktestand sein oder das Erreichen des Ziels in kürzester Zeit.

**Sequenzeinbettungen** Übersetzungen von Sequenzen (z. B. einzelnen Sätzen) in *Vektoren* in einem *hochdimensionalen Raum*. Diese Vektoren sollen wesentliche Eigenschaften der ursprünglichen Daten wie Sinn und grammatikalische

Struktur erfassen. Sequenzeinbettungen sind eine wichtige Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit von *Transformern* wie ChatGPT und DeepL.

**Shape** Die Anzahl und Ausdehnung der *Dimensionen* eines Signals, das ein *neuronales Netz* durchquert.

**Skip-Gram-Verfahren** Ein Verfahren zur Erzeugung von *Trainingsdaten* aus Texten. Ein Fenster gleitet über den Text. Die Mitte des Fensters steht über dem jeweiligen Zielwort. Die Wörter davor und dahinter sind die Kontextwörter. Auf diese Weise werden Paare aus dem Zielwort und einem der umgebenden Kontextwörter gebildet. Anhand dieser Wortpaare soll ein *neuronales Netz* für jedes Zielwort die wahrscheinlichsten Kontextwörter lernen. Dieses Verfahren wird für das Training von *Worteinbettungen* verwendet.

**Steigung** Der Höhenunterschied zwischen zwei Punkten A und B im Verhältnis zu deren horizontaler Entfernung. Im Kontext von mathematischen, zweidimensionalen *Funktionen* bezieht sich die Steigung auf den Unterschied zwischen dem y-Wert von A und B. Bei nicht linearen Funktionen wird die Steigung mittels der *Ableitung* berechnet.

**Suche** In der Informatik lassen sich viele Probleme als Suchprobleme darstellen: Gesucht wird etwa der beste nächste Zug in einem Zwei-Personen-Spiel oder der kürzeste Weg zwischen zwei *Knoten* in einem *Graphen*. Weitverbreitete Suchverfahren in Graphen sind die *Breiten-* und die *Tiefensuche*.

**Support** Kenngröße der *Assoziationsanalyse*. Sie steht für den Anteil der *Transaktionen*, in denen ein bestimmtes *Itemset* enthalten ist.

**Tangente** Eine Gerade, die eine Kurve an einem einzigen Punkt berührt, ohne diese zu schneiden. Die *Steigung* der Tangente stimmt überein mit der Steigung der Kurve an genau diesem Punkt.

**Tiefensuche** Ein Suchverfahren für *Graphen*. Während die *Breitensuche* zuerst die unmittelbaren *Nachbarn* des Ausgangspunkts absucht, schreitet die Tiefensuche so lange in eine Richtung, bis es nicht weiter vorwärtsgeht. Bei einem baumförmigen *Graphen* wird also zunächst der erste Endknoten besucht.

**Trainingsdaten** Daten, die für das *überwachte Lernen* eines *neuronalen Netzes* benötigt werden. Diese bestehen im Idealfall aus sehr vielen Trainingsbeispielen. Jedes einzelne Beispiel besteht aus einer Eingabe und der zugehörigen korrekten Ausgabe.

**Transaktion** In der *Assoziationsanalyse* ein *Itemset*, das tatsächlich aufgetreten ist, zum Beispiel ein Warenkorb oder eine Playliste.

**Transformer** Bauform *neuronaler Netze*, die hinter bahnbrechenden KI-Anwendungen wie der Übersetzungssoftware DeepL und Chatbots wie Bard oder ChatGPT steht. Wesentliche Bestandteile sind *Wort-* und *Sequenzeinbettungen* sowie *Aufmerksamkeitsmechanismen*.

**tSNE-Verfahren** Abkürzung für »t-distributed Stochastic Neighbor Embedding« – ein Verfahren zur Dimensionsreduktion, das der Visualisierung von Daten aus *hochdimensionalen Räumen* dient. Vereinfacht gesagt, ermittelt es die Nachbarschaftsverhältnisse von Datenpunkten im hochdimensionalen Raum und ordnet die Punkte dann so in einem zwei- oder dreidimensionalen Raum an, dass die Nachbarschaftsverhältnisse bestmöglich erhalten bleiben.

**Überanpassung** Das zu vermeidende »Auswendiglernen« der *Trainingsdaten* beim *überwachten Lernen* eines *neuronalen Netzes*.

**Überwachtes Lernen** Ein Verfahren zum Training *neuronaler Netze*, bei dem *Trainingsdaten* in das Netz eingespeist werden und die tatsächlichen Ausgaben mit den bekannten korrekten Ausga-

ben verglichen und zur Justierung des Netzes genutzt werden, um künftige Fehler zu minimieren.

**Umwelt** Im *verstärkenden Lernen* stellt eine Umwelt das Spiel oder das Problem dar, das gelöst werden soll. In der Umwelt ist zudem definiert, welche Positionen mögliche Startpositionen sind, welche Aktionen ein *Agent* ausführen kann und welche Zustände mit einer Belohnung verknüpft sind.

**Validierungsdaten** Ein Teil der *Trainingsdaten* beim *überwachten Lernen* eines *neuronalen Netzes*, der nicht zum Trainieren, sondern zur Überprüfung des Trainingsergebnisses verwendet wird. Dies dient vor allem dazu, eine *Überanpassung* festzustellen.

**Vektor** Ein mathematisches Objekt, das eine Parallelverschiebung in einem n-dimensionalen Raum beschreibt. In einem zweidimensionalen Raum kann ein Vektor durch zwei Zahlen repräsentiert werden, die sich wie eine Wegbeschreibung lesen lassen: (1, 2) würde dann bedeuten: »Gehe einen Schritt nach rechts und zwei nach oben.« In Abbildungen werden Vektoren meist durch Pfeile dargestellt.

**Verdeckte Schicht** Jedes *neuronale Netz* besitzt eine *Eingabe-* und eine *Ausgabeschicht*. Dazwischen können sich eine oder mehrere verdeckte Schichten befinden.

**Verlustfunktion** Eine Funktion, die beim Training eines *neuronalen Netzes* den Fehler an der Ausgabeschicht berechnet. Ziel des Trainings ist die Minimierung dieses Fehlers.

**Verstärkendes Lernen** Eine Klasse von Verfahren, bei der ein *Agent* lernt, selbstständig ein Ziel zu erreichen, indem er eine veränderliche *Umwelt* erkundet und Rückmeldungen für seine Aktionen in Form von Belohnungen und Bestrafungen erhält. Ähnliche Lernprozesse lassen sich bei Menschen und Tieren beobachten.

**Wahrscheinlichkeit** Ein Maß für die Erwartbarkeit eines Ereignisses, von dem wir nicht wissen, ob es eintreffen wird oder nicht. In der Mathematik und der Informatik wird sie mit einer Zahl zwischen 0 und 1 ausgedrückt.

**Worteinbettungen** Anordnungen von Wörtern in einem *hochdimensionalen Raum*, bei denen sinnhafte und grammatikalische *Relationen* zwischen den Wörtern als räumliche Relationen darstellbar und damit als *Vektoren* berechenbar werden.