

Vom Suchen und Finden

(aus Jäkel (2025) *Intelligente Täuschung*)

Als ich meine erste Vorlesung zu KI besuchte, hatte ich Bilder aus Science-Fiction-Filmen im Kopf. Aber schon in der ersten Sitzung gab sich der Dozent alle Mühe, diese Vorstellungen zu zerstören: »Künstliche Intelligenz ist ein Teilgebiet der Informatik, das sich sehr viel mit Suchen beschäftigt.« Wenn der Titel der Vorlesung nicht »Methoden der KI« gewesen wäre, sondern »Suchalgorithmen«, wer weiß, ob ich sie überhaupt freiwillig belegt hätte. Ein Beispiel für ein Suchproblem, das jeder kennt, ist die Routenplanung beim GPS im Auto oder auf der Homepage der Bahn. Sie wollen zum Beispiel von Berlin nach München fahren und der Computer sucht für Sie den schnellsten Weg. Automatische Routenplanung ist heute so alltäglich, dass wir uns keine Gedanken darüber machen, wie sie funktioniert. Früher musste man, bevor man losfuhr, eine Landkarte aus Papier studieren. Eine Route zu planen, erfordert eine gewisse Intelligenz, wenn Menschen das tun. Daher kann man bei automatischer Routenplanung zurecht von KI sprechen. Tatsächlich sind die Suchalgorithmen, die dabei zum Einsatz kommen, klassische Methoden der KI, wie sie in jedem Einführungskurs zu KI vorkommen. Um KI wirklich zu begreifen, muss man zunächst einmal Suchalgorithmen verstehen.

Stellen Sie sich vor, wir stehen am Weltraumbahnhof auf dem Planeten Alderaan und wollen zum Planeten Endor reisen. Leider gibt es keinen Direktflug. Aber am Terminal hängt ein Shuttleplan, auf dem alle Verbindungen zwischen den Planeten übersichtlich aufgeführt sind:

3 Alderaan-Bespin	Die Zahl am Anfang der Zeile zeigt jeweils an, wie viele Monate die Reise dauert. Wie kommen wir jetzt am schnellsten von Alderaan nach Endor?
2 Alderaan-Felucia	
3 Bespin-Alderaan	
2 Bespin-Coreellia	AUFGABE: Erstellen Sie eine Netzkarte. Stellen Sie die Planeten durch Punkte dar, die über Linien miteinander verbunden sind. Wählen Sie die Abstände so, dass sie der Reisedauer in Monaten entsprechen.
1 Bespin-Geonosis	
2 Coreellia-Bespin	
1 Coreellia-Dagobah	
1 Coreellia-Felucia	
1 Dagobah-Coreellia	
1 Dagobah-Endor	
1 Endor-Dagobah	Durch Betrachten der Netzkarte finden Sie schnell die beste Route. Ein Computer, der keine Kamera hat, kann aber keine Karte lesen. Selbst mit Kamera ist Kartenlesen ein schwieriges KI-Problem. Da ein Computer nur Zeichen in seinem Speicher kennt, ist der Shuttleplan in Tabellenform, der voll von Zeichen ist, erst einmal besser zur Verarbeitung in einem Computer geeignet. In der
2 Felucia-Alderaan	
1 Felucia-Coreellia	
1 Geonosis-Bespin	

Tabelle gibt es zwei Shuttles, die in Alderaan abfliegen: eines nach Bespin und eines nach Felucia. Weil wir systematisch vorgehen wollen, schreiben wir beide Verbindungen auf:

3 Alderaan – Bespin
2 Alderaan – Felucia

Der Suchalgorithmus geht jetzt nach einer einfachen Regel vor: Unter den möglichen Routen, die in den verschiedenen Zeilen stehen, wählt er die Zeile mit der bislang kürzesten Reisezeit aus und notiert alle Weiterreisen, die von dort aus möglich sind (wobei wir nicht zurück an einen Ort reisen wollen, an dem wir auf der Route schon waren). Das macht der Algorithmus so lange, bis er die kürzeste Route zum Ziel gefunden hat. Für unsere Reiseplanung nach Endor heißt das: Bis Felucia waren es

bisher zwei Monate und bis Beshin drei Monate, also macht der Algorithmus bei Felucia weiter, weil das bisher die kürzere Reiseroute ist. Von Felucia aus kann man nur nach Corellia reisen. Diese Reise dauert einen Monat. Wir verlängern die Reiseroute von Felucia entsprechend, zählen den einen Monat zu der bisherigen Länge der Reise hinzu ($2+1=3$) und notieren die neue Länge am Anfang der Zeile.

3 Alderaan – Beshin
3 Alderaan – Felucia – Corellia

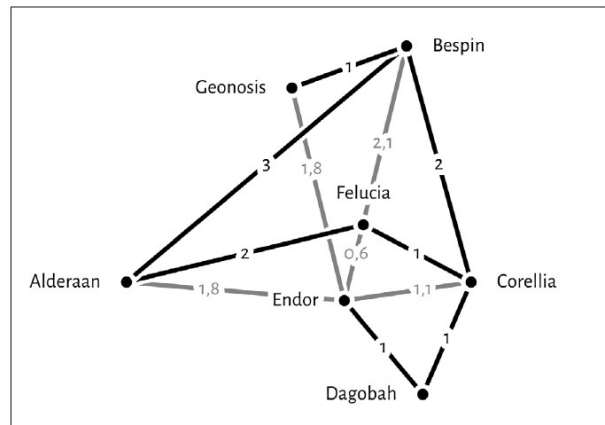
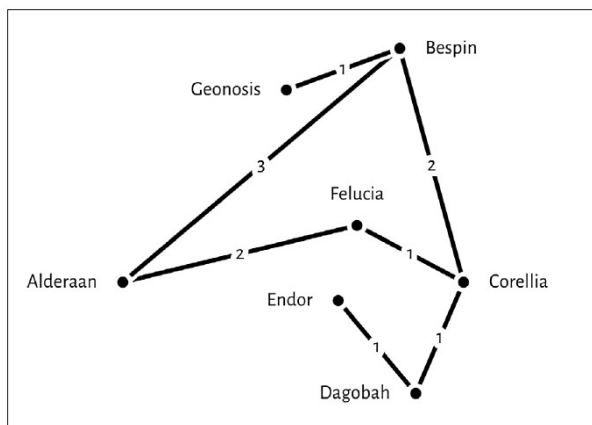
Beide Routen, die wir bisher untersucht haben, sind jetzt gleich lang und keine ist schon in Endor angekommen. Von Beshin aus kann man auch nach Corellia fliegen oder aber nach Geonosis. Beide Möglichkeiten müssen im Blick behalten werden, deshalb notiert der Algorithmus beide.

5 Alderaan – Beshin – Corellia
4 Alderaan – Beshin – Geonosis
3 Alderaan – Felucia – Corellia

So macht der Algorithmus weiter, indem er immer die kürzeste Reiseroute verlängert und die, die in einer Sackgasse enden, entsprechend markiert.

5 Alderaan – Beshin – Corellia – Alderaan – Beshin – Geonosis
5 Alderaan – Felucia – Corellia – Beshin
5 Alderaan – Felucia – Corellia – Dagobah – Endor

Der Algorithmus hat jetzt systematisch alle Routen untersucht, die man in höchstens fünf Monaten von Alderaan aus erreichen kann. Unter diesen haben wir eine Reiseroute nach Endor gefunden, die genau fünf Monate benötigt. Da wir unter den kürzeren Routen keine gefunden haben, die bis Endor kommt, ist die gefundene Route nach Endor die kürzeste. Dieser Suchalgorithmus ist nicht besonders schlau. Sie haben wahrscheinlich anhand der Netzkarte intelligenter gesucht und zuerst einmal geprüft, wohin man von Alderaan aus fliegen kann. Nämlich nach Beshin und nach Felucia. Aber dann haben Sie schnell gesehen, dass Beshin ja in der falschen Richtung liegt und dass eine Route über Felucia Sie viel näher an das Ziel Endor heranzuführt. Warum also zuerst prüfen, wo man von Beshin aus hinfliegen kann, statt gleich auf die Felucia-Route zu setzen?



Mit Heuristiken geht es meistens schneller

Zur Verteidigung des Algorithmus muss man sagen, dass Sie durch die Netzkarte mehr Informationen besitzen als der Algorithmus, der nur den Shuttleplan in Tabellenform hat. In der Tabelle stehen nur die Reisezeiten zwischen den Planeten, zwischen denen es eine Shuttleverbindung gibt. Da der Algorithmus die Karte nicht sehen kann, kann er nicht wie Sie auf einen Blick erkennen, dass Felucia viel näher an Endor liegt als Beshin. Wie die Karte in Abbildung 2 zeigt, liegt Felucia nur 0,6 Monate Luftlinie von Endor entfernt, Beshin aber 2,1 Monate.

Statt einem Bild der Karte stellen wir dem Algorithmus jetzt für jeden Planeten die Koordinaten zur Verfügung, damit er ausrechnen kann, wie weit ein Planet vom Zielplaneten Endor entfernt ist. Mit dieser Zusatzinformation kann der Algorithmus sich so schlau wie Sie verhalten. Er kann dann nämlich abschätzen, ob eine Route vielversprechend ist oder nicht. Das macht er, indem er für jede Route ausrechnet, wie lang sie im besten Fall sein wird. Für unsere Reiseplanung von Alderaan nach Endor heißt das: Von Alderaan aus kann man nach Beshin und Felucia fliegen, also notiert auch der verbesserte Algorithmus zunächst die zwei potenziellen Routen.

3+2,1 Alderaan – Beshin
2+0,6 Alderaan – Felucia

Neben der bisherigen Reiselänge steht nun zusätzlich eine Abschätzung, wie lang die Restroute nach Endor bestenfalls wird, wenn wir über Beshin oder Felucia reisen. Von Alderaan nach Beshin sind es 3 Monate. Wenn wir von Beshin direkt nach Endor fliegen könnten, wären es von dort noch 2,1 Monate Reisezeit. Das kann der Algorithmus anhand der Koordinaten der Planeten leicht ausrechnen (und wir sehen das in der Netzkarte). Das heißt, dass die Route von Alderaan nach Endor über Beshin insgesamt mindestens 5,1 Monate dauert. Bestenfalls. Weil man von Beshin aus nicht direkt fliegen kann, dauert es länger. Da die Reise von Alderaan nach Felucia 2 Monate dauert und Felucia 0,6 Monate Luftlinie von Endor entfernt ist, dauert diese Reiseroute mindestens 2,6 Monate. Also sieht für den verbesserten Algorithmus die Reiseroute über Felucia vielversprechender aus. Daher untersucht er, wie es von Felucia aus weitergehen kann. Man kann von dort nur nach Corellia fliegen und das dauert einen Monat.

3+2,1 Alderaan – Beshin
3+1,1 Alderaan – Felucia – Corellia

Wir machen genauso weiter und verlängern immer die vielversprechendste Route, bis wir in Endor angekommen sind.

3+2,1 Alderaan – Beshin
5+2,1 Alderaan – Felucia – Corellia – Beshin
5+0,0 Alderaan – Felucia – Corellia – Dagobah – Endor

Da die so gefundene Route nach Endor insgesamt 5 Monate dauert und alle anderen möglichen Routen selbst im besten Fall länger dauern, ist das die kürzeste Route. Diesen Suchalgorithmus, der für jede Route abschätzt, wie lange die Reise wohl insgesamt dauern wird, nennt man in der KI-Forschung kurz und prägnant: A* (A-Stern ausgesprochen). Die Abschätzung, wie lange die Reisezeit zum Zielplaneten noch ist, nennt man auch »Heuristik«. Was A* macht, ist deshalb ein Beispiel für eine sogenannte heuristische Suche. In unserem Planetenbeispiel bleibt diese heuristische Suche mit der Route möglichst nah an der direkten Fluglinie zwischen Start- und Zielplanet.