

# Q-Lernen und “Tiefes” Q-Lernen

Bernd Porr

29. April 2022

<https://github.com/berndporr/q-lernen>

## 1 Traditionelles Q-Lernen

Q-lernen ist ein Lernalgorithmus wo eine Agentin selbständig lernt ihre Belohnung zu maximieren.

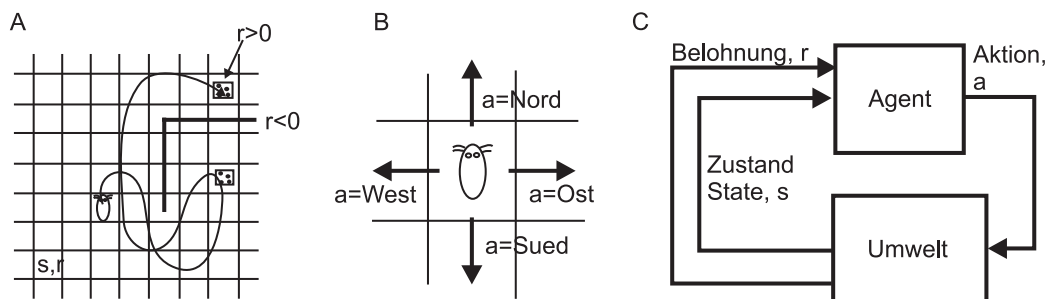


Abbildung 1: Zustandsraum und Aktionen einer autonomen Agentin (z.B. eine Maus), die Futter sucht.

Abb. 1 zeigt eine klassische 2D-Welt, in der sich eine solche Agentin (hier eine Maus) bewegt. Abb. 1A zeigt den Zustandsraum. In diesem Beispiel ist der Zustandsraum 2D, in dem sich die Agentin bewegen kann. Manche Zustände sind durch Wände verboten und bei anderen gibt es eine Belohnung (als “Käse” gekennzeichnet). Zustände werden mit  $s$  gekennzeichnet und wenn sie zum Zeitpunkt  $t$  passieren, dann wird das als  $s_t$  gekennzeichnet. Jeder Zustand besitzt

auch eine skalare Belohnungsvariable  $r$ , die positiv  $r > 0$  ist, wenn es eine Belohnung gibt und negativ  $r < 0$ , wenn der Zustand bestraft werden soll. Für alle anderen Zustände ist  $r = 0$ .

Abb. 1B zeigt die möglichen Aktionen  $a$ , die die Agentin durchführen kann. Eine Aktion bewirkt eine Bewegung von einem Zustand  $s_t$  zum Zeitpunkt  $t$  zum Zustand  $s_{t+1}$  und evtl gibt es eine Belohnung ( $r > 0$ ) oder eine Bestrafung ( $r < 0$ ).

Abb. 1C illustriert, wie man die Interaktion zwischen der autonomen Agentin und Umwelt als geschlossenes System interpretieren. Jede Aktion  $a$  der Agentin erzeugt einen neuen Zustand  $s$  und gegebenenfalls auch eine Belohnung  $r$ .

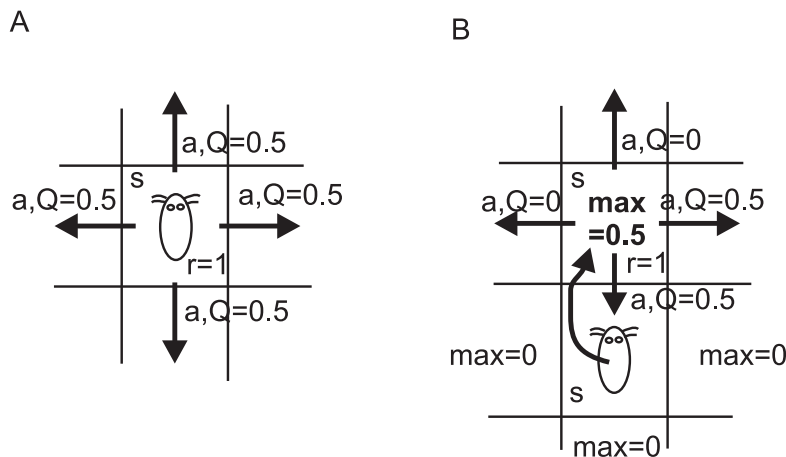


Abbildung 2: Lernschritte von Q-learning. A) Die Agentin befindet sich direkt auf der Belohnung. Das führt dazu, dass alle Q-Werte gleichermaßen erhöht werden, z.B. auf 0.5 mit einer Lernrate von  $\alpha = 0.5$ .

Die Frage stellt sich nun, wie die Agentin von jeder beliebigen Stelle  $s$  die Belohnungen findet. Das wird erreicht, indem jede Aktion  $a$  bezüglich eines Zustandes  $s$  eine Hilfsvariable erhält, die wir  $Q(s, a)$  nennen (siehe Abb. 2A). Jede Aktion  $a$  in einem Zustand  $s$  erhält damit verschiedene Q-Werte. Das Ziel ist es, den Aktionen einen hohen Q-Wert zu geben, die maximale Belohnung versprechen. In diesem Beispiel erhält jeder Zustand  $s$  vier Q-Werte (Nord, West, Ost und Süd). Anfänglich sind alle Q-Werte null werden dann mit Hilfe der iterativen

Bellmangleichung bestimmt:

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \underbrace{\left[ r(s) + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right]}_{\delta(s, a)} \quad (1)$$

wo  $\alpha$  die Lernrate ist und  $0 < \gamma < 1$  der “discount Factor” der zukünftige Belohnungen abwertet. Für die Beispiele hier nehmen wir einfach an, dass  $\alpha = 0.5$  und  $\gamma = 1$  ist.

Die Q-Werte werden nun iterativ gelernt, wobei die Agentin Zufallsaktionen  $a$  durchführt und dann  $Q(s, a)$  aktualisiert wird. Die Agentin kann immer einen Schritt voraussehen, also quasi über die Schwelle zu einem anderen Zustand gucken. Das wird in Q-Lernen “Beobachtung” genannt. Mehr kann die Agentin nicht sehen. Am Anfang sind alle Q-Werte null. Nur die direkte Belohnung kann diesen Q-Wert von Null erhöhen, was in Abb. 2A gezeigt wird. Bei einer Lernrate von  $\alpha = 0.5$  ergibt das dann für alle Aktionen einen Q-Wert von 0.5.

Der entscheidende Trick ist aber nun, wenn bei der nächsten Zufallswanderung die simulierte Maus einen Schritt vor der primären Belohnung steht und  $Q(s, a)$  nicht mehr überall null ist. Abb. 2B zeigt nun die Agentin einen Schritt vor der Belohnung. Die Maus schaut also nun in die verschiedenen Felder um sich herum und bestimmt dort den maximalen Q-Wert  $\max_{a'} Q(s', a')$ , vergleicht den mit dem aktuellen Q-Wert  $Q(s, a)$  und korrigiert dann den aktuellen Q-Wert anhand der Lernrate. Aus diesem Grunde wird der Term  $\delta(s, a)$  auch Vorhersagefehler oder im Englischen “Reward Prediction Error” (RPE) genannt.

Das Experiment in Abb. 2 wird nun mit der Formel. 1 viele Male mit Zufallswanderungen bei einer maximalen Laufzeit  $T$  wiederholt, bis der Fehler  $\delta$  im Mittel Null ist also die Q-Werte sich nicht mehr ändern. Das Endergebnis gibt dann eine Vorhersage der gesamten Belohnung in Abhängigkeit von  $s$  und  $a$ :

$$Q(s, a) = \sum_{t=0}^T \gamma^t r_t \quad (2)$$

wo  $T$  die Gesamtzeit ist, die Aufgabe zu erledigen.

Soweit haben wir nur eine Matrix von Q-Werten aber wie kann diese Matrix nun verwendet werden, um schnell alle Belohnungen zu sammeln und Bestrafungen zu vermeiden? Einfach indem die Agentin sie immer in den Zustand  $s$  springt, welches den höchsten Q-Wert hat. Das nennt sich eine “Policy” oder “Strategie”. Solch eine Strategie nennt sich “gierig” oder “greedy”, da sie immer die lokal stärkste Belohnung erarbeitet.

Praktisch gesehen, werden normalerweise das Lernen von  $Q$  ("exploration") und das Ausführen der Strategie ("exploitation") gemischt. Das "Taxi"-Programm in Python zeigt, wie man es macht und auch, wie man openAI's "Gym" verwendet: <https://github.com/berndporr/q-lernen/tree/main/taxi>

## 2 Tiefes Q-Lernen

Beim tiefen Q-lernen wird  $Q(s, a)$  nicht iterativ anhand einer Q-Tabelle ausgerechnet sondern mit Hilfe eines Deep Neuronal Nets. Dieses Netz berechnet dann gleichzeitig alle Q-Werte bezüglich eines Zustandes. Z.B in Abb. 2 sitzt die Maus im Zustand  $s$  und kann 4 Aktionen ausführen. Ein Neuronales Netz kann dann die Q-Werte für  $Q(s, \text{Nord})$ ,  $Q(s, \text{Sued})$ ,  $Q(s, \text{West})$ ,  $Q(s, \text{Ost})$  gleichzeitig ausgeben und dann kann die Agentin anhand der "gierigen" Strategie die Aktion mit dem höchsten Q-Wert ausführen lassen.

Wie wird bei deep Q-learning gelernt? Wenn man sich Gl. 1 ansieht ist Lernen nichts anderes als den Fehler  $\delta(s, a)$  mit Hilfe von Error-Backpropagation durch das Netz zu schicken, was jedes Deep Net erledigen kann, z.B. Tensorflow. Weil Deep Nets mit einem grossen Zustandsraum klarkommen kann man diese nicht nur mit x/y-Koordinaten am Eingang füttern sondern z.B. einfach die Vogelperspektive des ganzen Gitters von Abb. 1 zur Verfügung stellen. Das wurde z.B. bei Deep Minds's Atari-Game gemacht.

Tensorflow und tiefes Q-Lernen: [https://www.tensorflow.org/agents/tutorials/0\\_intro\\_rl](https://www.tensorflow.org/agents/tutorials/0_intro_rl)