



# REINFORCEMENT LEARNING – WARTEN ODER STARTEN?

Praxisleitfaden für KI-Projekte  
in der Produktion

# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> Reinforcement Learning in der Produktion	<b>Seite 4</b>
<b>2</b>	<b>Praxisinterview</b> Künstliche Intelligenz im Lager	<b>Seite 8</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b> Was steckt hinter dem Begriff „Reinforcement Learning“?	<b>Seite 12</b>
<b>4</b>	<b>Übersicht</b> RL in der Praxis	<b>Seite 16</b>
<b>5</b>	<b>Leitfaden</b> Schritt für Schritt zum RL-System	<b>Seite 18</b>
<b>6</b>	<b>Checkliste</b> Schritt für Schritt zum RL-System	<b>Seite 23</b>
<b>7</b>	<b>Angebote der Zentren</b>	<b>Seite 24</b>

---

## IMPRESSUM

### Verleger

Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-,  
Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV  
Am Technologiezentrum 2 • 86159 Augsburg

Als rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V.  
Hansastraße 27c • 80686 München

Tel.: 0821 90678-0 • Fax: 0821 90678-40  
E-Mail: [info@igcv.fraunhofer.de](mailto:info@igcv.fraunhofer.de)

### Rechtsform

Die Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite-  
und Verarbeitungstechnik IGCV ist eine rechtlich nicht selbst-  
ständige Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e.V.

### Vertretung

Präsident des Vorstandes: Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer

### Druckerei

Flyeralarm GmbH • Alfred-Nobel-Straße 18 • 97080 Würzburg

### Gestaltung

zwetschke GmbH & Co. KG  
Proviantbachstraße 1½ • 86153 Augsburg

Dieser Leitfaden ist aus der redaktionellen Zusammenarbeit der  
Zentren Augsburg und Kaiserslautern entstanden.

### Autoren

Marcus Röhler • Fraunhofer IGCV  
Keran Sivalingam • DFKI  
Pascal Rübel • DFKI  
Laura Merhar • Fraunhofer IGCV  
Larissa Theis • DFKI

### Bildnachweise

© Gorodenkoff / AdobeStock (S. 1, 6, 18, 21)  
© zapp2photo / AdobeStock (S. 4)  
© 상우 이 / AdobeStock (S. 15)  
© Monopoly919 / AdobeStock (S. 25)

### Stand

August 2021

## BESTÄRKENDES LERNEN

# REINFORCEMENT LEARNING IN DER PRODUKTION

Automatisierung ist in der heutigen Produktion nicht mehr wegzudenken. Seit vielen Jahren trägt sie zur Steigerung der Produktivität bei, ist aber vor allem in größeren Unternehmen zu finden. Was bislang für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) aufgrund von vielen Bauteilvarianten und Handhabungsszenarien schwierig zu automatisieren war, bekommt neuen Aufwind durch maschinelle Lernverfahren.

Maschinelle Lernverfahren erweitern Automatisierungslösungen um die Fähigkeit, die Umgebung wahrzunehmen und sich selbstständig anzupassen. KMU wird es so möglich, Automatisierungslösungen auch für eine Vielzahl von Bauteilen und in verschiedenen Situationen anzuwenden. Ein dafür vielversprechendes Lernverfahren: Das Reinforcement Learning.

Reinforcement Learning (dt. bestärkendes Lernen) stellt neben überwachtem und unüberwachtem Lernen eine der drei grundsätzlichen Lernmethoden des maschinellen Lernens dar.

Beim **überwachten Lernen** arbeitet der Algorithmus mit historischen Daten – er lernt also aus den Zusammenhängen früherer Aufgaben und sagt so die Antworten bei neuen Datensätzen voraus. Auf Basis vorliegender Datensätze können so zum Beispiel Gut- und Schlechteile erkannt (Klassifikation) oder die verbleibende Lebenszeit eines Werkzeugs bestimmt werden (Regression). Beim **unüberwachten Lernen** liegen keine Antworten vor. Hier wird versucht, aus vorliegenden Daten Muster zu erkennen, um die Daten beispielsweise einzelnen Gruppen zuzuordnen zu können (Clustering) oder Ausreißer in laufenden Prozessdaten aufzudecken (Ausreißerererkennung).



### Was ist Reinforcement Learning?

Beim Reinforcement Learning lernt das System durch Feedback in Form von Belohnung oder Bestrafung optimale Aktionsfolgen auszuführen. Es interagiert mit einer realen oder simulierten Umwelt, führt darin Aufgaben aus und lernt von selbst, welche Aktionen zur maximalen Belohnung und damit zur bestmöglichen Aufgabenerfüllung führen.

Das Grundprinzip des Reinforcement Learning ist bereits lange aus der Verhaltenspsychologie bekannt. Erst seit ein paar Jahren ermöglicht Deep Learning allerdings, riesige Datenmengen zu verarbeiten und so den Weg für neue intelligente Systeme zu ebnet.

Für die Industrie ergibt sich dadurch ein großes Potenzial: Jetzt lassen sich Prozesse in Umgebungen automatisieren, die bisher zu unstrukturiert oder komplex für herkömmliche Automatisierungslösungen waren. Beim Einsatz von Reinforcement Learning muss nicht mehr vorgedacht werden, mit welcher Logik oder welchen konkreten Aktionsfolgen eine Maschine ihr Ziel erreicht, sondern nur das Ziel selbst definiert werden. Das System lernt dann von selbst, in jeder Situation und unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen, was die beste Entscheidung ist.



Der Praxisleitfaden richtet sich an Entscheidende aus dem Produktionsumfeld wie Geschäftsführer:innen, Bereichsleiter:innen oder Automatisierungsbeauftragte. Sie erhalten einen Einblick in die Möglichkeiten von Reinforcement Learning (RL) sowie wesentliche Kriterien für den Start und die Durchführung von RL-Projekten in Ihrem Unternehmen. Dazu beantwortet Ihnen der Leitfaden folgende Fragen:

#### **Was steckt hinter dem Begriff Reinforcement Learning?**

Im Grundlagen-Kapitel werden alle Begriffe rund um Reinforcement Learning einfach erklärt. Erläutert wird zudem, warum RL gerade heute relevant wird und welche Anwendungsmöglichkeiten es für die Industrie gibt. Das Praxisinterview ab Seite 8 schildert einen Anwendungsfall und den Weg bis zum Erfolg aus Sicht eines Unternehmens.

#### **Wo wird RL bereits eingesetzt?**

Die Infografik auf den Seiten 16 und 17 gibt Ihnen einen Überblick über Anwendungsfälle aus verschiedenen Unternehmensbereichen, die bereits in der Praxis umgesetzt wurden. Vielleicht ergibt sich für Sie eine ähnliche Anwendungsmöglichkeit in Ihrem Unternehmen?

#### **Was sind die ersten Schritte bei der Einführung und auf was muss ich achten?**

Der Leitfaden ab Seite 18 beschreibt Schritt für Schritt, wie Sie den passenden Anwendungsfall finden, welche Mitwirkenden wichtige Rollen im Projekt einnehmen, was für die Gestaltung einer Trainingsumgebung nötig ist und wie die Integration ins reale Umfeld klappt.



Die Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren und Mittelstand-Digital Zentren bieten verschiedene kostenfreie Unterstützungsmöglichkeiten an. Ab Seite 24 sind die Angebote für Sie zusammengefasst.

# KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM LAGER

## BEIM ELEKTROGROBHÄNDLER OBETA LERNT EIN ROBOTER DAS KOMMISSIONIEREN

Das Familienunternehmen Oskar Böttcher GmbH & Co. KG (Obeta) mit deutschlandweit knapp 1.000 Mitarbeitenden und Sitz in Berlin versorgt als Großhandelsunternehmen das Elektrohandwerk mit rund einer Million Artikeln, wovon über 30.000 Artikel ständig auf Lager sind. Im Versand unterstützt ein Roboter, der durch den Einsatz von Reinforcement Learning selbst lernt, bislang unbekannte Gegenstände richtig zu greifen und wieder abzulegen. Im Interview erklärt Geschäftsführer Dr. Dirk Jandura, wie das Projekt trotz einiger Hürden erfolgreich wurde.

» © Oskar Böttcher GmbH & Co. KG



### Der Anwendungsfall

Der Roboter nimmt über sechs Kameras seine Umgebung wahr und ist damit in der Lage, verschiedenste zugeführte Artikel aus ihren Behältern zu entnehmen und in den entsprechenden Versandkartons abzulegen. Im Unterschied zu herkömmlichen Kommissionier-Robotern muss dieser Roboter mit tausenden unterschiedlichen Objekten umgehen können und diese im Karton ablegen. Möglich wird das durch Reinforcement Learning. Dabei lernt der Roboter durch mehrmaliges Ausprobieren selbst, neue Gegenstände zu hantieren. Über den Cloud-Ansatz des Start-ups Covariant werden neue Erfahrungen zentral im „Covariant Brain“ gespeichert. Alle weltweit mit der Cloud verknüpften Roboter lernen so mit jeder Anwendung dazu.

### Herr Jandura, wie sind Sie dazu gekommen, Künstliche Intelligenz einzuführen?

Dazu muss ich etwas ausholen, denn der Startpunkt liegt schon etwas zurück. Wir sind grundsätzlich sehr offen gegenüber Innovationen und immer auf der Suche nach neuen Technologien, die wir bei uns testen und anwenden können. Im Jahr 2014 hatten wir gerade die Planungen zur Erweiterung unseres südlich von Berlin gelegenen Logistikzentrums finalisiert. Als uns dann auf der Logistikkmesse CEMAT von der Knapp AG die Möglichkeiten eines Kommissionierroboters anhand eines Anwendungsbeispiels aus der Textilindustrie demonstriert wurden, lag es nahe, auch bei unserer manuellen Kommissionierung den Einsatz eines solchen Roboters zu prüfen und in unser Gesamtkonzept einfließen zu lassen.

Gemeinsam mit der Knapp AG haben wir dann einen Roboter bei uns in der Logistik eingeführt, der die Mitarbeitenden beim manuellen Kommissionieren der Artikel im Lager entlasten sollte. Wir wollten uns mit der Technologie vertraut machen und Einsatzmöglichkeiten in unseren Prozessen finden. Die Produktivität des Roboters blieb allerdings zur Enttäuschung beider Seiten überschaubar, denn er war zu unflexibel für die vielen verschiedenen Teile. Es gab ständig Handhabungsfehler bei neu hinzukommenden Artikeln und einen großen Aufwand, die Software bei jedem neuen Fehler anzupassen. Das war natürlich erst einmal ernüchternd für uns.

### Und Sie sind trotzdem drangeblieben?

Auf jeden Fall! Wir haben dafür viel Geld investiert und unserem Anbieter vertraut, dass er die Probleme lösen wird. So war es dann auch. Die Firma Knapp hat das US-amerikanische Start-up Covariant mit ins Boot geholt. Die beiden haben sich Anfang 2019 bei einer Veranstaltung in den USA kennengelernt und sich hier über einen neuen Ansatz ausgetauscht. Covariant entwickelt KI-Anwendungen für Roboter, die, wie wir Menschen, mit jeder neuen Aufgabe selbstständig dazulernen und sich entsprechend anpassen. Also genau das, was uns bis dato fehlte.



Dr. Dirk Jandura  
Geschäftsführung  
© Oskar Böttcher GmbH  
& Co. KG



### Was hat die Künstliche Intelligenz für einen Mehrwert gebracht?

Der Mehrwert liegt darin, dass der Roboter dank der KI-Erweiterung und sechs eingebauten Kameras von selbst neue Teile einlernt. Mit dem klassischen Trial-and-Error-Ansatz bringt er sich selbst bei, unterschiedliche Artikel aufzunehmen und im Versandkarton wieder abzulegen. Zuerst war unser Ziel, 4.000 bis 5.000 Artikel robust zu bearbeiten, jetzt ist der Roboter schon bei ca. 10.000 angekommen. Wahrscheinlich ist sein Maximum erlernbarer Produkte bald erreicht, weil es jetzt noch einige Produkte gibt, die er nur schwierig handhaben kann. Hier warten wir ab, wie die Weiterentwicklung des Systems das in Zukunft lösen kann. Aktuell ist der Roboter rund um die Uhr im Einsatz und hat seine Produktivität seit der Einführung von KI schon mehr als verdreifacht.

### Was waren die Herausforderungen im Projekt?

Komplett fehlerlos läuft es noch nicht. Manchmal liegen die Teile zu eng und die Kraft des Sauggreifers reicht nicht aus, um sie aus dem Behälter zu nehmen. Manche Artikel, wie z. B. Schachteln mit Schrauben, müssen entsprechend zugeklebt sein, damit der Roboter sie robust handhaben kann und keine Einzelteile herausfallen können. Das sollte schon beim Lieferanten berücksichtigt werden und auch bei Ankunft der Ware überprüft werden. Dadurch entsteht ein höherer Aufwand im Wareneingang. Da zu jeder Zeit ein Fehler auftreten kann, muss auch immer ein qualifizierter Mitarbeiter vor Ort sein, der den Roboter richtig zurücksetzen kann. Sonst kommt es zu Komplikationen und im schlimmsten Fall wird der Roboter bei einer falschen Bedienung beschädigt. Das Einlernen der Belegschaft ist also ein wichtiger Teil im Projektvorgehen.

### Automatisierung wird oft damit in Verbindung gebracht, den Menschen zu ersetzen. Das ist hier also nicht der Fall?

Nein, im Gegenteil! Mensch und Roboter nicht in Konkurrenz zueinander, sondern sie ergänzen sich. Während der Mensch sehr schnell und flexibel auf neue Anforderungen reagieren kann, lernt der Roboter durch extremes Ausprobieren eher langsam. Unsere Mitarbeiter merken daher direkt, dass sie weiter eine wichtige Rolle spielen. Ihre Aufgaben werden sogar interessanter, weil der Roboter die eher eintönigen Tätigkeiten übernimmt und sie sich stattdessen intensiv mit dem Roboter befassen. Aber natürlich ist unser Automatisierungsbestreben auch von den demografischen Gegebenheiten vor Ort getrieben. Aufgrund der verkehrsgünstigen Lage und der verfügbaren Flächen hat sich eine große Anzahl von Logistikdienstleistern angesiedelt. Es herrscht dementsprechend quasi Vollbeschäftigung, was uns zunehmend Probleme bei der Personalgewinnung bereitet. Die Optimierung von Prozessen dank neuer innovativer Technologien verspricht dabei ein wenig Abhilfe und Entlastung.

### Wie geht es jetzt weiter? Setzen Sie noch mehr KI-basierte Roboter ein?

Aktuell ist einer von sechs Arbeitsplätzen in der Kommissionierung mit einem KI-basierten Roboter besetzt. Dadurch, dass der Roboter über die Kameras viele wertvolle Daten sammelt und wir dank der Cloud-Lösung auch von den Lernprozessen der Roboter anderer Unternehmen profitieren, gehen wir davon aus, dass das System künftig noch weiter verbessert werden kann. Gibt es dann ein Nachfolgemodell zu einem günstigen Preis oder mit erweiterten Funktionen, könnten wir uns vorstellen, noch einen oder zwei weitere Roboter hinzuzunehmen. Zurzeit stehen aber andere Lagerbereiche im Mittelpunkt unserer Optimierungsüberlegungen.

### Welche Tipps haben Sie für andere Unternehmen?

Das klingt banal, braucht aber viel Durchhaltevermögen: Bleiben Sie am Ball und zwar auch bei Rückschlägen, denn es wird sich lohnen! Künstliche Intelligenz kann enorme Vorteile mit sich bringen. Aktuell braucht es dafür vielleicht noch einen finanziellen und einen Vertrauens-Vorschuss. In Zukunft wird es aber sicherlich auch mehr Out-of-the-box-Lösungen geben. Wir haben zwei kompetente Partner gefunden, die uns auch weiterhin begleiten. Ansonsten können wir nur empfehlen: Seien Sie mutig und gehen Sie ein Stück weit experimentell vor! Während des Einsatzes neuartiger Technologien oder Techniken lassen sich Vor- und Nachteile dynamisch bewerten und ein vielversprechender Prozess kann sich quasi spielerisch etablieren. Das Wichtigste ist aber, sich nicht nur auf die Technik zu konzentrieren. Entscheidend ist, motivierte und technikbegeisterte Mitarbeiter zu finden, die mitentwickeln und sich intensiv mit den Technologien befassen wollen. Sonst wird es mit der Automatisierung nicht funktionieren.



« Der Roboter bringt sich selbst bei, Artikel zu greifen und korrekt in Versandkartons zu platzieren.

© Oskar Böttcher GmbH & Co. KG

# GRUNDLAGEN



## WAS STECKT HINTER DEM BEGRIFF „REINFORCEMENT LEARNING“?

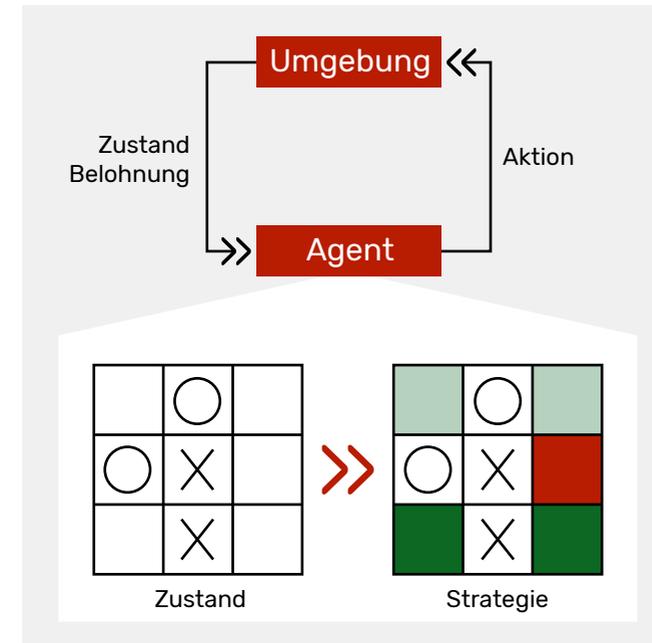
Der Ursprung von Reinforcement Learning liegt in der Verhaltenspsychologie. Diese studierte bereits im 19. Jahrhundert das Lernverhalten von Tieren (z. B. Thorndike's Puzzle Box) und formulierte erste mathematische Modelle für Lernprozesse durch Versuch und Irrtum (engl. Trial and Error) mittels eines Feedbacks – entweder eine Belohnung oder Bestrafung.

Bei KI-Systemen im Reinforcement Learning lernen nicht Tiere, sondern sogenannte Agenten. Ein **Agent** ist eine Software-Einheit bzw. eine Künstliche Intelligenz, die in einem definierten Rahmen eigenständig agiert. Der Agent interagiert mit der **Umgebung** und verändert diese so in ihrem Zustand. Im Praxisbeispiel von Obeta (S. 8 bis 11) steuert der Agent den Kommissionier-Roboter, der die Teile im Wareneingang am richtigen Ort ablegt – also damit in seine Umgebung eingreift.

Das Ziel des Agenten: Für jeden wahrgenommenen Zustand die beste Aktion ableiten. Diese direkte Zuordnung von Aktionen zu Zuständen wird als **Strategie** bezeichnet. Für eine Aktion erhält der Agent ein Feedback durch die Umgebung. Liegt er richtig, erhält er eine **Belohnung**, zum Beispiel einen Punkt (+1), wenn ein Produkt vom Roboter an der richtigen Stelle abgelegt wurde. Liegt er falsch, bestraft ihn die Umgebung durch einen Punktabzug (-1). Die beste Strategie findet der Software-Agent heraus, indem er durch Ausprobieren während des **Trainings** die Auswirkungen seiner Aktionen immer besser einschätzen lernt und stets versucht, die Belohnung langfristig zu maximieren. Im Beispiel von Obeta lernt der Agent so, mehrere tausend Produkte handzuhaben und am richtigen Ort abzulegen, um seine Belohnung zu erhalten.

Der Zielzustand muss nicht unmittelbar mit einer Aktion erreicht werden. Auch wenn das Ziel weiter in der Ferne liegt, stellt der Agent fest, welche Aktionen ihn dorthin gebracht haben.

Ein Beispiel: das Spiel Tic-Tac-Toe, bei dem der Spieler mit drei gesetzten Zeichen (Kreuze oder Kreise) in einer Reihe gewinnt. Während anfangs zufällig Kreuze gesetzt werden, lernt der Agent mit jeder Spielrunde, welche Züge zum Gewinnen und welche zum Verlieren geführt haben. Nach tausenden oder millionen Runden ergibt sich letztendlich eine optimale Strategie.



« Der Agent nimmt den aktuellen Spielzustand wahr und schlägt den optimalen nächsten Spielzug für Kreuz vor (dunkelgrüne Felder).

In einer realen Umwelt wären zufällige Aktionen bei einer Vielzahl von Aufgabenstellungen nicht denkbar und das Training könnte je nach Komplexität einige Jahrtausende dauern. Daher trainiert der Agent meist in einer **virtuellen Umgebung**. In einer Simulation kann der Agent lernen, ohne durch zufällige oder falsche Entscheidungen Schaden anzurichten und ist dabei gleichzeitig je nach Rechenleistung sehr schnell. Damit der Agent aber wirklich produktiv zum Einsatz kommen kann, muss man die Simulation in die Realität übertragen. Weil die Simulation die Realität nie zu 100 Prozent abbilden kann, muss der Agent auch in der realen Umgebung getestet und abgesichert werden, bevor der Betrieb startet.



## WARUM IST REINFORCEMENT LEARNING GERADE HEUTE RELEVANT?

Nicht alle Situationen, in denen Reinforcement Learning zum Einsatz kommen soll, sind so simpel wie die Spielzüge bei Tic-Tac-Toe. Das chinesische Brettspiel Go hat beispielsweise mehr möglich Spielsituationen, als Atome im Universum existieren. Lange galt es als unmöglich, dass ein Computer hier auf das Niveau eines menschlichen Spielers kommen könnte, doch 2016 gelang der Durchbruch mit dem Computerprogramm AlphaGo. Den Sieg hat AlphaGo vor allem dem Einsatz von Deep Learning zu verdanken.<sup>1</sup>

**Deep Learning** ist ein Teilbereich des maschinellen Lernens und eignet sich besonders bei großen Datenmengen. Es nutzt unter anderem künstliche neuronale Netze, in denen das generierte Wissen während des Lernvorgangs immer wieder neu verknüpft wird. Dank hoher Rechenleistungen heutzutage wird so das Erkennen von Mustern und komplexen Zusammenhängen zum Beispiel in der Bilderkennung möglich.<sup>2</sup>

Die Kombination von Deep Learning und Reinforcement Learning – das sog. **Deep Reinforcement Learning** – bringt ganz neue Möglichkeiten mit sich. Intelligente Systeme lösen aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und der Skalierbarkeit von Deep Learning immer komplexere Aufgaben selbstständig und bringen so auch neue Anwendungsfälle in die Industrie.



## WELCHE NEUEN MÖGLICHKEITEN GIBT ES FÜR DIE INDUSTRIE?

Was bisher als zu komplex für Software galt oder bei variierenden Umgebungsbedingungen ständig hätte neu geplant werden müssen, wird durch (Deep) Reinforcement Learning möglich. Während die Forschung derzeit jährlich große Fortschritte macht, halten RL-Systeme dank der neuen Vorteile auch Einzug in die Industrie. **Robotersysteme** wie im Beispiel von Obeta können immer komplexere Aufgaben, wie das Handhaben einer großen Varianz von Objekten, durchführen – selbst wenn die



Randbedingungen nicht konstant sind oder ungeplante Störfälle auftreten wie das Verrutschen von Objekten.

In der **Produktionsplanung und -steuerung** lassen sich beispielsweise Maschinenbelegungspläne in einer komplexen Fertigung und mit vielen Einflussparametern optimal berechnen und bei Eilaufträgen schnell umplanen. Und auch außerhalb der Produktion finden sich viele Einsatzgebiete wie Chatbots im **Kundenservice** oder Unterstützung in der Gestaltung komplexer Gegenstände in der **Produktentwicklung**.

Mit dem Einzug von Reinforcement Learning ändert sich auch die Arbeit der beteiligten Personen im Projekt (s. Seite 19). Bislang mussten vor allem Algorithmen und geeignete Regeln programmiert werden, die relativ starr den Aktionsrahmen des Systems bestimmen. Für RL-Systeme muss die benötigte Umgebung (meist im Simulationsprogramm) passgenau gestaltet und erstellt werden sowie das Feedback für den Agenten in Form einer geeigneten Belohnung definiert und programmiert werden. Dafür ist spezielles Hintergrundwissen nötig.

Auch die Einschätzung der Möglichkeiten von Reinforcement Learning ist nicht leicht. Viele Aufgaben, die uns Menschen einfach fallen, stellen eine große Herausforderungen für KI-Systeme dar. Aktuell ist es daher hilfreich, auf bestehende Anwendungsfälle zurückzugreifen. Die Übersicht auf der nächsten Seite zeigt verschiedene Anwendungsbeispiele für die Praxis.

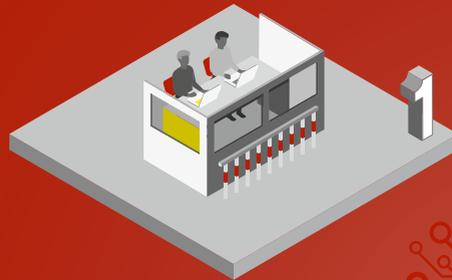
≈ Das chinesische Brettspiel Go hat mehr mögliche Spielsituationen, als Atome im Universum existieren.

<sup>1</sup><https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>

<sup>2</sup> Genauere Erläuterungen und Anwendungsbeispiele finden Sie im KI-Kochbuch von Mittelstand-Digital.

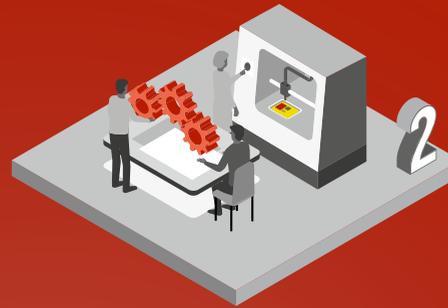
# REINFORCEMENT LEARNING IN DER PRAXIS

Welche Anwendungsfälle existieren bereits?



## 1. PRODUKTIONSPLANUNG

Ein RL-Agent unterstützt bei der Erstellung der Produktionspläne und erreicht damit kürzere Durchlaufzeiten, gleichmäßigere Auslastungen und eine verbesserte Termintreue. Er erreicht bessere Ergebnisse als aktuell gängige Verfahren wie Optimierungsalgorithmen oder -heuristiken.



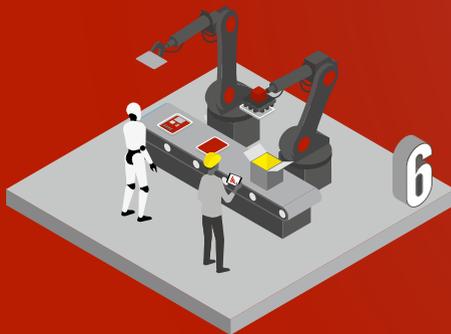
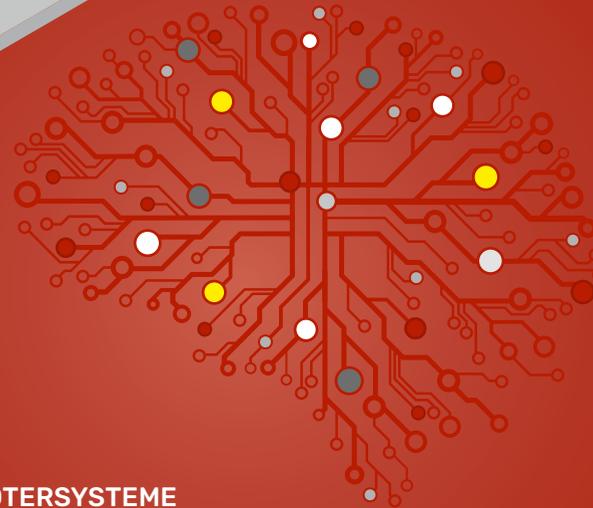
## 2. PRODUKTENTWICKLUNG

Bei der Konstruktion neuer Produkte müssen oftmals mehrere und komplexe Randbedingungen wie Festigkeiten oder Steifigkeiten erfüllt werden. Durch das Feedback der Produkteigenschaften aus der Simulation führt ein RL-Agent die Optimierung des Designs durch. Die Produktentwicklung wird effizienter.



## 3. KUNDENSERVICE

Die durch Machine Learning getroffene Analyse des Kundenverhaltens im Onlineshop kann durch RL weiter verbessert werden. So können den Kund:innen noch präzisere Produktempfehlungen angeboten werden. RL-basierte Chatbots bieten rund um die Uhr einen kompetenten Service und erhöhen die Interaktionsrate.

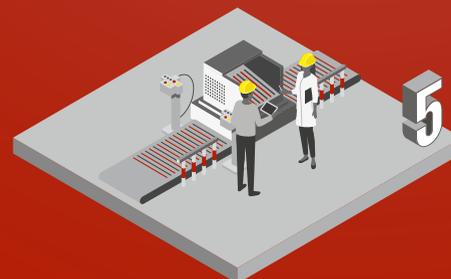


## 6. AUTONOME ROBOTERSYSTEME

Über Sensoren oder Kameras nehmen Roboter ihre Umgebung wahr und führen immer komplexere Aufgaben, wie die Handhabung sehr vieler verschiedener Gegenstände durch.

## 5. PARAMETRISIERUNG

Die Einstellung der richtigen Maschinenparameter ist oftmals ein zeitintensiver, iterativer Prozess. Mit RL wird der Prozess auf Basis vorangegangener Parametrisierungen automatisiert und damit beschleunigt.



## 4. FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME

Vergleichbar mit autonomen Autos können auch flugebundene Transportfahrzeuge mithilfe von RL eigenständig zwischen verschiedenen Orten manövrieren. Dabei sind sie in der Lage, Gegenstände, Menschen und Gefahrensituationen zu erkennen und selbstständig auszuweichen.



## SCHRITT FÜR SCHRITT ZUM RL-SYSTEM

Der Einsatz von Reinforcement Learning ist in bestimmten Bereichen heute schon sinnvoll. Die aufgezeigten Beispiele liefern hierfür einen guten Einblick. Doch wie identifizieren Sie in Ihrem Unternehmen den **Bedarf**? Welche **Aufgaben** kommen bei der Umsetzung auf Sie zu? Welche **Voraussetzungen** müssen geschaffen werden?

RL-Systeme eignen sich vor allem als Entscheidungshilfe in Situationen, die auf kaum zu überblickenden Einflussfaktoren mit verschiedenen Eventualitäten basieren. Reinforcement Learning liefert hier datenbasierte Entscheidungsvorschläge, die Menschen oder Systeme bei ihrer Arbeit unterstützen. Auch Automatisierungslösungen, z. B. in Umgebungen, die bisher zu komplex waren, werden mit RL realisierbar.



# 1

### ANWENDUNGSFALL ANALYSIEREN

Am Anfang der Umsetzung steht, wie bei jedem Projekt, die Phase der Vorbereitung. Wenn Sie bereits Ideen haben, wo der Einsatz von Reinforcement Learning sinnvoll sein könnte, geht es zunächst darum, die Umsetzbarkeit zu analysieren.

Die ersten Fragen lauten: Wie sieht das Ziel aus und was macht den Unterschied zwischen Erfolg und Misserfolg aus? Für den Einsatz eines RL-Algorithmus muss das Ziel **quantifizierbar** sein. Wenn Sie beispielsweise die Marge Ihres Unternehmens steigern möchten, dann quantifizieren Sie das Ziel des RL-Systems in Form von Geldwerten. Wenn Sie die Klickrate in Ihrem Webshop verbessern oder die Durchlaufzeit in Ihrer Fertigungslinie verringern wollen, sind auch das quantifizierbare Größen. Wichtig ist, dass der Zielwert in direktem Zusammenhang zum Problem steht, das es zu lösen gilt. Er sollte sich also an der Problemdefinition orientieren und eine Einheit verwenden, die für Ihre Stakeholder nachvollziehbar ist.



**Leiten Sie eine passende Zielgröße aus Ihrer Problemstellung ab, um das Problem messbar zu machen.**



# 2

### MITWIRKENDE BESTIMMEN

Ist das Problem identifiziert, ist eine **Stakeholder-Betrachtung** sinnvoll. Vor der Umsetzung wird das Projektteam zusammengestellt. Hier sind vor allem zwei Fragen relevant: Welche Kompetenzen und Erfahrungen werden benötigt? Welche davon gibt es hausintern und welche müssen von extern hinzugeholt werden? In RL-Vorhaben sollten mindestens folgende drei Personengruppen eingebunden werden.

Zunächst sind **Domänenexpert:innen** des Anwendungsbereichs notwendig, die eine detaillierte Beschreibung des Problems erstellen. Sie bringen die beste fachliche Erfahrung in diesem Bereich mit.

Außerdem braucht es **Fachexpert:innen für den Reinforcement-Learning-Bereich**, die die Anwendung konzipieren und umsetzen können. Aktuell entstehen viele Start-ups, die sich in diesem Bereich spezialisieren.

Letztlich muss das Projekt durch **Softwareentwickler:innen** implementiert und in die lokale Infrastruktur eingebunden werden. Diese Aufgaben können von der internen IT-Abteilung übernommen werden, wenn die benötigten Kompetenzen vorhanden sind, oder an einen Dienstleister übergeben werden.



**Stellen Sie das passende Projektteam aus internen und externen Stakeholdern zusammen.**



3

### DAS UMGEBUNGSMODELL ERSTELLEN

Damit der Agent in sicherer Umgebung trainieren kann, wird meist eine virtuelle Umgebung erstellt. Die reale Umwelt sollte darin möglichst genau abgebildet werden, damit der Agent realitätsnah agieren kann. Dafür muss zunächst geklärt werden, welche **Informationen** für die Beschreibung der Umwelt benötigt werden. Das können z. B. für die Maschinenbelegung relevante Maschinendaten oder Website-Statistiken wie die Abbruchrate im Webshop sein. Das Problem sollte möglichst genau widerspiegelt werden, aber nicht zu komplex werden, um den Erstellungsaufwand und die Rechendauer überschaubar zu halten. Zudem muss definiert werden, über welche Aktionen ein Agent auf die Umgebung einwirken kann. Die RL-Fachexpert:innen arbeiten dazu eng mit den Domänenexpert:innen zusammen.



Für den Aufbau des Modells ist der **Digitalisierungsgrad** Ihres Unternehmens ausschlaggebend. Für einen RL-Agenten in der Produktionsplanung ist beispielsweise der Digitalisierungsgrad des Maschinenparks relevant. Die entsprechenden **Schnittstellen** liefern die Informationen, die der Agent benötigt. Je nach Anwendungsfall muss also erst der nötige Digitalisierungsgrad geschaffen werden, bevor es mit RL losgehen kann.

Als Faustregel gilt: Je mehr Informationen verfügbar sind, desto besser werden die Entscheidungen des Agenten. Neben der Quantität muss ebenso die **Qualität** der Informationen berücksichtigt werden. Die nötige Datenqualität ist abhängig vom Problem und der Domäne, in der der Agent agieren soll.



**Schaffen Sie den benötigten Digitalisierungsgrad und ein geeignetes Modell, um dem Agenten die nötigen Informationen für das Training und die spätere Anwendung bereitzustellen.**



4

### DAS RL-SYSTEM EINFÜHREN

Die in Schritt 1 identifizierte Zielgröße und das in Schritt 3 erstellte Modell werden nun von den RL-Fachexpert:innen für das **Training** des RL-Agenten eingesetzt. Auch wenn andere maschinelle Lernverfahren eher neue Einblicke zutage bringen, kann es auch hier im Training vorkommen, dass sonst

unerkannt gebliebene Zusammenhänge aufgedeckt werden. In einer großen Produktionslinie werden zum Beispiel plötzlich Abhängigkeiten aufgedeckt, die vorher aufgrund ihrer Komplexität versteckt geblieben wären. Ist der Trainingsprozess abgeschlossen – also hat der Agent seinen Weg zur maximalen Belohnung gefunden – kann der **fertige RL-Agent** auf das reale Problem angewendet werden.

Je nach Anwendungsfall birgt diese „Integration in die Realität“ unterschiedliche Herausforderungen. Soll der RL-Agent bei Entscheidungen unterstützen, muss die neue Entscheidungshilfe in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden. Mitarbeitende gilt es über die Vorteile zu informieren und im Umgang mit dem System zu schulen. Wird wie im Praxisbeispiel von Obeta ein Roboter eingesetzt, muss dieser auch noch in der realen Umgebung ausgiebig getestet und abgesichert werden. Wird der Agent auf das reale Problem angewendet, können auch noch einmal **neue Einflussfaktoren** auftreten, die kein Teil des virtuellen Umgebungsmodells waren.

Es ist später jederzeit möglich, das Training zu wiederholen und neu auszurollen, zum Beispiel wenn sich Änderungen in der Umgebung oder den Problemstellungen ergeben. So kann auch direkt aus den Erfahrungen während der Betriebsphase gelernt werden. Schließlich unterliegt das Themenfeld Reinforcement Learning selbst einem rasanten Wandel. Durch flexible Anpassungen wächst der RL-Agent mit dem Unternehmen und dessen Veränderungen mit.



**Lassen Sie das System ausreichend trainieren und führen Sie den fertigen Agenten behutsam ein.**



Die Einführung eines RL-Systems ist eine Herausforderung für Unternehmen – vor allem weil sich das Feld so rasant weiterentwickelt. Aufgrund der vielen Potenziale lohnt sich der Start jetzt schon. **Machen Sie sich bereit für die Zukunft!**

## CHECKLISTE

Diese Checkliste fasst die Schritte im Leitfaden zusammen. Bedenken Sie: Vermutlich ist es nötig, dass einige Tätigkeiten von einem externen Dienstleister übernommen werden, sofern intern keine RL-Fachexpert:innen zur Verfügung stehen.



### Schritt für Schritt zum RL-System

#### ■ Anwendungsfall analysieren

*Leiten Sie eine passende Zielgröße aus Ihrer Problemstellung ab, um das Problem messbar zu machen.*

#### ■ Mitwirkende bestimmen

*Stellen Sie das passende Projektteam aus internen und externen Stakeholdern zusammen.*

#### ■ Umgebungsmodell erstellen

*Schaffen Sie den benötigten Digitalisierungsgrad und ein geeignetes Modell, um dem Agenten die nötigen Informationen für das Training und die spätere Anwendung bereitzustellen.*

#### ■ RL-System einführen

*Lassen Sie das System ausreichend trainieren und führen Sie den fertigen Agenten behutsam ein.*

## WEITERE ANGEBOTE RUND UM REINFORCEMENT LEARNING

Die Zentren des Netzwerks Mittelstand-Digital bieten eine Vielzahl kostenfreier Schulungen, Infoveranstaltungen, E-Learning-Angebote und Workshops, in denen maschinelle Lernverfahren (darunter auch Reinforcement Learning) praxisnah erklärt werden.



### MITTELSTAND 4.0-KOMPETENZZENTRUM AUGSBURG

- **Schulung und Webinar: „Maschinelles Lernen“**  
Einsatz von maschinellen Lernverfahren zur Umsetzung intelligenter Systeme
- **Schulung und Webinar: „Künstliche Intelligenz“**  
Grundlagen und Anwendung von künstlicher Intelligenz in der Produktion, darunter maschinelles Lernen
- **Demonstrator: „Künstliche Intelligenz in der Produktion“**  
Einsatz von maschinellem Lernen im Bereich der industriellen Bildverarbeitung



### MITTELSTAND-DIGITAL ZENTRUM KAISERSLAUTERN

- **Umsetzungsprojekte**  
Anwendungen des maschinellen Lernens (z. B. hochautomatisierte optische Qualitätskontrolle)
- **Seminar: „So können Sie KI bereits heute einsetzen“**  
KMU-relevante Themen wie maschinelles Lernen
- **KI-Leitfaden und KI-Kochbuch**  
Infomaterial zu KI-Technologien und Umsetzungsbeispielen



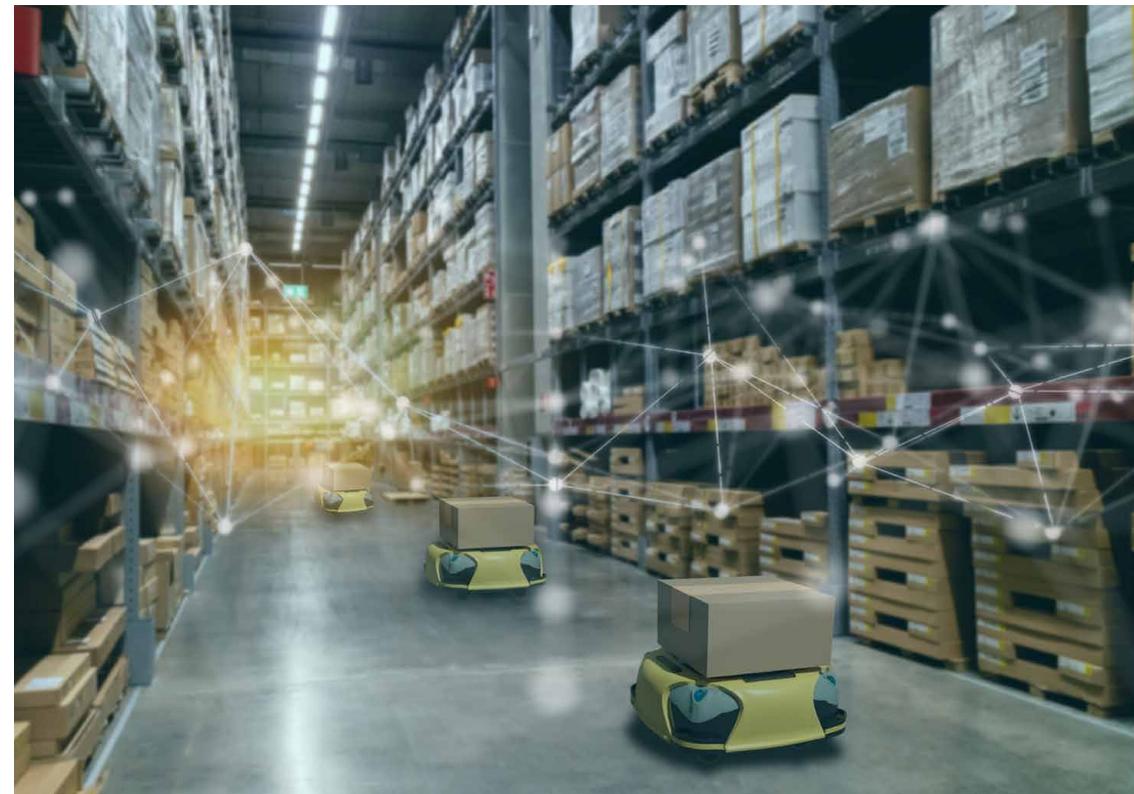
### MITTELSTAND-DIGITAL ZENTRUM HANNOVER

- **Firmengespräche**  
Einführung in das Reinforcement Learning
- **Digitaler Content**  
Use-Cases aus dem industriellen Bereich



### MITTELSTAND 4.0-KOMPETENZZENTRUM HAMBURG

- **Demonstrator: „KI-Demonstrator für Logistik und Supply-Chain-Management“**  
Aufzeigen von Herausforderungen in den Bereichen Logistik und Supply-Chain-Management, die mithilfe von Machine Learning gelöst werden können





#### **MITTELSTAND 4.0-KOMPETENZZENTRUM LINGEN**

- **Demonstrator: „Ventilatoren-Koffer“**  
Verbesserung der vorausschauenden Wartung mithilfe von KI
- **Veranstaltung: „Beispiele erfolgreicher KI-Projekte aus der Region“**  
Unternehmensberichte von erfolgreich umgesetzten KI-Projekten mit Schwerpunkt auf verwendete Daten, Methoden sowie Bereitstellung und Betrieb der KI-Applikationen
- **Plattform: „kicc-prozesse.digital“**  
Aufzeigen von Möglichkeiten der Digitalisierung in KMU insbes. durch Einsatz von Cloud Computing und KI



#### **MITTELSTAND 4.0-KOMPETENZZENTRUM SAARBRÜCKEN**

- **Demonstrator: „Intelligente KI-basierte Qualitätskontrolle“**  
Qualitätssicherung während des Produktionsprozesses durch Sensordatenfusion von Kamera, Laserliniensensor und Kraft-Momentensensor sowie KI-Algorithmen
- **Vortrag: „Reinforcement Learning zur Bestimmung bester Handlungsalternativen in der Montage“**  
Nutzung von Reinforcement Learning in Assistenzsystemen für die manuelle Montage
- **Veranstaltungen: „Praxis Webinar – RPA: Wie baue ich einen Softwareroboter?“**  
Prozessautomatisierung mittels Softwareroboter Schritt für Schritt am Praxisbeispiel umsetzen

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg und das Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern gehören zu Mittelstand-Digital. Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Die geförderten Zentren helfen mit Expertenwissen, Demonstrationszentren, Best-Practice-Beispielen sowie Netzwerken, die dem Erfahrungsaustausch dienen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ermöglicht die kostenfreie Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital. Der DLR Projektträger begleitet im Auftrag des BMWi die Projekte fachlich und sorgt für eine bedarfs- und mittelstandsgerechte Umsetzung der Angebote. Das Wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) unterstützt mit wissenschaftlicher Begleitung, Vernetzung und Öffentlichkeitsarbeit.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)