

# LERNEN WIE EIN KLEINKIND

Ein Roboter, der sich einfache Aufgaben selbst beibringt: Innsbrucker Informatiker sind maßgeblich an der Entwicklung selbstlernender Maschinen beteiligt.



**JUSTUS PIATER** (\*1968 in Bremen) studierte in Braunschweig sowie Magdeburg und schloss 1994 mit dem Diplom ab. An der University of Massachusetts machte er einen M.Sc. und einen Ph.D. in Computer Science, danach war er am Forschungsinstitut INRIA Rhône-Alpes, ehe er 2002 Professor für Informatik an der Université de Liège in Belgien wurde. Seit September 2010 ist er Professor am Institut für Informatik in Innsbruck.

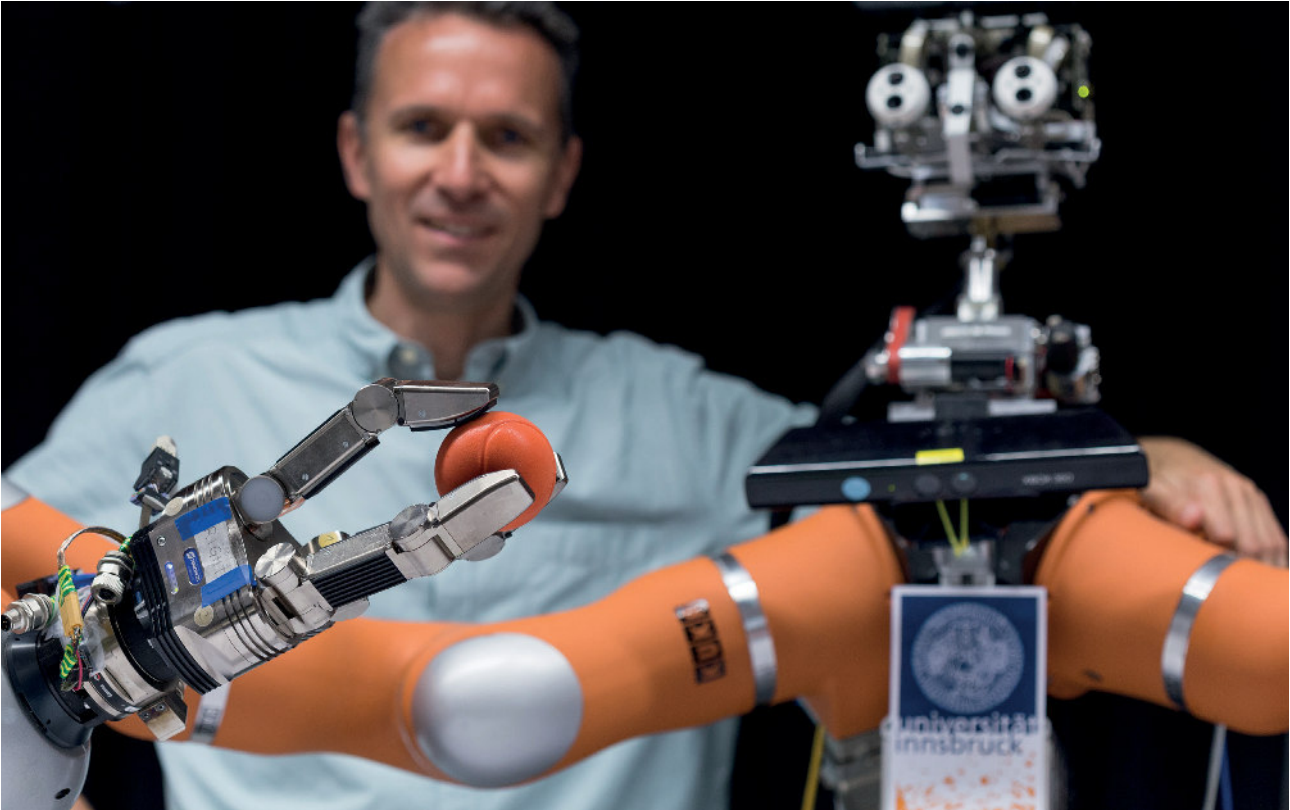
Die drei klobigen Finger seiner rechten Hand greifen gezielt nach einem Plastikbecher, führen ihn über einen größeren Behälter und lassen ihn hineinfallen, der Becher passt genau. Danach fassen sie, etwas ungenau, nach einem mehrere Zentimeter entfernt liegenden Ball. Auch der passt auf den zuvor abgelegten Becher und verdeckt dessen Öffnung. Robin ist bei Publikumsveranstaltungen wie der Langen Nacht der Forschung der unbestrittene Star am Campus Technik: Der etwas grobschlächtige Roboter fasziniert Kinder und Erwachsene gleichermaßen, er interagiert mit Menschen, reicht ihnen Gegenstände oder baut Türme daraus. Mit dieser eigentlich banalen Tätigkeit ist Robin Teil einer technischen Revolution, die die nächsten Jahrzehnte bestimmen wird: Er hat alles das nämlich selbst gelernt, wie ein Kleinkind erkundet er seine Umgebung und bringt sich selbst ihre Beschaffenheit bei, konkret die Eigenschaften von Gegenständen, aus denen er Türme baut. Die Fähigkeit, selbst zu lernen, hat ihm ein Team um Justus Piater von der Arbeitsgruppe Intelligente und Interaktive Systeme des Instituts für Informatik beigebracht. „Wir haben das schwierige Endergebnis – ein Turm aus Gegenständen – in abstraktere Aufgaben heruntergebrochen, die aufeinander aufbauen“, erklärt Justus Piater.

## Anstoßen, fallen lassen

Robin testet selbstständig zuerst die einzelnen Gegenstände und lernt Gesetzmäßigkeiten: Was passiert, wenn ein runder Gegenstand angestoßen wird (er rollt), was, wenn ein eckiger auf einen anderen fallen gelassen wird (er bleibt liegen)? Wie verhalten sich hohle Gegenstände mit Öffnungen im Gegensatz zu robusten? „Diese Versuche führen zu einer Charakterisierung der Gegenstände aufgrund ihrer Merkmale. Robin kennt die Begriffe kastenförmig, zylindrisch, kugelförmig, geschlossen, offen, liegend und aufrecht nicht,

aber die Konzepte, die er lernt, entsprechen diesen Beschreibungen“, erläutert der Informatiker. „Mit diesen Charakterisierungen kann er nach einiger Zeit auch generalisieren: Ein kastenförmiger Gegenstand verhält sich unabhängig von der konkreten Form immer gleich, wenn man ihn auf einer Fläche schiebt. Dem Roboter alle diese Regeln einzuprogrammieren, wäre zwar möglich, aber sehr aufwendig.“ Hat er diese Konzepte durch selbstständiges Versuchen erst gelernt, kann er sie selbst verbinden – und zum Beispiel mehrere Becher und Schachteln stapeln und auch auf Befehle reagieren, etwa „Baue einen möglichst hohen Turm“. Und das auch, wenn er die konkreten Gegenstände vor sich nicht kennt, sofern sie den gelernten Merkmalen entsprechen.

Letztlich wollen die Informatiker allerdings wesentlich höher hinaus: Vom relativ eng gesteckten Ziel des Turmbaus aus Gegenständen hin zu einem Roboter, der seine Umgebung viel umfassender kennenlernen kann. „Dabei stehen wir vor einer Hürde, die sich im Unterschied zwischen menschlichem und maschinellem Lernen zeigt: Menschen lernen intuitiv. Wenn Kleinkinder mit Bauklötzen spielen, lernen sie nicht nur, wie Robin, das Stapeln dieser Klötze – sie lernen auch grundlegende physikalische Eigenschaften der Bausteine kennen, und sie stapeln sie nicht nur, sie machen alles Mögliche mit ihnen, werfen sie zum Beispiel durch den Raum“, sagt Justus Piater. Menschen sind in der Lage, das so angeeignete Wissen auch zu abstrahieren: Wir wissen, mit wie viel Schwung wir einen Gegenstand mit einem bestimmten Gewicht und einer bestimmten Größe werfen müssen, um damit in einen Korb zu treffen – und das intuitiv, ohne komplexe Berechnungen zur Flugbahn anzustellen. Dieses intuitive Lernen ist dem Roboter bisher verschlossen. Zunächst lernt er lediglich assoziativ, indem er Konzepte probiert, so Fakten ermittelt und diese Fakten miteinander



der verbindet: Indem er etwa eine runde Form eines Gegenstands damit verbindet, dass darauf nichts gestapelt werden kann. „Ich glaube, dass viel von dem, was Menschen lernen, auf assoziativen Mechanismen beruht. Für die Robotik ist die Herausforderung dabei, wie man das Problem formuliert: Einfach genug, damit der Roboter es in den Griff kriegt, aber auch nicht zu trivial.“

### Physiksimulation

Einen Schritt über assoziatives Lernen hinaus wollen die Informatiker bald setzen: Robin soll einen Physiksimulator bekommen. „Das würde seinen Handlungsradius wesentlich erweitern, denn plötzlich verstünde er so nicht nur die Form eines Gegenstands, sondern viel mehr Parameter seiner gesamten Umgebung.“ Ein Haushaltsroboter, der selbstständig den Geschirrspüler ein- und ausräumt, rückt so immer näher. Davor sind aber noch einige Herausforderungen zu bewältigen, wie Justus Piater erläutert: „Wie wählt der Roboter unter einer potenziell unbegrenzten Vielzahl möglicher Aktionen solche aus, die ein gewünschtes Lernziel erreichen? Wie kann er sich solche gewünschten Lernziele selbst erdenken? Wie kann er in der immensen sensorischen Datenflut Relevantes von Irrelevantem unterscheiden? Wie kann er am

besten von menschlichen oder künstlichen Lehrern profitieren, zum Beispiel durch gezieltes Stellen von Fragen?“ Ob am Ende künstliche Intelligenz steht, die menschliche Intelligenz und Kreativität überflügelt? Nichts Genaues weiß man nicht, und wer Robin beim Stapeln sieht, glaubt zumindest an einen langen Weg dorthin. Auch Justus Piater dämpft zu hohe Erwartungen: „Roboter als Hilfen etwa im Haushalt sind definitiv denkbar und sehr realistisch. Wir wissen aber nicht, wie weit Intelligenz prinzipiell gesteigert werden kann. Es ist denkbar, dass zum Beispiel informationstheoretische Gesetze existieren, die der erreichbaren Intelligenz Grenzen setzen.“

Die Innsbrucker Informatiker sind mit ihrer Forschung an und um Robin jedenfalls weltweit an vorderster Front tätig – nur sehr wenige Forscherteams arbeiten an Methoden, die es Robotern erlauben, durch aktives Handeln abstrakte Konzepte zu erlernen. Während in den vergangenen Jahren wichtige Teilerfolge erzielt wurden, zum Beispiel in der automatischen, symbolischen Abstraktion von Sensordaten und darauf aufbauender Planung, ist der Innsbrucker Zugang dahingehend einzigartig, dass aufeinander aufbauende Lernerfolge von einem realen Roboter erzielt werden – auf dieselbe, spielerische Weise wie bei einem Kleinkind. *sh*