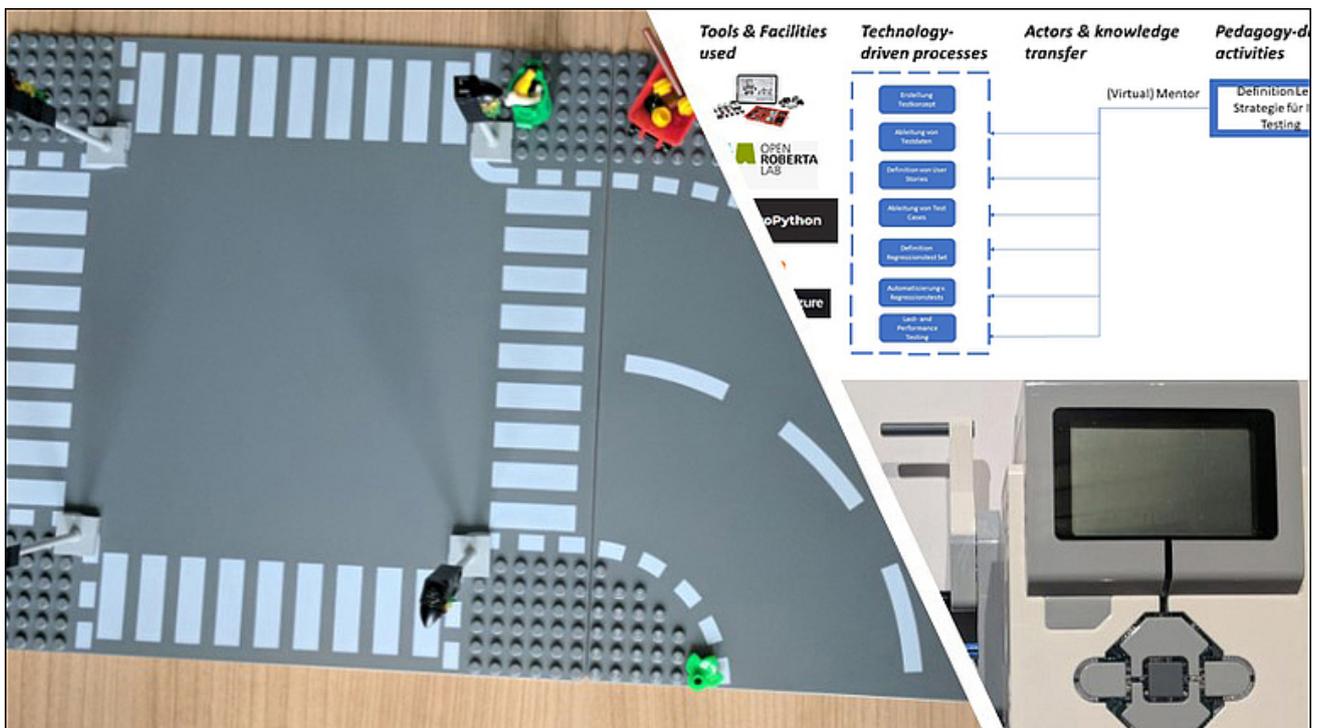


LEGO®-MINDSTORMS®-Lernlabor für Internet of Things Testing

Eine interaktive virtuelle Lernumgebung

von Thomas Auer, Michael Felderer



1. Einführung

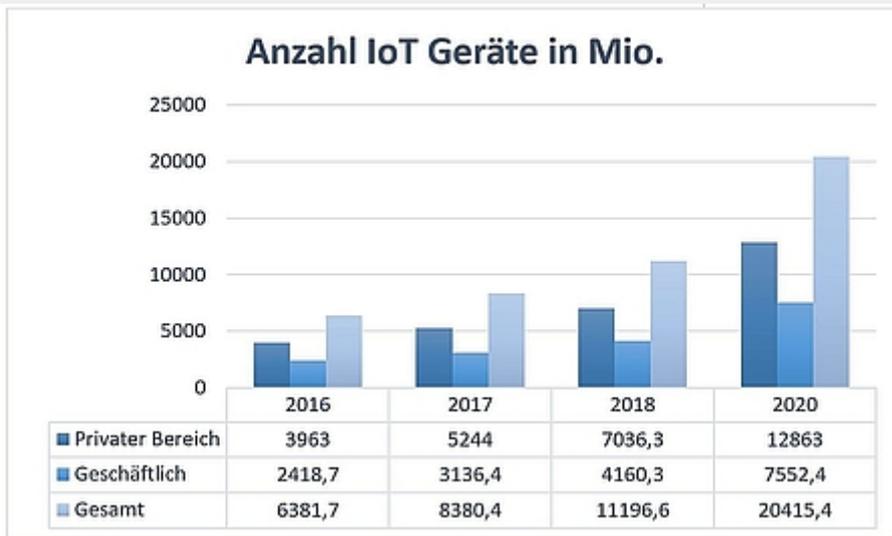


Abbildung 1: Entwicklung Anzahl eingebetteter Objekte 2016-2020, eigene Darstellung angelehnt an: Gartner, Press Releases, 07. Februar 2017.

Durch die Möglichkeit, physische und virtuelle Gegenstände (Dinge, Things) fast beliebig miteinander zu vernetzen, hat die Bedeutung des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) in den letzten zehn Jahren sehr stark zugenommen. Nach einer Studie von Gartner vom Januar 2017 wird die Anzahl eingebetteter Systeme im Jahr 2020 bereits 20 Milliarden betragen, während die Anzahl verbundener Geräte im Jahr 2016 gerade einmal knapp 6,4 Milliarden betrug [1]. Dies bedeutet einen prognostizierten Anstieg um mehr als das Dreifache innerhalb eines Zeitraums von 4 Jahren (vgl. **Abbildung 1**).

Die Intention ist, möglichst alle alltäglichen Dinge sowohl im beruflichen als auch im privaten Bereich miteinander zu vernetzen und somit das primäre Ziel der Vereinfachung des täglichen Lebens in möglichst vielen Bereichen zu erreichen. Doch wie bei allen technischen Innovationen in der Vergangenheit bringt das Internet der Dinge sowohl viele Chancen und neue Möglichkeiten als auch Herausforderungen und Risiken mit sich. Aufgrund der Omnipräsenz und der Vernetzung sind die Benutzbarkeit (Usability) und Sicherheit (Security) von Internet-of-Things-Lösungen besonders kritische Faktoren. Vernetzte Infrastrukturen müssen bestimmten gesetzlichen Standards entsprechen, insbesondere in Bezug auf den Datenschutz. Nach einem Bericht besitzen ca. zwei Drittel der Unternehmen, die Lösungen für das IoT entwickeln, noch keine Test-Strategie, die die Prüfung funktionaler und nicht-funktionaler Eigenschaften der Geräte beinhalten würde [2]. Dies ist vornehmlich darauf zurückzuführen, dass der Wissensstand in den Unternehmen und bei den einzelnen TesterInnen noch sehr gering ist.

Entsprechend wird in diesem Artikel die Implementierung einer virtuellen Lernumgebung für Aus- und Weiterbildung im Bereich des Internets der Dinge vorgestellt. Ziel der Umgebung ist es, eine strukturierte, didaktisch aufbereitete Einführung in anspruchsvolle Projekte im Umfeld des Internets der Dinge mit Bezug zu Qualitätssicherung und Testing zu ermöglichen. Damit soll ein möglichst hoher Qualitätsstandard von Internet-of-Things-Testing-Projekten durch eine didaktisch fundierte Begleitung während des gesamten Projektablaufs gewährleistet werden. Die Herausforderung besteht darin, bereits vorhandenes Wissen und Erfahrungen in Form von Wissensbausteinen zu kapseln, aufzubereiten und diese didaktisch strukturiert zur gezielten Weitervermittlung durch ExpertInnen in einer interaktiven, virtuellen Lern-Plattform zu verwenden.

Das Weiterbildungsbudget vieler Unternehmen und Organisationen ist stark beschränkt. Im Idealfall sind bereits ExpertInnen vorhanden, die über alle erforderlichen Kenntnisse und Erfahrungen zur Wissensvermittlung verfügen. Doch da es sich insbesondere beim Internet der Dinge um einen relativ jungen Bereich handelt, ist die Anzahl solcher ExpertInnen auf dem Markt bisher sehr gering. Daher müssen derartige KompetenzträgerInnen gezielt entwickelt und geschult werden. Nun existieren bereits zahlreiche Weiterbildungsmöglichkeiten im Umfeld des Internets der Dinge, doch die Anwendungsfelder sind so vielfältig und unterschiedlich, dass diese nur in sehr seltenen Fällen genau den spezifischen Anforderungen der TeilnehmerInnen bzw. deren AuftraggeberInnen entsprechen. Selbst spezielle Zertifizierungen für IoT-ExpertInnen werden mittlerweile angeboten, wie der Certified Professional for IoT des Arbeitskreises Software-Qualität und Fortbildung e.V. (ASQF) [3] oder das Professional Program Certificate in Internet of Things (IoT) der Firma Microsoft [4]. In den Lehrplänen beider Zertifizierungen sind praxisnahe Übungsprojekte wie bspw. die Qualitätssicherung von vernetzten Systemen in einem Smart Home enthalten. Während für das

Erreichen des ASQF-Zertifikats jedoch lediglich ein Multiple-Choice-Test zu absolvieren ist, bei dem 65 Prozent der Fragen richtig beantwortet werden müssen, muss zum Erwerb des Microsoft-Zertifikats ein praxisnahes Abschlussprojekt durchgeführt werden. Allerdings kann auch damit nicht sichergestellt werden, dass die AbsolventInnen wirklich über die erforderlichen fachlichen und methodischen Kompetenzen verfügen, welche für die erfolgreiche Durchführung anspruchsvoller IoT-Testing-Projekte erwartet werden. In beiden Fällen ist es nicht notwendig, konkrete Tasks auszuführen und im Sinne der Bloomschen Taxonomie konkret anzuwenden [5].

Daher wird im Folgenden ein Beispiel für spielerische, an realen Anwendungsfeldern in Unternehmen und Organisationen ausgerichtete Trainingsmaßnahmen als Ergänzung zu bereits existierenden Workshops, Seminaren und Tutorials sowie auch zur interaktiven, praxisnahen Vorbereitung auf Zertifizierungsprüfungen im Bereich IoT-Testing vorgestellt. Als Basiswerkzeug hierfür dient LEGO® MINDSTORMS® Education, das im Rahmen der Implementierung eines LEGO®-MINDSTORMS®-Lernlabors, welches in einer virtuellen Lernumgebung simuliert werden kann, genutzt wird.

2. Welchen Einfluss hat LEGO® MINDSTORMS® auf Aus- und Weiterbildung?

LEGO® MINDSTORMS® wurde im Jahr 1998 eingeführt. Seitdem wurde es auch im Bereich des Unterrichts an allgemeinbildenden Schulen, insbesondere in MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik), angewandt und durch neue, fachspezifische Module für bspw. den Physik- oder den Informatik-Unterricht erweitert. Dies wurde bspw. am Humboldt-Gymnasium Berlin-Tegel umgesetzt [6]. Darüber hinaus wird LEGO® MINDSTORMS® mittlerweile auch im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung eingesetzt, so auch im Rahmen der Ausbildung von ElektronikerInnen für Betriebstechnik beim Holzwerkstoffhersteller Pfeleiderer GmbH in Neumarkt/Oberpfalz [7]. Des Weiteren wird auch im Hochschulbereich, insbesondere an MINT-Fakultäten, im Rahmen von diversen Forschungsprojekten mit LEGO® MINDSTORMS® gearbeitet. Dazu gehören unter anderem Forschungsprojekte und Lehrveranstaltungen an der Universität Wien [8] [9], der Hochschule Heilbronn [10], der Hochschule München [11], der Hochschule RheinMain [12], der Hochschule Aschaffenburg [13] [14] und der Hochschule Bremerhaven [15]. Einige öffentliche Schulen sind ebenfalls bereits Mitglied in der [First Lego League](#). Dabei handelt es sich um ein Förderprogramm, welches Kindern und Jugendlichen einen spielerischen Zugang zu technischen und naturwissenschaftlichen Fächern bietet. Ziel soll es sein, bei SchülerInnen Interesse für technische, naturwissenschaftliche und IT-Berufe zu wecken. Doch LEGO® MINDSTORMS® wird auch im Rahmen beruflicher Weiterbildung eingesetzt, bspw. in der Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern. Das Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme bietet eine Qualifizierung für Lehrkräfte aller Fachrichtungen zum zertifizierten Roberta Teacher an [16].

Um eben diesen Ansatz der Nutzung von LEGO® MINDSTORMS® zum Wissensaufbau weiter zu verfolgen, wird im folgenden Kapitel ein Ansatz für die Errichtung einer virtuellen Lernumgebung für Internet of Things Quality Assurance mit Anbindung an ein LEGO®-MINDSTORMS®-Testlabor näher beschrieben.

3. Ansatz für eine virtuelle Lernumgebung für Internet of Things Quality Assurance auf Basis von LEGO® MINDSTORMS® Education

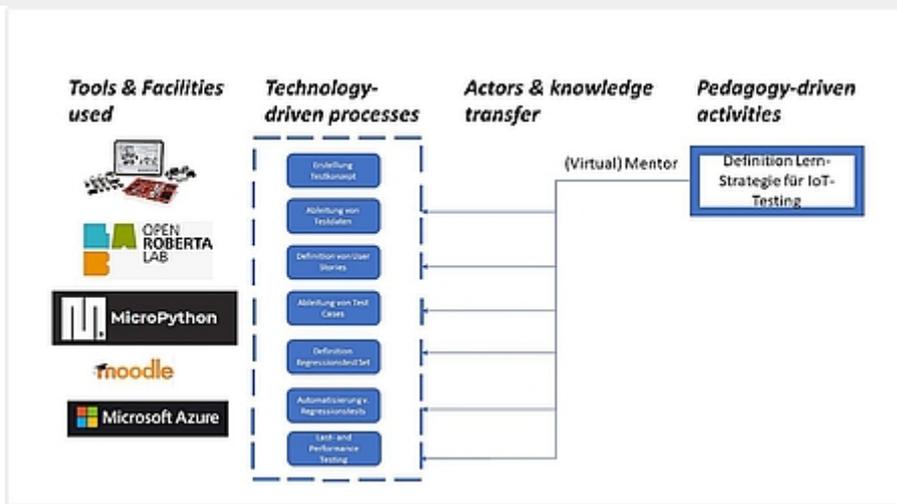


Abbildung 2: Aufbau einer virtuellen Lernumgebung

Im Folgenden wird der Aufbau eines virtuellen Lernlabors für Internet of Things Testing mit **LEGO® MINDSTORMS® Education** vorgestellt. Dies beinhaltet eine Programmier-Schnittstelle, die mit verschiedenen mobilen Endgeräten genutzt werden kann. Es wird eine Vielzahl gängiger Programmiersprachen wie Java, Java Script, C, C++ oder Python unterstützt. Das Lernlabor kann auch als Ergänzung von Trainingsmaßnahmen dienen, die auf Qualifizierungen im Bereich Internet of Things Quality Assurance vorbereiten. Im Folgenden wird erläutert, warum dies insbesondere für das Testen im Bereich des IoT von besonderer Bedeutung ist.

Beim Testen von Lösungen im Bereich des Internets der Dinge wird von den TesterInnen eine wesentlich größere Identifikation mit den fachlichen Anforderungen als beim klassischen Testen von Software vorausgesetzt. Vor allem ist eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Funktionsweise der zu testenden Geräte und Umgebungen sowie auch mit deren potenziellen Sicherheitsaspekten erforderlich. Von den TestexpertInnen wird erwartet, dass sie neben den technischen auch die fachlichen Anforderungen der (End-)AnwenderInnen verstehen und nachvollziehen können. Daher müssen sie sich noch auf einer deutlich höheren Ebene als beim allgemeinen Software Testing in die Sichtweise der (End-)AnwenderInnen hineindenken und nachvollziehen können, welche Aktionen von diesen in der IoT-Umgebung ausgeführt werden und warum. In **Abbildung 2** wird der Aufbau der virtuellen Lernumgebung dargestellt. Auf die Lernumgebung kann unabhängig davon, an welchem Ort man sich gerade befindet, mit einem Laptop, einem Tablet-PC oder einem Smartphone zugegriffen werden und es können Experimente und Übungen durchgeführt werden.

4. Case Study - Erweiterung des LEGO®-MINDSTORMS®-EV3-Education-Übungsprojekts ‚Self-Driving Car‘ um eine Lerneinheit für Testing

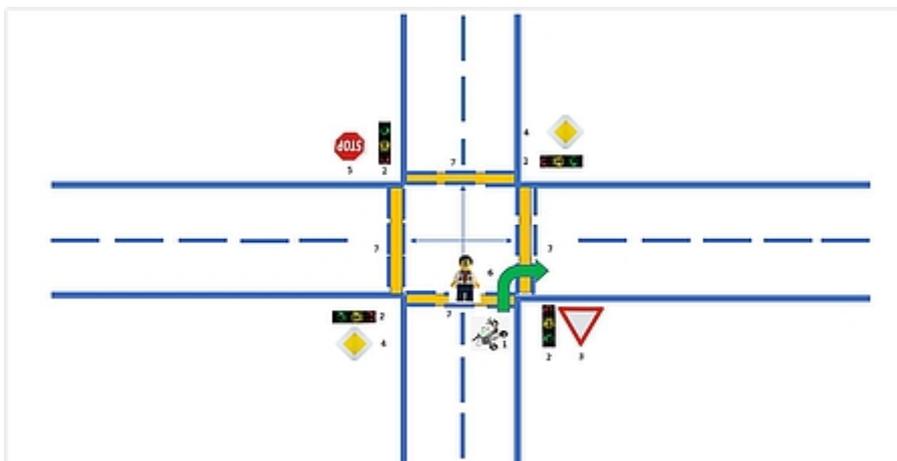


Abbildung 3: Use Case Selbstfahrendes LEGO®-Fahrzeug

Testobjekt ist das Verhalten eines selbstfahrenden LEGO®-Fahrzeugs an einer Straßenkreuzung. An der Kreuzung befindet sich eine Ampelanlage. Ist diese nicht in Betrieb, sollen die entsprechenden Verkehrszeichen wie ‚Vorfahrtsstraße‘, ‚Vorfahrt beachten‘ oder das ‚Stopschild‘ erkannt werden und das LEGO®-Fahrzeug soll sich entsprechend verhalten. Die Situation soll ebenfalls analysiert werden, wenn unabhängig von der jeweiligen Ampelphase und den Verkehrszeichen ein Fußgänger die Straße überquert, da dieser auf keinen Fall über- oder angefahren werden darf. Das Fahrzeug soll optional auch erkennen können, ob eine Ampel außer Betrieb oder defekt ist. In letzterem Fall soll das Fahrzeug einen automatischen Notruf an eine Polizeistation absetzen. In einem Übungsprojekt sollen Testfälle für das Szenario erstellt werden. Der Anwendungsfall selbst wird in einer virtuellen Lernumgebung für Internet of Things Testing simuliert. Das LEGO®-Self-Driving-Fahrzeug verfügt über smarte IoT-Kamerasensoren sowohl an der Vorder- als auch an der Rückseite. Somit können eventuelle Hindernisse beim Vorwärts- und Rückwärtsfahren erkannt werden.

Die Lernenden (zumeist Test Engineers, Test Analysts and TestautomatisiererInnen) registrieren sich über die virtuelle Lernplattform Moodle. Sie werden entsprechend ihren Wünschen, Neigungen, Kenntnissen, Erfahrungen oder projektspezifischen Anforderungen einer Lerngruppe und einem virtuellen Mentor zugewiesen. Anschließend werden die Lernenden zu einem für sie in Frage kommenden IoT-Testing-Workshop eingeladen. Ein virtueller Mentor fungiert zugleich als Testmanager, während sich die Lerngruppen selbst organisieren. Das bedeutet, dass der virtuelle Mentor lediglich die Koordination des Übungsprojektes übernimmt und Anleitungen gibt. Die Entscheidung, welche Methoden, Prozesse und Tools angewandt werden, obliegt den Mitgliedern der Lerngruppe.

Die LEGO®-MINDSTORMS®-Testumgebung wird in einem virtuellen Moodle Classroom simuliert.

Der Use Case (vgl. auch **Abbildung 3**) basiert auf einem bereits etablierten Übungsprojekt des LEGO®-Mindstorms-Education-Lehrmaterials für den Informatik-Unterricht in der gymnasialen Oberstufe. Im Rahmen dieses Übungsprojekts dient ein selbstfahrendes LEGO®-Fahrzeug als Testobjekt. Allerdings ist das Übungsprojekt für den Einsatz im Unterricht ausgelegt und die Aufgabenstellung muss folglich angepasst werden. Zunächst soll eine Test-Strategie für das selbstfahrende LEGO®-Fahrzeug in der Situation der Überquerung einer Kreuzung mit Ampelsteuerung ausgearbeitet werden.

		R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15	R 16	R 17	R 18	R 19
Conditions	Traffic Light red	Y	Y										Y							
	Traffic Light yellow		Y	Y									Y							
	Traffic Light green				Y									Y						
	Traffic Light flashes					Y	Y	Y	Y						Y	Y	Y			
	Traffic Light defect									Y	Y	Y						Y	Y	Y
	Priority Road				Y				Y	Y					Y				Y	
	Give Way						Y				Y					Y				Y
	Stop							Y				Y					Y			Y
	Pedestrian crossing								Y				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Actions	Stop	X		X			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Starting			X																	
Drive					X	X				X										
Call Police										X	X	X						X	X	X

Tabelle 1: Entscheidungstabelle – Use Case 'Selbstfahrendes LEGO®-Fahrzeug'

Ein Auszug der möglichen Test Cases, die im Rahmen des Use Cases geprüft werden sollen, ist in der Entscheidungstabelle (vgl. **Tabelle 1**) definiert. Die Tabelle kann jederzeit erweitert oder eingeschränkt werden.

Folgende Lerneinheiten werden im simulierten Testlabor bearbeitet:

1. Erstellung eines Testkonzepts
2. Ableitung von Testdaten
3. Definition von User Stories
4. Ableitung von Testfällen aus User Stories
5. Definition eines Regressionstest-Sets

6. Automatisierung von Regressionstests
7. Last and Performance Testing

Ziel der Lerneinheit ist es, End-To-End-Tests manuell durchzuführen und diese optional in einer beliebigen Programmiersprache, die von LEGO® MINDSTORMS® unterstützt wird, zu automatisieren.

Die Kurseinheit kann individuell durchgeführt werden. Basis für die Kurseinheit ist das Projekt ‚Make a self-driving car‘ des LEGO® MINDSTORMS® Education EV3 Core Set [17]. Die Lernenden sollen auch den Umgang mit entsprechenden IoT-(Testing)-Frameworks kennenlernen und diese in Projekten anwenden können.

4.1. Frameworks

Frameworks spielen im Testing eine sehr wichtige Rolle. Gerade beim Testing in IoT-Umgebungen erfordert nahezu jedes Projekt eigene Strategien, die sich wesentlich von denen in anderen Projekten unterscheiden. Allerdings ist es gleichzeitig nahezu unmöglich, eine Testumgebung für jedes individuelle Projekt neu zu implementieren, denn dazu fehlen in der Regel sowohl die zeitlichen als auch die finanziellen Ressourcen. Aus diesem Grund werden Frameworks eingesetzt, die es ermöglichen, auf bewährte Standards und Methoden, die in Bibliotheken hinterlegt sind, zurückzugreifen.

Im Folgenden werden exemplarisch zwei Frameworks vorgestellt, die in die virtuelle Lernumgebung integriert werden können, wobei sich eines davon an Lernende mit bereits fortgeschrittenen Programmierkenntnissen und eines mehr an Programmier-AnfängerInnen richtet. Selbstverständlich gibt es noch weitere in Frage kommende Frameworks, wie u. a. EV3 dev für Linux/Unix-affine EntwicklerInnen- und TesterInnen, LabView, RoboLab oder Selenium.

4.1.1. MS Visual Studio Code - LEGO® MINDSTORMS® EV3 MicroPython

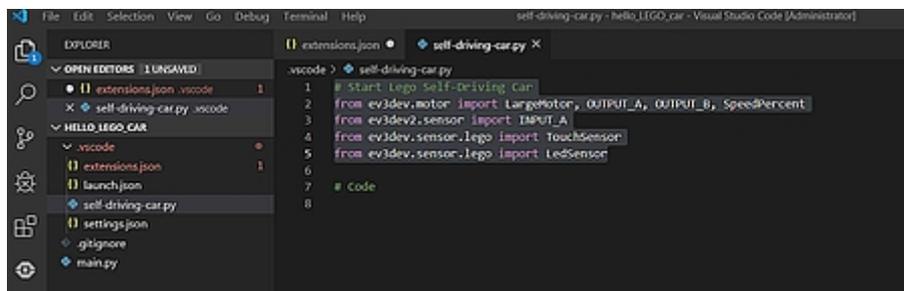


Abbildung 4: EV3 MicroPython

Hierbei handelt es sich um eine Erweiterung von LEGO® MINDSTORMS® EV3 zur Erstellung von MicroPython Code in MS Visual Studio Code. MS Visual Studio Code ist sowohl mit Windows als auch mit Linux und OSX kompatibel. MS Visual Studio Code unterstützt eine Vielzahl an Programmier- und Auszeichnungssprachen, u. a. Python, Java, Java Script, C#, C++, PHP, R, HTML, XML. Das Framework wird in der virtuellen Moodle-Lernumgebung simuliert. Die Sensordaten der LEGO®-Umgebung werden in einer Azure Cloud hinterlegt. Dadurch kann die LEGO®-Umgebung in der virtuellen Lernumgebung angesteuert werden (vgl. **Abbildung 4**).

Der PC kann über eine Bluetooth-Schnittstelle mit LEGO®-Bausteinen kommunizieren. Die EV3-Python-Bibliothek ermöglicht es, das selbstfahrende LEGO®-Fahrzeug mit dem PC zu verbinden.

Um den Status der Ampel zu erkennen, muss das LEGO®-Fahrzeug mit LED-Leuchtdioden bestückt werden. Um Hindernisse wie Fußgänger zu erkennen, welche die Straße überqueren, sind Bewegungssensoren erforderlich. Um das Fahrzeug in Gang zu setzen, ist ein LEGO® Large Motor erforderlich. Die einzelnen Komponenten werden entsprechend für die Verwendung

programmiert. Hierbei kann durchaus auch schon mit einfachen Ansätzen des maschinellen Lernens gearbeitet werden.

Die Programmiersprache Python eignet sich hervorragend, das Programmieren von Robotern zu erlernen. Mit Python erstellter Code ist gut lesbar und erfordert eine ausführliche Kommentierung. Weiterhin enthält Python eine Vielzahl an frei zugänglichen Code Libraries, welche leicht an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden können [18]. Dadurch erhalten die Lernenden einen deutlich anschaulicheren, sachbezogenen Bezug zur Programmierung, anstatt diese theoretisch am PC oder Laptop zu erlernen. Darüber hinaus eignet sich auch LEGO® MINDSTORMS® EV3 hervorragend, die Programmierung von Robotern zu erlernen. Durch den Einsatz von MS Visual Studio Code können LEGO®-MINDSTORMS®-EV3-Roboter auch virtuell gesteuert bzw. simuliert werden. Dies stellt einen wesentlichen Vorteil für örtlich verteilte Teams dar.

Mit MS Visual Studio Code werden insbesondere Lernende mit fortgeschrittenen Programmierkenntnissen angesprochen. Zumindest die Grundlagen der Programmiersprache Python sollten bereits bekannt sein, um die Lerneinheiten erfolgreich absolvieren zu können. Als Alternative zum MS Visual Studio Code wird für AnwenderInnen mit geringeren Programmierkenntnissen mit Open Roberta Lab noch ein weiteres Framework angeboten, welches sich ebenfalls einfach in die virtuelle Lernumgebung integrieren lässt.

4.1.2. Open Roberta Lab

Bei Open Roberta Lab handelt es sich um eine integrierte Entwicklungsschnittstelle (Integrated Development Environment, IDE) des [Fraunhofer Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme](#) in Kooperation mit Google Deutschland [19]. Mit der IDE sollen in erster Linie Hürden abgebaut werden, um LEGO® MINDSTORMS® auch im Unterricht an Schulen, insbesondere in MINT-Fächern, einsetzen zu können. Entsprechend sind die Lizenzkosten sehr niedrig und das Framework ist mit verschiedenen Betriebssystemen kompatibel. Open Roberta Lab ist prädestiniert für den Einstieg in die Programmierung mit LEGO® MINDSTORMS® EV3. Somit eignet es sich auch, um die Funktionsweise von Anwendungen im Bereich des Internets der Dinge spielerisch kennen und verstehen zu lernen.

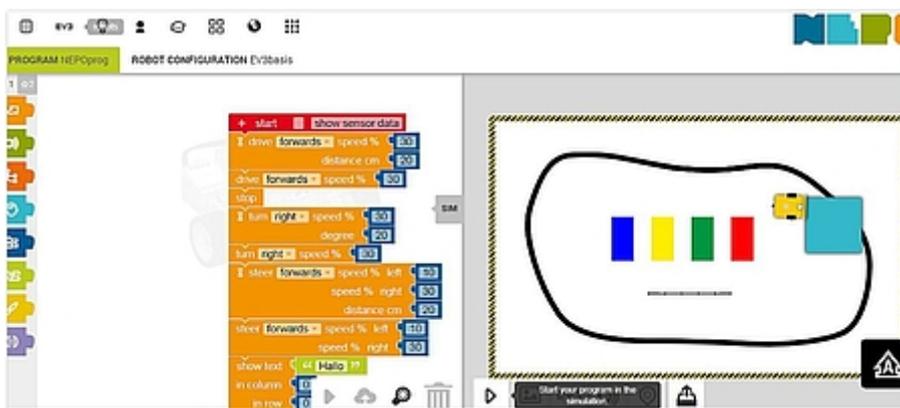


Abbildung 5: Simulation eines selbstfahrenden LEGO®-Fahrzeugs in Open Roberta Lab

In **Abbildung 5** wird ein Beispiel für die Steuerung des selbstfahrenden LEGO®-Fahrzeugs in Open Roberta Lab dargestellt.

Im Gegensatz zu MS Visual Studio Code mit Micro Python bietet Open Roberta Lab eine eher spielerische Einführung in die Programmierung von LEGO®-Robotern. Das Open Roberta Lab ist nicht auf LEGO® MINDSTORMS® EV3 beschränkt. Des Weiteren kann das speziell für programmierbare LEGO®-Bausteine konzipierte Java-Betriebssystem leJOS sehr einfach in Open Roberta Lab eingebunden werden. Dabei handelt es sich um eine gut dokumentierte Robotics API (Application Programming Interface, deutsch: Anwendungsprogrammierschnittstelle) [20]. Diese ermöglicht in einem weiteren Schritt auch einen Einblick in die Programmierung und das Testen von Robotern in der Programmiersprache JAVA. Darüber hinaus beinhaltet Open Roberta Lab eine Simulationsumgebung, mit welcher in der visuellen Programmiersprache NEPO zweidimensionale Robotermodelle simuliert werden können. Die Simulationsumgebung ermöglicht ebenfalls die Simulation von Farb-, Ultraschall- und Berührungssensoren und kann damit zur Durchführung der Lerneinheit für Testing als Erweiterung des EV3-Übungsprojekts ‚Self-Driving Car‘ genutzt

werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die Integration von Open Roberta Lab in die virtuelle Lernumgebung diese auch für die Weiterbildung von Lehrkräften oder TrainerInnen in Unternehmen zu sogenannten Roberta Lehrern eingesetzt werden kann [21].

5. Fazit

Um IoT-Umgebungen auf allen Ebenen qualitativ und besonders auch unter Berücksichtigung sämtlicher sicherheitsrelevanter Kriterien testen zu können, ist ein tiefes Verständnis der Funktionsweise der in einer IoT-Umgebung eingebetteten Systeme unerlässlich. Die Herausforderung besteht dabei darin, die Einzigartigkeit einer IoT-Umgebung zu berücksichtigen. Selbst wenn die technischen Anforderungen teilweise ähnlich sind, unterscheiden sich die methodischen Anforderungen in der Regel beträchtlich.

Eine maßgeschneiderte virtuelle Lernumgebung, in der „Real-World“-Anwendungsfälle simuliert werden können und die als praxisnahe Ergänzung zu herkömmlichen Trainingsmaßnahmen herangezogen werden kann, erleichtert den Einstieg in IoT-Testing-Projekte und trägt zu einer erfolgreichen Durchführung solcher Projekte durch erfahrene TestexpertInnen bei. LEGO® MINDSTORMS® bietet dabei die Möglichkeit, nahezu alle Situationen nachzustellen und zu simulieren, die in realen IoT-Umgebungen eintreten können, bspw. in der Car2Car-Kommunikation, in Smart Homes, im Smart Farming, in Smart Cities, beim Smart Metering oder im Ambient Assisted Living (E-Health).

Grundsätzlich sollen erfahrene TestexpertInnen auch dazu motiviert werden, sich im zukunftsorientierten Bereich des Internets der Dinge weiterzubilden und anspruchsvolle Projekte wie Testing- und Quality-Assurance-(QA)-Projekte in diesem Bereich anzunehmen und erfolgreich durchzuführen.

Literatur & Links

[1]<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>, abgerufen am 07.10.2019.

[2]<https://www.handelskraft.de/2017/10/welche-sind-die-groessten-herausforderungen-des-internet-of-things/>, abgerufen am 18.09.2019.

[3]<https://www.asqf.de/asqf/produkte/asqf-certified-professional-for-iot-cpiot/>, abgerufen am 26.10.2019.

[4]https://www.youtube.com/watch?v=dDaDYcfH_M, abgerufen am 09.10.2019.

[5]https://paeda-logics.ch/wp-content/uploads/2014/10/Taxonomiestufen_Bloom.pdf, abgerufen am 13.10.2019.

[6]<https://www.humboldtschule-berlin.de/unterricht/arbeitsgemeinschaften/jugend-forscht/219-humboldt-gymnasium/unterricht-ags/arbeitsgemeinschaften/jugend-forscht/266-projekte-mit-lego-mindstorms-nxt>, abgerufen am 09.10.2019.

[7]<https://www.pfleiderer.com/Ausbildung/Ausbildungsnews/Pfleiderer-mit-Lego-Mindstorms-an-der-Mittelschule-Freystadt>, abgerufen am 09.10.2019.

[8]<https://medienportal.univie.ac.at/uniview/forschung/detailansicht/artikel/warum-informatikerinnen-eine-legofabrik-bauen/>, abgerufen am 09.10.2019.

[9]<https://informatik.univie.ac.at/news-events/beitrag/news/legofabrik-auf-der-langen-nacht-der-forschung-2018/>, abgerufen am 09.10.2019.

[10]<https://www.hs-heilbronn.de/7656915/projekt-lego-mindstorms>, abgerufen am 09.10.2019.

[11]https://www.hm.edu/allgemein/aktuelles/news/news_detailseite_6530.de.html, abgerufen am 09.10.2019.

[12]<https://www.hs-rm.de/de/studium/studienorientierung/studentisches-projekt-lagerraum-lego-mindstorms-nxt-projekte>, abgerufen am 09.10.2019.

[13]<https://www.th-ab.de/ueber-die-hochschule/organisation/labor/embedded-systems/ev3-toolchain/>, abgerufen am 09.10.2019.

[14]<https://ieeexplore.ieee.org/document/7474616>, abgerufen am 09.10.2019.

[15]<https://www.hs-bremerhaven.de/organisation/dezernate-und-stabsstellen/marketing-und-oeffentlichkeitsarbeit/kontaktstelle-schule-hochschule/sekundarstufe-i/kurs-robotik-mit-lego-mindstorms/>, abgerufen am 09.10.2019.

[16]<https://www.academy.fraunhofer.de/de/weiterbildung/information-kommunikation/roberta.html>, abgerufen am 03.10.2019.

[17]<https://education.lego.com/de-de/product/mindstorms-ev3>, abgerufen am 16.09.2019.

[18]<https://www.generationrobots.com/blog/de/fur-die-oberstufe-unsere-mit-python-programmierbaren-roboter/>, abgerufen am 24.10.2019.

[19]<http://www.roboterwelt.de/magazin/open-roberta>, abgerufen am 19.10.2019.

[20]<http://www.lejos.org/ev3.php>, abgerufen am 24.10.2019.

[21]<https://www.roberta-home.de/lehrkraefte/roberta-schulungen/roberta-basis-schulung/>, abgerufen am 19.10.2019.

LEGO® und MINDSTORMS® sind eingetragene Warenzeichen der Firma The LEGO Group.



Thomas Auer

(B.A., M.A.) arbeitet als Consultant und Software Testing Experte bei der Sogeti Deutschland GmbH. Sein Aufgabenschwerpunkt liegt im Bereich der Testautomatisierung. Zudem ist er Fellow bei SogetiLabs und arbeitet derzeit an einer Dissertation im Bereich Internet of Things Testing Education an der Universität Innsbruck.

E-Mail: [thomas.auer\(at\)sogeti.com](mailto:thomas.auer(at)sogeti.com)



Michael Felderer

ist Professor am Institut für Informatik der Universität Innsbruck, Österreich, und Gastprofessor am Blekinge Institute of Technology in Schweden. Seine Forschungsinteressen liegen in den Bereichen Software, Data und Security Engineering. Prof. Felderer arbeitet in seiner Forschung eng mit Firmen zusammen und ist regelmäßiger Sprecher auf internationalen Konferenzen.

Bildnachweise:

Thomas Auer und Michael Felderer

[Online Themenspecial](#)

[Impressum](#)

|
[Kontakt & Anfrage](#)