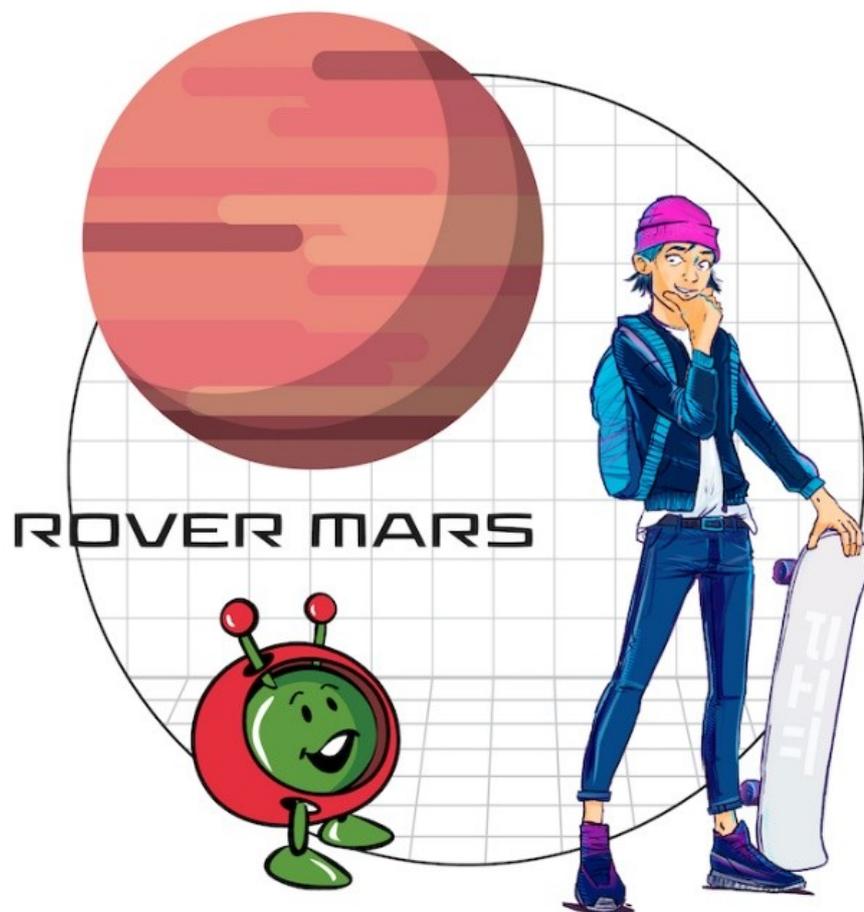


Entdeckt Leben auf dem Mars mit einem Rover



Inhaltsverzeichnisse

Inhaltsverzeichnisse.....	2
Didaktischer Kommentar.....	4
Planung der Lektion.....	9
Ziele der Lektion.....	10
Aufbau der Lektion.....	10
Benötigtes Material.....	10
Vorstellung des mBot-Rovers.....	10
Aktionen.....	11
Knöpfe und Sensoren.....	11
Sensor für Linienverfolgung.....	11
Verwendung der Programmiersoftware.....	13
Bibliothek von 'Anweisungen'.....	17
Vorgehensweise beim Senden des Programms an den mBot.....	18
Präsentation der Marskarte.....	19
Einsetzen.....	20
Vorbereitung der Lektion.....	23
Lesen Sie Ihr erstes Programm.....	23
Schreiben Sie Ihr erstes Programm : Pilotenausbildung.....	24
Mission 1.....	24
Mission 2.....	26
Auftrag 3.....	27
Mission 4.....	28
Die Lektion.....	29
Lesen Sie Ihr erstes Programm (zu Hause durchführen).....	29
Schreiben Sie Ihr erstes Programm : Pilotenausbildung.....	29
Mission 1.....	30
Mission 2.....	32
Mission 3.....	32
Mission 4.....	33
Ideen zur Lernbewertung.....	34
Ein kleines Programm von Anfang bis Ende schreiben.....	34
Zum Nachdenken.....	34
Lösungen.....	35

Lösung: Schreibe ihr erstes Programm.....	35
Lösung: Mission 1 - zurück zur Basis.....	35
Lösung: Mission 2 - Vor Olympus Mons anhalten.....	37
Lösung: Mission 3 - Erforschung einer Höhle auf dem Mars.....	38
Lösung: Mission 4 - Finde das Leben!.....	39
Lösung: Lernbewertung:.....	40
Weiterführende Informationen.....	41
Auf Entdeckungstour auf dem Mars.....	41
Warum den Mars erforschen?.....	42
Gibt es Leben auf dem Mars?.....	43
Was ist das Leben?.....	44
Die Bedeutung von Robotern (und digitaler Wissenschaft) bei Marsmissionen.....	46
Bildungsvideos.....	47
Kahoot-Quiz.....	47
Referenzen.....	48
Kredite.....	49

Didaktischer Kommentar

Sandra Baumann, Dominic Harion & Ann Kiefer

Das Modul *#Discover Life on Mars with a Rover* wurde in Zusammenarbeit von [ESERO Luxemburg](#) (European Space Education Ressource Office) und PITT entwickelt. ESERO konzipiert sowohl für Grundschulen als auch für Sekundarschulen auf die luxemburgischen Lehrpläne angepasste Unterrichtsmaterialien für MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik), die stets mit dem Thema „Weltraum“ verknüpft sind. Im Studiengang Bachelor en Sciences de l'Education (BScE) der Universität Luxemburg unterstützt ESERO Luxemburg auch bereits angehende Grundschullehrer*innen beim Aufbau einer umfassenden naturwissenschaftlichen Kompetenz – so bearbeiten Studierende etwa die von ESERO entwickelten Aufgabenstellungen zum Projekt „teach with Space“ zum Thema Klimawandel (Andersen et al., 2021).

Die vorliegende Unterrichtseinheit *#Discover Life on Mars with a Rover* beschäftigt sich mit dem Themenkomplex *Roboter* und wurde in das Lernsetting „Weltraum“ eingebettet. Dahinter steht einerseits die Idee, die „Faszination Weltraum“ ins Klassenzimmer zu holen und junge Menschen über das Lernsetting für das Lernen und selbstständige Arbeiten zu begeistern und das motivationale Potential desselben für Lernprozesse fruchtbar zu machen: Das Weltall mit all seinen Facetten ist bei Jugendlichen ein beliebtes Thema – insbesondere in Verbindung mit der Suche nach (außer-)irdischem Leben spricht das Modul die Phantasie der Schüler*innen an und sorgt für Spannung und Neugierde. Andererseits dient das Lernsetting als Vehikel für den Themenkomplex *Roboter*, der in dem hier vorgestellten Modul auf das Coding in anwendungsbezogenen Unterrichtsszenarien fokussiert.

Dieses didaktische Potential des Rahmenthemas „Weltall“ verdeutlicht der ESA-Astronaut Tim Peake in einem Interview im Rahmen der [Esero UK Secondary Space Conference](#). Peake ist davon überzeugt, dass sich die „Faszination Weltraum“ in Unterrichtssettings auf viele Lernbereiche und wissenschaftliche Fächer übertragen lässt. In seinen Augen können das Thema *Weltall* und die Arbeit der ESA als einzigartige Plattformen genutzt werden, um Kinder und Jugendliche sowohl für die Themen *Raumfahrt* und *Weltall* zu begeistern wie auch ihr Interesse für die Arbeit der Astronaut*innen, Ingenieur*innen und Wissenschaftler*innen zu wecken. Einen entscheidenden Vorteil sieht Peake darin, dass Lerninhalte im Kontext *Weltraum* auf Kinder und Jugendliche sinnstiftend wirken, weil abstrakte Lerninhalte etwa aus den Fächern Mathematik, Physik, Chemie oder auch Biologie anschaulich und greifbar werden, was Peake als „space as an educational outreach tool“ bezeichnet (UK ESERO, n.d.). In diesem Sinne zielt auch das Mars-Rover-Modul darauf ab, Coding nicht in eine rein virtuelle Umgebung einzubetten, in der von Schüler*innen selbst erstellte Programme schlicht ein Antwortschema auf einem Bildschirm zur Folge haben (also etwa bewegte Bilder, Soundeffekte, etc. zu programmieren). Durch die Erprobung der Funktionalität selbst programmierter Steuerungsbefehle für einen Roboter wird eine Responsivität erzeugt, die Schüler*innen unmittelbar ihre Wirksamkeit, Erfolg und Misserfolg in lebensweltlichen Settings zurückmeldet. Die Robotisierung fügt hier eine zusätzliche Ebene hinzu, da sie den selbst konzipierten Algorithmen „eine räumliche Rückkopplung“ gibt, einen greifbaren Aspekt, der es den Lernenden erlaubt, nach Lösungen in einem weniger traditionell-schulischen Lernsetting zu suchen (INRIA, 2020).

So eignet sich das Programmieren auch hervorragend im Kontext des erfahrungsbasierten Lernens zur Etablierung eines lernförderlichen Umgangs mit Fehlern im Klassenzimmer (vgl. etwa Kapur,

2011). „Aus neurowissenschaftlicher Sicht wird ein Fehler in erster Linie als Abweichung von einer Erwartung betrachtet, und stellt somit eine wertvolle Information dar, die es ermöglicht, eigene Vorstellungen zurecht zu rücken und hierdurch dazu zu lernen“ (INRIA, 2020). Einen derart positiven Umgang mit Fehlern können Schüler*innen anhand des Programmierens erfahren, da die Fehlermeldung unmittelbar erfolgt: Ein Computerprogramm urteilt nicht, sondern deckt den Fehler nur auf und meldet ihn. Dies bietet der/dem Lernenden die Möglichkeit, jeweils einen neuen spielerischen Versuch zu starten, bis die eigene Arbeit zum erwünschten Erfolg führt. So bekommen prinzipiell auch leistungsschwächere Schüler*innen die Chance, ihre Aufgabe korrekt fertig zu stellen.

Das Programmieren unterstützt die Lernenden weiterhin bei der Entwicklung einer gründlichen Arbeitsweise, da ein Programm nur dann funktioniert, wenn es zu 100% richtig konfiguriert wurde. Hierin unterscheidet es sich von solchen Schuleinstellungen, bei denen die Schüler*innen auf „gut genug“ hinarbeiten anstatt auf „gut“. Lernende haben z.B. oft das Ziel, einen Test zu bestehen, nicht aber eine maximale Punktezahl zu erreichen. Dies ist beim Programmieren anders: Während eine Prüfung mit 30/60-Punkten als bestanden gilt, ist ein halb fertig konfiguriertes Programm unbrauchbar und nicht funktionsfähig (INRIA, 2020).

Neben der Responsivität über räumliche Rückkopplungen, einem lernförderlichen Umgang mit Fehlern und einer solchen Anleitung zum gründlichen Arbeiten, ermöglicht das Modul schließlich nicht zuletzt eine Schulung im Sinne des kritischen Denkens. Unter „kritischem Denken“ verstehen wir hier speziell die Fähigkeit, Hypothesen aufzustellen und diese dann zu bestätigen und/oder zu beweisen – oder diese wieder abzulehnen. Im Wesentlichen können Mathematik und Naturwissenschaften diese Fähigkeit bei den Lernenden fördern, da Hypothesen, kausale Zusammenhänge und Theorien wesentliche Elemente der Modellbildung in mathematisch-naturwissenschaftlichen Settings darstellen. Eine wichtige Rolle spielt hier auch das Bewusstsein, die eigene Meinung ändern zu dürfen. Während diese Versuch-Fehler-Schleife in einer klassischen einstündigen Unterrichtsstunde meist nicht umsetzbar ist, da ein solcher Prozess in Laborsituationen oft viel länger dauert, ist die Versuch-Fehler-Schleife in der Informatik viel kürzer, da ein Programm einen Fehler direkt beim ersten Versuch meldet. So lernen Schüler*innen schnell das Prinzip „Ich dachte dass..., aber ich stelle fest, dass ..., ich werde etwas anderes versuchen“ (INRIA, 2020) und können eine positive Fehlerkultur einüben.

Im Modul *#Discover Life on Mars with a Rover* gehen robotisierte Fahrzeuge wie Opportunity und Curiosity (NASA, 2022) auf eine Mission zum Planeten Mars. Damit ein solcher Mars-Rover weiß, was er tun muss, muss ein*e Programmierer*in eine Reihe von Befehlen schreiben, die der Roboter nacheinander ausführt, z.B. „Solarpanels ausfahren“, „Räder ausfahren“ und „Kamera einschalten“. Allerdings lässt sich der Rover von der Erde aus nicht kontrollieren, da das Funksignal je nach Position der Erde im Verhältnis zum Mars vier bis zwanzig Minuten benötigt. Ein Rover mit Fernsteuerung würde nur mit großer Zeitverzögerung funktionieren. Daher muss der Mars-Rover im Voraus so programmiert sein, dass er autonom arbeiten kann.

Die Schüler*innen erhalten dementsprechend in dieser Unterrichtseinheit vier verschiedene und aufeinander aufbauende Programmiermissionen, die sich in ihrer Komplexität steigern, wobei jeweils Anteile aus den Basis-Missionen für komplexere Aufgaben übernommen werden können. Da die Einheit als Einstieg in das Thema *Coding* gedacht ist, müssen die Schüler*innen die Missionen somit nicht alle von Grund auf programmieren. Zur Erleichterung werden ihnen Teile der Programmierung

als Aufgaben vorgegeben. Dies entspricht auch den Aufgabenschemata der ICILS-Studie (International Computer and Information Literacy Study 2018, durchgeführt mit Achtklässlern) (Fraillon et al., 2019, vgl. unten). Benutzt werden die Roboter *mBot* von der Firma *MakeBlock*. Diese Roboter sind speziell für Anfänger entwickelt und ermöglichen ein einfaches und unterhaltsames Lehren und Lernen der Robotercodierung. Das Programmieren selbst erfolgt über die Software *MakeBlock*, eine auf *Scratch* basierte Blockprogrammierungsumgebung.

Das Modul *#Discover Life on Mars with a Rover* fokussiert damit auf die Entwicklung eines spezifischen Kompetenzbereichs, der in der rezenten ICILS-Studie als *Computational Thinking* (CT) modelliert wurde. Dabei handelt es sich um je individuelle Fähigkeiten einer Person, „Aspekte realweltlicher Probleme zu identifizieren, die für eine informatische Modellierung geeignet sind, und algorithmische Lösungen für diese Probleme zu bewerten und selbst so zu entwickeln, dass diese Lösungen mit einem Computer operationalisiert werden können“ (Boualam et al., 2021). Der Kompetenzbereich umfasst damit die beiden Kernkompetenzen „Probleme konzeptualisieren“ und „Lösungen operationalisieren“ (ebd.).¹ Achtklässlerinnen und Achtklässler (6e/8e) aus Luxemburg liegen im Bereich des *Computational Thinking* wie auch in den generellen Computer- und Informationsbezogenen Kompetenzen dabei aktuell unter dem internationalen Durchschnitt der Studie (vgl. ebd.).

Der Zugang zum Programmieren über *Scratch* im Rahmen des Moduls *#Discover Life on Mars with a Rover* ermöglicht es, erste Erfahrungen mit Informatiksystemen zu sammeln und eignet sich sehr gut für den Anfangsunterricht. Die Tätigkeit des Programmierens beschränkt sich auf das Zuschneiden der bereits vorhandenen Programmierungsumgebung auf die Anforderungen der aufeinander aufbauenden Programmieraufträge und bietet somit die Möglichkeit, mit nur geringen Vorkenntnissen im Bereich der Programmierung, leistungsfähige Produkte zu konstruieren (Schubert & Schwill, 2011). Mithilfe von Schritt-für-Schritt-Anleitungen machen sich die Lernenden mit den Grundprinzipien der Blockprogrammierung vertraut und entwickeln Grundkompetenzen im Bereich CT. Diese sind anschlussfähig an mitunter bereits verfügbare Vorerfahrungen aus dem Coding, wie es im Fundamental angelegt ist.

Referenzen

1. Andersen, Katia N., Cornrotte, Frédéric, Trap, Guillaume & Bettelo, Nadia. (2021). Le projet ESERO Luxembourg : conséquences pour la professionnalisation des enseignants sur le thème de l'éducation au développement durable. Rapport national sur l'éducation 2021. <https://doi.org/10.48746/bb2021lu-de-19>

¹ Zur Kritik an dem Modell des Computational Thinking vgl. etwa Nardelli (2019) sowie Tedre & Denning (2016). Es ist sowohl aus (lern-)psychologischer wie erkenntnistheoretischer Perspektive in der Tat fraglich, ob CT eine – gar neuartige – Art und Weise des *Denkens* zu bezeichnen vermag, die geschult werden könnte. Die einzelnen Kompetenzbereiche, die darunter subsumiert werden, werden auch in anderen Fächern, etwa den mathematisch-naturwissenschaftlichen, sowie in Philosophie und formaler Logik gebildet. Für das vorliegende PITT-Modul wird CT daher als Merkmalbündel verstanden, wie es im Rahmen der ICILS 2018 konzeptualisiert und von Boualam et al, 2021 operationalisiert wurde. Mithin werden die hier unter CT zusammengefassten Kompetenzen deskriptiv genutzt, nicht normativ verstanden.

2. Boualam, Rachid, Lomos, Catalina & Fischbach, Antoine. (2021). Compétences en informatique et en information (CIL) et compétences en raisonnement informatique (CT) des élèves de 8e année. Principaux résultats de l'ICILS 2018. Rapport national sur l'éducation 2021. <https://doi.org/10.48746/bb2021lu-de-26>
3. Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (INRIA). (2020). Éducation et Numérique : enjeux et défis. Livre Blanc N 04. <https://hal.inria.fr/hal-03051329v2/document>
4. Fraillon, Julian, Ainley, John, Schulz, Wolfram, Friedman, Tim & Duckworth, Daniel. (2019). IEA International Computer and Information Literacy Study 2018. Assessment Framework. IEA
5. Kapur, Manu. (2011). A further Study of productive failure in mathematical problem solving : unpacking the design components. Instructional Science, 34(4), 561-579.
6. Nardelli, Enrico. (2019). Do we really need computational thinking? Communications of the ACM, 62(2),32-35.<https://doi.org/10.1145/3231587>
7. NASA. (2022). Mars Exploration Rovers. <https://mars.nasa.gov/mer/mission/overview/>
Schubert, Sigrid & Schwill, Andreas. (2011). Didaktik der Informatik. Spektrum Akademischer Verlag
8. Tedre, Matti & Denning, Peter J. (2016). The long quest for computational thinking. Proceedings of the 16th Koli Calling Conference on Computing Education Research, 120–129
9. UK Esero. The benefits of bringing Space to the classroom. The Esero UK Secondary Space Conference. [https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/11/ESERO_UK_Secondary_Conference_at_Farnborough_with_Tim_Peake/\(lang\)/en](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/11/ESERO_UK_Secondary_Conference_at_Farnborough_with_Tim_Peake/(lang)/en)

Planung der Lektion

Fach: Digitalwissenschaften

Altersgruppe : 13-14 Jahre

Dauer : 150 Minuten

Kosten : Die Software ist kostenlos und die Hardware kann bei ESERO kostenlos ausgeliehen werden (kontaktieren Sie hierfür [ESERO: contact@esero.lu](mailto:contact@esero.lu) oder +352 621 96 90 19).

Wir setzen Roboter im Weltraum ein. Roboterautos gehen zum Beispiel auf eine Mission zum Planeten Mars; wir nennen sie *Marsrover* und sie haben Namen wie *Opportunity* und *Curiosity*.

Ein Mars-Rover soll sich selbst fortbewegen und Informationen über den Mars an die Erde senden.

Aber woher weiß er genau, was er tun muss? Ein Programmierer schreibt eine Reihe von Schritten, die der Roboter nacheinander ausführt. Der Mars-Rover führt z. B. Schritte wie "Solarzellen ausfahren", "Räder ausfahren", "Kamera einschalten" aus, nachdem er sicher auf dem Mars gelandet ist.

Die Frage ist: Wie steuert man einen Rover, der 100 Millionen Kilometer entfernt ist und auf dem Mars fährt? Da wir nicht vor Ort sind, wird er von der Erde aus ferngesteuert. Ein Funksignal von der Erde zum Mars dauert zwischen vier und zwanzig Minuten, abhängig von der Position der Erde in Bezug auf den Mars.

Ein ferngesteuerter Mars-Rover würde also mit einer erheblichen Zeitverzögerung gesteuert werden. Ein Beispiel für ein direktes Problem, das sich daraus ergibt: Aufgrund der Verzögerung wäre es zum Beispiel nicht möglich, schnell genug zu bremsen, wenn der Rover auf ein Hindernis stößt.

Es ist daher notwendig, den Mars-Rover im Voraus zu programmieren, damit er so weit wie möglich autonom und automatisch arbeiten kann.

In dieser Lektion programmieren die Schülerinnen und Schüler ihren eigenen Marsrover in der Programmierumgebung Scratch. Eine Satellitenkarte des Mars wird auf dem Boden ausgebreitet und ihr Rover muss eine Mission erfüllen, bei der es darum geht, Leben auf dem Mars zu finden.



Ziele der Lektion

- Lernen der Grundlagen der Programmierung mit Scratch,
- Lösen von Probleme durch systematisches Denken,
- lernen, kurze und präzise Anweisungen zu formulieren und sie in eine logische Reihenfolge zu bringen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Aufbau der Lektion

Die Lektion beginnt mit einer kurzen Einführung zum Mars und den Robotern, die auf dem Roten Planeten fahren. Außerdem wird die Programmierumgebung Scratch vorgestellt . Zu Hause sollen sich die Schülerinnen und Schüler anhand eines kleinen Beispielprogramms mit Scratch vertraut machen.

Anschließend werden die Schüler im Unterricht mit einigen grundlegenden Funktionen vertraut gemacht, woraufhin sie mit der Programmierung ihres Mars Rovers beginnen können. Da dieses Modul ein erster Zugang zu Scratch sein soll, wird nicht von Grund auf neu programmiert, sondern in Form von kleinen Übungen, bei denen ein Teil der Lösung bereits vorgegeben ist.

Benötigtes Material

- ✓ Eine freie Zone auf dem Boden von $6m^2$: 3m x 2m
- ✓ Pro Gruppe von 2 Schüler*innen:
 - Ein Laptop oder PC mit Windows oder MacOS mit
 - einer Internetverbindung
 - einem freien USB-Anschluss
 - [der installierten mBlock-Software](#)

Das restliche Material kann bei ESERO kostenlos ausgeliehen werden:

- ✓ die Marskarte
- ✓ das Dekorationsmaterial für die verschiedenen Challenges:
 - 3 Fotos,
 - Fotohalter,
 - eine Grotte,
 - ein Plüschbärtierchen,
 - eine Wärmequelle,
 - das Paxi-Plüschtier, welches das Maskottchen von ESERO ist,
 - Paxi-Aufkleber,
- ✓ 10 mBots, die mit allen notwendigen Sensoren ausgestattet sind, für eine Klasse mit bis zu 20 Schüler*innen.

Vorstellung des mBot-Rovers

Der mBot ist ein Roboter für Anfänger, der von der Firma [MakeBlock](#) entworfen wurde und den Unterricht und das Lernen des Roboter-Codings einfach und unterhaltsam gestaltet. Mit Schritt-für-Schritt-Anleitungen machen sich die



Schüler*innen mit den Grundlagen der blockbasierten Programmierung vertraut, entwickeln ihr logisches Denken und ihre Gestaltungsfähigkeiten.

Wie jeder Roboter interagiert der mBot gemäß den Anweisungen, die er ausführen soll, mit seiner Umgebung.

Dafür kann er mithilfe seiner Sensoren Informationen sammeln und mit seinen Stellantrieben Aktionen ausführen.

Aktionen

- Dank seiner beiden voneinander unabhängigen Motoren, die jeweils ein Antriebsrad steuern, ist der Roboter in der Lage, sich fortzubewegen.
- Mithilfe eines Buzzers kann er **Laute von sich geben**.
- Dank der LED-Leuchten, deren Farbe einstellbar ist, kann er **Licht abgeben**.

Knöpfe und Sensoren

Um mit seiner Umgebung zu interagieren und dort Informationen zu sammeln, befinden sich am Roboter:

- ein ON/OFF-Schalter,
- ein Programmstart-Button,
- ein Modul, um der Linie am Boden zu folgen,
- ein Ultraschallmodul, mit dessen Hilfe er Hindernisse im Voraus „sehen“ und ihre Entfernung einschätzen kann,
- ein Lichtsensor, der ihm Informationen über das Umgebungslicht gibt,
- ein Tonsensor, der ihm Informationen über Umgebungsgeräusche gibt,
- ein Temperatursensor, der die Temperatur der Umgebungsluft misst,
- ein Linien-Verfolgungs-Sensor.

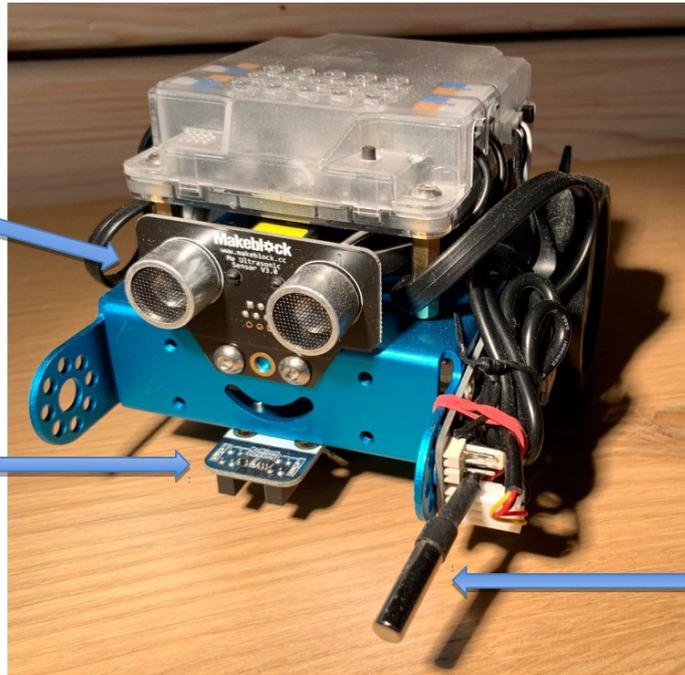
Sensor für Linienverfolgung

Der Linien-Verfolgungs-Sensor ist vorne am mBot angebracht und mit zwei Sensoren ausgestattet, die eine weiße Oberfläche (in einem Bereich von 1 bis 2 cm) erkennen können, indem sie IR-Licht (Infrarot) aussenden und die Menge des reflektierten Lichts registrieren. Wenn eine große Menge Licht reflektiert wird, kann man daraus ableiten, dass er sich in der Nähe einer weißen Fläche befindet. Wenn die Reflexion schwach ist, kann man daraus ableiten, dass die Fläche schwarz ist oder dass der Sensor sich nicht in der Nähe einer Fläche befindet.



Ultraschallsensor zur Distanzmessung

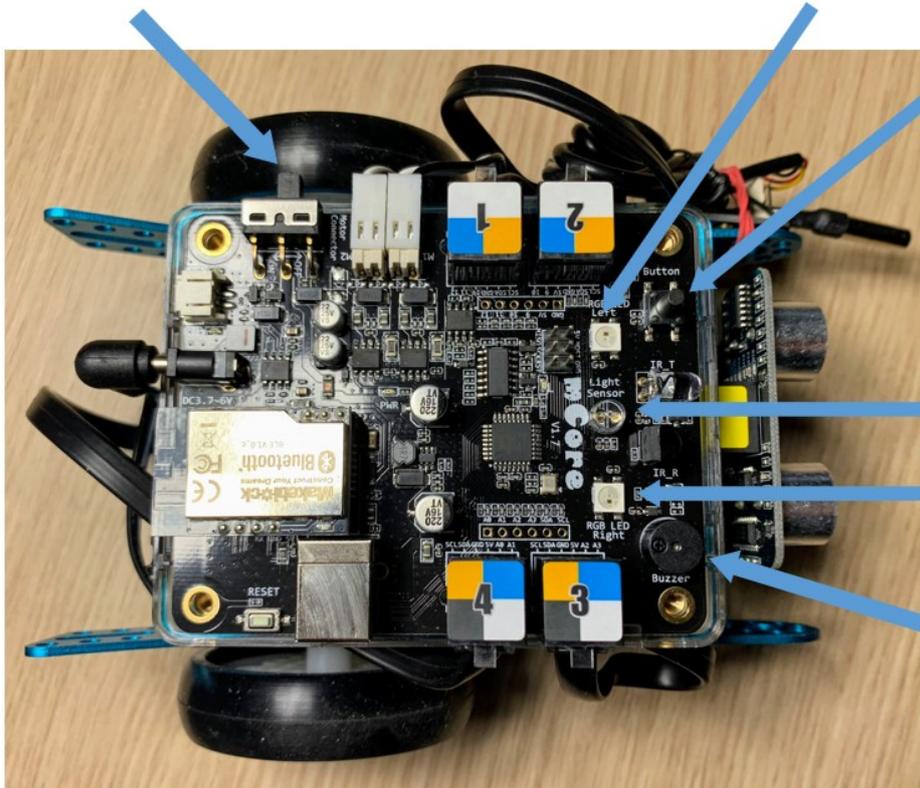
Line-Finder-Sensor



Temperaturmesser

Button EIN/AUS

LED1

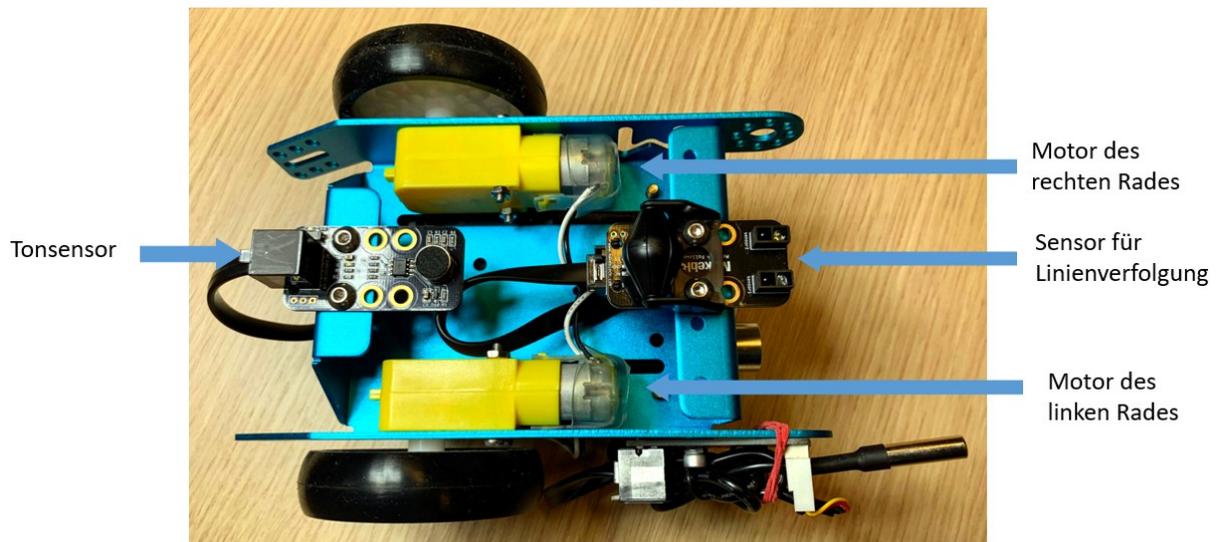


Button

Lichtsensor

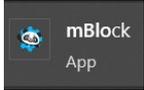
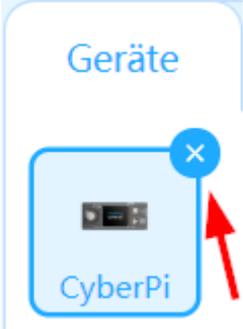
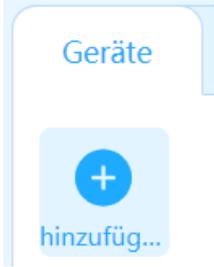
LED2

Buzzer



Verwendung der Programmiersoftware

Der Roboter mBot wird mit der Software mBlock programmiert. Diese Software kann in der PC-Version (auf Windows- oder Mac-Rechner) oder in der App-Version (für Android oder iOS) heruntergeladen werden. Alternativ kann auch die Web-Version der Software genutzt werden. Das ist besonders praktisch für die Hausaufgabe, die die Schüler*innen vor der Stunde erledigen müssen.

<p>1. Öffnen Sie das Programm mBlock.</p>	
<p>2. Wählen Sie oben links am Bildschirm Ihre Sprache, indem Sie auf klicken.</p>	
<p>3. Löschen Sie das Gerät CyberPi im Reiter „Geräte“ links, indem Sie auf das Kreuzchen klicken.</p>	
<p>4. Klicken Sie nun ebenfalls im Reiter „Geräte“ auf den Button „Hinzufügen“.</p>	
<p>5. Wählen Sie den mBot und klicken Sie auf „OK“.</p>	
<p>6. Klicken Sie unten auf dem Bildschirm auf "Erweiterung".</p>	

7. Fügen Sie die Erweiterung "Gizmo erkennen" hinzu.



Gizmos erkennen

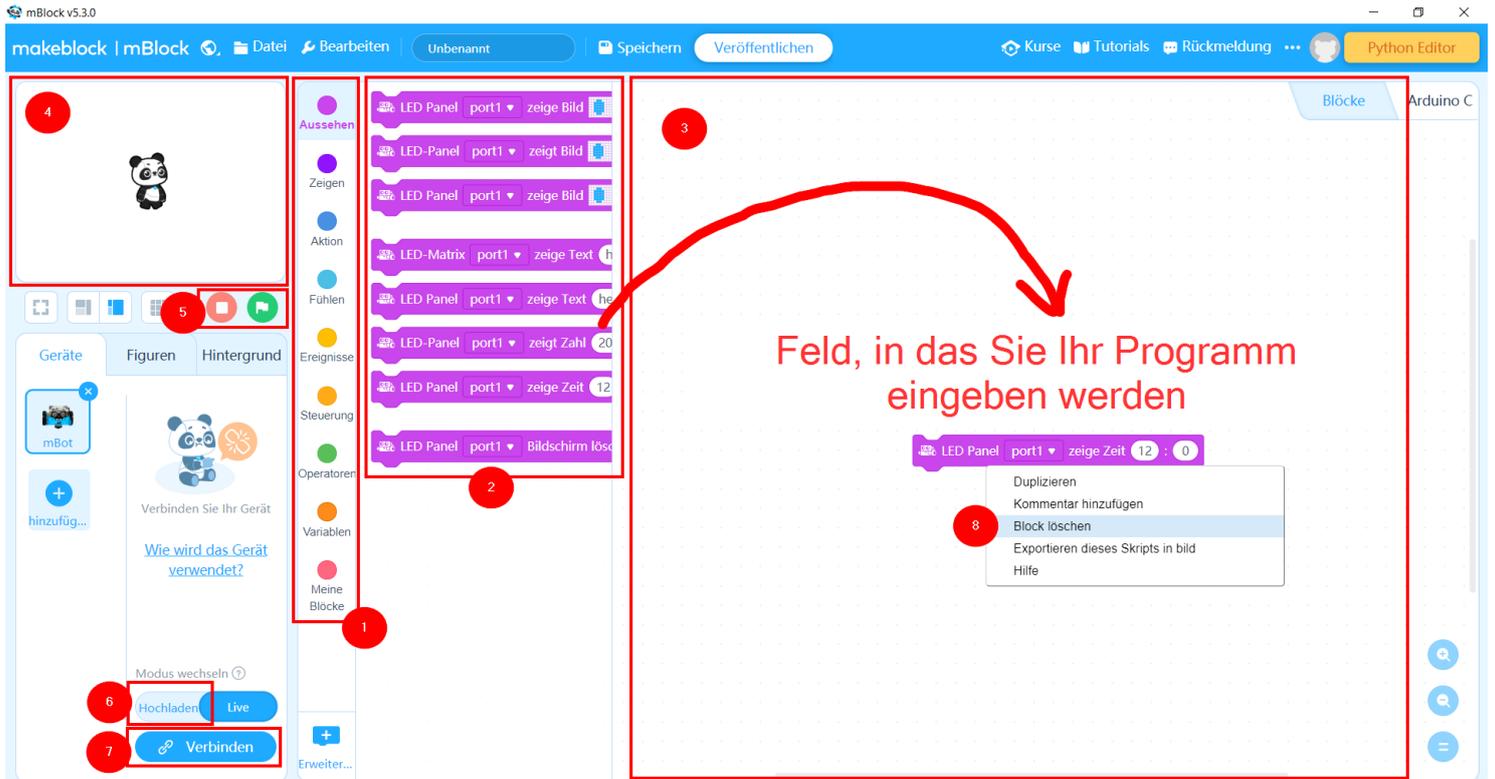
By mBlock official



In den fünf mBot-Erweiterungsprojekten können Sie auf eine Vielzahl von Beispielen zugreifen, die Ihnen helfen, den Umgang mit

[+ Hinzufügen](#)

Beschreibung der Benutzeroberfläche



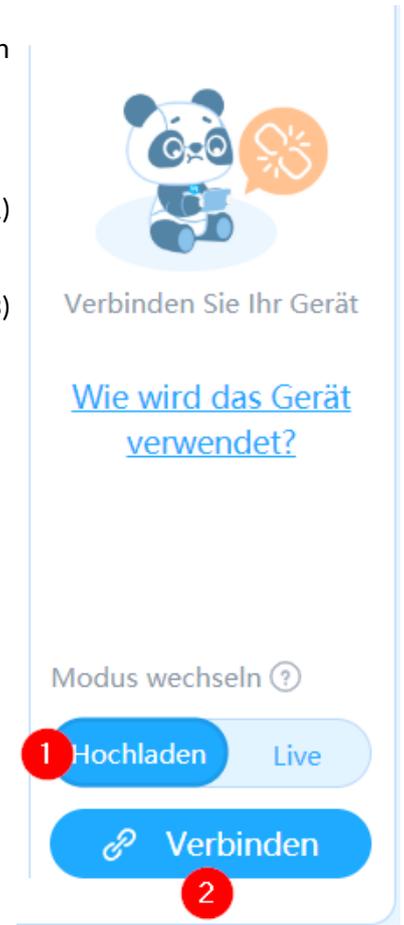
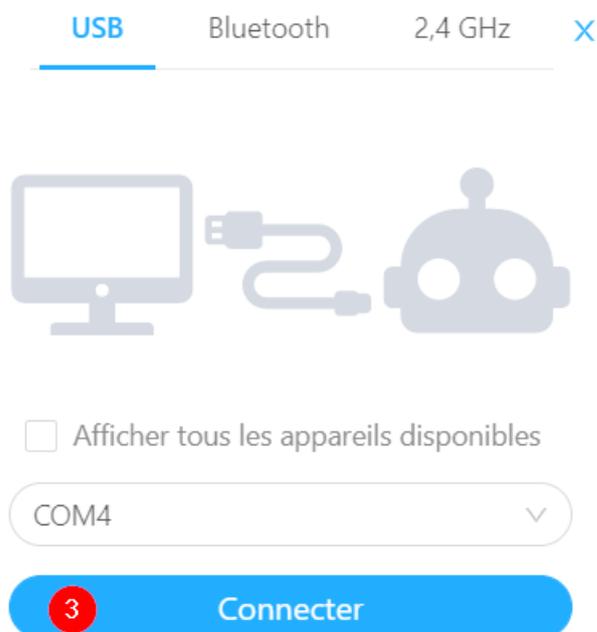
Um das Programm zu erstellen, müssen Sie nur die Elemente aus der Bibliothek in den Bereich zur Programmerstellung ziehen.

Achtung, manchmal müssen sie ganz genau platziert werden, damit sie dort bleiben.

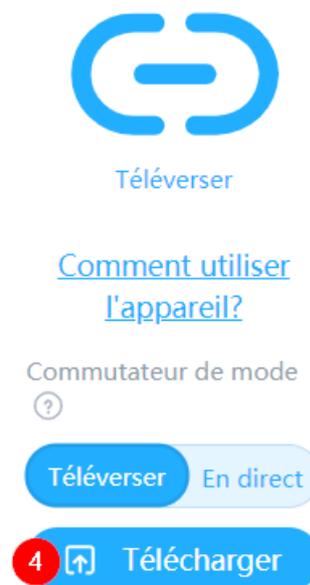
(1) Auswahlbereich aus einer Befehlsbibliothek	(5) Start/Stop des Programms,
(2) Auswahlbereich eines Befehls für Drag&Drop in den Bereich (3)	(6) Button, um Ihr Programm in
(3) Feld, in das Sie Ihr Programm eingeben werden	(7) Button, um sich mit dem mB
(4) Testbereich, um ein Bild anstelle des mBot zu programmieren	(8) Um einen Befehl zu löschen,

Vorgehensweise, um das Programm an den mBot zu schicken:

- 1- Stellen Sie den Roboter auf eine Unterlage und schließen Sie ihn an den Rechner an.
- 2- Prüfen Sie am Roboter, ob der Schalter auf „ON“ steht.
- 3- Vergewissern Sie sich, dass der Button „Hochladen“ aktiviert ist. (1)
- 4- Klicken Sie auf „Verbinden“. (2)
- 5- Klicken Sie in der folgenden Anzeige nochmals auf „Verbinden“. (3)



- 6- Wenn die Verbindung hergestellt ist, klicken Sie auf „Hochladen“. (4)



Darstellung der Marskarte



Die Karte ist ein echtes Satellitenbild, das im November 2018 von dem [Satelliten](#) Mars Express der ESA aufgenommen wurde.

Sie ist in 9 Bereiche unterteilt, die bei der Beschreibung jeder Mission erwähnt werden:

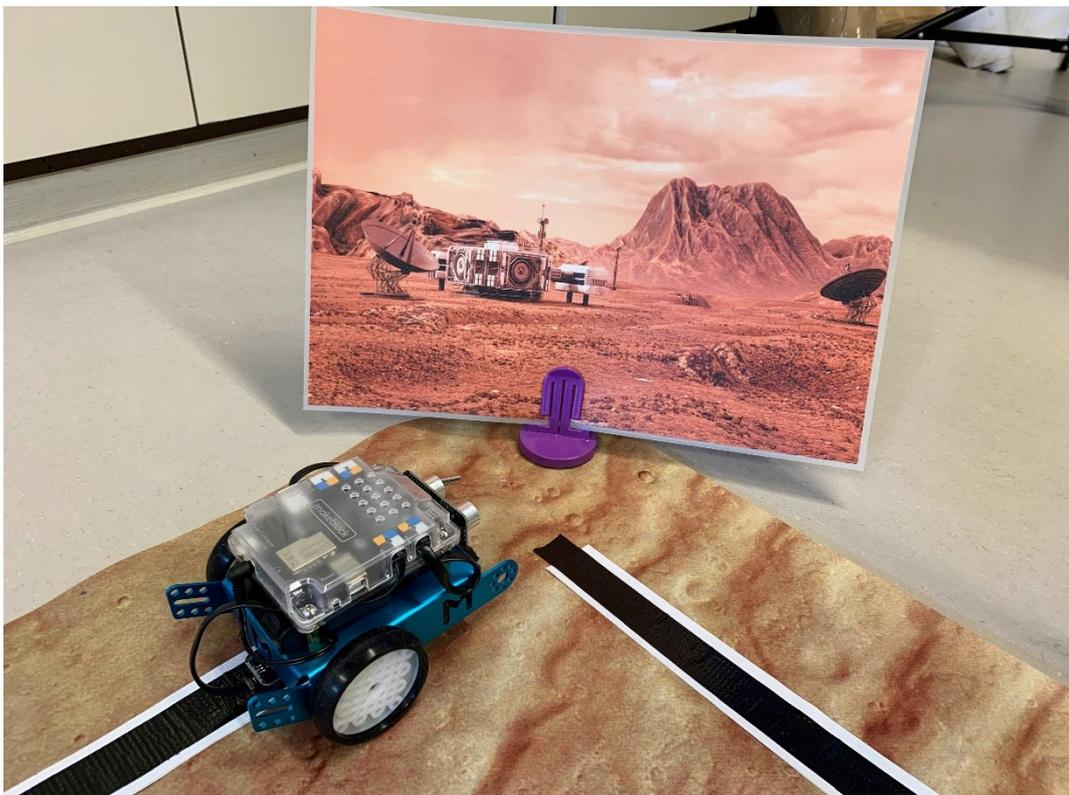


Aufbau

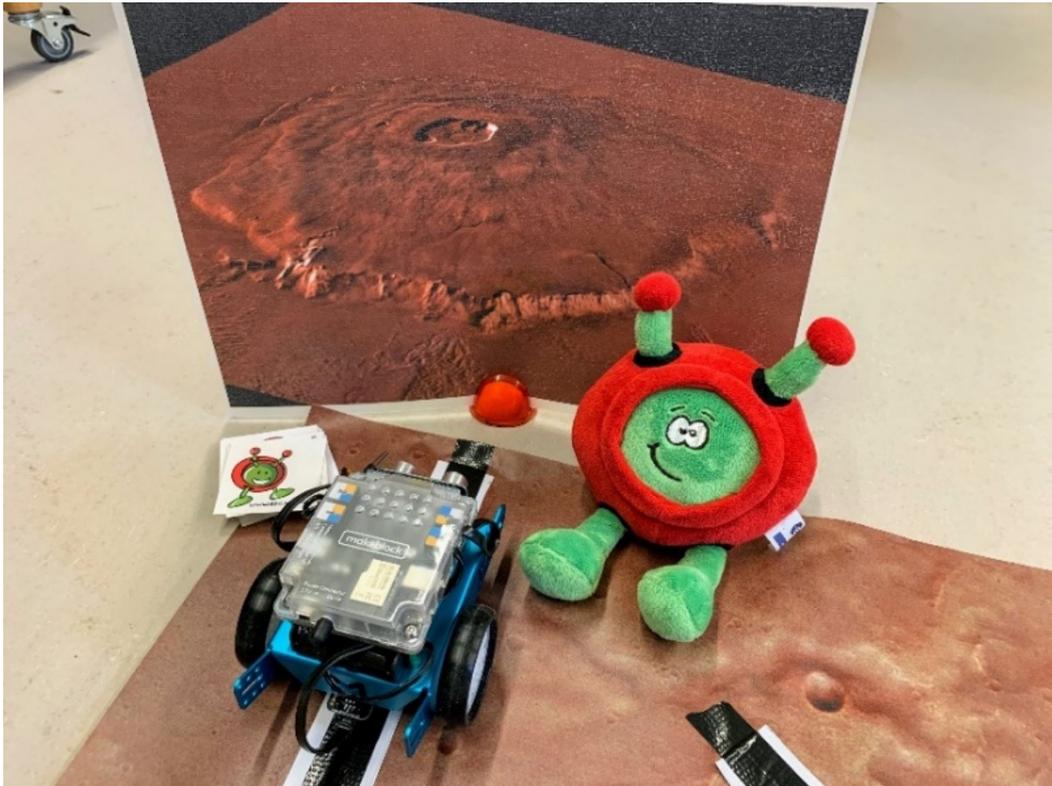
- 1- Stellen Sie das Foto der Marsbasis in die Ecke von Bereich 3.



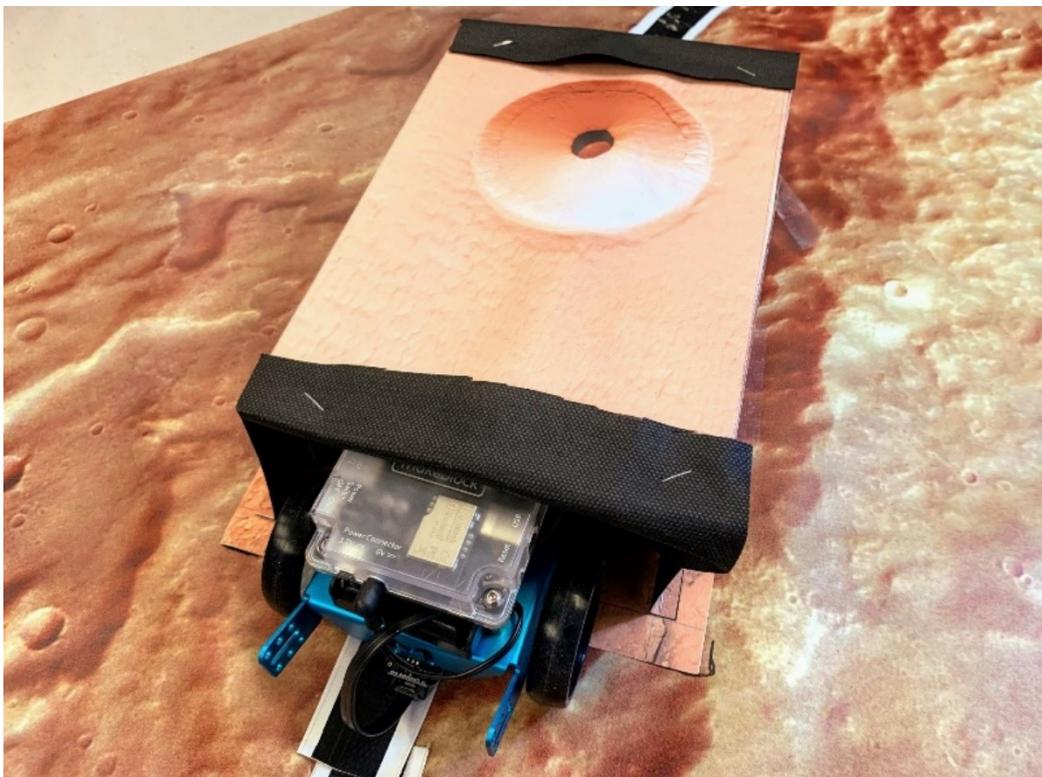
- 2- Stellen Sie das Foto der Marslandschaft gleich neben die Karte, neben den Bereich 6.



- 3- Stellen Sie das Bild des Olympus Mons senkrecht an das Ende der Strecke, unterhalb des Bereichs 9 der Karte.



- 4- Platzieren Sie Paxi (das ESERO-Maskottchen) und die Paxi-Aufkleber neben den Olympus Mons.
- 5- Legen Sie die Marshöhle auf Bereich 8, kleben Sie sie mit Klebeband an die Karte, platzieren Sie das Stück schwarze Strecke, das durch die Höhle läuft, und kleben sie es ebenfalls an die Karte.



- 6- Stellen Sie das Bild des Marskraters senkrecht an das Ende der Strecke in Bereich 1.
Stellen Sie eine Wärmequelle links an die Strecke, gleich vor den Marskrater.
Legen Sie das Bild des Bärtierchens unter die Wärmequelle und das Plüschbärtierchen neben die Wärmequelle.
Füllen Sie kurz vor Beginn von Herausforderung 4 die Petrischale mit fast kochendem Wasser.

Vorbereitung der Stunde

1. Wir empfehlen dringend, die [Lösungen](#) zu den 4 Missionen zu lesen, zu verstehen und zu testen, bevor Sie die Stunde mit den Schüler*innen beginnen.
2. Vergewissern Sie sich, dass sich eine Lithium-Batterie oder AA-Batterien im mBot befinden.
3. Schließen Sie den Rover mithilfe des [USB-Kabels](#) an Ihren Rechner an.
4. Drücken Sie den ON-Button.

Das eigene erste Programm lesen

Um sich mit dem Programm mBlock vertraut zu machen, müssen die Schüler*innen zu Hause eine erste Übung machen, um die Stunde vorzubereiten. Diese Übung kann in der Web-Version des Programms mBlock durchgeführt werden. Die SuS müssen also nichts installieren. Bitten Sie die SuS, folgendes zu tun:

- Im Menü Tutorials -> Beispielprogramme öffnen
- Die Szene -> Happy Panda wählen
- Auf „OK“ drücken

Vergewissern Sie sich, dass die SuS Folgendes verstanden haben:

- wie der Panda durch die Farblöcke gesteuert wird. Die Farblöcke sind die Befehle, die er befolgt. Die Blöcke müssen nicht im Detail erklärt werden. Die Schüler*innen müssen selbst herausfinden, was sie mit jedem Block tun können.
- die Funktion der grünen Fahne und des roten Vierecks.

Dann werden die Schüler*innen gebeten, die chinesische Botschaft im Block „say“ zu ändern und zu zeigen, was dies bei der Ausführung des Programms ändert. Ermutigen Sie sie, mit dem Programm zu spielen und die Funktionen selbst herauszufinden.

Los geht's!

Die Stunde kann beginnen. Das Programmierspiel ist in 4 Missionen gegliedert, denen eine Herausforderung namens Pilottraining vorangeht. Die Missionen müssen gelöst werden, indem der mBot so programmiert wird, dass er seine speziellen Aufgaben ausführt.

Da dieses Modul für viele Schüler*innen den ersten Kontakt mit Scratch darstellt, müssen die SuS nicht jede Übung von Grund auf programmieren. Am Ende jeder Mission gibt es Dateien. Diese Dateien beinhalten einen Teil der Lösung. Die Schüler*innen müssen also nur die Datei ergänzen, um zur endgültigen Lösung zu gelangen. Hierzu müssen die SuS die Dateien auf ihrem Rechner speichern. Über die mBlock-Benutzeroberfläche müssen sie sie dann auf ihrem Rechner öffnen.

Natürlich können Sie in Klassen, die bereits Erfahrung mit Scratch haben, diese Dateien weglassen und die SuS die Missionen von Grund auf programmieren lassen.

Die Missionen sind so konzipiert, dass der Schwierigkeitsgrad ansteigt. Zunächst sollen die Schüler*innen sich auf die Werte der Variablen (Mission 1) konzentrieren, dann auf die Logik des Programms (Mission 2) und schließlich beide Aspekte zusammen betrachten (Mission 3 und Mission 4).

Das erste Programm schreiben: Pilottraining

Bei dieser ersten Übung besteht die Aufgabe darin,

- den mBot auf dem Tisch geradeaus fahren zu lassen,
- den mBot mithilfe des Ultraschallsensors zu stoppen, sobald er sich in weniger als 10 cm Entfernung von einem Hindernis befindet. Das Hindernis kann die Hand des/der Schüler*in, ein Buch oder irgendein anderer Gegenstand sein.

Mission 1

Kontext:

Der Rover befindet sich in der Mitte der Karte, in einem ausgetrockneten Tal, und erhält den Befehl, zur Basis zurückzukehren, um mit einer neuen Mission beauftragt zu werden.

Mission:

Die Schüler*innen müssen zur Basis in Bereich 3 zurückkehren, indem sie mit dem Linien-Verfolgungs-Sensor der schwarzen Linie folgen.

In der Befehlsbibliothek „Fühlen“ gibt es 2 Blöcke, die dem Linienverfolger zugeordnet sind:



In diesem ersten Block wird eine Zahl zwischen 0 und 3 auf der Grundlage der folgenden Werte zurückgeben:

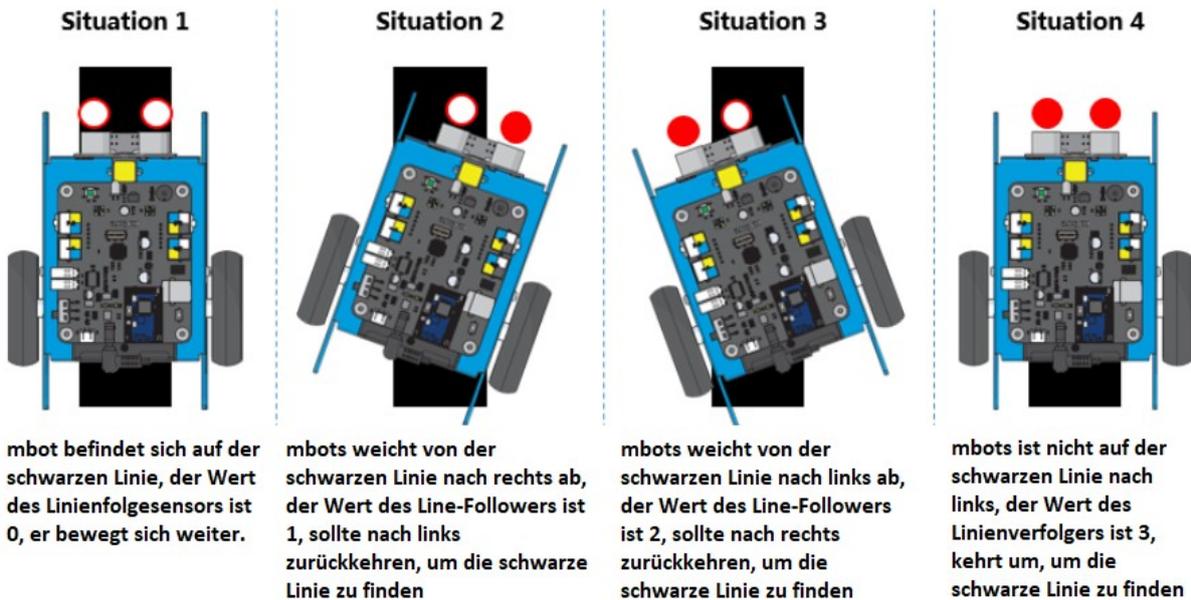
Sensor 1 (Links)	Sensor 2 (Rechts)	Rückgabewert
		0
		1
		2
		3



Der zweite Block gibt „true“ oder „false“ zurück.

Programmierung:

- ✓ Die Schüler*innen müssen [die Übung zum Ergänzen](#) herunterladen.



-  Zeigt an, dass der Sensor das Infrarotsignal nicht empfangen konnte.
-  Zeigt an, dass der Sensor das Infrarotsignal empfangen konnte.

Wichtiger Hinweis: Im Allgemeinen tendieren Schüler*innen bei der Linienverfolgung intuitiv dazu, diese Befehle mit Zeitangaben zu programmieren, um nach links oder rechts zu drehen, was die Linienverfolgung sehr schwierig macht, da der Begriff „Zeit“ von der Motorleistung zu diesem Zeitpunkt abhängt. Außerdem haben wir festgestellt, dass Schüler*innen, und auch Erwachsene, die Länge einer Sekunde unterschätzen.

Anstatt dies also so zu programmieren:

```

wenn [Linien-Verfolgungs-Sensor port2] gebe Wert = 1, dann
  [nach links drehen mit 50 % Leistung für 1 Sek.]
  
```

ist es viel sicherer, die Reaktionszeit des Linien-Verfolgungs-Sensors zu nutzen und die Motorleistung zu bremsen:

```

wenn [Linien-Verfolgungs-Sensor port2] gebe Wert = 1, dann
  [linkes Rad dreht mit 10 % der Leistung, rechtes Rad mit 50 %]
  
```

Beim Befehl „Rückwärts fahren“ ist man leider gezwungen, mit Sekunden zu arbeiten. Achten Sie genau darauf, dass die SuS nicht mit zu hohen Zeitangaben arbeiten (nicht mehr als eine Sekunde).

Mission 2

Kontext:

Der Rover ist zur Basis zurückgekehrt und erhält den Befehl, den Versuch zu unternehmen, **Leben auf dem Mars zu finden**.

Der Satellit ExoMars hat potenziell interessante Stellen gefunden und die entsprechenden GPS-Daten dieser Stellen angegeben.

Die Basis hat außerdem einen Notruf von Paxi empfangen, der technische Probleme mit seinem Raumfahrzeug in der Nähe des Olympus Mons, dem höchsten Berg auf dem Mars, hat.

Die Schüler*innen müssen zunächst Paxi retten, der sich für unsere Mission als sehr hilfreich erweisen wird, da er die Marslandschaften gut kennt.

Mission:

Die Schüler*innen müssen

- der schwarzen Linie von Bereich 3 zu Bereich 9 folgen,
- mithilfe des Ultraschallsensors vor dem Olympus Mons anhalten,
- mit den LED-Leuchten des mBot ein Lichtsignal erzeugen, um Paxi über ihre Ankunft zu informieren,
- „Paxi an Bord nehmen“, indem der/die Schüler*in einen Paxi-Aufkleber erhält.

Programmierung :

- ✓ Die Schüler*innen müssen die [Übung zum Ergänzen herunterladen](#).

Mission 3

Kontext:

Der Satellit ExoMars hat die Position einer Marshöhle angegeben, die erforscht werden soll und Leben enthalten könnte. Die Schüler*innen müssen in die Höhle hinabsteigen und sie scannen.

Mission:

Die Schüler*innen müssen

- der schwarzen Linie von Bereich 9 zu Bereich 8 folgen,
- im Inneren der Höhle anhalten, wenn der Lichtsensor eine geringe Lichtstärke ermittelt,
- ein Tonsignal erzeugen, das einen Laserstrahl simuliert, der das Innere der Höhle scannt.

Programmierung :

- ✓ Die Schüler*innen müssen die [Übung zum Ergänzen herunterladen](#).

Mission 4

Kontext:

Die Schüler*innen haben kein Leben in der Marshöhle gefunden, aber es gibt noch einen anderen vielversprechenden Ort.

Plötzlich hört man das Geräusch eines Meteoriten, der in der Nähe der Höhle einschlägt. Die SuS müssen sich zur Einschlagstelle begeben, um Spuren von Leben zu suchen.

Aufgabe :

Man simuliert einen Meteoriteneinschlag, indem man in die Hände klatscht.

Mithilfe des Tonsensors muss der mBot

- das Geräusch des Meteoriteneinschlags abwarten,
- vor der Stelle des Meteoriteneinschlags anhalten,
- die Temperatur messen, um eine Heißwasserquelle mit über 30°C zu finden, die Leben enthält,
- eine auf dem mBot komponierte „Siegeshymne“ abspielen, wenn die Temperatur über 30°C liegt!

Programmierung :

- ✓ Die Schüler*innen müssen [die Übung zum Ergänzen herunterladen](#).

Wichtige Hinweise:

Bereiten Sie die Wärmequelle vor, kurz bevor sie mit dieser Mission beginnen.

Die Einheit

Lies dein erstes Programm (Hausaufgabe)

- Öffne im Tutorials-Menü die Beispielprogramme
- Wähle die Szene -> Happy Panda
- Drück auf „OK“

Bearbeite folgende Aufgaben:

- Die Farblöcke geben dem Panda Anweisungen. Versuche herauszufinden, was du mit jedem Block tun kannst.
- Gib an, welche Aktion beim Panda durch welchen Farblock des Programms ausgelöst wird und notiere sie in einer Liste. Bringe diese Liste zur nächsten Stunde mit.
- Versuche zu verstehen, welche Funktion die grüne Fahne und das rote Quadrat haben.
- Ändere die chinesische Botschaft im Block „say“ und notiere, was das bei der Ausführung des Programms ändert.

Das erste eigene Programm schreiben: Pilottraining

Hier also eure erste Übung:

- Lasst den mBot auf dem Tisch geradeaus fahren.
- Stoppt den mBot mithilfe des Ultraschallsensors, sobald er sich in weniger als 10 cm Entfernung von einem Hindernis befindet. Das Hindernis kann zum Beispiel eure Hand sein.

Missionen

Mission 1

Kontext:

Der Rover befindet sich in der Mitte der Karte, in einem ausgetrockneten Tal, und erhält den Befehl, zur Basis zurückzukehren, um mit einer neuen Mission beauftragt zu werden.

Mission:

Kehrt zur Basis in Bereich 3 zurück, indem ihr mit dem Linien-Verfolgungs-Sensor der schwarzen Linie folgt.

Hilfe:

In der Befehlsbibliothek „Fühlen“ gibt es **2 Blöcke**, die dem Linienverfolger zugeordnet sind:



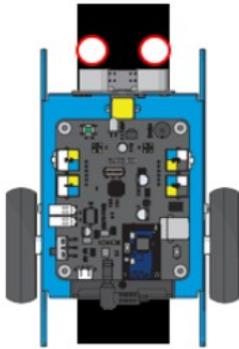
Dieser erste Block wird eine Zahl zwischen 0 und 3 auf der Grundlage der folgenden Werte zurückgeben:

Sensor 1 (Links)	Sensor 2 (Rechts)	Rückgabewert
■	■	0
■	□	1
□	■	2
□	□	3

Der zweite Block gibt „richtig“ oder „falsch“ zurück.

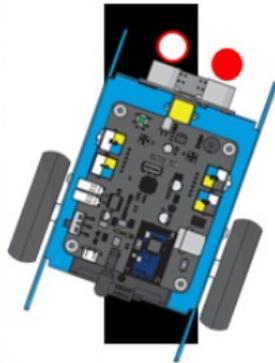


Situation 1



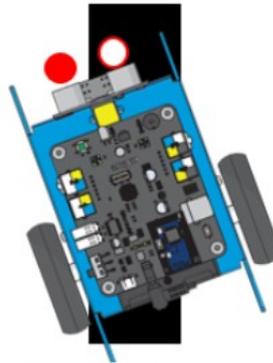
mbot befindet sich auf der schwarzen Linie, der Wert des Linienfolgesensors ist 0, er bewegt sich weiter.

Situation 2



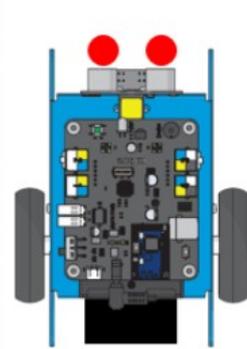
mbots weicht von der schwarzen Linie nach rechts ab, der Wert des Line-Followers ist 1, sollte nach links zurückkehren, um die schwarze Linie zu finden

Situation 3



mbots weicht von der schwarzen Linie nach links ab, der Wert des Line-Followers ist 2, sollte nach rechts zurückkehren, um die schwarze Linie zu finden

Situation 4



mbots ist nicht auf der schwarzen Linie nach links, der Wert des Linienverfolgers ist 3, kehrt um, um die schwarze Linie zu finden



Zeigt an, dass der Sensor das Infrarotsignal nicht empfangen konnte.



Zeigt an, dass der Sensor das Infrarotsignal empfangen konnte.

Programmierung :

- ✓ [Übung zum Ergänzen](#) herunterladen.

Mission 2

Kontext:

Der Rover ist zur Basis zurückgekehrt und erhält den Befehl, den Versuch zu unternehmen, **Leben auf dem Mars zu finden!**

Der Satellit ExoMars hat potenziell interessante Stellen gefunden und die entsprechenden GPS-Daten dieser Stellen angegeben.

Die Basis hat außerdem einen Notruf von Paxi empfangen, der technische Probleme mit seinem Raumfahrzeug in der Nähe des Olympus Mons, dem höchsten Berg auf dem Mars, hat.

Ihr müsst zunächst **Paxi retten**, der sich für unsere Mission als sehr hilfreich erweisen wird, da er die Marslandschaften gut kennt.

Mission:

- Folgt der schwarzen Linie von Bereich 3 zu Bereich 9.
- Haltet mithilfe des Ultraschall-Sensors vor dem Olympus Mons an.
- Erzeugt mit den LED-Leuchten des mBot ein Lichtsignal, um Paxi (das ESERO-Maskottchen) über eure Ankunft zu informieren.
- „Nehmt Paxi an Bord“, indem ihr einen Paxi-Aufkleber nehmt.

Programmierung :

- ✓ [Übung zum Ergänzen](#) herunterladen.

Mission 3

Kontext:

Der Satellit ExoMars hat die Position einer Marshöhle angegeben, die erforscht werden soll und Leben enthalten könnte. Ihr müsst in die Höhle hinabsteigen und sie scannen.

Mission:

- Folgt der schwarzen Linie von Bereich 9 zu Bereich 8.
- Haltet im Inneren der Höhle an, wenn der Lichtsensor eine geringe Lichtstärke ermittelt.
- Erzeugt ein Tonsignal, das einen Laserstrahl simuliert, der das Innere der Höhle scannt.

Programmierung :

- ✓ [Übung zum Ergänzen](#) herunterladen.

Mission 4

Kontext:

Ihr habt kein Leben in der Marshöhle gefunden, aber es gibt noch einen anderen vielversprechenden Ort.

Plötzlich hört man das Geräusch eines Meteoriten, der in der Nähe der Höhle einschlägt. Ihr müsst euch zur Einschlagstelle begeben, um Spuren von Leben zu suchen.

Mission:

- Simuliert den Meteoriteneinschlag, indem ihr in die Hände klatscht.
- Wartet das Geräusch des Meteoriteneinschlags (simuliert durch eure Hände) mithilfe des Tonsensors des mBot ab.
- Haltet vor der Stelle des Meteoriteneinschlags an.
- Messt die Temperatur, um eine Heißwasserquelle mit über 30°C zu finden, die Leben enthält.
- Spielt eine auf dem mBot komponierte „Siegeshymne“ ab, wenn die Temperatur über 30°C liegt!

Programmierung :

- ✓ [Übung zum Ergänzen](#) herunterladen.

Evaluationsmöglichkeiten

Ein Programm vom Anfang bis zum Ende schreiben

Nachdem die Schüler*innen sich mit der Funktion der Codeblöcke und ihrer gezielten Anwendung über den mBot vertraut gemacht haben, kann eine (Selbst-)Bewertung erfolgen, in der die SuS aufgefordert werden, selbst ein Programm zu schreiben, für das sie eine Aufgabe, aber kein gegebenes Code-Muster haben.

Bei dieser Arbeit geben die Schüler*innen einem Bild, zum Beispiel [dem Bild von Paxi](#), oder einem anderen Bild, das sie auswählen, eine Reihe von Befehlen.

Vorbereitung :

1. Ladet das Bild von Paxi auf euren Rechner.
2. Öffnet das Programm „mBlock“.
3. Löscht im Reiter „Figuren“ links das Bild des Pandas.
4. Klickt, noch immer im Reiter „Figuren“, auf den Button „Hinzufügen“, dann auf „Hochladen“ und ladet das Bild von Paxi hoch, das ihr zuvor gespeichert habt.
5. Klickt auf „OK“.
6. Verringert im Reiter „Figuren“ die Größe des Bildes von Paxi von 100 auf 30.



Übung:

Ein neues Programm erstellen, in dem Paxi dem Mauszeiger auf unbestimmte Zeit folgt, ohne ihn jemals zu berühren.

Zum Nachdenken

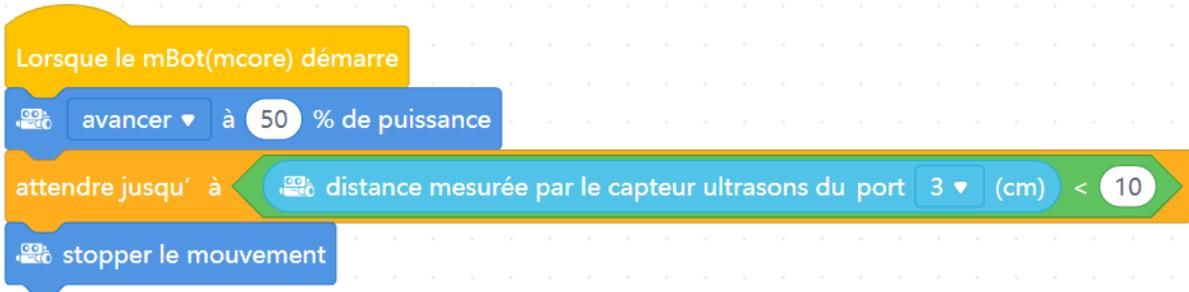
Denkt in Gruppen über folgende Frage nach:

Worin bestehen eurer Meinung nach die Unterschiede zur Programmierung des [echten ExoMars-Rovers](#)?

Haltet einen Mini-Vortrag, erstellt ein Poster oder schreibt einen Aufsatz.

Lösungen

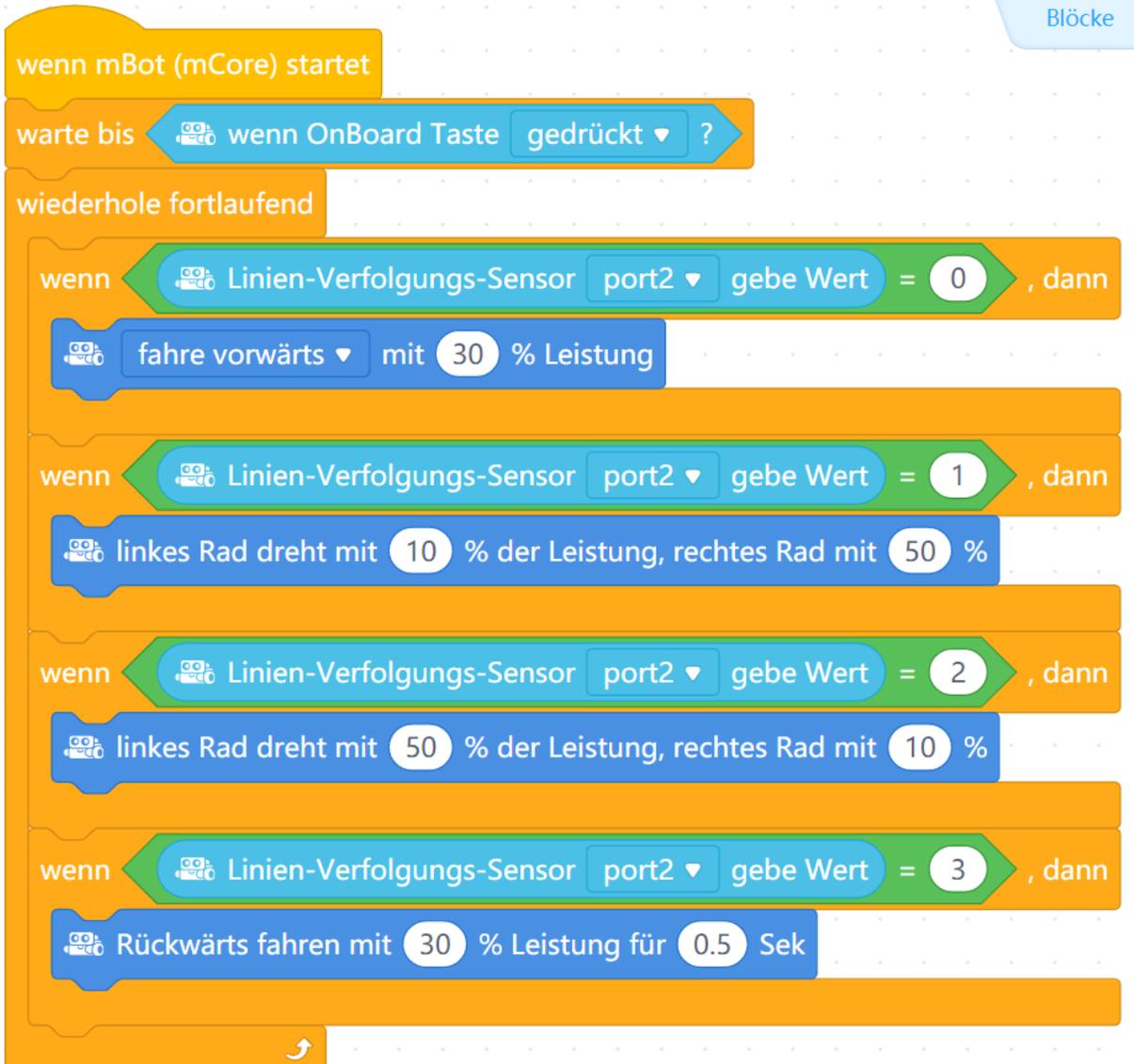
Lösung Mission 0 – Das erste eigene Programm schreiben



Lorsque le mBot(mcore) démarre

- avancer à 50 % de puissance
- attendre jusqu'à distance mesurée par le capteur ultrasons du port 3 (cm) < 10
- stopper le mouvement

Lösung Mission 1 – Rückkehr zur Basis



Blöcke

wenn mBot (mCore) startet

warte bis wenn OnBoard Taste gedrückt ?

wiederhole fortlaufend

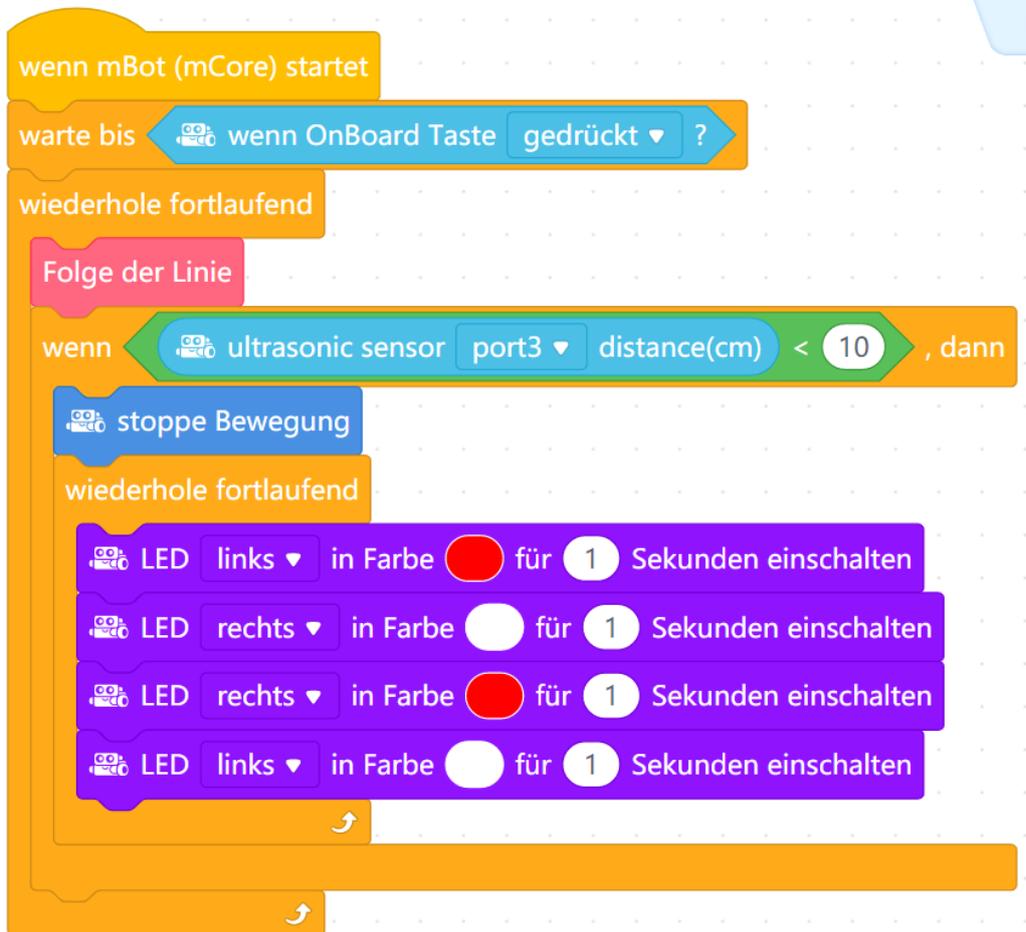
- wenn Linien-Verfolgungs-Sensor port2 gebe Wert = 0, dann
 - fahre vorwärts mit 30 % Leistung
- wenn Linien-Verfolgungs-Sensor port2 gebe Wert = 1, dann
 - linkes Rad dreht mit 10 % der Leistung, rechtes Rad mit 50 %
- wenn Linien-Verfolgungs-Sensor port2 gebe Wert = 2, dann
 - linkes Rad dreht mit 50 % der Leistung, rechtes Rad mit 10 %
- wenn Linien-Verfolgungs-Sensor port2 gebe Wert = 3, dann
 - Rückwärts fahren mit 30 % Leistung für 0.5 Sek

Alternativ können Sie [die Lösung](#) herunterladen.

Anmerkungen:

1. Der erste Befehl „warte bis / wenn OnBoard Taste gedrückt“ wird eigentlich nicht für die korrekte Funktion des Programms benötigt. Wir haben diesen Befehl hinzugefügt, damit der Roboter erst startet, wenn der Button gedrückt wird. Andernfalls startet er gleich auf dem Tisch, sobald die Schüler*innen den Computer anschließen, um das Programm zu laden.
2. Es ist normal, dass der Roboter am Ende dieser Mission endlos vorwärts und rückwärts fährt.
3. Achten Sie darauf, dass die SuS keine zu hohe Sekundenanzahl in den letzten Befehl eingeben. Andernfalls fährt der Roboter zu weit zurück und verlässt die Linie. Die Schleife Vorwärts/Rückwärts am Ende der Mission stellt einen guten Test dar, um zu überprüfen, ob die SuS keine zu hohe Sekundenanzahl eingegeben haben.
4. Achten Sie auch darauf, dass die SuS keinen zu hohen Prozentwert für die Leistung eingeben. 30 % reichen völlig aus, um vorwärts und rückwärts zu fahren. 50 % und 10 % sind perfekt für die Drehung. Natürlich funktionieren auch kleine Abweichungen von diesen Zahlen einwandfrei.

Lösung Mission 2 – Vor dem Olympus Mons stehen bleiben

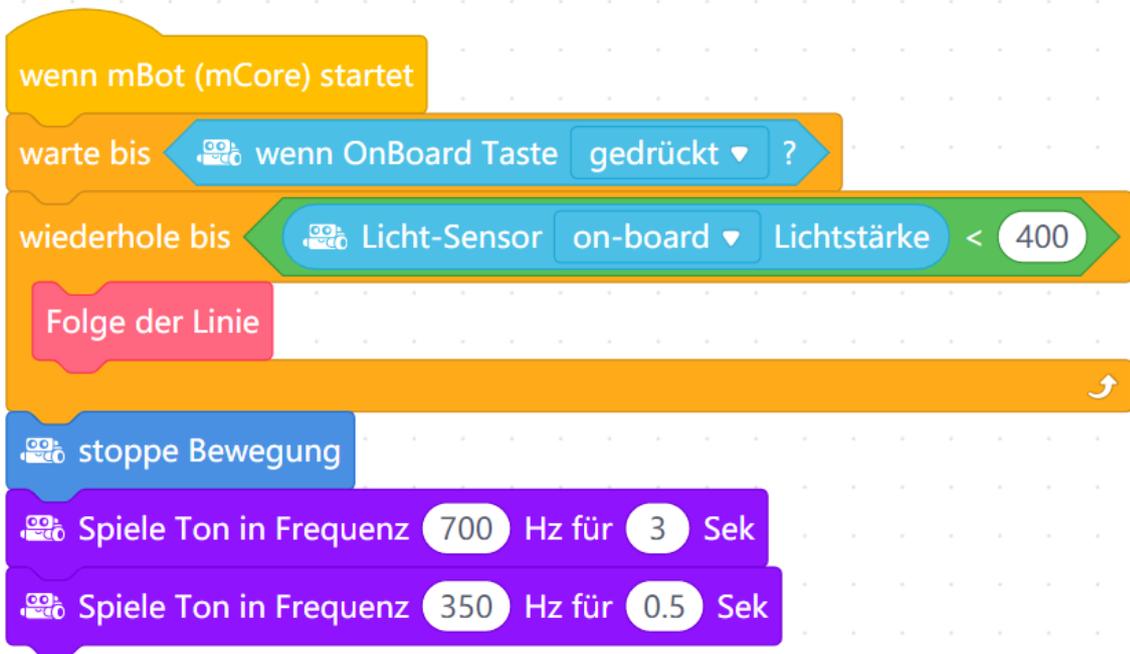


Alternativ können Sie [die Lösung](#) herunterladen.

Anmerkungen:

1. Der Befehl „Folge der Linie“ ist einfach ein Name für das Programm der Mission 1.

Lösung Mission 3 – Eine Marshöhle erkunden



Alternativ können Sie [die Lösung](#) herunterladen.

Anmerkungen:

1. Die Leistungen im Programm „Folge der Linie“ sind leicht erhöht. Das liegt daran, dass die Batterien nach einer gewissen Zeit verbraucht sind, und die Leistung deshalb erhöht werden muss, damit der Roboter fährt.

Lösung Mission 4 – Leben finden!

```
when mBot (mCore) starts
  wait until sound sensor (Anschluss4) is greater than 500
  repeat until ultrasonic sensor (port3) distance (cm) is less than 12
  follow the line
  stop movement
  when temperature sensor (Anschluss1) (Steckplatz1) in Celsius (°C) is greater than 25
    wait 1 seconds
  repeat forever
    when temperature sensor (Anschluss1) (Steckplatz1) in Celsius (°C) is greater than 30
      send the signal: Wir haben Leben auf dem Mars entdeckt!
```

Alternativ können Sie [die Lösung](#) herunterladen.

Anmerkung:

1. Die Leistungen im Programm „Folge der Linie“ sind höher. Das liegt daran, dass die Batterien nach einer gewissen Zeit verbraucht sind, und die Leistung deshalb erhöht werden muss, damit der Roboter fährt.
2. Der Befehl „Senden Sie das Signal: Wir haben Leben auf dem Mars entdeckt!“ stellt ein eigenes kleines Programm dar, in dem die SuS ihre eigene Siegeshymne komponieren können.

Mehr zum Thema

Auf Entdeckungsreise zum Mars

Seit den 60er Jahren unternehmen die Menschen Forschungsmissionen zum Mars. Die NASA-Sonde Mariner 4 wurde am 28. November 1964 gestartet und war die erste, die den Mars am 14. Juli 1965 überflog. Bis heute haben vier Weltraumorganisationen erfolgreich Missionen zur Erforschung des roten Planeten durchgeführt: die NASA (National Aeronautics and Space Administration), die ISRO (Indian Space Research Organisation), das Raumfahrtprogramm der Sowjetunion und Russlands und die ESA (European Space Agency).

In den 60er Jahren und zu Beginn der 70er Jahre wurden mehrere Sonden losgeschickt, die den Mars überfliegen sollten. Die erfolgreichste Mission war die der Sonde Mariner 9 der NASA, die Ende 1971 gestartet wurde. Mariner 9 befand sich fast ein Jahr lang im Orbit des Mars und konnte mehr als 7.000 Fotos vom Mars aufnehmen, was unsere Wahrnehmung dieses Planeten drastisch verändert hat.

1975 schließlich schickte die NASA zwei Paare Orbiter und Landesonden los. Ein Orbiter ist eine Raumsonde, die in die Umlaufbahn eines Himmelskörpers eintritt, wohingegen eine Landesonde ein Raumfahrzeug bezeichnet, das auf der Oberfläche eines Himmelskörpers aufsetzt. Viking 1 und Viking 2 setzten auf dem Mars auf und verblieben dort für mehrere Jahre. Leider fanden sie keine deutlichen Anzeichen für Leben auf dem Mars.

Ende der 90er Jahre erstellte der Orbiter Mars Global Surveyor der NASA eine vollständige Karte des Mars vom Nordpol bis zum Südpol. Fast gleichzeitig startete die NASA den Mars Pathfinder, der aus einer Landesonde und einem Rover, dem berühmten Sojourner, bestand. Er war der erste Rover, der außerhalb der Erde und des Mondes operierte. Ein Rover ist ein motorgetriebenes Fahrzeug zur Fortbewegung auf der Oberfläche eines Planeten oder eines Mondes (im Gegensatz zu einer Landesonde, die sich nicht fortbewegt, sobald sie auf einem Gestirn gelandet ist). Eine vollständige Übersicht der verschiedenen Raumfahrzeuge befindet sich auf [dieser Seite der NASA](#).

Der Orbiter Mars Odyssey, der sich noch immer in der Umlaufbahn des Mars befindet, wurde 2001 von der NASA gestartet. 2003 schickte die ESA eine Mission mit einem Orbiter und einer Landesonde, nämlich Mars Express und Beagle, zum Mars. Die Landesonde ging unglücklicherweise während der Landung verloren, aber der Orbiter ist noch immer in seiner Mission unterwegs. [Hier](#) sind Fotos und Filme zu sehen, die der Mars Express gesendet hat.

2004 schickte die NASA zwei weitere Rover auf den Mars, Spirit und Opportunity. Spirit ging 2010 in einer Sanddüne zu Bruch, während Opportunity bis 2018 weiter in Betrieb war, bis er sich während eines Sandsturms abschaltete.

2006 wurde ein anderer Orbiter der NASA, der Mars Renaissance Orbiter, in die Umlaufbahn gebracht und schickt uns seither mehr Daten über den Mars als alle anderen Missionen zusammen. Ein Jahr später schickte die NASA Mars Phoenix, eine andere stationäre Landesonde. Leider verlor die NASA nach einigen Monaten den Kontakt zu ihr und erklärte sie 2010 für tot.

Ein neuer Rover der NASA, stärker als alle anderen, Curiosity, landete 2012 auf dem Mars. Das Design von Curiosity inspirierte die Entwicklung des Rovers Perseverance, der im Februar 2021 auf dem Mars landete. Eine der Hauptmissionen von Perseverance ist die Entnahme von Bodenproben des Mars. Diese Proben sollen 2031 in einer gemeinsamen Mission der NASA und der ESA zur Erde zurückkehren. Die letzten Neuigkeiten von Perseverance sind auf [dieser Seite](#) zu finden.

Schließlich sollten wir die Mission ExoMars nicht vergessen, ein Gemeinschaftsprojekt der ESA und der russischen Raumfahrtbehörde Roscosmos. Die Mission beinhaltet eine Landesonde namens Schiaparelli, die 2016 zum Mars geschickt wurde, aber bei der Landung zu Bruch ging, und einen Orbiter namens Trace Gas Orbiter, der im gleichen Jahr losgeschickt wurde und noch immer unterwegs ist. Im Rahmen der gleichen Mission sollte ein Rover namens Rosalind Franklin noch dieses Jahr (2022) zum Mars geschickt werden. Der Name verweist auf die britische Wissenschaftlerin, die hinter der Entdeckung der DNS-Struktur steht. Für die ESA sind Forschung und Wissenschaft zentrale Aspekte des Menschseins. Daran soll die Namenspatenschaft erinnern. (ESA, 2019a). Leider musste die ESA die Mission ExoMars angesichts der aktuellen Situation vollständig streichen (Science.lu, 2022).

Erwähnt sei, dass andere Länder ebenfalls Mars-Missionen entwickeln:

- die indische Mission [Mars Orbiter Mission](#) gelangte 2016 in die Umlaufbahn,
- die Mission [Hope Probe](#) der Arabischen Emirate wurde 2020 zum Mars geschickt,
- die chinesische Mission Tianwen-1 erreichte die Umlaufbahn und den Mars 2021,
- die japanische Mission Mars Moons Exploration Mission ist für 2024 geplant.

Abschließend bleibt anzumerken, dass diese Zusammenfassung den Eindruck hinterlässt, dass die Erforschung des Mars voller erfolgreicher Missionen ist, wohingegen es neben diesen oben genannten geglückten Missionen zahlreiche gescheiterte Unternehmungen gab. Eine Zusammenfassung aller Missionen befindet sich auf (Space.com, n.d.). Dies macht deutlich, wie wissenschaftliche Forschung funktioniert: die Geschichte verzeichnet oft nur die Erfolge, wohingegen in Wirklichkeit jeder Entdeckung, jeder Erfindung oder jedem wissenschaftlichen Durchbruch immer zahlreiche Fehlversuche vorangehen, die nicht erwähnt werden und dann in Vergessenheit geraten.

Warum den Mars erforschen?

Natürlich liegen die Erforschung des Universums und die Herausforderung, immer weiterzugehen, schon immer im Interesse des Menschen. Die rein wissenschaftlichen Gründe für die Erforschung des Mars sind folgende:

- nach Leben auf dem Mars suchen,
- Klima und Geologie des roten Planeten bestimmen,
- das Terrain für eine zukünftige bemannte Erforschung vorbereiten.

Erkunden, ob es Leben außerhalb der Erde gibt, ist ein fundamentaler Wunsch. Da der Mars der Planet ist, der unserer Erde am ähnlichsten ist, ist er ein besonders guter Ort, um diese Frage zu untersuchen.

Das Verständnis der Mars-Geologie ist wichtig, um die Geschichte des Planeten zu verstehen. Die Erforschung der Atmosphäre auf dem Mars kann dazu beitragen, die Entwicklung dieser Atmosphäre zu verstehen und herauszufinden, warum der Mars heute viel weniger Atmosphäre hat als die Erde. Langfristig sollen diese Studien zu einem besseren Verständnis unserer Erde und der anderen Planeten des Sonnensystems beitragen.

Schließlich ist eines der obersten Ziele die bemannte Erforschung. Um das Terrain vorzubereiten, müssen vorab die Risiken untersucht werden. Darum erkunden und kategorisieren Roboter die Oberfläche des Mars.

Im folgenden Video erklärt der Weltraumwissenschaftler Joel Levine sehr schön, warum die Mars-Missionen in wissenschaftlicher Hinsicht wichtig sind:

https://www.ted.com/talks/joel_levine_why_we_need_to_go_back_to_mars/transcript?referrer=playlist-what_s_the_big_deal_about_mars#t-254765

Das Video gehört zu einer Folge von acht Vorträgen über den Mars (TED, n.d.).

Gibt es Leben auf dem Mars?

Die aufregendste Frage aller Mars-Missionen ist wahrscheinlich, ob es Leben auf dem Mars gibt, in fossiler Form oder sogar lebend.

Ein Tag auf dem Mars entspricht etwa 24 Stunden auf der Erde, und der Planet hat eine entsprechende Neigung, sodass es Jahreszeiten auf dem Mars gibt und sogar Klimazonen, die mehr oder weniger den unseren entsprechen. Viele Hinweise zeigen, dass der Mars unserem Planeten früher noch viel ähnlicher war. Die Fotos und Daten, die wir von den verschiedenen Orbitern und Raumsonden erhalten, die den Mars untersuchen, weisen darauf hin, dass, obwohl der Mars heute ein trockener Planet ist, in der Vergangenheit Wasser auf dem Mars floss. Wer „Wasser“ sagt, sagt „Leben“, denn Wasser ist das Grundelement, das für die Entstehung von Leben erforderlich ist.

Die ersten Sonden, Viking 1 und Viking 2, die in den 70er Jahren auf dem Mars aufsetzten, fanden kein Leben auf dem Mars. Das ist aber noch lange kein Beweis dafür, dass es dort kein Leben gibt. Vielmehr gibt uns die Entdeckung von Mikroben auf dem Grund von Eisseen in der Antarktis durch die NASA Hoffnung, Leben auf dem Mars zu finden, da das Klima in der Antarktis dem ähnelt, das heute auf dem Mars herrscht. Auf der Erde wurden Mikroben auch in Sedimentgestein in über 1.000 Metern Tiefe unter der Erdoberfläche gefunden, aber auch in Salzablagerungen und Tiefseekaminen (Alonso & Szostak, 2019). Diese Entdeckungen weisen darauf hin, dass unsere Roboter vielleicht einfach noch nicht an den richtigen Stellen auf dem Mars gesucht haben.

Die Mission Viking hatte tatsächlich vier verschiedene Experimente durchgeführt, um zu sehen, ob es Bakterien im Marsboden gab. Damals schienen die Ergebnisse der Experimente die Möglichkeit, dass Leben vorhanden sei, auszuschließen. Heute, fast 40 Jahre später, haben die Wissenschaftler*innen Erklärungen für das Scheitern der Experimente von Viking, und die Jagd nach dem Leben auf dem Mars geht weiter.

Heute haben die Wissenschaftler*innen auch viel raffiniertere und vielseitigere Techniken entwickelt, um das Vorhandensein von (vergangenem) Leben nachzuweisen. Die bekannteste basiert auf dem Nachweis von DNA und der DNA-Sequenzierung. Aber diese Methode birgt ein großes Problem: selbst wenn jegliches Leben auf der Erde eine DNA aufweist, ist nicht klar, ob außerirdisches Leben

auch eine DNA besitzt. Noch gezieltere Forschungen gehen bei der Suche nach außerirdischem Leben übrigens von verschiedenen Arten von Proteinen und Aminosäuren aus (McKay & Parro García, 2014).

Der Rover Curiosity der NASA und der zukünftige Rover Rosalind Franklin sind mit Messinstrumenten ausgestattet, um auf der Suche nach vergangenem oder aktuellem Leben neue Versuche auf der Grundlage dieser neuen Technologien durchzuführen. Ein wichtiger Aspekt ist die strategische Wahl des Landepunkts dieser Rover.

Abschließend sei erwähnt, dass eine andere Methode für die Suche nach Leben der Nachweis von Biosignatur-Gas in der Atmosphäre von Planeten und Exoplaneten ist. Das ist eine der Missionen des neuen James Webb Space Telescope (Wolchover, 2021).

Fermi-Paradoxon : Wo sind sie?

Die Frage, ob es im Universum außerhalb unserer Erde Leben gibt, wird Fermi-Paradoxon genannt. 1950 frühstückte der Physiker Enrico Fermi (Nobelpreis 1938) mit Kollegen in Los Alamos, und sie diskutierten über einen Comic über Außerirdische, der im New Yorker erschien, als Fermi plötzlich sagte: „Wo sind sie? “. Die Kollegen verstanden sofort, dass Fermi sich darauf bezog, dass die Sonne ein eher junger Stern unserer Galaxie ist, und dass weiter entwickelte Zivilisationen als die unsere in älteren Planetensystemen hätten erscheinen und unsere Galaxie in der einen oder anderen Weise besiedeln müssen, sodass sie sich uns gezeigt hätten. Halten wir dennoch fest, dass Fermi höchstwahrscheinlich nicht an der Existenz anderer Zivilisationen zweifelte. Wahrscheinlichere Erklärungen des Paradoxons sind, dass Reisen zwischen Sternen schlicht nicht möglich sind, dass die Reise den Aufwand nicht lohnt oder dass die Zivilisationen nicht lange genug überleben, um die erforderlichen Technologien zu entwickeln (Gray, 2015).

Was ist das Leben?

In den obigen Absätzen haben wir gesehen, dass eines der Probleme bei der Suche nach außerirdischem Leben die Tatsache ist, dass man nicht weiß, wie Leben außerhalb unseres Planeten Erde aussehen könnte. Diese Frage ist nur die Oberfläche einer viel tiefer gehenden Frage: Was ist Leben? Diese eher philosophische Frage scheint einfach, wir sind zurzeit aber selbst aus rein wissenschaftlicher Sicht weit davon entfernt, eine klare Antwort zu haben.

Auf den ersten Blick erscheint es uns einfach zu entscheiden, ob eine Sache lebendig ist oder nicht. Aber die Welt ist voller Beispiele, die sich im Grenzbereich befinden und die gemäß einer bestimmten Definition lebendig sind, wohingegen sie es gemäß einer anderen nicht sind. Im Alltag scheint das kein großes Problem zu sein. In der Wissenschaft allerdings eine Katastrophe, wie der Mikrobiologe Radu Popa der NASA erklärt: „Das ist inakzeptabel für jegliche Wissenschaft. [...] Eine Wissenschaft, in der der wichtigste Gegenstand keine Definition hat? Das ist absolut inakzeptabel. Wie wollen wir darüber diskutieren, wenn Sie denken, dass die Definition des Lebens etwas mit der DNA zu tun hat, und ich denke, dass sie etwas mit dynamischen Systemen zu tun hat? Wir können kein Leben auf dem Mars finden, weil wir uns nicht über die Frage einigen können, was Leben ist.“ (Zimmer, 2021).

Eine Definition des Lebens zu finden, die alle zufrieden stellt, erweist sich als äußerst kompliziert. Das versuchte der Molekularbiologe Edward Trifonov 2011. Er überprüfte 123 verbreitete Definitionen des Lebens und versuchte, hier eine gemeinsame Unterdefinition zu sehen. Das abschließende Ergebnis war, dass das Leben eine „Selbstreproduktion mit Variation“ sei. Allerdings wurde diese Definition schnell verworfen: ein Computervirus reproduziert sich selbst mit Variation, aber niemand würde sagen, dass er lebendig ist.

Genau hier versuchen die Philosophen eine Antwort zu finden, indem sie verschiedene Stimmen aufgreifen. Eine Strömung der Philosophie vertritt das Prinzip des Operationalismus: Die Idee ist, dass es nicht unbedingt notwendig ist, eine allgemeingültige Definition dafür zu finden, was Leben ist, sondern dass jeder wissenschaftliche Forschungsbereich mit der Definition arbeitet, die für ihn am besten passt. So unterscheidet sich die Definition, die die NASA verwendet, um nach Leben außerhalb unseres Planeten zu suchen, von der, die Mediziner nutzen, um zwischen lebendig und tot zu unterscheiden. Aber das macht nichts, denn das Wesentliche ist, dass die Definition für den eigenen Forschungsbereich funktioniert.

Eine andere Strömung geht eher in die Richtung der Familienähnlichkeit, die einen philosophischen Gedanken darstellt, nach dem man Dinge in verschiedene Gruppen einteilt, wobei die Dinge in einer Gruppe durch Ähnlichkeiten miteinander verbunden sein können, ohne dass sie alle eine gemeinsame Ähnlichkeit teilen müssten. Nehmen wir ein Beispiel, um diesen Gedanken zu veranschaulichen: Wenn man einen Menschen bittet, eine Definition des Wortes „Spiel“ zu nennen, wird ihm das wahrscheinlich nicht gelingen. Ein Spiel kann man zu zweit spielen, zu mehreren oder sogar allein. Ein Spiel kann einen Gewinner und einen Verlierer haben, muss aber nicht zwingend diesem Kriterium entsprechen. Ein Spiel kann für Kinder sein, es gibt aber auch Spiele für Erwachsene. Eine klare und eindeutige Definition des Begriffes „Spiel“ zu finden, ist also allem Anschein nach nicht einfach. Wenn man uns dahingegen bittet, unter vielen Dingen die Dinge zu identifizieren, die Spiele sind, haben wir vermutlich kein Problem, dies zu tun. Wir können ein Spiel intuitiv erkennen, ohne eine genaue Definition dafür zu haben. Ein Spiel entspricht einer gewissen Anzahl von Kriterien aus einer Liste von Kriterien, ohne aber zwingend alle zu erfüllen. Und wenn es bei dem Begriff „Leben“ ähnlich wäre? In (Abbott & Persson, 2021) klassifizierten Forscher der Universität Lund eine lange Liste von Dingen in verschiedene Kategorien, in der Hoffnung, die Kategorie zu finden, die Leben definiert. Sie versuchten, eine Liste mit Eigenschaften zu erstellen, die mit dem Leben assoziiert werden, ohne dass jedes lebende Ding zwingend all diesen Kriterien entspricht. Leider birgt auch dieser Ansatz ein Problem. Eine der Eigenschaften lebender Dinge war die Ordnung (Lebewesen haben koordinierte und organisierte Strukturen), wie bei Schneeflocken (die man dennoch nicht als Lebewesen bezeichnen würde). Eine andere Eigenschaft war die DNA. Aber rote Blutkörperchen haben keine DNA, wohingegen man sie gerne in die Kategorie Lebewesen einordnen würde.

Eine Kategorie von Organismen hat die Frage, was Leben ist, wirklich verändert: Extremophile. Extremophile sind Organismen, deren normale Lebensbedingungen für die meisten anderen Organismen tödlich sind. Ein bekanntes Beispiel für Extremophile ist das Bärtierchen.

Das Bärtierchen, der niedrigste extremophile Organismus

Das Bärtierchen, auch Wasserbär genannt, ist ein Organismus von einem halben Millimeter Länge (gerade noch mit dem bloßen Auge zu erkennen), der praktisch überall auf dem Planeten lebt. Er findet sich in Salz- oder Süßwasser sowie auf der Erde an feuchten Stellen wie im Moos im Wald. Das Bärtierchen wird oft als der Champion der Extreme bezeichnet, weil es unter feindlichsten Bedingungen überleben kann: Es übersteht Temperaturen von -272 bis 150°C und Druck von bis zu

6.000 bar. Es kann auch UV- und Röntgenstrahlen ausgesetzt werden. Es überlebt Nahrungs- und Wasserentzug und kann sich in einen Zustand der Stase versetzen, und dies für mehr als zehn Jahre. Sobald der Stase-Zustand beendet ist, kann es seinen Stoffwechsel reaktivieren.

Während des Experimentes TARDIS (Tardigrades in Space) schickten Forscher*innen der ESA im Jahr 2007 3.000 Bärtierchen auf eine zwölf-tägige Raumfahrtmission. „Unsere wichtigste Entdeckung ist, dass das Vakuum des Weltalls, das zu einer extremen Dehydrierung und kosmischer Strahlung führt, für die Wasserbären keinerlei Problem darstellte“, erklärt der Projektleiter von TARDIS (ESA, 2008).

Kürzlich wurden Bärtierchen durch die ESA für längere Zeit in den Raum außerhalb der internationalen Raumstation (ISS) gebracht und sie überlebten das Vakuum des Alls, extreme Temperaturen und Solarstrahlung. Zuvor waren die Wissenschaftler überzeugt, dass die Bedingungen mit keinerlei Leben kompatibel seien (ESA, n.d.a)

<https://youtu.be/lxndOd3kmSs>

Wir weisen auch auf die [Aktivität „Weltraumbären“ von ESERO Luxemburg](#) hin.

Einen radikaleren Ansatz vertritt Carole Cleland, eine Philosophin der Universität von Colorado. Viele Jahre lang beobachtete, kooperierte und diskutierte sie mit zahlreichen Forscher*innen verschiedener Bereiche und verschiedener Institutionen (unter anderem die NASA), die alle gemeinsam hatten, dass ihre Forschung sich um das Thema Leben drehte. Das Ergebnis ist eine Reihe wissenschaftlicher Artikel in einem Buch (Cleland, 2019). Ihre Schlussfolgerung ist, dass die Wissenschaftler*innen einfach aufhören müssten, eine Definition des Lebens zu suchen, denn das Leben sei einer dieser Begriffe, die nicht definierbar sind. Nach Cleland „möchten wir letztlich nicht wissen, was das Wort Leben für uns bedeutet, sondern wir möchten wissen, was Leben ist“.

Für einen umfassenden Überblick über die wissenschaftliche und philosophische Diskussion über das Leben verweisen wir auf (Zimmer, 2021) oder (Zimmer 2021a).

Die Bedeutung der Roboter (und der digitalen Wissenschaften) für die Mars-Missionen

Roboter zum Mars zu schicken, bietet zahlreiche Vorteile. Zunächst ist es viel leichter, die Sicherheit eines Roboters zu gewährleisten als die eines Menschen. Als die Menschen es nicht besser wussten, schickten sie Tiere wie Hunde oder Affen auf Weltraummission, um alles zu erforschen, was ein menschliches Wesen benötigt. Heute wissen wir, dass es für den Menschen sehr gefährlich sein kann, im Weltall weiter als die ISS (International Space Station) zu gehen. Außerdem sind Robotermissionen immer kostengünstiger als eine bemannte Mission (wenn sie auch deutlich weniger spektakulär sind). In organisatorischer Hinsicht sind Roboter weniger verletzlich als Menschen und können in viel feindlicherer Umgebung operieren. Schließlich gibt es viele Aufgaben, die ein Roboter besser ausführen kann als ein Mensch.

Dennoch können diese Roboter, wie wir in diesem Modul gesehen haben, nicht direkt von der Erde aus programmiert werden, da ein Signal von der Erde aus zu lange brauchen würde (etwa 20 Minuten), um den Weg zwischen Erde und Mars zurückzulegen. Daher müssen diese Roboter im Voraus programmiert werden und dann selbstständig funktionieren.

Die Roboter auf dem Mars sammeln viele Informationen, die sie zur Erde senden sollen. Dies stellt einen ziemlich konsistenten Datenstrom dar, der momentan nicht im Weltraum verarbeitet werden kann und in Form von Rohdaten gesendet werden muss. Außerdem verfügen diese Marsroboter nicht über Labore, wie es sie hier auf der Erde gibt. Außerhalb der ISS kann man im All heute nur Rechner nutzen, deren Leistung in etwa der entspricht, die wir auf der Erde vor 20 Jahren hatten. „Ohne den Schutz des Erdmagnetfeldes oder der Abschirmung der ISS“, erklärt Professor Marcus Völp, Forscher am SnT (Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust) der Universität Luxemburg, „würden die Computer, die wir auf der Erde benutzen, ganz viele Fehler machen und schließlich Aufgrund der Strahlung im Weltall durchbrennen. Aber wir brauchen die Rechenleistung, spätestens wenn wir die Rohstoffe von Asteroiden mithilfe von Roboterschwärmen bergen wollen.“ Darum investiert die Forschung in die Entwicklung von „Supercomputern“, die in der Lage sein werden, im Weltraum zu existieren und Rohdaten direkt vor Ort zu verarbeiten, um dann nur die verwertbaren Daten zu senden.

„Natürlich müssen wir die Roboter und Supercomputer nicht nur sicher gegenüber natürlichen Fehlerquellen machen“, fährt Professor Völp fort, „sondern auch vor Sabotage schützen. Am besten geht das, wenn der Roboter, wie Schüler*innen manchmal in der Schule, Fehler machen darf, ohne dass etwas schlimmes dabei passiert (z.B.: indem andere Schüler*innen Schüler*innen und andere Roboter dem Roboter helfen).“.

Da die Astronaut*innen jetzt auf der ISS sind, und da sie bald auf dem Mond sein werden und eines Tages auf dem Mars, und da wir nicht alle Astronaut*innen in Informatik ausbilden können, müssen diese Supercomputer möglichst autonom sein. Und hier kommt künstliche Intelligenz ins Spiel.

Künstliche Intelligenz wird auch bei Robotern eine immer wichtigere Rolle spielen. Die Europäische Raumfahrtbehörde (ESA) und die National Aeronautics and Space Administration (NASA) planen, 2026 einen Rover auf den Mars zu schicken mit der Mission, Röhren mit Bodenproben vom Mars aufzunehmen. Diese Röhren werden vorab vom Rover Perseverance am Boden abgesetzt (siehe erster Abschnitt). Der neue Rover wird Fetch heißen (vom Englischen „to fetch“, was „holen“ bedeutet). Er muss in der Lage sein, sich so selbstständig wie möglich zu fortzubewegen, die Röhren zu finden und sie aufzunehmen. Dazu wird der Rover Fetch Techniken künstlicher Intelligenz und Bilderkennungstechniken nutzen, um die am Boden abgesetzten Röhren selbstständig zu finden (ESA, 2020).

Die Universität Luxemburg und das SNT forschen in all diesen Bereichen: Fehlertoleranz, künstliche Intelligenz bei Robotern und vieles mehr.

Bildungsvideos

- [Paxi besucht den roten Planeten](#)
- [Paxi: Gibt es Marsmenschen?](#)
- [Exomars: eine vielversprechende Zukunft](#)

Kahoot-Quiz

- [Expeditionen zum Mars](#)
- [Atmosphäre und Leben auf dem Mars](#)
- [Valles Marineris](#)
- [Berg Olymp](#)
- [Die Höhlen auf dem Mars](#)

Referenzen

Abbott, Jessica K. & Persson, Eric. (2021). The problem of defining life: a case study using family resemblance. [Preprint]

Alonso, Ricardo. & Szostak, Jack W. (2019). The Origin of Life on Earth. Scientific American, September 2019

Cleland, Carol. (2019). The Quest for a Universal Theory of Life: Searching for Life As We Don't Know It. Cambridge Astrobiology (11). Cambridge: Cambridge University Press.

European Space Agency, ESA. (2008). Tiny animals survive exposure to space.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Research/Tiny_animals_survive_exposure_to_space

European Space Agency, ESA. (2019). Missions to Mars.
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/05/Missions_to_Mars

European Space Agency, ESA. (2019a). ESA's Mars rover has a name: Rosalind Franklin.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars/ESA_s_Mars_rover_has_a_name_Rosalind_Franklin

European Space Agency, ESA. (2020). Sample Fetch Rover for Mars Sample Return campaign.
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/02/Sample_Fetch_Rover_for_Mars_Sample_Return_campaign

European Space Agency, ESA. (n.d.). Exploring Mars.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Mars

European Space Agency, ESA. (n.d.a). Exposure to space and Mars.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Blue_dot/Exposure_to_space_and_Mars

Gray, Robert H. (2015). The fermi paradox is neither Fermi's nor a paradox. Astrobiology, 2015 Mar;15(3):195-9.

McKay, Christopher P. & Parro García, Victor. (2014). How to Search for Life on Mars. Scientific American, June 2014

Science.lu. (2022). ESA stoppt gemeinsame Mars-Mission mit Russland. <https://science.lu/de/esa-stoppt-gemeinsame-mars-mission-mit-russland>

Space.com (n.d.). Mars missions: A brief history. <https://www.space.com/13558-historic-mars-missions.html>

TED (n.d.). What's the big deal about Mars.
https://www.ted.com/playlists/414/what_s_the_big_deal_about_mars

Wolchover, Natalie. (2021). The Webb Space Telescope Will Rewrite Cosmic History. If it Works. Quanta Magazine. <https://www.quantamagazine.org/why-nasas-james-webb-space-telescope-matters-so-much-20211203/>

Zimmer, Carl. (2021). What is Life ? The Vast Diversity defies easy Definition. Quantamagazine.
<https://www.quantamagazine.org/what-is-life-its-vast-diversity-defies-easy-definition-20210309/>

Zimmer, Carl. (2021a). Life's Edge. The Search for what it means to be alive. New York, NY : Dutton.

Kredite

- Copyright © ESERO Luxemburg 2021-2022
- Copyright © PITT LUCET
- Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>

