



RAWsiko – Materials Around Us (Digitale Version)

Index

Allgemeine Einführung.....	
Erweiterte Hintergrundinformationen.....	
Lernergebnisse.....	11
Schlüsselkompetenzen des Europäischen Rahmens.....	12
«Sustainable Development Goals» der Vereinten Nationen.....	12
Inhalt.....	14
Tätigkeit.....	15
Lernpfad.....	17
Evaluierung.....	17
Danksagung.....	18

Allgemeine Einführung

«RAWsiko – Materials Around Us (Digitale Version)» ist ein Lernspiel, das auf digitale und spannende Weise das Bewusstsein von Jugendlichen für die geografische Verteilung wichtiger Rohstoffe in der Welt, ihre Verwendung in modernen Technologien und die Frage, warum der Zugang zu ihnen so wichtig ist, schärfen soll. Rohstoffe sind von entscheidender Bedeutung für die Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung und für die Erreichung der Klimaschutzziele der COP21. Denn Rohstoffe sind für den Übergang zu grünen Energietechnologien, für die Sicherung von Wachstum und nachhaltigem Konsum und für die Sicherung des Zugangs zu sauberen und effizienten Verbrauchertechnologien unerlässlich. Europa ist heute in hohem Masse von Rohstoffimporten abhängig, um die globale Wettbewerbsfähigkeit seiner verarbeitenden Industrie zu sichern und den Übergang zu einer ressourceneffizienten und nachhaltigen Gesellschaft zu beschleunigen. Daher ist es von strategischer Bedeutung, technologische Fortschritte zu erzielen und so Dienstleistungen in der Wertschöpfungskette zusammen mit Entwicklungen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie Wirtschaftsdisziplinen zu fördern, um innovative Lösungen zu schaffen.

RAWsiko spielt in einer Fantasiewelt in der Zukunft, in der der Hauptproduzent von kritischen Rohstoffen beschliesst, den Export in den Rest der Welt zu reduzieren, wodurch ein verzweifelter «Rohstoff-Rush» beginnt. Die Spieler*innen müssen in den Besitz kritischer Rohstoffe kommen, die Schlüsselkomponenten für verschiedene Geräte sind, die sie bauen müssen. Auf diese Weise erfahren die Spieler*innen die Komplexität der Rohstoffversorgung, die hinter einigen Geräten des täglichen Lebens wie Flachbildschirmen und Leuchtstofflampen, aber auch hinter den Anlagen für den Übergang zu erneuerbaren Energien wie Solarzellen und Windturbinen steckt. Die Schüler*innen können sowohl gemeinsam in organisierten, klassenübergreifenden Spielsitzungen spielen als auch in ihrer Freizeit gegen Freunde und Familie oder andere Personen, die aus der Ferne auf das Spiel zugreifen.

Schlüsselbegriffe:

Rohstoffe; Mineraliengewinnung; Ressourcenpolitik; Nachhaltige Entwicklung; Rohstoffanwendungen

Um das digitale Spiel herunterzuladen oder online zu spielen:

<https://arraise.com/rawsiko/>

Erweiterte Hintergrundinformationen

RAWsiko ist ein Lernspiel, das das Bewusstsein dafür schärfen will, dass in naher Zukunft die Versorgung mit verschiedenen Metallen und Mineralien, die zusammen mit Kohle, Erdöl, Erdgas und nicht-metallischen Mineralien zu den nicht erneuerbaren Ressourcen unseres Planeten gehören, knapp werden könnte.

KRITIKALITÄT VON ROHSTOFFEN

In der Geschichte der Menschheit hat jeder technologische Fortschritt immer wieder dazu geführt, dass immer grössere Mengen und Sorten von Metallen verwendet wurden. Der letzte Sprung erfolgte am Ende des vergangenen Jahrtausends mit der Miniaturisierung der Elektronik und neuen Anlagen für erneuerbare Energien. Rohstoffe sind von entscheidender Bedeutung für den Übergang zu umweltfreundlichen Energietechnologien, für die Sicherung von Wachstum und nachhaltigem Konsum und für die Sicherung des Zugangs zu sauberen und effizienten Verbrauchertechnologien. Die sich beschleunigende technologische Innovation, die wachsende Weltbevölkerung und das rasche Wachstum der Schwellenländer führen zu einer steigenden Nachfrage nach einer Vielzahl von Rohstoffen (Abbildung 1).

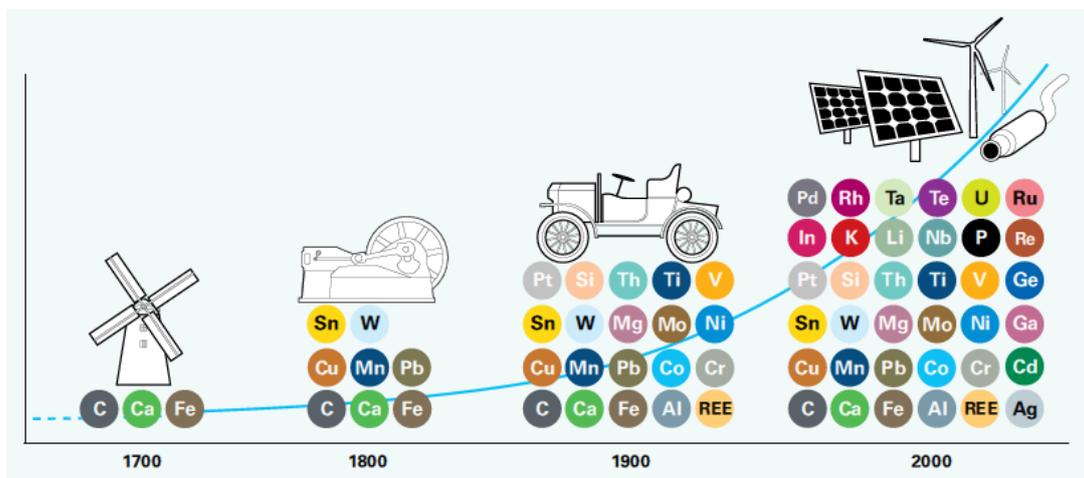


Abbildung 1: Zeitleiste der durch technologische Fortschritte benötigten Metalle

Europa ist in hohem Masse von Rohstoffimporten abhängig, um die globale Wettbewerbsfähigkeit seiner verarbeitenden Industrie zu sichern und den Übergang zu einer ressourceneffizienten, nachhaltigen Gesellschaft zu beschleunigen. Bei dem derzeitigen Trend werden viele Metalle in naher Zukunft nicht mehr verfügbar sein (Abbildung 2). Folglich sind die Verarbeitung und Nutzung von Rohstoffen aus primären und sekundären Quellen (Rückgewinnung von Materialien aus Abfällen), die Entwicklung neuer biologisch nachhaltiger Materialien sowie die möglichst lange Verweildauer von Produkten und Materialien in der Wirtschaft durch die Minimierung von Abfällen in allen Phasen (d. h. durch Wiederverwendung, Reparatur, Überholung, Wiederaufarbeitung und Recycling - Kreislaufwirtschaft) von wesentlicher Bedeutung.

Lehrpersonen-Info

Remaining years until depletion of known reserves (based on current rate of extraction)

1																	2		
H 1.00794																	He 4.002602		
3	4													5	6	7	8	9	10
Li 6.941	Be 9.012182													B 10.811	C 12.0107	N 14.00674	O 15.9994	F 18.99840	Ne 20.1797
11	12													13	14	15	16	17	18
Na 22.98977	Mg 24.3050													Al 26.98153	Si 28.0855	P 30.97376	S 32.066	Cl 35.4527	Ar 39.948
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K 39.0983	Ca 40.078	Sc 44.95591	Ti 47.867	V 50.9415	Cr 51.9961	Mn 54.93804	Fe 55.845	Co 58.93320	Ni 58.6934	Cu 63.546	Zn 65.39	Ga 69.723	Ge 72.61	As 74.92160	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.80		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb 85.4678	Sr 87.62	Y 88.905	Zr 91.224	Nb 92.90638	Mo 95.94	Tc (98)	Ru 101.07	Rh 102.9053	Pd 106.42	Ag 107.8682	Cd 112.411	In 114.818	Sn 118.710	Sb 121.760	Te 127.60	I 126.9044	Xe 131.29		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72		
Cs 132.9054	Ba 137.327	La* 138.9055	Hf 178.49	Ta 180.9479	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.217	Pt 195.078	Au 196.9665	Hg 200.59	Tl 204.3833	Pb 207.2	Bi 208.9804	Po (209)	At (210)	Rn (222)		
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Fr (223)	Ra 226.025	Ac‡ (227)	Rf (257)	Db (260)	Sg (263)	Bh (262)	Hs (265)	Mt (266)	Ds (271)	Rq (272)	Uub (285)	Uut (284)	Uuq (289)	Uup (288)	Lv (292)	Uus (293)	Uuo (294)		
Lanthanides *																			
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71						
Ce 140.9077	Pr 144.24	Nd (145)	Pm 150.36	Sm 151.964	Eu 157.25	Gd 158.9253	Tb 158.9253	Dy 162.50	Ho 164.9303	Er 167.26	Tm 168.9342	Yb 173.04	Lu 174.967						
Actinides ‡																			
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103						
Th 232.0381	Pa 231.0289	U 238.0289	Np (237)	Pu (244)	Am (243)	Cm (247)	Bk (247)	Cf (251)	Es (252)	Fm (257)	Md (258)	No (259)	Lr (262)						

Abbildung 2: Erwartete verbleibende Jahre bis zur Erschöpfung von Metallen (aus A.J. Hunt, A.S. Matharu, A.H. King, J.H. Clark, Green Chem., 2015, 17, 1949-1950)

Da die Europäische Union (EU) den grössten Teil der Rohstoffe importiert, hat die EU-Kommission 2008 damit begonnen, alle drei Jahre zu bewerten, welche Rohstoffe für die europäische Wirtschaft wesentlich sind und ein Versorgungsrisiko darstellen, indem sie sie als kritische Rohstoffe («Critical Raw Materials – CRMs») auflistet. Die für 2020 vorgesehene Überprüfung dieser Liste umfasst 30 kritische Rohstoffe (Tabelle 1). CRMs sind also diejenigen Rohstoffe, die für die europäische Wirtschaft wirtschaftlich und strategisch wichtig sind, deren Versorgung jedoch ein hohes Risiko birgt. Der grösste Teil dieser kritischen CRMs sind einzelne chemische Elemente oder deren Mineralien, einige von ihnen sind Gruppen von Metallen; insgesamt repräsentieren CRMs 46 chemische Elemente, was der Hälfte der natürlichen Elemente entspricht. Bitte beachten Sie, dass RAWsiko die Rohstoffe aus dem letzten EU-Bericht nicht perfekt widerspiegelt, sowohl, weil das Spiel vor der Veröffentlichung der Liste erfolgte, als auch weil aus Gründen des Gameplays und der Ausgewogenheit einige der Materialien aus dem letzten Bericht (der zum damaligen Zeitpunkt verfügbar war) im Spiel ausgelassen wurden.

WARUM WIRD EIN ROHSTOFF «KRITISCH»?

Die Versorgung mit Rohstoffen kann aus einer Vielzahl von Gründen gefährdet sein. Diese können geologischer, ökologischer, wirtschaftlicher oder sozio-politischer Natur sein:

1. **Ressourcen, die sich in einem oder sehr wenigen Ländern befinden:** Das Versorgungsrisiko ergibt sich in erster Linie aus der unregelmässigen Verteilung einiger Rohstoffe über den Globus und wird durch geopolitische Grenzen bestimmt. Aus diesem Grund können sich die Ressourcen auf einzelne

Lehrpersonen-Info

- Länder oder Regionen der Welt konzentrieren. Dies kann zu einer Monopolstellung und möglichen Lieferbeschränkungen aufgrund ökologischer oder regionaler politischer Faktoren führen.
2. Geringes Vorkommen in der Erdkruste.
 3. Rohstoffe können in einer oder mehreren Technologien nicht ersetzt werden: Wenn es keinen akzeptablen Ersatz gibt, ist die Ressource unverzichtbar.
 4. Gefährliche Gewinnung und/oder Risiko für die Umwelt: Der Gewinnungsprozess kann schwierig oder für die Umwelt inakzeptabel sein.
 5. Soziopolitisch: Neben den Umweltaspekten muss auch das Wohlergehen der Menschen berücksichtigt werden. In Gebieten mit minimaler Regulierung der Abbautätigkeiten wurden Menschenrechtsverletzungen, Kinderarbeit und problematische Gesundheits- und Sicherheitsbedingungen für die Arbeiter festgestellt (z.B. bei «Konfliktmineralien» wie Kobalt, Wolfram, Tantal usw.).

Tabelle 1: Liste der Critical Raw Materials 2020

Antimony (Sb)	Germanium (Ge)	Platinum Group Metals (PGMs)*
Baryte (BaSO ₄)	Hafnium (Hf)	Phosphate rocks (P anions salts)
Bauxite (ore 40% Al)	Heavy Rare Earth Elements (HREEs) [#]	Phosphorus (P)
Beryllium (Be)	Lithium (Li)	Scandium (Sc)
Bismuth (Bi)	Light Rare Earth Elements (LREEs) [°]	Silicon metal (Si)
Borate (B anion salts)	Indium (In)	Strontium (Sr)
Cobalt (Co)	Magnesium (Mg)	Tantalum (Ta)
Coking Coal (mainly C)	Natural Graphite (C)	Titanium (Ti)
Fluorspar (CaF ₂)	Natural Rubber (C ₅ H ₈) _x	Tungsten (W)
Gallium (Ga)	Niobium (Nb)	Vanadium (V)

***PGMs:** Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), Palladium (Pd), Osmium (Os), Iridium (Ir), and Platinum (Pt).

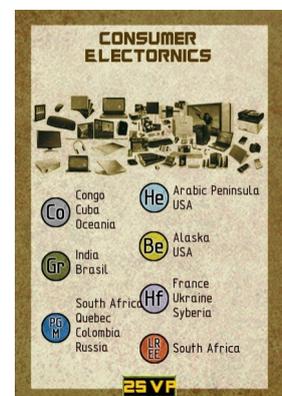
[#]**HREEs:** Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yt), and Lutetium (Lu).

[°]**LREEs:** Scandium (Sc), Yttrium (Y), Lanthanum (La), Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), and Samarium (Sm).

WO WERDEN KRITISCHE ROHSTOFFE VERWENDET?

RAWsiKo soll den Spieler*innen zeigen, wo sich die Hauptvorkommen von CRMs befinden, aber auch welche Geräte diese Rohstoffe enthalten. Die Spieler*innen werden feststellen können, wie wichtig eine sichere Versorgung mit Rohstoffen für die Industrie ist.

Wenn ein*e Spieler*in seine Ziele in Form von drei «Aufgaben» (Beschaffungslisten von kritischen Rohstoffen) erhält, kann er*sie durch Anklicken eines Symbols ein Fenster öffnen (Beispiel einer Zielkarte in der Abbildung rechts), in dem die Rohstoffe mit den Geräten, die sie enthalten, in Verbindung gebracht werden (Unterhaltungselektronik, Düngemittel,



Lehrpersonen-Info

Windturbinen, Teleskope, LED-Leuchten, Nachtsichtbrillen, Solarzellen, Pigmente und gefärbte Gläser usw.). Im Folgenden werden einige von ihnen im Detail beschrieben. Als weitere Themen für die Klassendiskussion werden im Folgenden auch Smartphones und Elektroautos kurz beschrieben, zwei komplexe Geräte, die inzwischen eine immense bzw. beginnende Marktdurchdringung haben, auch wenn sie noch nicht im Spiel enthalten sind.

Windturbinen

Im Bereich der Windenergie werden Seltene Erden («Rare Earth Elements - REE») hauptsächlich als Rohstoffe für die Herstellung von Dauermagneten verwendet, die in Generatoren für Windkraftanlagen eingesetzt werden. Dauermagnete (Hartmagnete) weisen einen erheblichen Widerstand gegen Entmagnetisierung auf und können daher in Windgeneratoren und elektrischen Fahrmotoren verwendet werden. Im Allgemeinen weisen sie eine hohe magnetische Energie in einem bestimmten Volumen auf. Dies ermöglicht eine Verkleinerung des Volumens, was ihren Einsatz in zahlreichen High-Tech-Bereichen wie Computern, Mobiltelefonen, audiovisuellen Geräten, Diagnosegeräten (z. B. Lautsprechern und Magnetresonanztomographen) und energietechnischen Systemen (z. B. Lichtmaschinen und Elektromotoren, siehe den Abschnitt über Elektro- und Hybridautos) begünstigt.

Obwohl es verschiedene Arten von Dauermagneten gibt, werden die so genannten Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB) aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften am häufigsten verwendet. In ihren Eigenschaften werden sie nur von Samarium-Kobalt-Magneten übertroffen, die allerdings wesentlich teurer sind.

In Windkraftanlagen werden für die hochfesten NdFeB-Magnete normalerweise vier verschiedene REEs benötigt: Neodym (Nd), Praseodym (Pr), Dysprosium (Dy) und Terbium (Tb) (Abbildung 3). Neodym und Praseodym tragen zur magnetischen Stärke bei, während Dysprosium und Terbium die Beständigkeit gegen Entmagnetisierung, insbesondere bei hohen Temperaturen, verbessern.

Auch Bor (B), das aus Boraten stammt, und Eisen (Fe) sind erforderlich; B ist ein CMR und Fe, das selbst kein CRM ist, wird durch Reduktion mit Koks hergestellt, der in der Liste der kritischen Rohstoffe aufgeführt ist. NdFeB spielt eine wichtige Rolle bei Anwendungen, bei denen hohe Leistung, hohe Effizienz und geringe Grösse erforderlich sind. Tatsächlich hat der NdFeB-Magnet die höchste Energiedichte unter den Dauermagneten, was ihn zum Material der Wahl für Hochleistungsanwendungen macht, bei denen Grösse und Gewicht wichtige Anforderungen sind. Die Eigenschaften der NdFeB-Magnete ergeben sich aus der einzigartigen Kombination der hohen magnetischen Momente der 3d-Übergangselemente (z. B. Eisen) mit der 4f-Elektronenkonfiguration der Seltenen Erden. Aufgrund dieser Vorteile geht der grösste Teil der Produktion von Nd, Praseodym (Pr) und Dy in den Bereich der Dauermagnete. Diese Magnete werden in den Rotoren benötigt, um einen effizienten Betrieb zu ermöglichen und mehrere Megawatt pro Turbine zu



Abbildung 3: Die Aufgabenkarte für Windkraftanlagen

Lehrpersonen-Info

erzeugen (Abbildung 4). Für Windturbinen wird der jährliche Materialbedarf je nach Material und Szenario um das 2- bis 15-fache steigen.

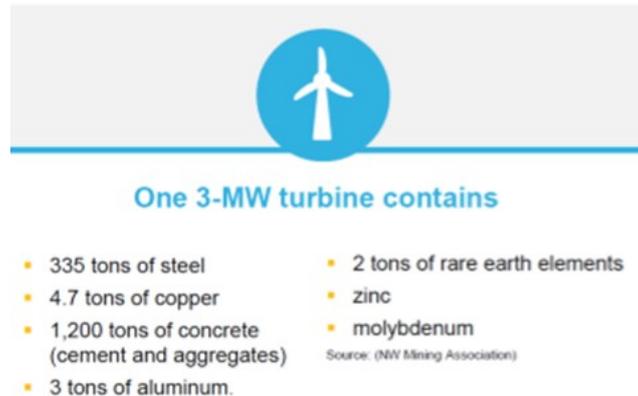


Abbildung 4: Menge und Art der für eine Windkraftanlage benötigten Rohstoffe

Gegenwärtig wird die REE-Gewinnung von der Volksrepublik China dominiert, die seit mehreren Jahrzehnten den grössten Teil der weltweiten REEs produziert. REEs waren nicht immer kritisch und waren erst in den 1960er Jahren von grossem Interesse, als erste technische Anwendungen begannen, diese Elemente zu nutzen. Vor allem die Entwicklung des Farbfernsehens, das Europium (Eu) als Leuchtstoff benötigt, sorgte für eine steigende Nachfrage nach Seltenen Erden im Bergbau weltweit. Die Entdeckung bedeutender REE-Ressourcen in Bayan Obo in der Inneren Mongolei hat den Grossteil der weltweiten Produktion nach China verlagert und zu einem Monopol auf die REE-Produktion geführt.

Photovoltaik

Für Photovoltaikmodule wird Silizium (Si) mit einem sehr hohen Reinheitsgrad (99,9999 % oder mehr) benötigt. Auch wenn Silizium nach Sauerstoff (46 %) das zweithäufigste Element in der Erdkruste (28 %) ist, erfordert seine Reduktion und Reinigung auf Elektronikqualität sehr energieintensive Prozesse und gefährliche Anlagen, die seine Produktion ausserhalb der EU ermöglichen. Alternativen zur Photovoltaik auf Si-Basis sind Technologien auf der Basis von Cadmium (Cd), Germanium (Ge), Gallium (Ga), Tellur (Te) und Selen (Se), von denen einige ebenfalls zu den CRMs gehören (Abbildung 5). Es ist erwähnenswert, dass einige dieser Elemente giftig sind und bei der Herstellung und dem Recycling Anlass zur Sorge geben. Darüber hinaus benötigt jede Solarpanel-Technologie eine Platte aus Indium-Zinn-Oxid (ITO), wie jeder Flachbildschirm, da es der einzige elektrisch leitende und transparente Rohstoff ist, der derzeit verfügbar ist: Indium (In) ist ein weiteres CRM. Bei einer Reihe dieser Elemente übersteigt die prognostizierte weltweite Nachfrage im

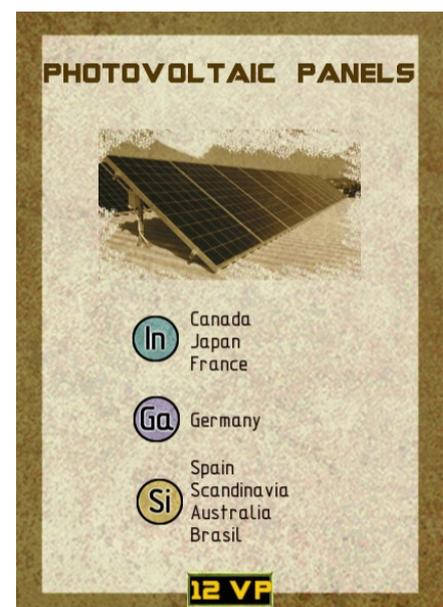


Abbildung 5: Die Aufgabenkarte für Solarzellen

Lehrpersonen-Info

Zusammenhang mit der massiven Entwicklung der Photovoltaik bei weitem die derzeitige Produktion, so dass sich der Übergang zu erneuerbaren Energien verzögern wird.

Beleuchtung

Energieeffiziente Kompaktleuchtstofflampen («Compact Fluorescent Lamps – CFLs») haben die Effizienz der Beleuchtung weltweit erhöht, indem sie die Glühlampen mit Wolframfaden (W) ersetzt haben, die Thomas Edison 1879 patentieren liess, nachdem er Hunderte von verschiedenen Prototypen getestet hatte (Abbildung 6).

W-Glühlampen waren insofern ineffizient, als viel Energie durch Wärme verloren ging und nur etwa 5 % der bereitgestellten Leistung in Licht umgewandelt wurde. Im Gegensatz dazu wandeln CFLs etwa 25 % der zugeführten elektrischen Energie in Licht um. CFLs sind daher viel

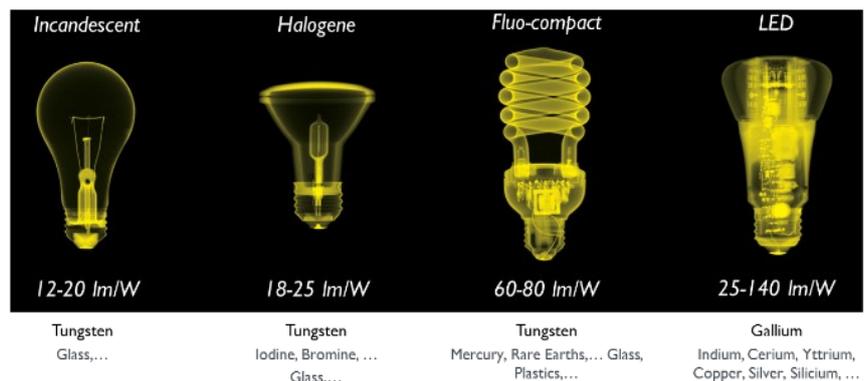
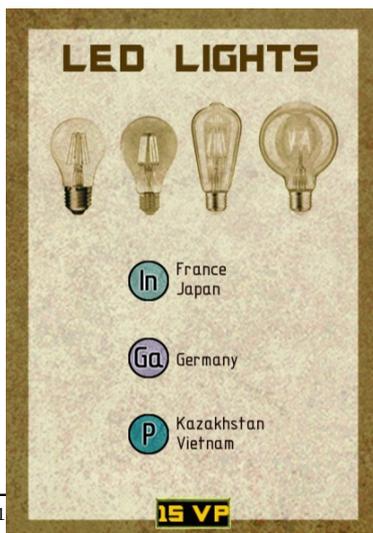


Abbildung 6: Historische Entwicklung der Helligkeit und des Materialgehalts von Lampen mit verschiedenen Technologien

effizienter als herkömmliche Glühbirnen (Abbildung 6. Historische Entwicklung der Beleuchtung und des Materialgehalts von Lampen mit verschiedenen Technologien).

Anstelle von W, das ein CRM ist, benötigen CFLs jedoch andere CRMs für ihre Produktion: Seltene Erden, insbesondere Europium (Eu) und Terbium (Tb). Das Verbot der W-Glühbirnen hat die Nachfrage nach Seltenen Erden in den letzten Jahren erhöht.¹



Der grösste Nachteil von CFLs ist das Vorhandensein von Quecksilber (Hg), einem gefährlichen Stoff, der die Umwelt verschmutzt, wenn er nicht ordnungsgemäss recycelt wird. Spezielle Anlagen für das Recycling von CFLs gewinnen jetzt Kupfer (Cu), Aluminium (Al), Glas und REE-Pulver zurück, aber der Preis für letzteres ist höher als der für das primäre REE. Die letzte Generation der Beleuchtung basiert auf Leuchtdioden (LEDs). Sie stellen eine energiesparende und umweltfreundliche Technologie dar: Umwandlungseffizienz und Lebensdauer sind fast doppelt so hoch wie bei CFLs, ausserdem sind sie quecksilberfrei. Die Wissenschaft hat bei der Entwicklung dieser neuen effizienten Technologie eine entscheidende Rolle gespielt, wie die Verleihung des Nobelpreises für Physik 2014 beweist. Die Einführung der LED-Technologie hat jedoch die Nachfrage

Torres de Matos, M. Grohol, U. Eynard, D. Wittmer, L. Mancini, M. Unguru, Cl. David, S. Carraro, F. Mathieu, D. Pennington, G. A. Blengini "Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) (Abbildung 320 (der durchschnittliche Umwandlungsfaktor von REE-Metall gegenüber Sekundärmaterialien, etwa 0,5 geschätzt)).

Lehrpersonen-Info

nach mehreren CRMs erhöht. Neben Europium (Eu) und Terbium (Tb), die bereits in CFL verwendet werden, werden Yttrium (Y), Gadolinium (Ga), Germanium (Ge) und Indium (In) in LED-Anwendungen eingesetzt (Abbildung 7). Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass künftige Produkte nicht nur im Hinblick auf ihre Funktionalität, sondern auch auf die nachhaltige Verfügbarkeit der für ihre Herstellung verwendeten Ressourcen und ihre Wiederverwertbarkeit optimiert werden müssen.

Chemikalien und Düngemittel

Auch die chemische Industrie ist stark von Platingruppen-Elementen («Platinum Group Metals – PGMs») abhängig, die in vielen chemischen Prozessen als Katalysatoren eingesetzt werden. Die Herstellung verschiedener Chemikalien in Europa hängt von anderen CMRs ab, wie Phosphatgestein, Phosphor, Flussspat und Si.

Der Welthandel mit Phosphatgestein beläuft sich auf etwa 75 Millionen Tonnen pro Jahr (bewertet als P₂O₅), und der EU-Bedarf liegt bei 2,1 Millionen Tonnen pro Jahr, von denen 84 % hauptsächlich aus Marokko eingeführt werden. Nur 17 % der Phosphate stammen aus erneuerbaren Quellen wie Tierschlamm und -dünger, Lebensmittel-rückständen und Abwässern. Phosphatgestein wird in erster Linie für die Herstellung von Düngemitteln verwendet (Abbildung 8), dann für Tierfutter, Waschmittel und Phosphorsäure. Ohne Phosphatdünger würde die pflanzliche Produktion pro Flächeneinheit drastisch zurückgehen. 1,2 Millionen Tonnen Phosphatgestein, das in elementaren Phosphor umgewandelt wird (bewertet als P₄), sind für die Chemie- und Waffenindustrie bestimmt. Weitere Beispiele für die Verwendung von CRMs sind im Folgenden aufgeführt:

- Si, Metall, wird geschmolzenem Al zugesetzt, um die mechanischen Eigenschaften der Legierungen zu verbessern; es kann auch in Silikone umgewandelt werden, um Dichtstoffe, Klebstoffe, Schmiermittel und Tenside für Bau und Industrie herzustellen;
- Flammschutzmittel enthalten Antimontrioxid (Sb₂O₃), während die Elektroden von Blei-Säure-Batterien metallisches Antimon (Sb) enthalten, um die Wasserstoffentwicklung während des Ladevorgangs zu verringern;
- Die Hälfte der Naturgraphitproduktion ist für die Herstellung von feuerfesten Materialien für die Stahlindustrie bestimmt und etwa 20 % für Oberflächenbehandlungen und die Wiederaufkohlung von Stahl; die Nachfrage für die Herstellung von Anoden in Lithiumbatterien erreicht 8 % und 5 % des Naturgraphits wurden zu einer Komponente für Schmiermittel, Bleistifte und Elektronik stellen jetzt einen marginalen Teil seiner Verwendungen dar.



Abbildung 8: Die Aufgabenkarte für Dünger

Smartphones

Lehrpersonen-Info

Ein Smartphone kann mehr als die Hälfte aller natürlichen chemischen Elemente enthalten (Abbildung 9), die meisten davon sind CRMs, andere sind Edelmetalle. Ein Smartphone enthält etwa 306 mg Silber (Ag) und 30 mg Gold (Au)! Einige Teile des Telefongehäuses und des Akkus können aus Al bestehen, einem Metall, das aus Bauxit gewonnen wird, aber der Akku enthält auch etwa 6 g Kobalt (Co) in den positiven Elektroden und Lithium (Li) in den negativen Elektroden und im Elektrolyt.²

**Abbildung 9: Chemische Elemente, die in einem Smartphone enthalten sind:
CRMs in roter Farbe, unkritische in grün**

Die Rückseite des Bildschirms ist wie bei allen Flachbildschirmen mit einer dünnen ITO-Schicht bedeckt, dem derzeit einzigen leitfähigen Material, das technologisch für diesen Zweck zur Verfügung steht, und die Farbpigmente des Bildschirms basieren auf REEs. Ge verleiht dem Quarzglas die für die kleine Linse erforderliche Brechkraft, während hochreines Si die Grundlage für die integrierten Mikrochips bildet. Nd ist die Schlüsselkomponente der Supermagneten, die die Miniaturisierung der Lautsprecher und Mikrofone ermöglichten, während Tantal (Ta) die Hochleistungskondensatoren bildet.

Elektro- und Hybridfahrzeuge

Elektro- und Hybridfahrzeuge (Abbildung 30) benötigen ebenfalls eine grosse Anzahl von CRMs in Komponentensensoren, Elektromotoren und Generatoren, Flüssigkristallanzeigen (LCD), Glas, Spiegeln und dem Katalysator des Verbrennungsmotors. Katalysatoren enthalten Elemente der Platingruppe [PGMs, Platin (Pt), Rhodium, Iridium (Rh), Ruthenium (Ru), Osmium (Os) und Palladium (Pd)], sie wurden in den 1980er Jahren vorgeschrieben, um die Luftverschmutzung durch Fahrzeuge zu verringern [damals wurde dem Kraftstoff Blei (Pb) als Detonationshemmer zugesetzt, aber die Pb-freien Kraftstoffe benötigen aromatische Kohlenwasserstoffe als Ersatz, die bei unsachgemässer Verbrennung gefährliche Stoffe erzeugen können]. Nach dem Übergang zu "katalytischen" Autos ging die Konzentration von Pb, Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen in der Luft drastisch zurück, aber der Bedarf an PGMs stieg.

Die Entwicklung von Hybrid- und Elektroautos ist eine Herausforderung, um die Luftverschmutzung weiter zu verringern und die Kohlendioxidemissionen zu reduzieren. Die neuen Batterietechnologien basieren auf Li, dem leichtesten Metall und den Metallen mit dem höchsten elektrischen Potenzial. Li ist jedoch nicht

² <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/digitale-welt/mobilfunk-und-festnetz/smartphonerecycling-11540>

Lehrpersonen-Info

das einzige CRM in dieser Art von Batterien, denn die positive Elektrode enthält Kobalt (Co). Diese Technologie bietet heute Batterien mit einer Energiedichte, die den Autos eine Reichweite von 250 bis 500 km pro Ladung ermöglicht.

Das derzeitige weltweite Produktionsniveau von Li und Co, aber auch der beiden anderen Metalle in der positiven Elektrode, Nickel (Ni) und Mangan (Mn), reicht nicht aus, um die künftige Nachfrage nach der Batterieproduktion zu decken.

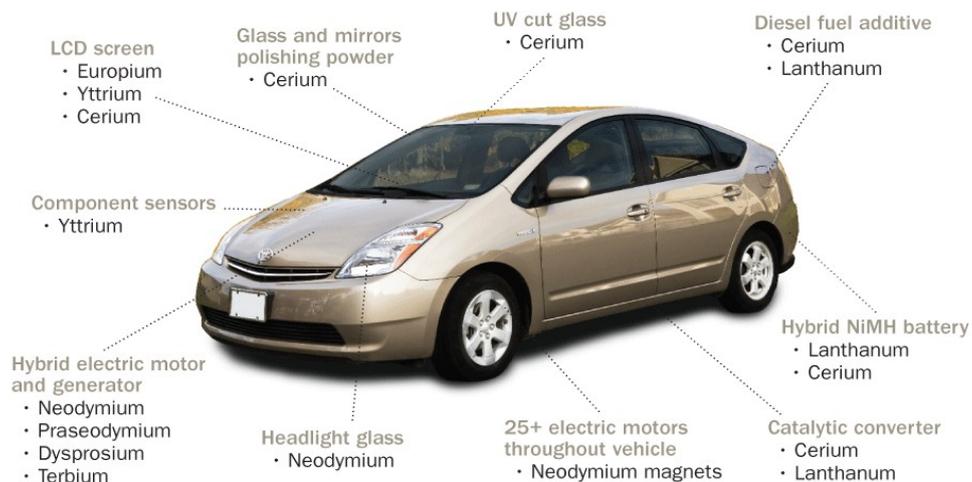


Abbildung 10: Energiekritische Elemente in Automobilen

Sie schufen eine wiederaufladbare Welt

Der Nobelpreis für Chemie 2019 belohnt die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie. Der **Nobelpreis für Chemie 2019** wurde an John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham und Akira Yoshino für ihre Beiträge zur Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie verliehen. Diese **wiederaufladbare Batterie** legte den Grundstein für drahtlose Elektronik wie Mobiltelefone und Laptops. Sie wird für alles Mögliche verwendet, vom Antrieb von Elektroautos bis zur Speicherung von Energie aus Sonnen- und Windenergie, was eine Gesellschaft ohne fossile Brennstoffe ermöglicht.

Lernergebnisse

Am Ende der Lektion werden die Schüler*innen:

Lehrpersonen-Info

- die Bedeutung von kritischen Rohstoffen kennen und wissen, warum sie für die europäische Wirtschaft wichtig sind.
- die Verteilung der kritischen Rohstoffe in der Welt kennen.
- die wichtigsten Verwendungszwecke und Anwendungen der kritischen Rohstoffe kennen.
- wissen, wie wichtig es ist, Zugang zu kritischen Rohstoffen für die Herstellung von Geräten des täglichen Lebens zu haben.

Schlüsselkompetenzen des Europäischen Rahmens

Mehrsprachige Kompetenz
S1: Fähigkeit, Konzepte, Gefühle, Fakten oder Meinungen in mündlicher und schriftlicher Form zu verstehen und zu interpretieren.
S5: Kenntnis von Wortschatz, Grammatik und Sprache.
Mathematische Kompetenz und Kompetenz in Wissenschaft, Technik und Ingenieurwesen
S4: Bereitschaft, neue Probleme aus neuen Bereichen anzugehen.
S5: Fähigkeit zum quantitativen Denken.
Digitale Kompetenz
S2: Grundkenntnisse in ICT (Informations- und Kommunikationstechnologie).
Persönliche, soziale und lernbezogene Kompetenz
S2: Identifizierung der verfügbaren Möglichkeiten.
Bürgerschaftliche Kompetenz
S1: Fähigkeit zur effektiven Interaktion mit anderen Menschen.
S2: Fähigkeit, sich an eine veränderte Situation anzupassen, flexibel zu sein und unter Druck zu arbeiten.
Kulturelles Bewusstsein und Ausdruckskompetenz

Lehrpersonen-Info

S1: Fähigkeit, Ideen in die Tat umzusetzen.
S3: Fähigkeit, Aufgaben zu planen und zu verwalten.
S4: Selbstständigkeit, Motivation und Entschlossenheit.

«Sustainable Development Goals» der Vereinten Nationen

  Enable access to basic services	 Equal access to global expertise
 Safe medical devices	 Sustainable urbanization
 Access to education	 Responsible consumption and production
 Less hardship, more opportunities	 Strengthen resilience, reduce disaster impact
 Safe and affordable water	 Reduce marine pollution
 Energy – the golden thread	 Sustainable use of terrestrial ecosystems
 Safety of workers and economic growth	 Promote peaceful and inclusive societies
 Resilient infrastructure and sustainable industrialization	 Better access to technology and innovation

Lehrpersonen-Info

Inhalt

«RAWSiko – Materials Around Us (Digitale Version)» spielt in einer Fantasiewelt in der Zukunft, in der der Hauptproduzent kritischer Seltener Erden, China, beschliesst, die Ausfuhren in den Rest der Welt zu drosseln, woraufhin ein «Rohstoff-Rush» beginnt. Gegenwärtig entfallen 70% des weltweiten Angebots auf China und 62% des Angebots auf die EU (z.B. Seltene Erden, Magnesium, Antimon, Naturgraphit, etc.). Die Akteure müssen die Spielenden müssen in den Besitz kritischer Rohstoffe kommen, die Schlüsselkomponenten für verschiedene Geräte sind, die sie bauen müssen. Um die Kontrolle über diese Rohstoffquellen zu erlangen, müssen die Spieler*innen ihr Vermögen in Form von «Bergbau-ausrüstungen» investieren und in verschiedene Gebiete der Welt bewegen. Falls ein Gebiet bereits von jemand anderem ausgebeutet wird, müssen sie diesem* dieser die Bergbaukonzession



Abbildung 11: Länder mit dem grössten Anteil am weltweiten CRM-Angebot

entreissen. Die geographische Platzierung der Hauptquellen einer Auswahl kritischer Mineralien im Spiel stellt die tatsächlichen Hauptminen dieser Mineralien dar, während die auf den Zielkarten angegebenen Elemente die wichtigsten Mineralien für die Produktion der jeweiligen Technologie darstellen. Die Spielkarte gibt in vereinfachter Form die tatsächliche geografische Verteilung von CRMs wieder, da sie auf der Grundlage der vom Geologischen Dienst Schwedens, einem Partner des RM@Schools-Projekts, zur Verfügung gestellten Karte mit der Verteilung der wichtigsten CRM erstellt wurde (Abbildung 11: Ladenberger A.; et al. Identification and quantification of secondary CRM resources in Europe - Technical report SCRREEN - Contract Number: 730227 - Solutions for Critical Raw materials).

In der Tat ist die unregelmässige Verteilung einiger CRMs über den Globus einer der Gründe, warum ein Material kritisch wird. Das Versorgungsrisiko wird auch durch geopolitische Grenzen bestimmt. Aus diesem Grund können sich Ressourcen auf einzelne Nationen oder Regionen der Welt konzentrieren. Dies kann zu einer Monopolstellung und möglichen Lieferbeschränkungen aufgrund ökologischer oder regionaler politischer Faktoren führen. Viele der Rohstoffressourcen der Erde sind über den gesamten Globus verteilt, so dass es nicht zu einer kritischen Situation kommen kann (z. B. Cu, Pb, Zn). Bei denjenigen, die nicht gleichmässig verteilt sind, besteht die Gefahr von Versorgungsengpässen und -unterbrechungen.

Tätigkeit

Überblick

RAWsiko ist ein digitales Spiel, das komplett rundenbasiert und ohne Zeitbegrenzung gespielt wird, so dass keine besonderen Fähigkeiten im Umgang mit Videospiele erforderlich sind, um es in vollem Umfang zu spielen. Jede Partie wird von 3 bis 5 Spieler*innen gespielt. Es ist möglich, lokal auf einem einzigen Gerät zu spielen (die Spieler wechseln sich bei der Steuerung des Spielbretts ab) oder online von verschiedenen Geräten aus (jede*r Spieler*in stellt mit seinem eigenen Computer/Smartphone/Tablet eine Verbindung zum Internet her).

Das Spiel ist derzeit auf Englisch, Italienisch und Deutsch verfügbar, aber weitere Sprachen werden im Laufe der Zeit hinzugefügt.

Um das digitale Spiel herunterzuladen oder online zu spielen:

<https://arraise.com/rawsiko/>

Um auf Deutsch zu spielen:

Auf dem Startbildschirm die grüne Schaltfläche anklicken, dann bei «Settings» zu «Profile» wechseln und bei «Language» aus dem Ausklappmenü «Deutsch» auswählen und erneut die grüne Schaltfläche anklicken.

Zugriff auf das Spiel

RAWsiko ist für drei verschiedene Plattformen verfügbar: Browser, Windows und Android. Das Spiel ist nicht nur auf allen Plattformen identisch (abgesehen von einigen kleinen Unterschieden in der Benutzeroberfläche), sondern Personen auf verschiedenen Plattformen können auch in einem Online-Match zusammenspielen.

Alle Versionen von RAWsiko sind auf der folgenden Webseite aufgelistet und verfügbar:

<https://arraise.com/rawsiko/>. Da das Spiel im Laufe der Zeit immer wieder gepatcht und verbessert wird, sollten Sie, wenn Sie die Windows- oder Android-Version verwenden möchten, regelmässig auf der Website nachsehen, ob eine neuere Version zum Herunterladen zur Verfügung steht.

ONLINE (BROWSER) VERSION

Lehrpersonen-Info

Dies ist die am leichtesten zugängliche und am schnellsten zu verwendende Version, auf die Sie unabhängig von Ihrem Betriebssystem (Windows, macOS, Linux usw.) zugreifen können und die immer mit dem neuesten Patch aktualisiert wird, ohne dass Sie selbst etwas tun müssen. Wenn sie auf Ihrem Gerät korrekt funktioniert, empfehlen wir Ihnen, diese Version zu verwenden. Unter <https://arraise.com/rawsiko/> finden Sie den Link für den Zugriff auf das Spiel und die Liste der unterstützten Browser.

WINDOWS VERSION

Diese Version funktioniert auf Computern mit einem 64-Bit-Windows-Betriebssystem (Windows 10 wird vollständig unterstützt, Windows 7 und 8 sollten noch funktionieren, ältere Betriebssysteme wurden nicht gründlich getestet). Um diese Version zu spielen, müssen Sie auf <https://arraise.com/rawsiko/> gehen und den Anweisungen folgen, um den Spiel-Client (das Programm, das das Spiel zum Laufen bringt) auf Ihren PC herunterzuladen und zu verwenden.

ANDROID VERSION

Diese Version des Spiels sollte auf jedem Smartphone oder Tablet mit Android 4.4 oder neuer laufen. Das Spiel sollte irgendwann im Jahr 2021 als reguläre App im Google Play Store verfügbar sein. Wenn das Spiel noch nicht im Play Store verfügbar ist, besuchen Sie <https://arraise.com/rawsiko/> und folgen Sie den Anweisungen, um das Spiel manuell herunterzuladen und auf Ihrem Gerät zu installieren.

Organisieren einer Spielsitzung

LOKALES MATCH

Wenn mehrere Personen vor einem einzigen Computer oder Smartphone sitzen, ist es sehr einfach, ein Spiel zu starten. Prüfen Sie zunächst im Menü «Einstellungen», ob die optionalen Regeln und die Spieldauer Ihren Wünschen entsprechen.

Danach öffnen Sie «Matchmaking», vergewissern sich, dass «Lokal» oben links grün markiert ist, lassen jede*n Spieler*in einen Avatar/Charakter aus der Liste unten auswählen und starten dann das Spiel, indem Sie unten auf die grüne Schaltfläche klicken.

Wenn das Spiel beginnt, können Sie in der Leiste oben links sehen, welche*r Spieler*in gerade spielt. Lassen Sie diese*n Spieler*in den Zug beenden und geben Sie dann die Kontrolle über das Gerät an den nächsten Spielenden weiter usw.

ONLINE MATCH

Wie bereits erwähnt, wird das Spiel unabhängig von der gewählten Version identisch funktionieren, und alle Versionen können online zusammenspielen. Machen Sie sich also keine Sorgen, wenn verschiedene Personen über unterschiedliche Versionen auf das Spiel zugreifen können.

Nachdem jede*r Spieler*in das Profil im Einstellungsmenü vervollständigt hat und der «Host»-Spieler die optionalen Regeln und die Spieldauer festgelegt hat, lassen Sie den «Host»-Spieler die Spiel-Lobby erstellen, die alle Spieler*innen beitreten werden. Gehen Sie zu «Matchmaking» und wählen Sie oben

Lehrpersonen-Info

«Online». Wenn die Spieler mit dem Internet verbunden sind und die Server korrekt laufen, sollte unter «Game Server» «Verbunden und bereit» stehen. Lassen Sie den*die Spieler*in den Namen der Lobby, die er*sie erstellen möchte, eingeben (jeder Name funktioniert, es geht nur darum, sie von anderen Lobbys, in denen das Spiel gespielt wird, zu unterscheiden), und drücken Sie dann auf die orangefarbene «+»-Taste unten.

Wenn alles richtig gemacht wurde, sollte der «Host»-Spieler seinen Profilnamen im Fenster rechts sehen, und alle anderen Spieler*innen sollten den Namen der Lobby in der Dropdown-Liste «Lobby» sehen. Wenn Sie diesen auswählen, werden Sie der Lobby hinzugefügt. Wenn alle Spieler*innen der Lobby beigetreten sind, kann der «Host»-Spieler das Spiel starten, indem er auf die grüne Schaltfläche unten links drückt.

Anhang 1 - Regel-Handbuch

Das Regel-Handbuch steht auf der Website des Spiels unter <https://arraise.com/rawsiko/> zum Download bereit. Denken Sie daran, dass das Handbuch im Laufe der Zeit einige kleinere Aktualisierungen erhalten könnte und dass es auch in weiteren Sprachen verfügbar sein wird.

Lernpfad

Schritt 1 - Zeit und Aktivität: 30 min - Die Lehrkraft gibt eine kurze Einführung in die Thematik der kritischen Rohstoffe und ihre Bedeutung für den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft.

Schritt 2 - Zeit & Aktivität: 20 min - Die Schüler*innen werden in Gruppen eingeteilt (maximal 5 Schüler*innen pro Gruppe) und lesen die Bedienungsanleitung, um zu verstehen, wie man spielt (und eventuell das Videospiel herunterlädt).

Schritt 3 - Zeit & Aktivität: 40 min - Spielen des Videospiels.

Schritt 4 - Zeit & Aktivität: 15 min - Evaluierung. Die Zeit, die für einen Test zur Bewertung der Schüler*innen benötigt wird, hängt von der Anzahl der eingegebenen Fragen ab.

Evaluierung



Mögliche Fragen zur Bewertung des Lernens einiger Schlüsselkonzepte:

1. Was sind CRMs?
2. Warum sind CRMs so wichtig?
3. Warum wird ein Material «kritisch»?
4. Wo können wir CRMs finden?
5. Nennen Sie mindestens drei Produkte mit CRMs?

Danksagung

Das CNR dankt dem Liceo «Niccolò Copernico» in Bologna (Italien) und dem Istituto di Istruzione Superiore «Maria Montessori - Leonardo da Vinci» in Porretta Terme (Italien) für die wertvolle Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Erprobung dieses Serious Games. Darüber hinaus dankt das CNR der ARraise s.r.l., Mailand, Italien, für die Entwicklung der digitalen Version des Spiels.

Übersetzung durchgeführt dank

