

# CEfitsEmS

## Konzeption eines interaktiven, praxisbezogenen Schülerlabors zum Thema „Mach Dich und Dein Handy fit für den Kreislauf“

Projektlaufzeit: 01.11.2022 – 31.08.2024

Abschlussbericht über ein Bildungsprojekt  
gefördert unter dem Az 38329/01-41  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

verfasst von

Marius Wohlfahrtstätter, M.Sc (Hochschule Düsseldorf)

November 2024

Projektkennblatt  
der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az **38329/01-41**

Referat

Fördersumme

**109.778 €**

**Antragstitel** **Konzeption eines interaktiven, praxisbezogenen Schülerlabors zum Thema „Mach dich und dein Handy fit für den Kreislauf“**

**Stichworte** Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeits-Transformation, Elektroschrott, Augmented Reality, Sensibilisierung der Jugend, Bildungsangebote, außerschulische Lernorte, Experimente, Lehrmaterialien

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>22 Monate</b>	<b>01.11.2022</b>	<b>31.08.2024</b>	

Zwischenbericht 01.11.2023

**Bewilligungsempfänger** Hochschule Düsseldorf (HSD)  
ZIES - Zentrum für Innovative Energiesysteme  
Prof. Mario Adam

Tel 0211/4351-3578

**Projektleitung**  
Mario Adam

**Bearbeitende Personen**  
Marius Wohlfahrtstätter (HSD)  
Patrick Kruse (HSD)  
Lutz Baberg (W-HS)

**Kooperationspartner** Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen (W-HS)  
Zentrum für Recyclingtechnik  
Prof. Ralf Holzhauer

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Ziel des Vorhabens war die Konzeptionierung eines neuen Kurstages für das Schülerlabor „Energiewende macht Schule“ im weiteren Themenbereich Circular Economy/ Kreislaufwirtschaft mit Fokus auf elektronische Geräte wie z.B. das Smartphone. Dieser sollte modular aus praxis- und handlungsorientierten Bausteinen aufgebaut werden und das Ziel haben die junge Generation in eine umfangreiche und kritische Auseinandersetzung mit den Anforderungen und Bedingungen zum Gelingen der „Nachhaltigkeits-Transformation“ unserer Gesellschaft zu bringen und das Bewusstsein in Bezug auf das Thema Kreislaufwirtschaft zu schärfen. Das Kursangebot sollte Experimente, Planspiele, interaktive Unterrichtsdiskussionen und Quiz-Formate beinhalten, die gezielt mittels Anwendungen aus der „Augmented Reality“ (AR) ergänzt und bereichert werden. Inhaltlich sollten die sozialen und ökologischen Folgen globalisierter Produktionszusammenhänge am Beispiel der Handyproduktion, -nutzung und -entsorgung praxisnah veranschaulicht werden.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Das Projekt bestand aus sechs Arbeitspaketen (AP):

**AP 0 Koordination und Ergebnistransfer [ZIES der HSD]**

**AP 1 Ist-Analyse und Vorkonzeptionierung [W-HS]**

**AP 2 Konzepterstellung der Module und Programme [ZIES der HSD]**

**AP 3 Grafisches Design und Implementierung der fachlichen Inhalte der AR-Applikationen [MIREVI Mixed Reality and Visualization der HSD]]**

**AP 4 Zusammenstellung und Beschaffung von Lehr- und Lernmaterialien [ZIES der HSD]**

**AP 5 Test, Evaluation und iterative Weiterentwicklung [ZIES der HSD]**

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

## ***Ergebnisse und Diskussion***

AP 0 bildete durch ein persönliches Kennenlernen aller Projektpartner und eine effektive Projektkoordination die Basis für einen erfolgreichen Projektverlauf mit qualitativen Ergebnissen. Über gemeinsame virtuelle Plattformen konnten Inhalte effektiv und kreativ erarbeitet werden. Weiterhin wurden und werden die Projektergebnisse auf öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen einem interessierten Publikum bekannt gemacht. Um eine Adaption zu erleichtern, wurde ein verständlicher Kursablaufplan sowie ein Leitfaden für die Nutzung des Escape Games „Eco Explorers“ erstellt, welcher Interessent:innen detaillierte Anweisungen zur Vorbereitung und Durchführung bereitstellt.

In AP 1 wurde eine detaillierte Recherche durch die Westfälische Hochschule durchgeführt und sinnvoll nutzbare Bausteine für den neuen Kurs bewertet. In AP 2 wurde ein Tageskonzept entworfen, welches unter Nutzung vorhandener sowie selbst entwickelter didaktischer Bausteine ein methodisch abwechslungsreiches Lernprogramm unter Berücksichtigung der Lebensrealität der jungen Menschen darstellt. Ein einführendes interaktives Unterrichtsgespräch orientiert sich an der Struktur „Status Quo → Problem → Lösung“ und fragt den individuellen Wissensstand der Klasse ab, vermittelt aber auch grundlegende Fachkenntnisse in verschiedenen Themenbereichen unter dem Überbegriff Kreislaufwirtschaft und zeigt Lösungsansätze auf. Herzstück des Tagesprogramms bildet das selbst konzipierte Escape Game „Eco Explorers“ unter Nutzung von AR-Technologie. Das Escape Game besteht aus drei Leveln mit den Themen Kunststoffe, Lebensmittel und Metalle. Es werden sowohl fachliche Informationen vermittelt als auch ein Bewusstsein für die genannten Themen. Eingerahmt von kleinen Aufgaben und Rätseln wird eine Balance zwischen Wissensvermittlung und Spielspaß geschaffen. Den letzten Baustein des Kurses bildet ein Arbeitsblatt in Kombination mit einem Browserspiel und einem kurzen Film zum Thema Produktion, Ressourcenverbrauch und Recycling von Handys. Der im Projektantrag forcierte Kursfokus wird so beibehalten. Abgeschlossen wird der Kurs mit einer offenen Diskussion der erlebten Inhalte im Plenum. Es werden Handlungsmöglichkeiten für den Alltag aufgezeigt, um die größtmögliche Wirkung des Erlebten zu erreichen.

In AP 3 wurde auf Basis der zu vermittelnden fachlichen Inhalte durch die Arbeitsgruppe MIREVI der HSD in Zusammenarbeit mit dem ZIES die Software-Anwendung zum Escape-Game entwickelt. Die App verwendet die Anwendungen AR Foundation und ARKit von Apple, um 3D-Objekte präzise anhand spezifischer Marker im Raum zu erkennen. Das Spiel umfasst drei Level, die unterschiedliche Aufgaben und Rätsel mit AR-Mechaniken kombinieren: Im ersten Level müssen Materialien gescannt und selektiert werden, im zweiten Level wird das virtuelle Gewicht eines Lebensmittel-Objekts zur Lösung eines Rätsels ermittelt und im dritten Level sollen die Spieler:innen ein 3D-gedrucktes Smartphone in Einzelteile zerlegen, in der Augmented Reality untersuchen und Fragen zu den Komponenten beantworten. Diese Elemente schaffen eine immersive Lernumgebung und bieten den Nutzer:innen ein abwechslungsreiches und interaktives Lernerlebnis.

In AP 4 wurden auf Basis des fertigen Kurskonzeptes die Lehr- und Lernmaterialien durch das ZIES erstellt, die kontinuierlich getestet und weiterentwickelt wurden. Die Arbeitsblätter und -materialien sind altersgruppengerecht gestaltet und unterstützen das Lernen durch eine ausgewogene Mischung aus digitalen und analogen Medien. Ein Kursablaufplan und ein Leitfaden erleichtern die Anwendung des Escape Games durch Dritte mit Hinweisen und Informationen zum Ablauf sowie zu beschaffenden Materialien. Insgesamt wurden die entwickelten Kurse im Rahmen von 5 Schülerlaboren mit Schüler:innen der 3. bis 12. Klasse getestet. In diesen Tests konnte eine positive Wirkung des Kursbausteins auf den Lernerfolg anhand von Evaluationsbögen nachgewiesen werden. Das Escape-Game-Konzept erhielt durchweg sehr positives Feedback. Die gesammelten Rückmeldungen und Erfahrungen sind wertvoll für zukünftige Projekte. Der Tageskurs „Kreislaufwirtschaft“ ist mittlerweile fest in das Schülerlabor des ZIES integriert und wird bereits angeboten.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Ein zentraler Aspekt des Projektes ist die Nutzung der entwickelten Inhalte durch andere Schülerlabore und Institutionen. Alle im Projekt erstellten Materialien lassen sich über die Website des Schülerlabors ([www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles](http://www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles)) herunterladen. Ebenso befindet sich dort über das Kontaktformular die Möglichkeit, bei diesbezüglichen Fragen unkompliziert in Kontakt mit einer Ansprechpartner:in des ZIES zu treten.

Um die Projektergebnisse möglichst weit zu streuen und Aufmerksamkeit zu schaffen, ist ein Workshop für Interessierte im Anschluss an das Projekt fest geplant, welcher im Vorfeld über geeignete Kanäle und Netzwerke bekannt gemacht wird. Weiterhin präsentierte das ZIES die Projektergebnisse auf öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen, wie beispielsweise der Woche der Umwelt 2024, dem Tag der offenen Tür der HSD oder dem Nachhaltigkeitstag der HSD im Jahr 2025.

### **Fazit**

Auf Basis einer detaillierten Recherche wurde im Projektverlauf ein didaktisch und methodisch sinnvolles Tages- und Halbtageskonzept entworfen. Alle Bausteine sind sinnvoll aufeinander abgestimmt und ergänzen sich. Das in AP 2 gemeinsam erarbeitete Konzept des Escape Games mit AR-Elementen wurde von der Arbeitsgruppe MIREVI in regelmäßiger Rücksprache mit dem ZIES umgesetzt. Durch den engen Austausch und die umfangreichen Tests sowohl intern als auch in den Schülerlaboren des ZIES wurde eine hohe Qualität der Kursinhalte sichergestellt. An dieser Stelle sei außerdem auf die zielführende und reibungslose Zusammenarbeit zwischen den Projektpartner:innen hingewiesen.

Die Projektergebnisse erfüllen alle Erwartungen und werden bereits mit sehr positiver Rückmeldung in den Schülerlaboren des ZIES verwendet.

## Inhalt

Projektkennblatt .....	I
1 Arbeitspakete und durchgeführte Arbeiten .....	1
2 Anhang .....	21

# 1 Arbeitspakete und durchgeführte Arbeiten

Im Folgenden werden die Arbeitspakete (AP) gemäß Antragstellung und die jeweiligen Ergebnisse beschrieben.

## **AP 0 – Koordination und Ergebnistransfer; Dauer: Über die gesamte Projektlaufzeit**

Das ZIES der HSD koordiniert die Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern, richtet Projekttreffen aus und erstellt projektbezogene Dokumentationen. Auf Basis der Evaluationsergebnisse werden Empfehlungen zur Übertragbarkeit der Projektergebnisse (insb. zur AR-Technologie) auf weitere (nachhaltige) Themenfelder zusammengestellt und über geeignete Kanäle bzw. Interessierte verbreitet (s. Kap. 9 der Projektskizze). Es werden anschauliche Arbeitsanweisungen zu den Kursabläufen für Kursbetreuende ausgearbeitet. In Form eines Abschluss-Workshops werden interessierte Schülerlabore eingeladen, das entwickelte Konzept sowie die neuen Unterrichtsmaterialien kennenzulernen. Veröffentlichungen der Projektergebnisse in geeigneten Fachzeitschriften, auf Tagungen oder Messen dienen dem Wissenstransfer.

### **Durchgeführte Arbeiten aus AP 0:**

In AP 0 wurden effektive Projekttreffen mit den beteiligten Partnern sowohl in Präsenz als auch digital durchgeführt. Ein Kick-Off-Meeting mit Teilnahme aller Projektpartner zu Beginn des Projektes bildete eine solide Basis durch ein persönliches Kennenlernen. Dieses Treffen wird als sehr wichtig in Bezug auf einen gelungenen Projektverlauf bewertet.

Weiterhin wurden ein Kursablaufplan sowie ein Leitfaden erstellt, für die Nutzung des Escape Games „Eco Explorers“ erstellt, welcher Interessent:innen detaillierte Anweisungen zur Vorbereitung und Durchführung bereitstellt. Alle im Projekt erstellten Materialien lassen sich über die Website des Schülerlabors ([www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles](http://www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles)) herunterladen.

Da das Projektende auf die Schulferienzeit fiel, wird der geplante Workshop für interessierte Schülerlabore im Anschluss an das Projekt stattfinden. Zur Erhöhung der Teilnahmewahrscheinlichkeit wird die Veranstaltung in einem virtuellen Format stattfinden. Es werden alle im Projekt entwickelten Kursbausteine und Materialien vorgestellt und erläutert und aufkommende Fragen beantwortet. Um eine möglichst große Anzahl an Interessierten zu erreichen, wird die Veranstaltung im Vorfeld über geeignete Kanäle und Netzwerke bekannt gemacht.

Weiterhin werden die Projektergebnisse bei passenden Veranstaltungen mit Beteiligung des ZIES demonstriert. Zu nennen sind hier während der Projektlaufzeit die Woche der Umwelt im Juni 2024 in Berlin. Im Anschluss an das Projekt außerdem der Besuch des Wissenschaftsausschusses des Landes NRW im Schülerlabor des ZIES im November 2024, dem am Tag der offenen Tür sowie dem Nachhaltigkeitstag der HSD im Jahre 2025.

## **AP 1 – Ist-Analyse und Vorkonzeptionierung; Dauer: 3 Monate**

Auf Basis einer detaillierten und aktualisierten Literatur- bzw. Webrecherche zu Projekten bzw. Ansätzen mit dem Fokus auf handlungs- und kompetenzorientierte Bildungsangebote mit Bezug zum betrachteten Themenfeld der Kreislaufwirtschaft werden die Rechercheergebnisse getestet und im Hinblick auf eine effektive Nutzung im zu konzipierenden Kurs bewertet. Ziel ist es, neue Lehr- und Lerninhalte sinnvoll in das Schülerlabor zu integrieren, auch im Hinblick auf eine interaktive Einbindung der zu entwickelnden AR-Anwendung.

### **Durchgeführte Arbeiten aus AP 1:**

Es wurde eine detaillierte Recherche zu vorhandenen nutzbaren Bausteinen im Themenbereich Kreislaufwirtschaft durchgeführt und diese anhand ihres didaktischen Nutzens für das Schülerlabor bewertet. Die Recherche ergab eine Vielzahl von didaktisch hochwertigen Unterrichtsprogrammen und -materialien, von denen nach einem Test die sinnvollsten zur Nutzung im neuen Schülerlaborkurs herauskristallisiert und in ein Konzept überführt wurden. In einem Brainstorming kam die Idee auf, ein Escape Game als zentralen Baustein des Tageskurses zu entwickeln, welches verschiedene Themen mit Bezug zum übergeordneten Thema Kreislaufwirtschaft behandelt und AR-Technologie mit handlungsorientierten Praxisaufgaben kombiniert.

## **AP 2 – Konzepterstellung der Module und Programme; Dauer: 6 Monate**

Es wird ein zeitlich und inhaltlich sinnvoll aufeinander abgestimmtes Kursprogramm, ein ausführliches Tages- und ein kompaktes Halbtagesprogramm entwickelt. Es werden Basis-Lehrbausteine verwendet und durch gezielte Modulerweiterungen und zusätzliche Module das Kursprogramm abgerundet. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Erstellung von User Stories und Machbarkeitsprüfungen, die die technischen Möglichkeiten der AR-Spezialisten und den Umsetzungsaufwand mitberücksichtigen sowie die fachliche und didaktische Ausgestaltung der Inhalte. Weiterhin wird berücksichtigt, dass sowohl die Lehr- und Lernmaterialien als auch die AR-Anwendung später unkompliziert von anderen Schülerlaboren genutzt werden kann.

## Durchgeführte Arbeiten aus AP 2:

Es wurde ein Tageskonzept entworfen, welches unter Nutzung bereits vorhandener sowie selbst zu entwickelnder didaktisch sinnvoller Bausteine ein methodisch abwechslungsreiches Lernprogramm für junge Menschen unter Berücksichtigung effektiver Lehr- und Lernmethoden realisiert. Hierbei wird auf den reichhaltigen Erfahrungsschatz aus der Durchführung von Kursen aus dem Schülerlabor Energiewende macht Schule zurückgegriffen. Das Konzept ist nachfolgend dargestellt:

- **Interaktives Unterrichtsgespräch → Bewusstseinschaffung, Heranführung an das Thema Kreislaufwirtschaft, Aufzeigen von Handlungsmöglichkeiten (45 Min.)**
  - Einstieg mit Gedankenexperiment: Stellt Euch vor, es wird 3 Wochen kein Hausmüll abgeholt. Was passiert?
  - Aufbau der Präsentation:
    - Aktuelle Situation
      - Welche Tonnen gibt es in Deutschland?
      - Was wird recycelt und wie?
      - Was passiert mit alten Elektrogeräten?
    - Problem
      - Wie wird mit Ressourcen umgegangen?
      - Wie werden Ressourcen abgebaut?
      - Was sind die Folgen für die Umwelt?
    - Lösung
      - Zirkuläre statt linearer Wirtschaft
      - Was kann die Politik tun?
      - Was kann ich selbst tun?
- **Pause (15 Min.)**
- **Escape Game „Eco Explorers“ (90 Min.)**
  - Level 1 (Kunststoffe): Schüler:innen sortieren Plastikmüll händisch und bestimmen die Kunststoffe; Wissen rund um Kunststoffe wird vermittelt
  - Level 2 (Lebensmittel): Schüler:innen entwickeln ein Bewusstsein für den Umgang mit Lebensmitteln; Wie kann ich Lebensmittelverschwendung entgegenwirken?



- Level 3 (Metalle): AR-Anwendung Smartphone Dummy; Aus welchen Bauteilen besteht mein Smartphone? Welche Ressourcen sind verbraucht und wie werden diese gewonnen? Was sind die Folgen?
- **Mittagspause (60 Min.)**
- **Browser-Game „Handy Crash“ + Arbeitsblatt (30 Min.)**
- **Film „Gnadenlos billig“ + Diskussion und Vergleich mit Erkenntnissen aus „Handy Crash“ (40 Min.)**
- **Abschließende Diskussion & Handlungsmöglichkeiten gemeinsam erarbeiten (CE allgemein)(30 Min.)**
  - Umweltbewusstsein & Umwelthandlung

Eingeleitet wird der Kurs von einem interaktiven Unterrichtsgespräch, welches sich an der oben aufgeführten Struktur orientiert. Ziel des Bausteins ist die Schaffung eines ersten Bewusstseins für das Kursthema sowie das Abfragen des aktuellen Wissensstands der Schüler:innen. Durch die interaktive Ausrichtung und Verwendung von Gedankenexperimenten werden Inhalte selbstständig erarbeitet und das Selbstvertrauen der Klasse im Hinblick auf den weiteren Kurstag gestärkt.

Es folgt nach einer 15-minütigen Pause das selbst entwickelte Escape Game, welches das Herzstück des Kurses darstellt und wichtige Aspekte des Kernthemas Kreislaufwirtschaft behandelt und vertieft. Es besteht aus drei zusammenhängenden Leveln zu den Themen Kunststoffe, Lebensmittel und Metalle. Eingerahmt wird der paxis- und handlungsorientierte Baustein von Elementen in der Augmented-Reality und legt einen besonderen Fokus auf die globalisierten Produktionszusammenhänge eines Smartphones in Bezug auf die verwendeten Rohstoffe sowie deren Recyclingmöglichkeiten. Das genaue Konzept mit Arbeitsanweisungen, zu lösenden Rätseln sowie die zu vermittelnden fachlichen Informationen sind der *Tabelle 1* im Anhang zu entnehmen.

Nach einer 60-minütigen Mittagspause folgt die selbstständige Bearbeitung eines Arbeitsblattes in Kombination mit einem Browserpiel. Dieses setzt den Fokus weiter auf Produktion, Ressourcenverbrauch und Recycling von Handys sowie die Schaffung eines erweiterten Bewusstseins für das Thema. Direkt im Anschluss wird durch einen informativen Film zur globalen Produktionskette des Handys und deren Folgen die Verbindung zum zuvor bearbeiteten Arbeitsblatt geknüpft. [Hier](#) kann das ausgearbeitete Unterrichtsmaterial sowie weiterführende Informationen angeschaut und heruntergeladen werden.

In einer abschließenden offenen Diskussionsrunde wird das Erlernete verfestigt und individuelle Handlungsmöglichkeiten in Bezug auf Umweltbewusstsein und Umwelthandlung erarbeitet.

Bei der Durchführung eines Halbtageskurses wird das Konzept um die ergänzenden Bausteine *Browserspiel „Handy Crash“* + *Arbeitsblatt* sowie *Film „Gnadenlos billig“* + *Diskussion und Vergleich mit Erkenntnissen aus „Handy Crash“* gekürzt und die Mittagspause auf 15 Minuten reduziert.

### **AP 3 – Grafisches Design und Implementierung der fachlichen Inhalte der AR-Applikationen; Dauer: 9 Monate**

Im Arbeitspaket 3 erfolgt die Entwicklung des grafischen Designs und aller visuellen Inhalte der AR-Applikationen (MIREVI der HSD) sowie die Implementierung der fachlichen Inhalte (W-HS, HSD). Die Entwicklung berücksichtigt aktuelle Technologien für fortgeschrittene AR-Inhalte, wird sich aber auf eine nutzerzentrierte Perspektive fokussieren und die intuitive Nutzung und den beabsichtigten Lernerfolg gegenüber umfangreicher technischer Funktionalität vorziehen. In enger Absprache zwischen den Kooperationspartnern werden Elemente grafisch modelliert und die User Experience nutzerzentriert ausgearbeitet.

#### **Durchgeführte Arbeiten aus AP 3:**

Nach der gemeinsamen Festlegung des Konzeptes für den zentralen, zeitgemäßen und zielgruppengerechten Baustein „Escape Game“ hat die Arbeitsgruppe MIREVI der HSD die AR-Anwendung programmiert. Das Interaktionskonzept zur prototypischen Entwicklung des ersten Levels ist in diesem Kapitel dargestellt.

Um die am ZIES der HSD entwickelten Inhalte in die Anwendung zu implementieren und sowohl die User Experience als auch die zu programmierenden AR-Elemente abzustimmen, wurden neben mehreren virtuellen Treffen zwei Workshops in Präsenz durchgeführt, deren Ergebnisse direkt in die Umsetzung der AR-Anwendung einfließen. Auf deren Programmierung wird nachfolgend näher eingegangen:

Im Rahmen von AP 3 wurde die Implementierung der AR-Applikation für iOS-Geräte in der Unity-Entwicklungsumgebung umgesetzt. Im Projekt wurde Unity's AR Foundation genutzt, um eine robuste Augmented Reality-Lösung zu entwickeln, die speziell auf iOS-Geräte ausgerichtet ist. Die Software nutzt Image Tracking, welches es ermöglicht, 3D-Objekte präzise anhand der Transformation von erkannten Markern zu platzieren.

Durch die Integration von ARKit, Apples leistungsfähigem Framework für AR-Anwendungen, profitiert die Applikation von fortschrittlichen Funktionen wie der Erkennung und Verfolgung von Bildern in Echtzeit. Wenn ein Marker erkannt wird, erfasst die Anwendung dessen Position und Orientierung im dreidimensionalen Raum. Diese Informationen werden verwendet, um virtuelle 3D-Objekte genau an der Stelle des Markers zu positionieren, sodass sie nahtlos mit der realen Umgebung interagieren.

Dank der flexiblen Architektur von AR Foundation kann plattformübergreifend gearbeitet und die Stärken von Unity genutzt werden, um eine interaktive und immersive Benutzererfahrung zu schaffen. Die Anwendung bietet eine intuitive Benutzeroberfläche und reagiert dynamisch auf die Bewegungen des Benutzers, was das Eintauchen in die Augmented Reality-Welt erheblich verstärkt.

Die Applikation besteht aus drei aufeinander aufbauenden Levels, die jeweils unterschiedliche AR-Effekte und abwechslungsreiche Spielmechaniken integrieren, um den Nutzer:innen ein vielfältiges und wiederholungsfreies Erlebnis zu bieten. Der zentrale Fokus liegt dabei auf der Interaktion mit verschiedenen Image-Markern, die im Spielverlauf gescannt werden müssen. Durch das Scannen dieser Marker werden dynamische Inhalte wie Videoanimationen, 3D-Grafiken und interaktive Elemente freigeschaltet, die den Fortschritt im Spiel unterstützen. Jedes Level nutzt dabei eine eigene Kombination von AR-Mechaniken, um die Komplexität zu steigern und den Lern- und Spielerfolg auf kreative Weise zu fördern. Diese Elemente sorgen nicht nur für eine immersive Spielerfahrung, sondern fördern auch das Entdecken und Erlernen der Inhalte auf intuitive Art und Weise.

## **Interaktionskonzept**

### **Level 1**

**Ziel:** In Level 1 der AR-App sollen die Spieler:innen verschiedene Materialien identifizieren, die Informationen zu den Materialien speichern und diese anschließend korrekt sortieren, um das nächste Level freizuschalten.



Abbildung 1: Startscenario Escape Game

### 1. Aufgabenstellung:

- Zu Beginn des Levels wird den Spieler:innen die Aufgabe gestellt, verschiedene Materialien zu identifizieren und anschließend korrekt zu sortieren.
- Die Aufgabe wird visuell in der AR-App dargestellt und durch eine kurze Erklärung ergänzt.

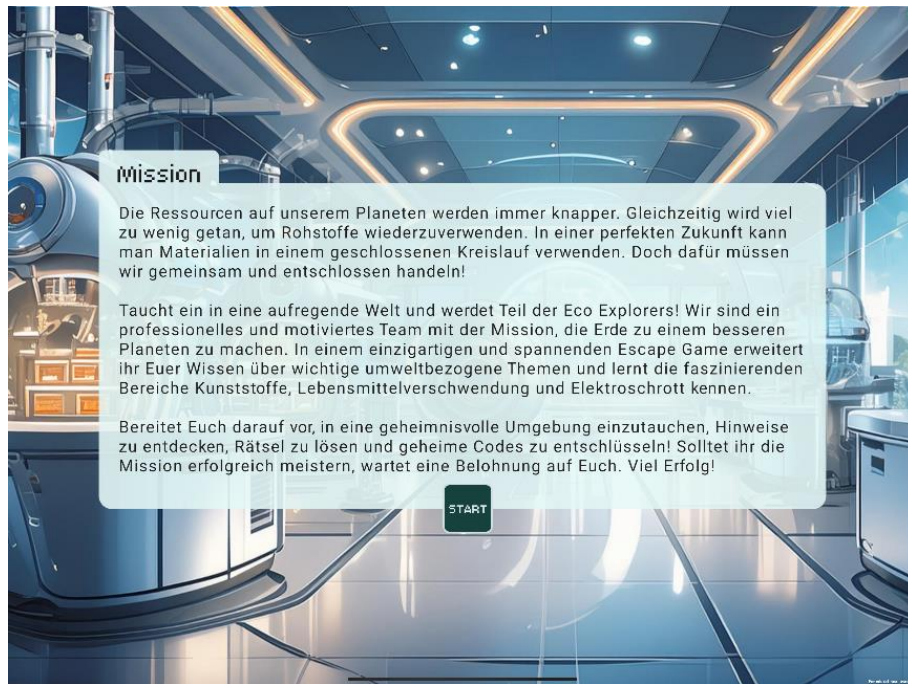


Abbildung 2: Mission Escape Game

## 2. Objektscannen und Identifizierung:

- Die Spieler:innen verwenden ihre iOS-Geräte, um verschiedene reale Objekte mithilfe der Kamera zu scannen. Die Objekte sind mit Image-Markern versehen, die spezifische Informationen auslösen, wenn sie erkannt werden.



Abbildung 3: Objekterkennung Level 1

- Sobald ein Objekt gescannt wird, erscheint Informationsgrafik des Materials in der AR-Ansicht. Zusätzlich werden relevante Informationen zum Material eingeblendet (z.B. Name, Eigenschaften). Diese Informationen werden automatisch im Spielarchiv gespeichert.

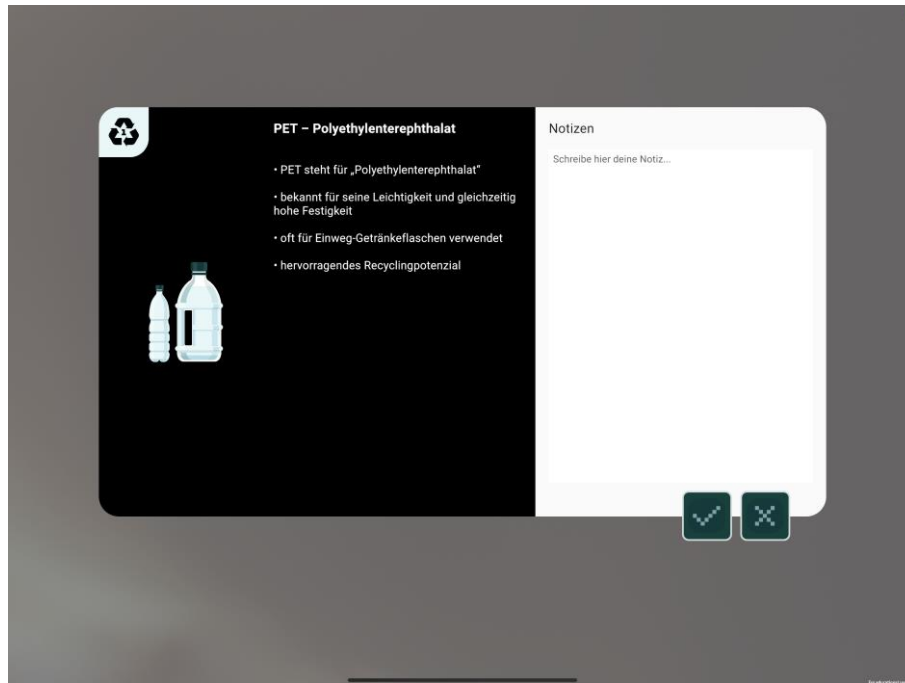


Abbildung 4: Informationen Kunststoffe

### 3. Archiv und Informationsspeicherung:

- Jedes gescannte Objekt wird in einem digitalen Archiv innerhalb der App abgelegt. Die Spieler:innen können jederzeit auf dieses Archiv zugreifen, um die gesammelten Informationen einzusehen.
- Das Archiv hilft den Spieler:innen, eine Übersicht der gescannten Materialien zu behalten, um diese im nächsten Schritt korrekt zu sortieren.

### 4. Sortieren der Objekte:

- Nachdem alle Materialien gescannt und identifiziert wurden, müssen die Spieler:innen die Objekte auf der Basis der gespeicherten Informationen sortieren.

### 5. Bestätigung und Freischalten des Codes:

- Sobald die Sortierung abgeschlossen ist, müssen die Spieler:innen drei Zielobjekte scannen, um den Abschluss des Levels zu bestätigen. Diese Zielobjekte fungieren als Prüfstationen.





Abbildung 5: Scannen der drei asugewählten Kunststoffe

- Nach dem erfolgreichen Scannen der Zielobjekte wird ein Code eingeblendet, der in Kombination mit einem physischen Puzzle den Code für das nächste Level liefert.

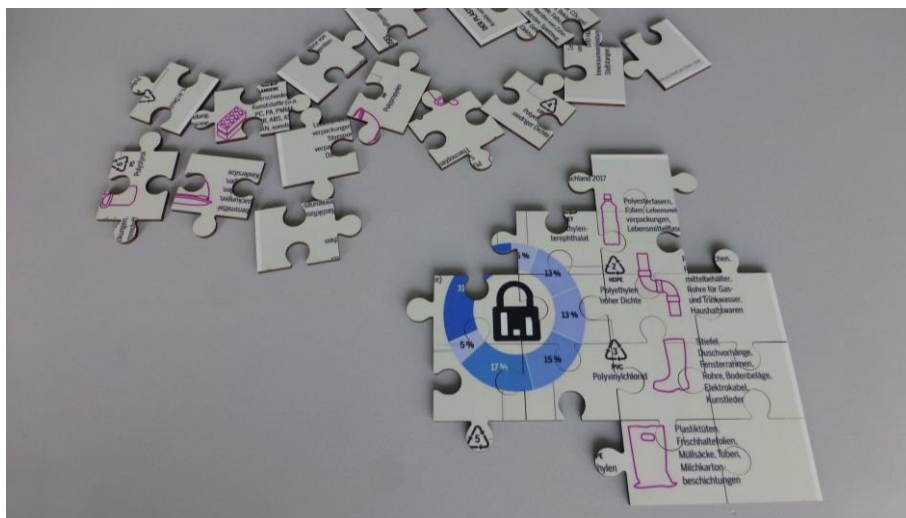


Abbildung 6: Puzzle Level 1

**Zusatz:** Das Archiv bleibt während des gesamten Spiels zugänglich und dient als wichtige Informationsquelle, um das richtige Verständnis und die Sortierung der Materialien sicherzustellen.

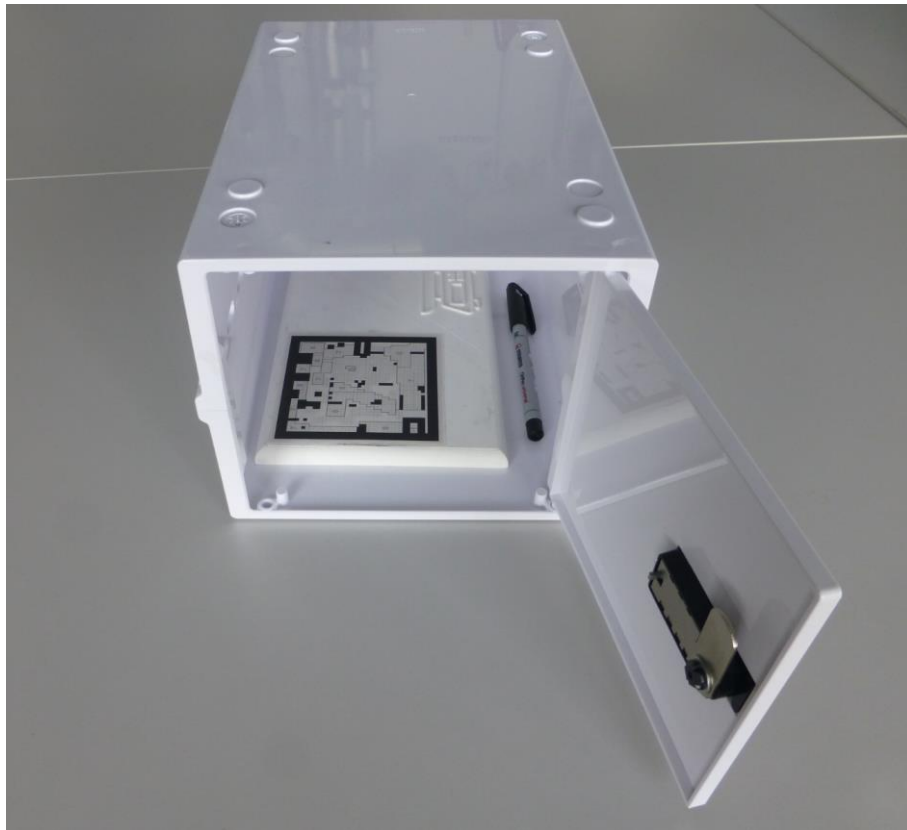


Abbildung 7: Box 1 mit Inhalt



## Level 2

**Ziel:** In Level 2 müssen die Spieler:innen ein bestimmtes Food-Objekt finden und dessen Gewicht mithilfe einer AR-Waage ermitteln. Das ermittelte Gewicht dient als Lösung für ein analoges Rätsel, welches durch das Ausmalen eines AR-Codes die nächste Spielfortschrittshürde freischaltet.

### 1. Aufgabenstellung:

- Zu Beginn des Levels wird den Spieler:innen die Aufgabe gestellt, ein spezifisches Lebensmittel-Objekt zu finden. Die Aufgabe wird durch eine kurze Einleitung in der AR-App visualisiert, wobei durch Lösen eines Kreuzworträtsels auf dem Arbeitsblatt Hinweise zum gesuchten Objekt erarbeitet werden.

### 2. Scannen und Wiegen des Objekts:

- Die Spieler:innen müssen das gesuchte Lebensmittel-Objekt mit der Kamera ihres Geräts scannen. Dabei wird das Objekt anhand eines zugehörigen Image-Markers in der AR-Anwendung erkannt.
- Nach dem erfolgreichen Scannen wird das Objekt auf eine AR-Waage platziert, die ebenfalls mit einem Image-Marker versehen ist. Die App erkennt sowohl den Marker des Objekts als auch den der Waage, um das genaue Gewicht zu ermitteln.
- Sobald das Gewicht berechnet ist, erscheint es auf der virtuellen Anzeige der AR-Waage. Dieses Gewicht wird als Lösung für ein nachfolgendes Rätsel benötigt.



Abbildung 8: virtuelle Waage mit korrektem Lebensmittel-Objekt

### 3. Analoge Rätsellösung:

- Das ermittelte Gewicht wird als Hinweis für ein analoges Rätsel verwendet. Das Rätsel fordert die Spieler:innen auf, anhand des Gewichts bestimmte Felder auf einem vorgegebenen AR-Code zu markieren bzw. auszumalen.

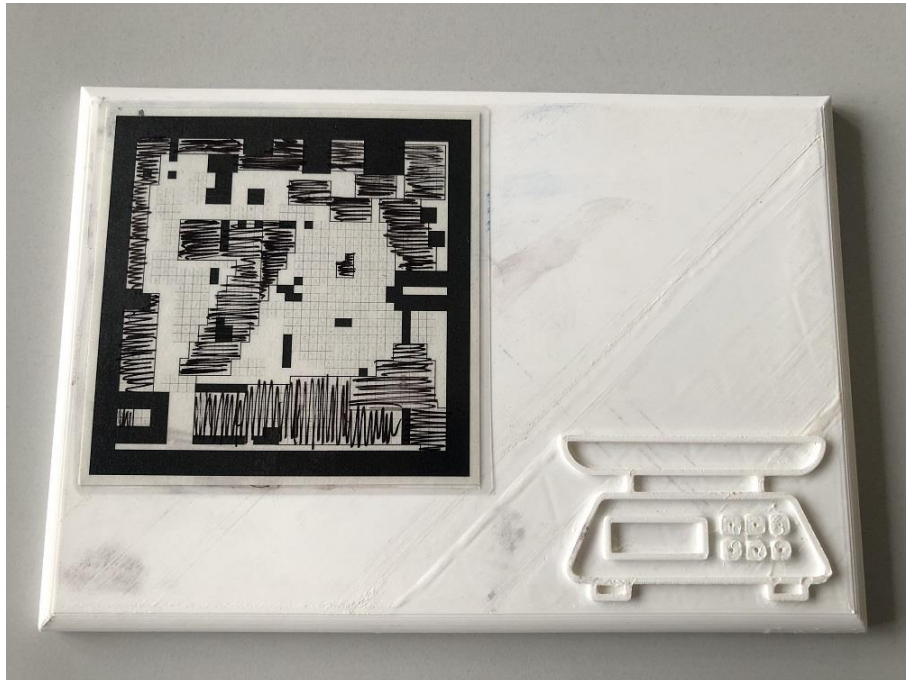


Abbildung 9: virtuelle Waage mit ausgemaltem AR-Marker

### 4. AR-Code scannen und Freischalten des nächsten Levels:

- Nachdem der AR-Code durch das Ausmalen vollständig ist, scannen die Spieler:innen ihn mithilfe der App, um die Richtigkeit zu überprüfen.
- Ein erfolgreicher Scan des korrekt ausgefüllten AR-Codes generiert einen neuen Code der den Zugang zu Box 2 freischaltet.

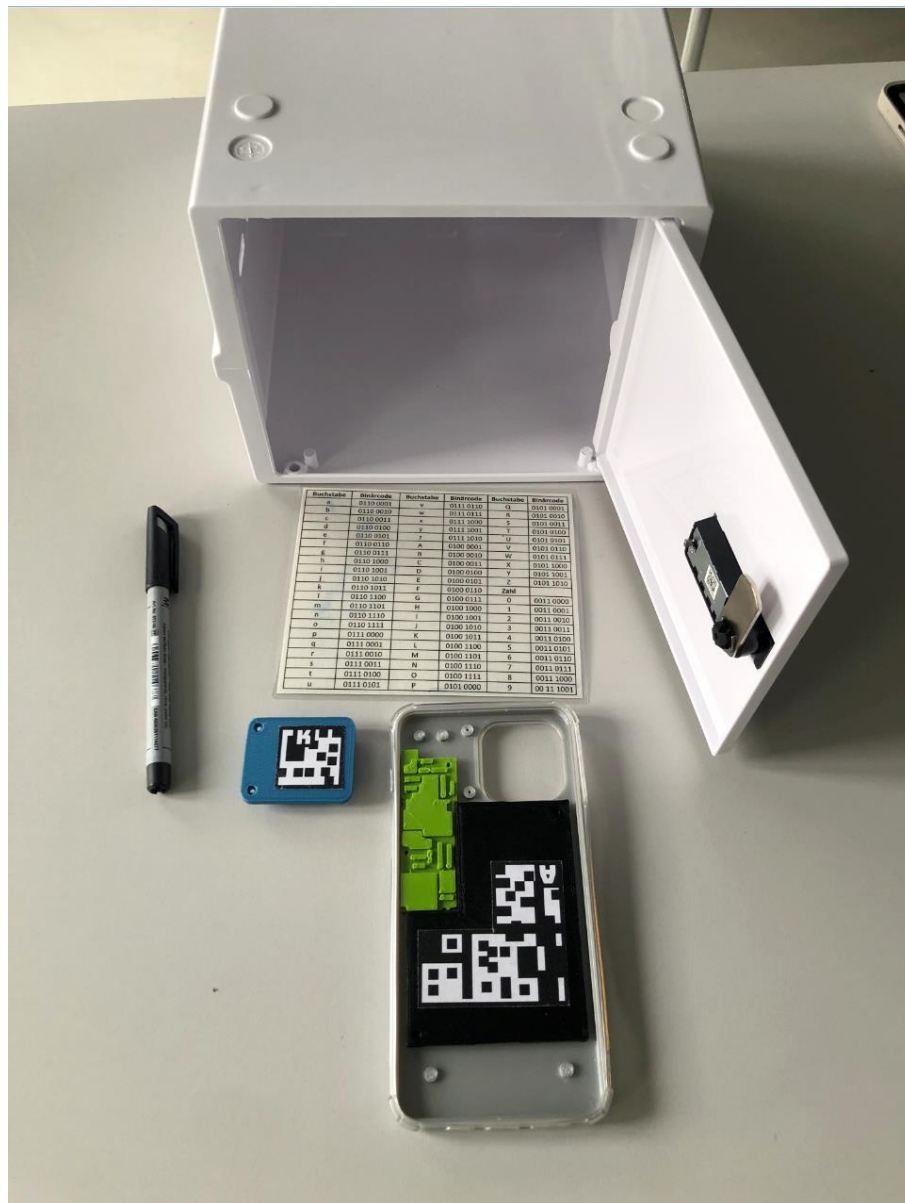


Abbildung 10: Box 2 mit Inhalt

**Zusatz:** Die Interaktion zwischen digitaler AR-Technologie und einem physischen Rätsel fördert eine abwechslungsreiche Spielerfahrung, die sowohl logisches Denken als auch Geschicklichkeit erfordert. Das Gewicht des Food-Objekts dient als zentrales Element, das die Lösung des analogen Rätsels ermöglicht und die Weiterführung des Spiels gewährleistet.

### Level 3

**Ziel:** In Level 3 müssen die Spieler die Bauteile eines Smartphones identifizieren und dabei Informationen über die verwendeten Rohstoffe erlernen. Anschließend beantworten sie Fragen basierend auf diesem Wissen, um das Lösungswort zu ermitteln, welches den finalen Code und die Belohnung freischaltet.

#### 1. Aufgabenstellung:

- Zu Beginn des Levels erhalten die Spieler:innen die Aufgabe, ein 3D gedrucktes Smartphone in seine Einzelteile zu zerlegen und dabei die Bauteile zu scannen, um detaillierte Informationen über die enthaltenen Rohstoffe zu erhalten.

#### 2. Scannen der Bauteile:

- Nachdem die Bauteile zerlegt wurden, müssen die Spieler:innen die einzelnen Komponenten mithilfe der AR-App scannen. Jedes Bauteil ist mit einem Image-Marker versehen, der in der AR-Anwendung erkannt wird.
- Nach dem Scannen erscheinen zu jedem Bauteil informative Videos oder kleine 3D-Animationen, die wichtige Fakten über die verwendeten Rohstoffe (z.B. Metalle, seltene Erden) und deren Herkunft vermitteln.



Abbildung 11: Level 3 - AR-Effekt Kameramodul



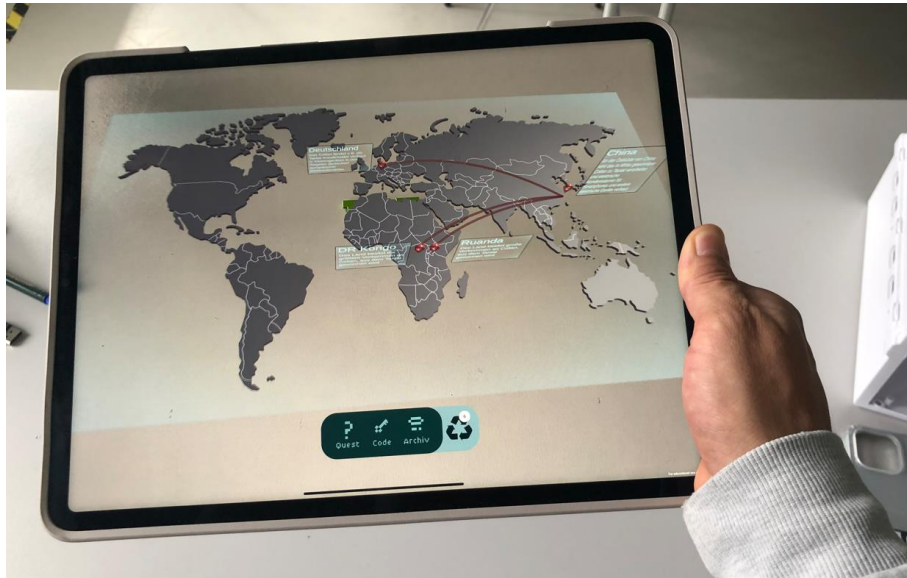


Abbildung 12: Level 3 - AR-Effekt Platine

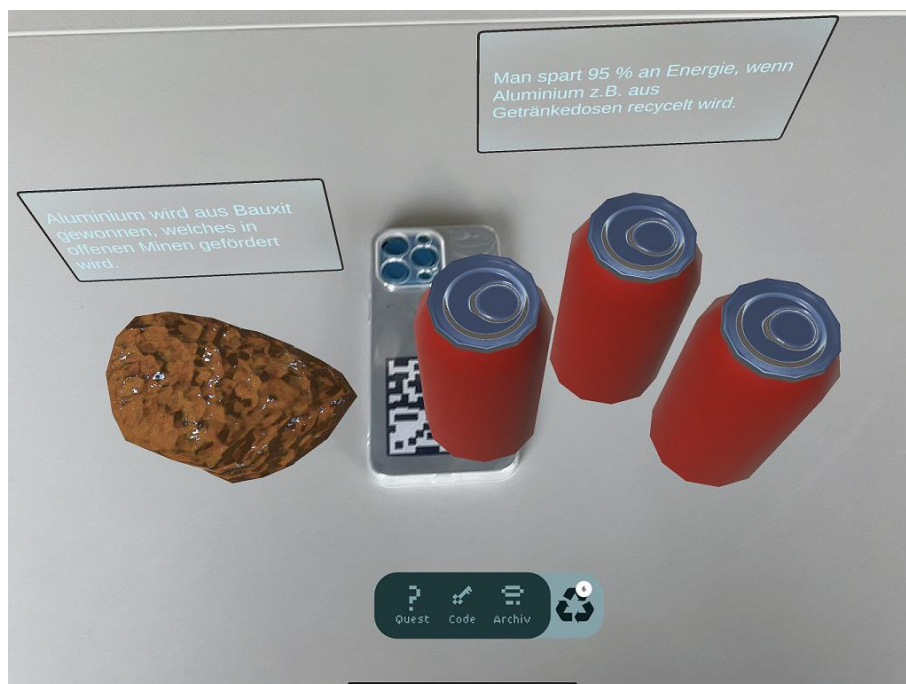


Abbildung 13: Level 3 - AR-Effekt Gehäuse

### 3. Wissenstest:

- Nach der Identifizierung und dem Erlernen von Details über die Smartphone-Bauteile müssen die Spieler:innen einen Fragebogen innerhalb der App beantworten. Die Fragen beziehen sich auf das erworbene Wissen über die Bauteile und deren Rohstoffe.

- Die Fragen werden in einem Multiple-Choice-Format oder als offene Fragen gestellt und die Spieler:innen können auf die zuvor erhaltenen Informationen zurückgreifen, um die richtigen Antworten zu finden.

#### 4. Eingabe des Lösungsworts:

- Wenn alle Fragen korrekt beantwortet wurden, ergeben sich die Ordnungszahlen der untersuchten Elemente, über die mithilfe des Periodensystems ein weiteres Rätsel gelöst wird, welches den Code für Box 3 liefert.
- Nach Eingabe des korrekten Codes wird der finale Code generiert, welcher das Schloss von Box 3 freischaltet und den Abschluss des Spiels markiert.
- Es erscheint ein Abschlusstext.

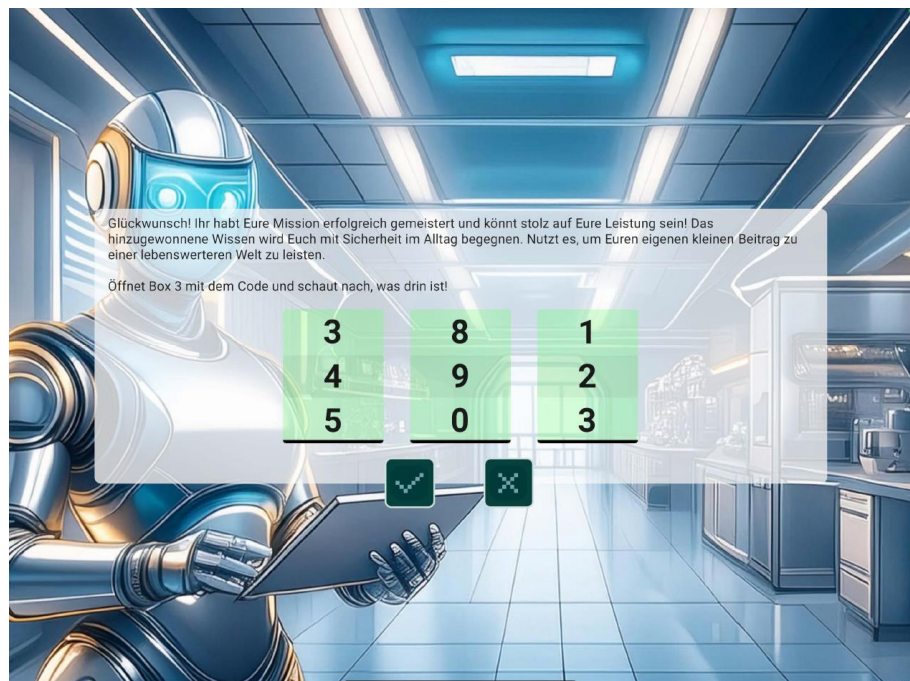


Abbildung 14: Abschlusstext mit Code zu Box 3

**Zusatz:** Die Kombination aus physischem Zerlegen des Smartphones und der digitalen Wissensvermittlung durch AR-Technologie sorgt für ein interaktives und tiefgreifendes Lernerlebnis. Die abschließende Beantwortung der Fragen stellt sicher, dass die Spieler:innen das erworbene Wissen reflektieren und anwenden, um das Spiel erfolgreich abzuschließen.

## **AP 4 – Zusammenstellung und Beschaffung von Lehr- und Lernmaterialien; Dauer: 9 Monate**

Ausgehend vom fertigen Kurskonzept werden die Lehr- und Lernmaterialien wie Arbeitsblätter, Versuchsanleitungen sowie Kursablaufpläne für die verschiedenen Bausteine beschafft bzw. angefertigt. Hierbei wird auf eine altersgerechte und zeitgemäße grafische Gestaltung geachtet. Es werden schriftliche Hilfestellungen für die Lehrkräfte zur Begleitung der AR-Applikationen, in der Erarbeitungsphase zur Anleitung der Nutzer:innen im Umgang mit der AR-Technik, in der moderierten Reflexion während des Experiments und in der Anschlusskommunikation zur Aufarbeitung des Erlebten in einer offenen Diskussionsrunde zur Verfügung gestellt. Weiterhin werden alle benötigten Sachmittel für die stationäre sowie mobile Durchführung des Kurses beschafft.

### **Durchgeführte Arbeiten aus AP 4:**

In AP 4 wurden seitens des ZIES die Lehr- und Lernmaterialien erstellt und parallel zur Programmierung der AR-Anwendung durch regelmäßige Evaluation durch Tests mit der Zielgruppe iterativ weiterentwickelt.

Um eine grobe Vorstellung für den Ablauf des Kurstages zu bekommen, wurde ein Kursablaufplan erstellt. Die Präsentation für das einführende interaktive Unterrichtsgespräch wurde nach der in AP 2 genannten Struktur erstellt und führt niederschwellig in das Kursthema ein.

Die Arbeitsblätter wurden anders als ursprünglich geplant als Printversion und nicht als digitale Ausführung angefertigt. So wird ein sinnvoller Ausgleich zwischen der Nutzung digitaler und analoger Medien geschaffen. Die Anleitungen sind mit Folienstift nutzbar und lassen sich beliebig oft wiederverwenden. Die Arbeitsblätter sowie die AR-Anwendung wurden in einem grafisch ansprechenden und zielgruppengerechten Design entworfen.

Für eine unkomplizierte Nutzung des Escape Games *Eco Explorers* durch Dritte wurde ein Leitfaden erstellt, welcher durch Bilder unterstützte Informationen zu dessen Durchführung sowie zu den hierfür benötigten Materialien liefert. Der Smartphone-Dummy wurde am ZIES der HSD entworfen und kann mittels eines handelsüblichen 3D-Druckers gedruckt werden. Die fertigen Dateien hierfür sind dem Leitfaden, welcher über die Website des Schülerlabors ([www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles](http://www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/aktuelles)) heruntergeladen werden kann als Anlagen angefügt und können frei verwendet werden. Ebenfalls angefügt sind die für die Nutzung der Anwendung benötigten Marker, welche ausgedruckt und auf die Gegenstände aufgebracht werden. Auch weitere im Escape Game verwendete Materialien, wie Tischmülleimer, Kunststoffabfälle oder Puzzle, sind so gewählt, dass sie problemlos beschafft werden können und sich die Projektergebnisse von anderen Akteuren (wie z.B. Schülerlaboren) möglichst unkompliziert und unabhängig nutzen lassen. Zur Installation der Software auf Geräten mit iOS-Betriebssystem muss eine Person mit entsprechenden IT-Kenntnissen beauftragt werden.

Die Arbeitsmaterialien für den Baustein „Browser-Game „Handy Crash“ + Arbeitsblatt“ sowie den Film „Gnadenlos billig“ liegen bereits in verschiedenen Modulausführungen inklusive Einführungsmaterial für Lehrkräfte vor.

Um die Effektivität der Anwendung und daraus resultierend den Lernerfolg größtmöglich zu steigern, wurde eine Präsentation erstellt, welche vor der Durchführung der VR-Anwendung gezeigt wird und über eine interaktive Diskussion den Einstieg in die virtuelle Realität und das Themenfeld der Anwendung erleichtert. Neben einer kurzen allgemeinen Erklärung der virtuellen Realität und dem Spielablauf werden die zu erreichenden Ziele der Anwendung in den Gesamtkontext der Energiewende und des Klimawandels gesetzt. Die Dringlichkeit und Notwendigkeit der Handlungen werden so nochmal verdeutlicht.

## **AP 5 – Testweise Durchführung von Schülerlaboren und Überarbeitung der Programmbausteine, Arbeitsanweisungen und Versuchsbeschreibungen; Dauer: 6 Monate**

Während des letzten Arbeitspakets wird die in AP3 entwickelte AR-Anwendung zur Überarbeitung, Weiterentwicklung, abschließenden Bewertung und Evaluation in den Schülerlaboren eingesetzt und getestet.

### **Durchgeführte Arbeiten aus AP 5:**

Um den Erfolg des Projekts sicherzustellen und eine hochwertige und effektive Lernumgebung zu schaffen, wurden bereits ab der Bereitstellung der ersten spielbaren Version umfassende Tests mit der Zielgruppe der Schüler:innen in den Schülerlaboren des ZIES durchgeführt. Das Feedback floss sukzessive in die Weiterentwicklung des Escape Games ein. Weiterhin wurde die Anwendung auch intern von Personen aus dem ZIES getestet, um sicherzustellen, dass auch die fachlichen Anforderungen erfüllt werden. Die Auswertung der Testläufe in den Schülerlaboren mittels eines Evaluationsbogens zeigte, dass die Anwendung den Lernerfolg wie erwartet positiv beeinflusst und die Erwartungen an das Lernerlebnis sogar übertrifft.

Im Verlauf des Projekts gaben 91 Schüler:innen im Alter von 8 bis 20 Jahre über einen Evaluationsbogen ein Feedback zur AR-Anwendung ab. Der Evaluationsbogen wurde im von der DBU geförderten Projekt VR4energy in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Sozial- und Kulturwissenschaften der HSD entworfen und an die neue Anwendung angepasst. Das Feedback fiel durchweg positiv aus und die Potenziale von AR-gestützten Lernanwendungen in naturwissenschaftlichen Schülerlaboren wurden bestätigt. Besonders das Escape-Game-Konzept der Anwendung, bei dem eine Gruppe analoge und digitale Rätsel durch eine kombinierte Nutzung der Software-Anwendung und physischen Arbeitsblättern löst, wurde durchweg positiv bewertet. Ein paar ausgewählte Evaluationsbögen finden sich in den Anlagen dieses PDF-Dokumentes.






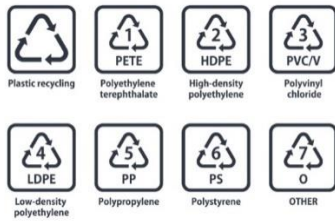
Zur Erleichterung des Ergebnistransfers wurde, wie bereits in AP 4 beschrieben, ein Leitfaden erstellt. Dieser enthält alle nötigen Informationen zur Adaption in Unterrichtseinheiten. Über das Kontaktformular der Homepage der Schülerlabore (<https://www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore>) kann von Interessierten Nutzer:innen oder Institutionen Kontakt aufgenommen werden, wenn Fragen zur Nutzung der Kursbausteine bestehen. Dort stehen außerdem alle im Zuge des Projektes entwickelten Materialien zum Download bereit (<https://www.hs-duesseldorf.de/schuelerlabore/news>).

Die entwickelten Kursbausteine sind bereits erfolgreich in das Schülerlabor integriert und werden regelmäßig mit sehr positiver Rückmeldung genutzt.

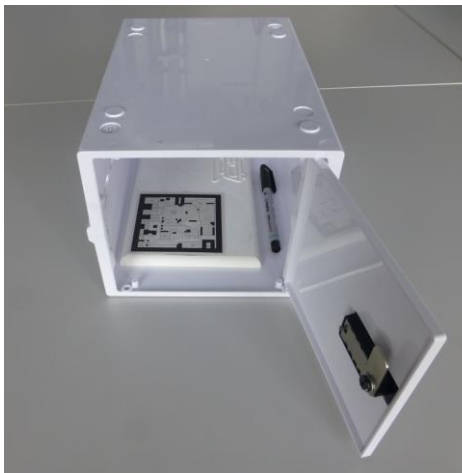
## 2 Anhang


Tabelle 1: Konzept Escape Game


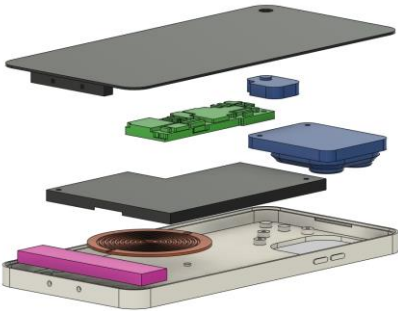
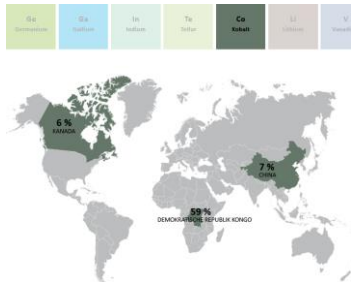
<b>Level 1</b>		
<b>Aufgabe</b>	<b>Bewusstsein/ Handlungsmöglichkei ten</b>	<b>Fachliche Informationen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einleitungsfrage: Welche Kunststoffe begegnen Euch im Alltag? Welche Kunststoffarten kennt ihr? Beispiele nennen; Besprechung im Plenum</li> <li>• Kleine gelbe Tonne (Volumen 10 Liter) ausschütten und Müllstücke (ca. 7 Stück) untersuchen</li> </ul>   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie viele verschiedene Kunststoffe/ Wertstoffe kann ich rein optisch/ haptisch unterscheiden? → auf dem Arbeitsblatt (nachfolgend AB) notieren</li> <li>• Welcher Müll ließe sich vermeiden? Beispiele nennen zur Müllvermeidung</li> <li>• Anschließend: iPads werden ausgeteilt</li> <li>• Müllstücke mit AR-Markern scannen → man bekommt Informationen zu der jeweiligen Kunststoffart angezeigt</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewusstsein für Plastikverbrauch</li> <li>• Wie kann ich Plastikmüll vermeiden?</li> <li>• Was gehört in die gelbe Tonne?</li> <li>• Wie kann ich selbst recyceln/ upcyclen?</li> <li>• Handlungsmöglichkeiten im Alltag?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Arten von Kunststoffen gibt es?</li> <li>• Welche Eigenschaften haben die versch. Kunststoffe?</li> <li>• Welche Kunststoffe werden wofür eingesetzt?</li> <li>• Wieso nutzt man überhaupt Kunststoff?</li> <li>• Was gehört in die gelbe Tonne?</li> <li>• Downcycling? Z.B. Gegenstände aus Plastikdeckeln herstellen</li> <li>• Kunststoff nicht verteufeln → Ressource Kunststoff → Kreislauf</li> </ul>



- **Wie kommen die Schüler:innen auf den Lösungsweg?**
  - Es müssen die drei Kunststoffsorten ermittelt werden, die sich am besten recyceln lassen
    - PE (Polyethylen / Polyäthylen)
    - PP (Polypropylen)
    - PET (Polyethylenterephthalat)
    - PS (Polystyrol)
    - PLA (Polylactide)
    - PVC (Polyvinylchlorid)
    - PA (Polyamid)
  - Es wird ein physische Puzzle gelöst, welches einen Hinweis für den Code zu Box 1 gibt
- ➔ **Box 1 wird freigespielt**



<b>Level 2</b>		
<b>Aufgabe</b>	<b>Bewusstsein/ Handlungsmöglichkei ten</b>	<b>Fachliche Informationen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppe überlegt zunächst selbst, wie man Lebensmittel (nachfolgend LM)-Verschwendung entgegenwirken kann</li> <li>• Kreuzwortsrätsel zum Thema wird gelöst</li> <li>• Virtuelle Waage wird freigeschaltet, indem der im Kreuzwortsrätsel ermittelte Gegenstand daraufgelegt wird.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppe erhält einen Hinweis, wie man den Code zu Box 2 erhält</li> <li>• die Ziffern 7 &amp; 8 auf dem AR-Marker auf der Waage müssen mit Folienstift ausgemalt und anschließend gescannt werden</li> </ul> <p>➔ <b>Box 2 wird freigespielt</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Persönliche Wertschätzung für LM stärken</li> <li>• Wie kann ich dazu beitragen, dass weniger LM verderben/ weggeworfen werden?</li> </ul> <p>➔ Bewusst einkaufen, Achtsamkeit, Food Sharing</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie viele LM werden pro Person/ Jahr weggeworfen?</li> <li>• Welche LM sind besonders betroffen?</li> </ul>

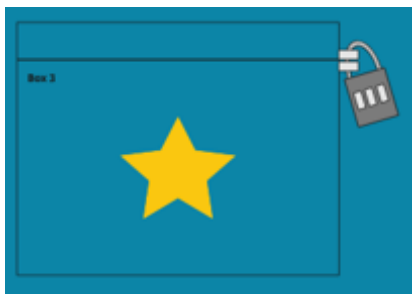
		
<h3>Level 3</h3>		
<b>Aufgabe</b>	<b>Bewusstsein/ Handlungsmöglichkeiten</b>	<b>Fachliche Informationen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbst entwickelten Smartphone-Dummy aus Kunststoff (3D-gedruckt) zerlegen und Bauteile demontieren</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Überlegen: Welche Bauteile kann ich identifizieren (Binärcode entschlüsseln)?</li> <li>Bauteile werden in AR gescannt und detailliert betrachtet → Infos zu den gesuchten Materialien werden visualisiert             <ul style="list-style-type: none"> <li>Akku → Kobalt</li> <li>Platine → Tantal</li> <li>Akku/ Gehäuse → Aluminium</li> <li>Ladespule → Kupfer</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wertschätzung für Konsumgüter</li> <li>Bewusster Umgang mit Ressourcen</li> <li>Bewusstsein für die Verwendung von Ressourcen in elektrischen Geräten</li> <li>Wie kann ich Elektroschrott vermeiden &amp; verringern?</li> <li>Welche Funktionen eines Smartphones brauche ich überhaupt? Reicht vielleicht auch ein älteres Gerät, was noch gut funktioniert (Stichwort: Refurbished Devices)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aus welchen Hauptkomponenten besteht ein Smartphone?</li> <li>Welche Materialien sind verbaut?</li> <li>Woher kommen die Ressourcen?</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Welchen Weg legen die Ressourcen zurück?</li> <li>Welche Umweltauswirkungen hat der Abbau?</li> <li>Bewaffnete Konflikte in den jeweiligen Ländern?</li> </ul>

- Anschließend Fragen beantworten und weitere Rätsel über die Ordnungszahlen der Elemente mithilfe des Periodensystems (liegt als laminiertes Ausdruck vor) lösen → Code zu Box 3

### PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

1	H																	
2	Li	Be	B										C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	Al										Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Tl	Uu
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

→ Box 3 mit einer Belohnung wird freigespielt



Speziell im Kongo  
(Kobalt/Tantal)