

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - KFE gGmbH

***plastic*³⁶⁰ – Stärkung der Kreislaufführung von Kunststoffen
durch Sensibilisierung von Schülern und Lehrkräften**



Schlussbericht über ein Forschungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 34756/01
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Bezugsquelle des Forschungsberichts:

SKZ - KFE gGmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg

h.achenbach@skz.de
0931 4104-266

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - KFE gGmbH

***plastic*³⁶⁰ – Stärkung der Kreislaufführung von Kunststoffen
durch Sensibilisierung von Schülern und Lehrkräften**



Schlussbericht über ein Forschungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 34756/01
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Hermann Achenbach

Würzburg, Dezember 2020

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	34756/01	Referat	41	Fördersumme	123.683€
----	-----------------	---------	-----------	-------------	-----------------

Antragstitel **plastic360 – Stärkung der Kreislaufführung von Kunststoffen durch Sensibilisierung von Schülern und Lehrkräften**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
18 Monate	13.03.2019		
Zwischenberichte	13.09.2019	30.05.2020	

Bewilligungsempfänger	SKZ - Das Kunststoff-Zentrum	Tel +49 931 4104-266
	SKZ - KFE gGmbH	Fax +49 931 4104-707
	Friedrich-Bergius-Ring 22	Projektleitung
	97076 Würzburg	Dr. Hermann Achenbach
		Bearbeiter
		Dr. H. Achenbach / H. Gaedeke

Kooperationspartner Julius-Maximilians-Universität Würzburg / Didaktik der Chemie
97074 Würzburg

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Durch die Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten von Kunststoffen steigen die jährlichen Produktionsmengen und daraus resultierenden Abfallmengen stetig weiter an. Politisch gesetzte Rahmenbedingungen fordern eine Verbesserung der Kreislaufführung von Kunststoffen und die Reduzierung der Menge an Kunststoffabfällen. Neben recyclinggerechtem Produktdesign und technischen Innovationen für die Aufbereitung von Kunststoffabfällen, kann das Verhalten von Verbraucher/innen als relevanter Stellhebel zu einer verbesserten Kreislaufwirtschaft identifiziert werden. Diese Erkenntnis unmittelbar aufgreifend, besteht das Ziel des Projekts *plastic³⁶⁰* darin – insbesondere bei Schlüsselthemen, wie Konsum, Littering und Abfallsortierung – eine Stärkung der Verbraucherverantwortung von Schüler/innen zu bewirken, sodass durch das veränderte Verhalten der Zielgruppe fossile Rohstoffe, Primärenergie und Treibhausgase eingespart sowie terrestrischer und mariner Kunststoffmüll reduziert werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Projekt umfasst die Entwicklung und Einführung von Unterrichtsreihen und Lernmodulen, speziell für die Klassen 9 bis 12, zum Thema Kunststoffkreisläufe zur Anwendung in Schulen und Schülerlaboren des Netzwerks LernOrtLabor und einer Smartphone-Applikation mit Animations-, 3D-, Virtual-Reality und Gamification-Elementen. Für die Bearbeitung von insgesamt fünf Arbeitspaketen (AP) war ein zeitlicher Rahmen von 18 Monaten vorgesehen. In Zusammenarbeit der Kooperationspartner wurden die AP entsprechend deren Kompetenzen geleitet: SKZ (AP 1: Wissensgrundlagen und Erstellung von Video Content, AP 4: Lernmodul Schülerlabor und AP 5: Projektkoordination, Dokumentation und Bekanntmachung) und der Universität Würzburg – Didaktik der Chemie (AP 2: Mobile Applikation und AP 3: Unterrichtsreihen). Der neuartige Ansatz des Projekts besteht darin, dass sich Schüler/innen ausgehend von ihren individuellen Berührungspunkten mit Kunststoffen Informationen zum Lebensweg, zur Kreislaufführung und zu einhergehenden Umweltwirkungen selbst erschließen. Durch Gamification-Elemente und spannenden Videos wird Schüler/innen spielerisch ihre Verantwortung mit einer verbesserten Kreislaufwirtschaft erläutert. Lehrern steht die App, in Kombination mit vielen online verfügbaren Zusatzmaterialien, als digitales Unterrichtsmaterial zur Verfügung.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Schritt sollte neben einer fundierten Wissensgrundlage auch Video Content erstellt werden. Der zunächst für 3 Monate angestrebte Zeitraum für Videoproduktionen, hat sich aufgrund von zeitlich verzögerter Untervergabe des Programmierauftrages und der Social Distancing Auswirkungen bedingt durch die Corona-Krise, auf die gesamte Projektlaufzeit ausgedehnt. Dadurch wurden die verfügbaren Projektmonate von ursprünglich 12 auf final 18 Monate verlängert. In dieser Zeit wurden insgesamt 12 Videos in 2D- und VR-Technik zu den Themen Konsum, Littering, Meeresmüll, Recycling, Kunststoffverarbeitung, Laborversuche und ein Teaser Video zur App-Einführung erstellt.

Für eine möglichst ganzheitliche Betrachtung des Kunststoff-Lebenszyklus wurden in *plastic³⁶⁰* schwerpunktmäßig vier Hauptmodule aufgearbeitet: Modul 01 – Konsum und Verantwortung; Modul 02 – Kunststoffe in der Umwelt; Modul 03 – Entsorgung und Recycling und Modul 04 – Rohstoffe und Verarbeitung. Diese bereiten die genannten Themengebiete in schülergerechter Form auf und holen die Lernenden aus ihrer Lebenswelt ab. Der Einstieg in die App beginnt mit einem kurzen Teaser und geht in einen sich entwickelnden Lebenszyklus über, der als 360° Drehscheibe animiert ist.

Ursprünglich sollte der Einstieg über einen 360° animierten Lebenszyklus und durch VR-Technik anwählbare Einstiegssituationen, die den Alltag von Schülerinnen und Schülern nachstellen, erfolgen. Von dieser Umsetzung wurde Abstand genommen, da Virtual-Reality Elemente oder auch 2D Videos sehr hohe Speicherkapazitäten erfordern. Dadurch wäre die komplette Startseite nicht im offline Betrieb nutzbar gewesen, was allerdings eine wichtige Maßgabe aus dem mit Lehrer/innen durchgeführten Workshop war. Innerhalb der einzelnen Module bereiten Videos, VR- und Gamification-Elemente notwendige Informationen audiovisuell und teils spielerisch auf. Aus Sicht der Projektpartner hätten speziell die Spiele technisch aufwendiger programmiert werden können, um die intrinsische Motivation von Jugendlichen stärker zu wecken. Die vorhandenen Ideen konnten jedoch aus Budgetgründen nicht weiter umgesetzt werden und bieten somit Raum für Weiterentwicklungen.

Die App bildet eine grundlegende Basis für den Aufbau von Fachwissen. *plastic³⁶⁰* wurde idealerweise für den offenen Projektunterricht konzipiert. Ein Konzept zur Integration der App in den selbstregulierten Unterricht durch offene Projektarbeit oder Stationsarbeit, kann sowohl im Gymnasium als auch in der Realschule angewendet und muss lediglich dem Wissensstand der Lernenden angepasst werden. Das Lernmodul für Schülerlabore umfasst zwei unterschiedliche Konzepte, jeweils für das SKZ-Lab und für das Lehr-Lern-Labor (LLL). Das SKZ-Lab hat eine unternehmerische Ausrichtung. In diesem Ansatz werden den Schüler/innen konkrete Fragen in Bezug auf das Betriebsumfeld gestellt, die mit Hilfe der *plastic³⁶⁰* App recherchiert werden. Im LLL Kunststoffe des M!ND-Centers der Universität Würzburg experimentieren Schülerinnen und Schüler unter der Betreuung von Lehramtsstudierenden in Laborräumen. Hier wurde bei der Einbindung der *plastic³⁶⁰* App zum einen auf die motivierende Einstiegsphase durch Videobeiträge zurückgegriffen und zum anderen das Thema Recycling durch App-Inhalte aufbereitet.

Die drei Komponenten des Bildungsprojektes – App, Unterrichtsreihen für Gymnasium und Realschule sowie Lernmodul für Schülerlabore – stellen online verfügbare Projektergebnisse dar. Zusätzliche sind die Videos öffentlich auf dem YouTube Kanal von *plastic³⁶⁰* zugänglich.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die finalisierte App steht der Öffentlichkeit im Google Play- und Apple App Store kostenlos zur Verfügung. Weiterhin sind tiefgreifende Nutzerinformationen und Zusatzmaterialien über die Projekthomepage downloadbar. Nach Projektabschluss erfolgt die Umsetzung des umfangreichen Kommunikationskonzepts.

Fazit

In Zeiten der Digitalisierung der Lehre wurde mit *plastic³⁶⁰* eine App gebrauchsfertig entwickelt und bereitgestellt. Sie ermöglicht, den Lernenden selbständig von ihrem eigenen Endgerät zu dem Thema Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen zu recherchieren und Inhalte reflektiert zu bewerten. Die Integration der App in jeweils zwei Unterrichtsreihen für Schulen und Lernmodule für Schülerlabore ermöglicht einen breiten Einsatz der Bildungs-App in Klassenzimmern und Schülerlaboren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	8
2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	10
2.1	AP 1 – Wissensgrundlagen und Erstellung von Video Content	10
2.1.1	Zusammenstellung und Aufbereitung von Lerninhalten	10
2.1.2	Erstellung von Video Content für AP 2	12
2.2	AP 2 – Mobile Applikation	15
2.2.1	Grundkonzept der App	16
2.2.2	Gestaltung der Anwenderoberfläche	16
2.2.3	Einbindung der Wissensgrundlagen und des Video Contents aus AP 1	19
2.2.4	Ausarbeitung und Umsetzung der Einstiegssituationen und der 360° Animation inkl. der einzelnen Lebenszyklusphasen	22
2.2.5	Ausarbeitung und Umsetzung der Gamification Elemente	24
2.2.6	Testanwendungen der Beta-Version	30
2.2.7	Fertigstellung der App	33
2.3	AP 3 – Unterrichtsreihen	35
2.3.1	Didaktische Konzepte	35
2.3.2	Inhaltliche Ausarbeitung der Unterrichtsmodul unter Einbindung der App und der Wissensgrundlagen aus AP 1	38
2.3.3	Entwicklung von adressatengerechten Unterrichtsversuchen	45
2.3.4	Ausarbeitung eines Transfermoduls für Lehrerfortbildungen	47
2.3.5	Aufbereitung und Bereitstellung (online) der Unterrichtsmaterialien	48
2.4	AP 4 – Lernmodul Schülerlabor	48
2.4.1	Ausarbeitung des didaktischen Konzepts	49
2.4.2	Entwicklung eines Moduls zur Einführung der Thematik und der App in Schülerlaboren	51
2.4.3	Einbindung der Wissensgrundlagen aus AP 1	54
2.4.4	Testanwendung des Lernmoduls im Schülerlabor des SKZ	54
2.4.5	Erarbeitung eines Transfermoduls für Lehrkräfte in Schülerlaboren	55
2.4.6	Aufbereitung und Bereitstellung (online) der Lernmaterialien	55
2.5	AP 5 – Projektkoordination, Dokumentation und Bekanntmachung	55
2.5.1	Vorbereitung und Durchführung des Kick-Off-Meetings und eines Workshops	55
2.5.2	Projektkoordination, Dokumentation und Bekanntmachung	56
3	Fazit zu angestrebten Zielen und erzielten Ergebnissen	57
4	Kommunikationskonzept, Fortführung und Perspektiven	58
5	Literatur	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Thematische Gliederung der Hauptinhalte in Anlehnung an den LehrplanPLUS von Realschule und Gymnasium.....	10
Abbildung 2:	Vier Module für die Beschreibung des Lebenszyklus von Kunststoffen.....	11
Abbildung 3:	Strukturierung der Modulinhalte nach Schwerpunktthemen.....	12
Abbildung 4:	Anwenderoberfläche für die Modulübersicht	17
Abbildung 5:	Symbole für Unterpunkte innerhalb eines Moduls	17
Abbildung 6:	Die Suchfunktion mit beispielhafter Ergebnisanzeige für den Begriff „Polymer“ bei Eingabe von „Poly“.....	18
Abbildung 7:	Anwenderoberfläche für Textinhalte	20
Abbildung 8:	Anwenderoberfläche für Videoinhalte	20
Abbildung 9:	Darstellung des 360° Lebenszyklus für Kunststoffe.....	23
Abbildung 10:	Eingabe-Masken und Ergebnisliste (rechts außen) des Kunststoffabfallrechners	25
Abbildung 11:	Links: Kategorien für das Design des Joghurtbechers. Rechts: Ergebnisauswertung in Prozent mit Ergebnisbeschreibung in Textform für die Recyclingfähigkeit	27
Abbildung 12:	Beispielthemen aus der Rubrik Unnützes Wissen.....	28
Abbildung 13:	Beispielfrage und Antwort aus dem Spiel Abbaueiten im Meer.....	28
Abbildung 14:	Foto-Rallye Hinweisbild.....	29
Abbildung 15:	Auswertung der Benutzerfreundlichkeit für die plastic ³⁶⁰ Beta-Version	32
Abbildung 16:	Modulübersicht.....	34
Abbildung 17:	Informationsfluss während der Unterrichtssequenz zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft	37

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1:</i>	<i>Inhaltliche Strukturierung der App.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 2:</i>	<i>Übersicht über alle Funktionen unter dem Menüfeld „Mehr“</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 3:</i>	<i>Auflistung der in plastic³⁶⁰ bereitgestellten Zusatzmaterialien</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 4:</i>	<i>Unterrichtskonzept für Station 1 – Konsum und Verantwortung.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 5:</i>	<i>Unterrichtskonzept für Station 2 – Kunststoffe in der Umwelt</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 6:</i>	<i>Unterrichtskonzept für Station 3 – Entsorgung und Recycling</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 7:</i>	<i>Unterrichtskonzept für Station 4 – Rohstoffe und Verarbeitung</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 8:</i>	<i>Kompetenzbereiche in der Anwendung der plastic³⁶⁰ App.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 9:</i>	<i>Kommunikationspfade und Maßnahmen für die Verbreitung von plastic³⁶⁰ nach Projektabschluss</i>	<i>59</i>

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensionalität oder als Adjektiv zweidimensional
3D	Dreidimensionalität oder als Adjektiv dreidimensional
AP	Arbeitspaket
Bio-PE	Biologischen Ursprung oder bio-basiert Polyethylen
BYOD	Bring Your One Device
BW	Baden-Württemberg
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
ER	Entsorgung und Recycling
FLM	Fused Layer Modelling
KN	Konsum und Verantwortung
KU	Kunststoffe in der Umwelt
LLL	Lehr-Lern-Labor
PE-LD	Low-Density-Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
RV	Rohstoffe und Verarbeitung
SKZ	Das Kunststoff-Zentrum
SLS	Selektives Lasersintern
SuS	Schülerinnen und Schüler
VA	Versuchsanweisung
VR	Virtual Reality

Linkverzeichnis

Link zu plastic360 YouTube Kanal	https://www.youtube.com/channel/UCrBxllnIxUTzAQbTEjwF63Q
Link zu plastic360 Downloadbereich	https://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/nachhaltigkeit/projekte/9331.plastic360-Downloads.html
Link zu Zusatzmaterialien	https://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/nachhaltigkeit/projekte/9333.Zusatzmaterialien-zu-Modulinhalten-der-plastic360-App.html
Link zu Lehrerhandreichung	https://www.skz.de/media/www.skz.de/org/med_31840/128461_lehrerhandreichung_anleitung_zu_plastic360.pdf
Link zum Betreuerskript	https://www.skz.de/media/www.skz.de/org/med_31840/128476_betreuerskript_fuer_schuelerlabore_plastic360.pdf

Dieses Linkverzeichnis zeigt die online verfügbaren Anlagen zur plastic³⁶⁰ App.

Es wurde darauf verzichtet die umfangreichen Dokumente diesem Bericht anzufügen.

Zusammenfassung

Die Corona-Krise hat einen großen Nachholbedarf des Bildungssystems in der digitalen Versorgung der Schulen aufgedeckt. Das Schuljahr 2020/2021 begann für viele Schülerinnen und Schüler mit regelmäßigen Phasen des digitalen Distanzlernens, neben dem herkömmlichen Präsenzunterricht. Aus dieser Notsituation heraus hat die Transformation des digitalen Lernens und Lehrens einen Schub erhalten und bestärkt somit auch die Ziele des Bildungsprojektes. *plastic³⁶⁰* möchte die Aufklärung im Bereich der Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen durch die Entwicklung einer für den Unterricht in Schulen und Schülerlaboren konzipierten Smartphone Applikation bei Jugendlichen und Lehrern unterstützen. Die Schülerinnen und Schüler können, über ein mobiles Endgerät, die App als Werkzeug zum produktiven Wissenserwerb nutzen, wodurch die rein affektorientierte Nutzung des Mobiltelefons, beispielsweise durch Spiele oder soziale Medien, verringert werden kann.

Kunststoff ist ein vielfältig einsetzbarer und kostengünstiger Werkstoff, davon ausgehend steigen seine Produktionsmengen stetig an. Demgegenüber stehen Forderungen, den Einsatz von fossilen Ressourcen zu schonen, um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Eine echte Kreislaufwirtschaft muss, neben konsequenter Mülltrennung, -sortierung und -aufbereitung, im Verpackungsdesign auch das Verhalten der Verbraucher berücksichtigen. Die Bereiche Konsum, Littering und Abfallsortierung können Verbraucher relevant beeinflussen und zu einer verbesserten Kreislaufführung von Kunststoffen beitragen. In diesen Bereichen muss die Verantwortung der Schülerinnen und Schüler (SuS) gestärkt werden. Deshalb wurde in *plastic³⁶⁰* die Struktur der App entsprechend konzipiert, um Nutzer/innen über die Chancen und Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen aufzuklären und für deren Notwendigkeit sensibilisiert zu werden.

***plastic³⁶⁰* – Die App**

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die App anwendungsreif entwickelt und ist bereits im Google Play Store für Android- und dem Apple App Store für iOS-Geräte kostenfrei downloadbar. Für eine möglichst ganzheitliche Betrachtung des Kunststoff-Lebenszyklus werden in der App *plastic³⁶⁰* vier Hauptmodule schwerpunktmäßig aufgearbeitet, um die Lernenden direkt aus ihrer persönlichen Lebens- und Erfahrungswelt abzuholen.

Im ersten Modul *Konsum und Verantwortung* wird, der Konsum von Kunststoffen durch Industrie und Privatpersonen und die dabei entstehende Verantwortung als Verbraucher, betrachtet. In *Kunststoffe in der Umwelt*, dem zweiten Modul, wird zunächst zwischen Makro- und Mikroplastik in der Umwelt unterschieden. Dabei wird auf deren Quellen eingegangen, die Folgen für Mensch und Umwelt geschildert (keine Kreislaufwirtschaft möglich) und Lösungsvorschläge zur Entlastung der Umwelt aufgezeigt. Wird der Gedanke der Kreislaufwirtschaft weiterverfolgt, werden in Modul drei *Entsorgung und Recycling* die Möglichkeiten der Kunststoffverwertung erläutert, insbesondere zum stofflichen Recycling. Abschließend setzt sich Modul 4 *Rohstoffe und Verwertung* mit fossilen und erneuerbaren Rohstoffquellen für Kunststoffe auseinander und stellt beispielhaft einige Verarbeitungsverfahren vor, mit denen Kunststoffprodukte hergestellt werden können. Neben der Vermittlung von Wissen durch Textbeiträge und vertiefende Informationen als Zusatzmaterial, fördert die mobile *plastic³⁶⁰* Applikation auch die Selbständigkeit der Lernenden durch Gamification-Elemente, Laborversuche, Videos und Virtual Reality Elementen, um eine tiefe Auseinandersetzung der Jugendlichen mit den für sie möglichst alltagsnahen Inhalten zu erreichen.

Unterrichtssequenzen und Module für Schülerlabore

Ergänzt wird die Anwendung durch die Konzipierung von zwei Unterrichtssequenzen für den Projektunterricht mit Portfolioarbeit und die Stationsarbeit, welche den Einsatz der App im Unterrichtsgeschehen des Gymnasiums und der Realschule vereinfachen sollen.

Grundsätzlich können die meisten Inhalte der App isoliert, als Informationstext oder Kurzfilm im Unterricht eingesetzt werden. Das volle Potential der App entfaltet sich jedoch bei beiden Schulformen im Einsatz im Projektunterricht oder im projektorientierten Unterricht. Dabei sollten Umfang und Anforderungen an das Projektprodukt und das Portfolio angepasst werden. Während in der Realschule der Einsatz innerhalb von im Lehrplan vorgesehenen Projektwochen möglich ist, kann *plastic*³⁶⁰ an Gymnasien als Grundlage für die Stationsarbeit genutzt werden, bei der Kleingruppen vier Stationen mit Hilfe von Unterrichtsmaterialien bearbeiten. Auf Basis der App wurden weiterhin Lernmodule für Schülerlabore entwickelt. Schülerlabore sind außerschulische Lernorte mit unterschiedlichen didaktischen Schwerpunkten, die bei der Ausarbeitung des Lernmoduls berücksichtigt wurden. Das SKZ-Lab als unternehmensorientiertes Schülerlabor hat neben den 5 bestehenden Teams (Forschung, Technik, Kommunikation, Finanzen und Design), das Team Nachhaltigkeit ins Leben gerufen. SuS bekommen konkrete Aufgabenstellungen mit Bezug zu betrieblichen Fragestellungen und müssen diese dann u. a. mit Hilfe der App und ihrer Gruppe recherchieren und lösen. Das Lehr-Lern-Labor (LLL) des M!ND-Center der Universität Würzburg legt hingegen starken Fokus auf die Durchführung von Versuchen und den Austausch zwischen (betreuten) Lehramtsstudierenden und Schülern. An dieser Stelle kommt die App *plastic*³⁶⁰ als motivierende Einheit unter Einsatz von Videomaterial und – nach Durchlauf des Schülerlabors – in der Nachbearbeitung zum Einsatz.

Die nach Projektende notwendige Vermarktung und Fortführung der App – für eine große Akzeptanz und Nutzung derselben – erfolgt über unterschiedliche Kanäle: DBU, SKZ, Lehrerfortbildungen, Lehrer Online, Mebis und LernOrtLabor. Den ersten Usability-Test, zunächst mit der Android Version, bewerteten die Lehrer/innen als sehr gut bis gut. Sie würden die App selbst nutzen und auch weiterempfehlen. Dieser erste Eindruck lässt auf eine zielführende Verbreitung und Nutzung der App hoffen.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die aktuelle Covid-19-Krise hat die Welt verändert und stellt uns vor neue Herausforderungen. Insbesondere Schulen mussten innerhalb kürzester Zeit den Präsenzunterricht einstellen und die Digitalisierung der Lehre, soweit möglich, umsetzen. Ebner betont, dass die Digitalisierung des Unterrichts, trotz alledem, die traditionelle Lehre nicht ersetzen wird. Stattdessen soll die Technologie unterstützend wirken, dort wo der größte Nutzen liegt: Flexibler Lernort, Austausch von Informationen über verschiedene Geräte hinweg sowie die eindrückliche Vermittlung von Zusammenhängen mittels Videos oder Visualisierungen [1].

In Deutschland besaßen im Jahre 2018 99 % der Mädchen und 97 % der Jungen im Alter zwischen 12 und 17 Jahren ein eigenes Smartphone [2]. Die meisten Lernenden besitzen zudem nicht nur ein Smartphone, sondern es ist im Jahre 2018 auch der meistgenutzte Weg der Lernenden, um das Internet zu nutzen. Dabei gaben 84 % der 12- bis 19-jährigen an, dass sie täglich mit dem Smartphone das Internet nutzen. Der tägliche Laptop- und Computereinsatz beträgt dagegen jeweils nur 15 % [2]. Von dieser Internetnutzung entfallen bei 16- bis 17-jährigen Real- und Hauptschülern nur 8 % der genutzten Zeit auf die Informationssuche während 36 % auf Kommunikation, 27 % auf Spiele und 33 % auf Unterhaltung in Bild-, Video- und Audioform entfallen [2]. Anhand dieser Werte wird deutlich, wie wichtig es ist, den Schülerinnen und Schülern (SuS) die Möglichkeit der Informationsbeschaffung über das Internet mit Hilfe ihrer eigenen auch zuhause verfügbaren Geräte zu vermitteln. So wird ihre Medienkompetenz gestärkt und der Nutzen des Smartphones wird erweitert: von der reinen Existenz als Entertainment- und Kommunikationsgerät hin zum Informations-werkzeug.

Das ökologische Bewusstsein der Jugendlichen in Deutschland befand sich im Jahre 2019 auf einem Hoch. Zum Beispiel veranstaltete die internationale Klimastreikbewegung *Fridays for Future* regelmäßig Demonstrationen im ganzen Land. Zu den Orten, an denen Demonstrationen stattfanden, gehörten sowohl Großstädte wie Berlin als auch kleinere Städte wie Würzburg und Heilbronn [3]. Dabei nehmen Schülerinnen und Schüler verschiedenster Altersstufen an den Demonstrationen teil und äußern ihre ökologisch-politische Meinung. Die Essenz dieses problembewussten und ökologischen Antriebs, welcher auch als Teil des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Schulen gelehrt wird, kann somit aufgegriffen und für den schulischen Unterricht nutzbar gemacht werden, wenn es um die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen geht.

Kunststoffe sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Grund ist, dass Kunststoffe, aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften, in vielen, unterschiedlichen Lebensbereichen, Anwendung finden. Doch die Menge des Rohstoffs, aus dem Kunststoffe gemacht sind, ist weltweit endlich. Erdöl ist ein fossiler Rohstoff, welcher nur begrenzt auf unserem Planeten verfügbar ist. Deshalb muss mit ihm sparsam umgegangen werden. Vor allem sollten die großen Mengen an Kunststoffabfällen wieder genutzt werden, statt sie zu verbrennen oder in der Umwelt liegen zu lassen. Dies geschieht beispielsweise durch gezielte Wiederverwendung und Aufbereitung der Abfälle. Durch diese Maßnahmen lassen sich CO₂-Emissionen senken und die Intensität des Klimawandels abschwächen.

Sowohl von der EU, durch die *Strategy for plastics in a circular economy* [4] als auch durch die Bundesregierung, mit der Verabschiedung des Verpackungsgesetzes [5], wurde ein politischer Rahmen gesetzt, um die Kreislaufführung von Kunststoffen zu verbessern und den Kunststoffabfall zu reduzieren. Neben recyclinggerechtem Produktdesign und technischen Innovationen beim Sammeln, Sortieren und Aufbereiten von Kunststoffabfällen ist das Verhalten der Verbraucher/innen bei den Themen Konsum, Littering und Abfallsortierung als relevanter Stellhebel zu einer verbesserten Kreislaufwirtschaft der entscheidende Faktor [4].

Diese Erkenntnis unmittelbar aufgreifend, bestand das Ziel des Projekts *plastic³⁶⁰* darin – insbesondere bei eben jenen Schlüsselthemen (Konsum, Littering und Abfallsortierung) – eine Stärkung der Verbraucherverantwortung von Schülerinnen und Schülern zu bewirken, welche die Zukunft der Gesellschaft darstellen. Dazu sollte über drei aufeinander abgestimmte Kanäle – dem Schulunterricht, einer mobilen App und dem in Deutschland vorhandenen Netz an Schülerlaboren - Jugendlichen aufgezeigt werden, an welcher Stelle des Produktlebenszyklus Kunststoff sie als Verbraucher/innen ins Spiel kommen und welche Auswirkungen unbewusster Konsum, Littering und unsachgemäße Entsorgung haben. Das Projekt wurde unter der Leitung des SKZ – Das Kunststoff-Zentrum in enger Zusammenarbeit mit der Didaktik der Chemie am Institut für Anorganische Chemie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, bearbeitet. Die Programmierung der App und die Erstellung von Video Content wurde im Unterauftrag an die maindreieck eCom GmbH, Würzburg vergeben.

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

2.1 AP 1 – Wissensgrundlagen und Erstellung von Video Content

plastic³⁶⁰ soll Schüler/innen die Möglichkeit geben, sich mit dem Thema Kunststoff und deren Umweltwirkungen, ganzheitlich auseinander zu setzen. Die dafür notwendigen Wissensgrundlagen wurden im ersten Arbeitspaket erstellt. In Zusammenarbeit mit der maindreieck eCom GmbH wurde darüber hinaus Video Content in 2D- und VR-Technik zu den Themen Konsum, Littering und dessen Umweltwirkungen, Mikroplastik, Recycling und Verarbeitungsverfahren produziert. Die Arbeitsergebnisse aus AP 1 fließen unmittelbar in die Konzeption der nachfolgenden Arbeitspakete.

2.1.1 Zusammenstellung und Aufbereitung von Lerninhalten

Für die Wissensgrundlage wurde, in Abstimmung mit zwei Lehramtstudierenden der Didaktik der Chemie, eine Gliederung erstellt, welche sich am LehrplanPLUS (2017/2018) der 10. Klasse Realschule und der 12. Klasse Gymnasium in Bayern orientiert (siehe *Abbildung 1*).

I.	Herstellung von Kunststoffen
1.	Kunststoffherstellung – vom Rohöl zum Polymer, Polymerisation, Polyaddition
2.	Kunststoffverarbeitung – wichtige Verfahren
3.	Materialeigenschaften / Additivierung – chemisch, physikalisch, Schutz vor Verderb
4.	Materialalternativen – Biopolymere
II.	Konsum
1.	Konsumentenverantwortung: Einweg, Mehrweg, neue Ansätze einbringen, Alternative Kaufmöglichkeiten
III.	Verwertung von Kunststoffen
1.	Verwertungswege in Deutschland – stofflich, thermisch, rohstofflich,
2.	Abfallsortierung: häuslich und gewerblich, Zahlen & Daten Fakten, Falsch entsorgt
3.	Aufbereitung / Recycling / "Design for Recycling", Upcycling, Downcycling
4.	Kreislaufwirtschaft
5.	Abfallvermeidung
IV.	Umweltwirkungen
1.	Littering
2.	Mikroplastik – Quellen für Mikroplastik
3.	Abbauzeiten verschiedener Kunststoffe, Abbaubarkeit, Kettenspaltung durch Enzyme
4.	Folgen für die Umwelt
V.	Berechnungen
1.	Ökobilanzen Beispiele kaum selbst berechnen; Beispiel einer Ökobilanz (einzelne Schritte) Biopolymer vs. Standard Polymer
2.	(Berechnung zur Energiegewinnung – nicht relevant)

Abbildung 1: Thematische Gliederung der Hauptinhalte in Anlehnung an den LehrplanPLUS von Realschule und Gymnasium

Inhaltliche Basis für die Erstellung der Wissensgrundlage waren unter anderem Schulungsmittel der SKZ-Trainings, Fachartikel, Präsentationsmaterial von SKZ-Tagungen und Literatur- und Internetrecherche.

Im Fokus lagen die Lerninhalte zu den Themen: Rohstoffbereitstellung, Kunststoffverarbeitung, Materialeigenschaften und -alternativen, Prinzip der Kreislaufwirtschaft, Verwertung / Rezyklierbarkeit und zu Umweltwirkungen von Kunststoffen.

Die Bereiche Konsum, Littering und Abfallsortierung, können Verbraucher relevant beeinflussen und zu einer verbesserten Kreislaufführung von Kunststoffen beitragen. In diesen Bereichen muss die Verantwortung der SuS gestärkt werden. Für eine möglichst ganzheitliche Betrachtung des Kunststoff-Lebenszyklus werden in *plastic³⁶⁰* vier Module schwerpunktmäßig aufgearbeitet (siehe *Abbildung 2*):



Abbildung 2: Vier Module für die Beschreibung des Lebenszyklus von Kunststoffen

Modul 01: Konsum und Verantwortung

In Modul 01 werden der Konsum von Kunststoffprodukten durch Privatpersonen sowie der Einsatz von Kunststoffprodukten in unterschiedlichen Industriefeldern (Medizin, Bauindustrie, Landwirtschaft etc.) betrachtet. Hierbei wird die zentrale Frage behandelt, ob und wann und in welchen Aspekten Kunststoffverzicht sinnvoll ist.

Modul 02: Kunststoffe in der Umwelt

Dieses Modul ist zweigeteilt und betrachtet die Umweltverschmutzung durch Kunststoffe, welche in Form von Mikro- und Makroplastik in die Umwelt gelangen. Dabei werden Ursachen für die Verschmutzung, Auswirkungen auf die Umwelt und Lösungsansätze vorgestellt. Besonderes Augenmerk liegt in diesem Modul auf den Folgen der Kunststoffverschmutzung in Deutschland.

Modul 03: Entsorgung und Recycling

Dieses Modul stellt den Gegenspieler zu Modul 02 dar und zeigt Möglichkeiten und Entwicklungen auf, wie Kunststoffe richtig entsorgt werden. Dabei erhalten die Lernenden Einblicke in die Entsorgungs- und Recyclingprozesse von Kunststoffen und lernen sowohl Chancen wie auch Irrtümer und Hindernisse des Recyclings kennen. Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft wird erklärt und exemplarisch der Lebenszyklus einer PET-Flasche genauer unter die Lupe genommen.

Modul 04: Rohstoffe und Verarbeitung

In diesem Modul wird die Herstellung von Kunststoffen aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen betrachtet und deren Ökobilanzen verglichen. Dabei werden die Chancen und Hindernisse von Biokunststoffen erarbeitet. Im Anschluss werden unterschiedliche Verarbeitungsmöglichkeiten der Kunststoffe vorgestellt. Dabei wird auch der Einsatz von Regranulat zur Herstellung von Kunststoffprodukten veranschaulicht, wodurch sich der Lebenszyklus des Kunststoffs schließt.

Eine detaillierte Übersicht aller Modulinhalte gibt *Abbildung 3*. Die weitere Ausarbeitung und Ausformulierung der jeweiligen Schwerpunktthemen erfolgt in Abschnitt 2.3.2.

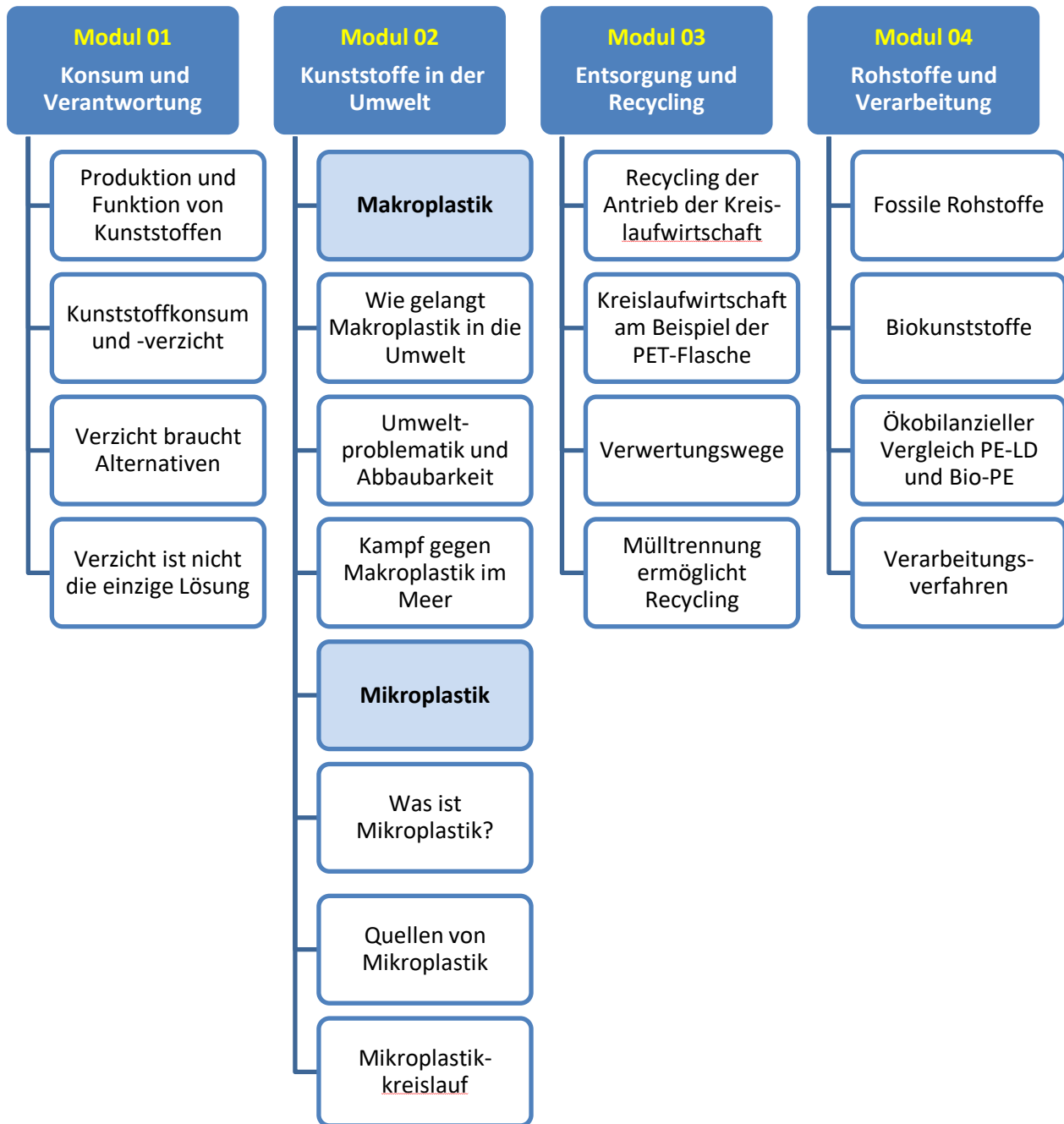


Abbildung 3: Strukturierung der Modulinhalte nach Schwerpunktthemen

2.1.2 Erstellung von Video Content für AP 2

Wichtig für die Lernwirksamkeit eines neuen Mediums, wie es die App darstellt, ist die Form der Codierung der Lehr-Lern-Inhalte, die angesprochenen Sinnesmodalitäten, die Form der Ablaufsteuerung, die Textgliederung und die Bildgestaltung [6]. Diese und weitere Aspekte müssen in der Gestaltung der integrierten Materialien beachtet werden, um den Lernenden einen geeigneten Lernprozess zu ermöglichen. Neue Informationen werden hauptsächlich über Video-Elemente dargeboten, während über den Virtual-Reality-Charakter der Elemente versucht wird mit Ton und Bild nach dem Modalitätsprinzip von Mayer [7] eine virtuelle Erfahrung nachzustellen. Dieses besagt, dass die Kombination von Bild und Ton eine höhere Effektstärke für den Lernerfolg aufweist, als das darbieten von Text in Kombination mit Bild. Wichtig ist auch das Redundanzprinzip zu beachten,

welches besagt, dass eine Kombination von Text, Ton und Bild bei den Lernenden zu einer kognitiven Überlastung des verbalen Kanals führen kann [7].

In Zusammenarbeit mit der maindreieck eCom GmbH wurden insgesamt 12 Videos produziert. Die Konzeption des Video Content erfolgte thematisch den vier Hauptmodulen zugeordnet und vor dem Hintergrund, Alltagssituationen von Jugendlichen aufzugreifen und somit einen direkten Bezug zwischen Konsumverhalten und Umweltwirkungen bei SuS zu erreichen. Die Aufnahmen für den Video Content erstreckten sich über den gesamten Projektzeitraum (und nicht wie ursprünglich geplant über drei Monate).

Folgende Videos wurden erstellt:

Starten der App

Video 1/ Einführungsvideo zur App:

Teaser zu App-Inhalten (Einstieg in die App-Nutzung) wird beim erstmaligen Starten der App abgespielt und ist wiederabspielbar über die Startseite des Lebenszyklus.

Modul 01 Konsum und Verantwortung

Video 2 / Im Raum mit Kunststoffen:

Zum Einstieg in die Station erforschen die SuS das 360°-Bild der App. Hier stehen sie in einem „typischen“ Wohn-/ Essbereich und können sich umschauchen. Es sind verschiedene Kunststoffartikel „versteckt“. Die Schüler/innen sollen schätzen wie viele Artikel aus Kunststoff in dem Raum vorhanden sind. Die Schätzfrage dient auch als Überleitung in den Themenbereich Produktion und Funktion von Kunststoffen.

Modul 02 Kunststoffe in der Umwelt / Makroplastik

Video 3 / Littering vor 500 Jahren:

In diesem Video soll Jugendlichen die Abbaupzeit von rund 500 Jahren anhand einer PET-Flasche verdeutlicht werden und die daraus resultierenden Konsequenzen für die Umwelt durch gelitterten, nicht sachgemäß entsorgten, Kunststoff. Dafür wurde fiktiv die Zeit zurück gedreht in das Zeitalter der Burgen und Ritter, mit der Fragestellung: Was wäre, hätte es Kunststoffe schon vor 500 Jahren gegeben? Zu sehen sind zwei Ritter, die nach ihrem Übungskampf aus einer Plastikflasche trinken und sie anschließend wegwerfen. Nach einem schnellen Zeitraffer zurück in die heutige Zeit, stellt der Zuschauer fest, die Flasche ist nach langer Verwitterung stark beschädigt aber noch immer in der Umwelt vorhanden.

Video 4 / Basstölpel auf Helgoland:

Die Vermüllung der Weltmeere stellt ein wachsendes Problem dar, das in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt der öffentlichen Aufmerksamkeit gerückt ist. Ist Marine Litter nur ein Problem, das ferne Regionen der Erde betrifft? Nein. Noch verhältnismäßig wenig gesellschaftliche Beachtung bekommt der Meeresmüll, welcher in deutschen Gewässern zahlreich existiert. Elmar Ballstaedt – Ornithologe auf Helgoland – erklärt in dem Video, warum treibendes Makroplastik auf der Meeresoberfläche vor Helgoland eine tödliche Bedrohung für Basstölpel ist.

Video 5 / VR Helgoland und Bahamas:

Auf den traumhaft schönen Urlaubsinseln Helgoland und Bahamas sind die Auswirkungen von falsch entsorgten Kunststoffabfällen für Tiere und Menschen immer mehr sicht- und spürbar. In den erstellten Virtual Reality Aufnahmen kann der Betrachter sich selbst einen Eindruck davon verschaffen, indem sich der Blickwinkel um 360° drehen kann.

Modul 02 Kunststoffe in der Umwelt / Mikroplastik

Video 6 / Leonie entwickelt Filter für Mikrofasern:

Mit 15 Jahren, entwickelte die Schülerin Leonie Prillwitz einen Filter für das Abflussrohr einer Waschmaschine. Mit dem Filter ist es möglich die entstehenden Mikrofasern zu filtern. Leonie hat mit ihrem Projekt „*Mikrofasern – Gefahr aus der Waschmaschine?! 2.0*“ bei *Jugend forscht Bayern 2019* den Sonderpreis des bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus für das beste interdisziplinäre Projekt gewonnen und nahm auch am Bundeswettbewerb *Jugend forscht* teil. Damit ist Leonie ein positiv hervorzuhebendes Rollenmodell aus der Zielgruppe von *plastic³⁶⁰*, das aktiv nach Lösungen für bestehende Umweltprobleme sucht.

Leonie erläutert aus ihrem Zuhause heraus die Problematik von Mikroplastik und speziell von Mikrofasern, die beim Wäschewaschen entstehen. Damit diese nicht ungehindert in die Umwelt gelangen, hat Sie einen Filter entwickelt, den Sie im Video vorstellt.

Video 7 / Laborversuch Mikroplastik aus einem Waschpeeling:

In diesem Beitrag wird die Tatsache aufgegriffen, dass Mikroplastik auch in Alltagsgegenständen, wie Waschpeelings, enthalten sein kann. Teilweise werden Mikroplastikpartikel als Schleif- und Peelingmittel verwendet. Diese Partikel sind nicht wasserlöslich und können demnach aus dem Shampoo, Waschpeeling, Duschgel oder der Zahnpasta herausgefiltert werden.

In diesem Video wird experimentell gezeigt, wie im Labor Mikroplastik aus einem Waschpeeling extrahiert wird. Der Laborversuch wurde, wie alle anderen Experimente, in den Laboren der Universität Würzburg aufgenommen. Dazu wird das Peeling-Gel in Wasser gelöst und anschließend gefiltert. Für diesen Versuch bedarf es keiner gesonderten Sicherheitsmaßnahmen, er kann problemlos an Schulen oder auch zu Hause (mit der zugehörigen Versuchsanleitung) nachgestellt werden.

Video 8 / Laborversuch Nachweis von Mikroplastik:

Einfach und schnell kann Mikroplastik durch das Anfärben mit einem Fluoreszenzfarbstoff sichtbar gemacht werden, um die Partikel unter dem Fluoreszenzmikroskop zu betrachten.

plastic³⁶⁰ präsentiert, wie man Mikroplastikpartikel, mit Hilfe des Farbstoffes Nilrot, sichtbar machen kann. Die Partikel werden in ein Lösungsmittel gegeben und mit Nilrot eingefärbt. Abschließend wird die Mischung unter einem Fluoreszenzmikroskop betrachtet.

Modul 03 Entsorgung und Recycling

Video 9 / Wertstoffreise – Die Sortieranlage:

Was viele im Alltag nicht sehen, oder vielleicht auch nicht sehen wollen, sind die riesigen Müllberge, welche tagtäglich in unseren Städten und Gemeinden entstehen. In der Wertstoffreise wird hinter die Kulissen der Müllaufbereitung geblickt und betont, wie wichtig die richtige Abfallsortierung für das erfolgreiche Recyceln von Kunststoffen ist.

Herr Böhme (Böhme GmbH Wertstofffassung) zeigt dem Zuschauer den Weg des Wertstoffabfalls durch die von ihm geführte Sortieranlage in Rehau. Der Kunststoff wird vom Wertstoffabfall des gelben Sacks bzw. der gelben Tonne getrennt, sodass er wiederverwendet werden kann. Laut Herrn Böhme ist Mülltrennung kinderleicht: „In die gelbe Tonne oder den gelben Sack gehört alles was eine Verkaufsverpackung ist. Was also außen um das Produkt herum angebracht ist und was nicht Papier und nicht Glas ist. Für die letzten beiden gibt es separate Sammelmöglichkeiten!“.

Modul 04 Rohstoffe und Verarbeitung

Video 10 / Laborversuch Herstellung eines Biopolymers:

Biopolymere werden häufig als ökologische Alternative zu dem auf fossilen Ressourcen basierenden Kunststoff vermarktet und gehandelt. Wie leicht es ist, selbst ein Biopolymer zu erzeugen, wird in diesem Video gezeigt. In dem Laborversuch wird aus Kartoffelstärke und Guarkernmehl ein Polymer hergestellt. Dazu werden beide Zutaten vermengt und mit Wasser in einem Waffeleisen zu einer klebrigen Masse gebacken. Dieser Versuch kann nicht nur in der Schule ausprobiert werden, sondern auch zu Hause.

Video 11 / Das Spritzgießverfahren:

Damit den SuS ein Einblick in die technische Verarbeitung von Kunststoffen gegeben werden kann und ein mögliches Interesse an dem Berufsfeld geweckt wird, sind am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum praxisnahe Aufnahmen im Maschinentechnikum entstanden. Im SKZ werden exemplarisch Frisbee-Ringe im Spritzgießverfahren hergestellt. Das dafür notwendige komplexe Werkzeug wird näher gezeigt und das zugehörige Herstellverfahren beschrieben. Das Spritzgießen ist ein klassisches Urformverfahren für die Fertigung von Massenprodukten.

Video 12 / Additive Fertigung (3D-Druck):

Im Gegensatz zum Spritzgießen ist die Additive Fertigung auf die Fertigung von möglichst individuellen Fertigteilen konzipiert. Durch ständig fortschreitende Innovationen dieser Technologie ist es heute für jeden zu Hause möglich, sich einen 3D-Drucker anzuschaffen und ihn privat zu betreiben. Gerade für Jugendliche ist dieses stark auf digitalen Daten basierende Verfahren mit ihren verhältnismäßig niedrigen Anschaffungskosten besonders interessant. Mitarbeiter des SKZ erklären das Prinzip der Additiven Fertigung. Dabei gehen sie besonders auf die zwei Fertigungsverfahren Fused Layer Modelling (FLM) und Selektives Lasersintern (SLS) ein.

Für die oben beschriebenen Videos wurde unter dem Namen *plastic³⁶⁰* ein YouTube Kanal angelegt auf dem alle Videos unabhängig von der App-Nutzung online zur Verfügung stehen([Link zu plastic360 YouTube Kanal](#)). Dabei ist es vorteilhaft, dass Videos in höherer Auflösung nicht direkt auf das Handy geladen werden müssen.

2.2 AP 2 – Mobile Applikation

Das Herz der Unterrichtssequenzen und der Lernmodule für Schülerlabore bildet, die im Rahmen des Projekts *plastic³⁶⁰* entwickelte gleichnamige Smartphone-Anwendung. Ihre Kernelemente bilden Videomaterial, Gamification-Elemente und Laborexperimente, welche zusätzlich durch Texte und Grafiken innerhalb der App ergänzt werden.

2.2.1 Grundkonzept der App

Eine native App wird speziell für ein Betriebssystem programmiert und läuft dann ausschließlich auf Geräten mit genau diesem Betriebssystem. Dies bietet den Vorteil, dass alle Schnittstellen zur Hardware einheitlich funktionieren und die Ressourcen des Geräts optimal genutzt werden, sodass eine möglichst störungsfreie App-Nutzung zur Verfügung steht [8]. Die App ist sowohl für Android und iOS Geräte erhältlich und kann über die jeweiligen App Stores kostenfrei heruntergeladen werden. Damit wird eine möglichst breite User-Erreichbarkeit über die zwei erfolgreichsten Betriebssysteme angestrebt. Dies erforderte jedoch eine eigene Programmierung für das jeweilige Betriebssystem. Da die App sowohl Zuhause als auch in der Schule genutzt werden soll, wurde sie für den Einsatz auf Smartphones optimiert. Auf Tablets kann es evtl. zu Anzeigefehlern kommen.

Zum Einstieg in die App wird ein kurzer Teaser abgespielt, indem ein Sprecher die Kerninhalte der App, untermalt von Videosequenzen, dem zu diesem Zeitpunkt noch unerfahrenen App-Nutzer erläutert. Das Video wird direkt im Handy gespeichert und ist somit auch offline verfügbar. Die Startseite mit sich entwickelnder Grafik zur Darstellung und Zusammenfassung des Lebenszyklus von Kunststoffen soll im Idealfall als 360° Animation aufbereitet werden, indem der User über VR-Technik Einstiegsvideos, -bilder oder -texte auswählen kann.

In der App ist der Lernstoff in kleinere Einheiten unterteilt. Eine Grobunterteilung bilden vier Hauptmodule in Anlehnung an die Wissensgrundlage aus AP1 (*Modul 01 – Konsum und Verantwortung / Modul 02 – Kunststoffe in der Umwelt / Modul 03 – Entsorgung und Recycling / Modul 04 – Rohstoffe und Verarbeitung*), welche den Kunststoffkreislauf thematisch mit einem roten Faden herausarbeiten. Die Betrachtung der Kreislaufwirtschaft und des Lebenszyklus von Kunststoffen in den vier Hauptmodulen wählt dabei die Perspektive der Lernenden und beginnt mit der Nutzung von Kunststoffprodukten in Modul 01, direkt im Lebensumfeld der Jugendlichen. Das den Modulen zugrunde liegende Wissen wird in Form von Videos, Bildern, Texten und Spielen zur Verfügung gestellt. Modulübergreifend gibt es wiederkehrende Elemente (vgl. *Tabelle 1*), die den Inhalt strukturiert abbilden:

Tabelle 1: Inhaltliche Strukturierung der App

App-Element	Inhalte
Text	Informationen, die mit thematisch passenden Bildern zugänglich gemacht werden.
2D Video	Zielgerichtet produzierter Clip, um Wissen audiovisuell zu übertragen.
VR Element	Virtual Reality Element macht Kreislaufwirtschaft spürbar und erlebbar.
Gamification	Spiel- und Informations-Element, um neu erlerntes Wissen spielerisch anzuwenden und kritisch zu hinterfragen.
Foto Rallye	Der Anwender hat hier die Möglichkeit sich selbst aktiv innerhalb seines Umfelds mit bestimmten Fragestellungen auseinander zusetzen.
Zusatzmaterial	Mittels Vertiefungstexten im PDF-Format werden dem Anwender weiterführende und zum Teil komplexere Inhalte bereitgestellt.

2.2.2 Gestaltung der Anwenderoberfläche

Jedem der vier Module wurde eine bestimmte Farbe zugeordnet, die innerhalb einer Einheit die Hintergründe bildet und so für einen Wiedererkennungswert sorgt. Die Navigation erfolgt über eine Menüleiste in der Fußzeile und zeigt vier Tabfelder an: *360°* stellt die Startseite dar, *Module* stellt

die vier Themenschwerpunkte bereit, *Suchfunktion* mit einer Suche über Schlagwörter und *Mehr* mit zusätzlichen App-Funktionen und Informationen. In den folgenden Abschnitten wird die Aufbereitung der Menüleiste beschrieben.

Die Startseite – 360°

Der Lebenszyklus ist in der Fußzeile auswählbar und wird als 360° Animation durch ein Drehrad dargestellt. Dieser Zyklus zeigt die einzelnen Phasen des Kunststoffkreislaufs in Anlehnung an die vier Modulinhalte. Die Startseite wird ausführlicher in Abschnitt 2.2.4 behandelt.

Die Module

Die Module bilden die Kerninhalte der *plastic³⁶⁰* App. Sie bereiten die folgenden vier Themengebiete in schülergerechter Form auf. Die Module holen die Lernenden aus ihrer Lebenswelt ab und betrachten im Anschluss auch Themen, welche sich im Hintergrund der eigenen Erfahrungswelt abspielen. Die Bereiche Konsum, Littering und Abfallsortierung kann der Verbraucher relevant beeinflussen und verbessern. In diesen Bereichen muss die Verantwortung der SuS gestärkt werden. Deshalb beginnt die Anordnung der einzelnen Module mit *Konsum und Verantwortung* gefolgt von *Kunststoffen in der Umwelt* und *Entsorgung und Recycling* und schließt mit dem Modul *Rohstoffe und Verarbeitung* ab. Durch Auswählen der Modulüberschriften in der Modulansicht (vgl. *Abbildung 4*) wird das jeweilige Modul geöffnet. Der erste Unterpunkt eines jeden Moduls ist die Kurzvorstellung, in der in wenigen Zeilen das Modul präsentiert wird. In den Modulen befinden sich Inhalte in unterschiedlicher Form. Die Untermodule sind entlang eines inhaltlichen roten Fadens strukturiert. Sie können trotzdem auch isoliert voneinander verwendet werden. Unterpunkte werden themenspezifischen Icons (vgl. *Abbildung 5*) zugeordnet, wodurch eine übersichtliche Struktur geschaffen wird. Zusatzmaterialien stehen über die Projekthomepage downloadbare PDFs zur Verfügung, welche auch für den Projektunterricht in ausgedruckter Form bereitgestellt werden können.

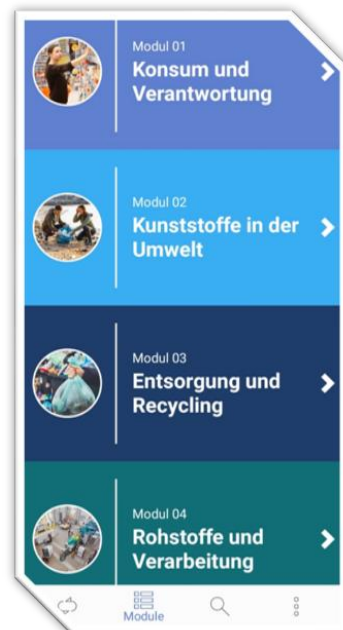


Abbildung 4:
Anwenderoberfläche
für die Modulübersicht

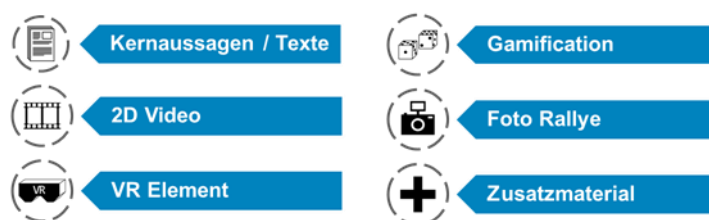


Abbildung 5: Symbole für Unterpunkte innerhalb eines Moduls

Um im Rahmen des Projektunterrichts schneller Untermodule zuverlässig zu finden, besitzt die App die Möglichkeit Favoriten zu speichern. Wird ein Untermodul geöffnet, so kann dieses über das Herz-Icon oben rechts im Eck als Favorit gespeichert werden. Durch erneutes klicken auf das gleiche Herzsymbol kann es wieder entfernt werden.

Die Suchfunktion

Über das Icon mit der Lupe wird die Suchfunktion geöffnet. Bei der Suchfunktion handelt es sich um eine Schlagwortsuche. Das bedeutet, dass eine Auswahl wichtiger Begriffe jedem Modulunterpunkt zugeordnet wurde. Begriffe oder auch Teile eines Begriffes können eingegeben werden. So durchsucht die Suchfunktion die App und findet Modul- Unterpunkte, welche den gesuchten Begriff als Suchbegriff beinhalten. Ein Beispiel für eine solche Suchanfrage mit Ergebnisanzeige ist in *Abbildung 6* ersichtlich.



Abbildung 6: Die Suchfunktion mit beispielhafter Ergebnisanzeige für den Begriff „Polymer“ bei Eingabe von „Poly“

Die Mehr-Funktion

Unter der *Mehr-Funktion* verbergen sich unterschiedlichste Nutzerinformationen, die in *Tabelle 2* einzeln aufgeführt werden:

Tabelle 2: Übersicht über alle Funktionen unter dem Menüfeld „Mehr“

Funktionen	Inhalte
Meine Favoriten	Texteinheiten in den Untermodulen werden durch die Auswahl der Favoriten-Funktion in einer Übersichtsliste gespeichert und lassen sich so schnell und einfach wieder abrufen.
Anleitung	Die App Anleitung ist auf der Projekthomepage abrufbar. Link zu plastic360 Downloadbereich . Die <i>plastic³⁶⁰</i> Projektseite ist in die SKZ-Homepage integriert. Die Anleitung ist die Lehrerhandreichung, die sich in drei Abschnitte gliedert: Einen technischen Teil, der die Funktionen der App anschaulich erläutert und zum anderen aus einem didaktischen Teil, der Lehrern erläutert, wie die App in den Unterricht einbezogen werden kann. Dem schließt sich der Teil mit den angegliederten Unterrichtsmaterialien an.
Zitat/ Referenzen	Hier werden die Bildquellen bezogen auf die App und die Zusatzmaterialien aufgelistet. Das Dokument liegt als PDF im Downloadbereich vor: Link zu plastic360 Downloadbereich .
Mitwirkende	Namentliche Erwähnung aller Projektbeteiligten Einrichtungen und Personen sowie Danksagungen an alle Mitwirkenden, die zur Entstehung der App beigetragen haben.
Kontakt	Anwender haben die Möglichkeit über die E-Mail-Adresse: plastic360@skz.de mit dem SKZ in Kontakt zu treten und mögliche Anregungen zu äußern.
Impressum	<i>plastic³⁶⁰</i> kommt der Impressumspflicht für mobile Applikationen nach und stellt alle nötigen Informationen auf der Projekthomepage zur Verfügung: Link zu plastic360 Downloadbereich . Als Projektverantwortlicher wird die SKZ - KFE gGmbH Bildung & Forschung Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg im Impressum angegeben.
Datenschutz- erklärung	Der Schutz von persönlichen Daten und der Umgang mit weiterführenden Links ist dem SKZ als App-Betreiber sehr wichtig und stellt die Datenschutzerklärung öffentlich zugänglich bereit: Link zu plastic360 Datenschutzerklärung .

2.2.3 Einbindung der Wissensgrundlagen und des Video Contents aus AP 1

plastic³⁶⁰ gibt SuS die Möglichkeit, sich in vier Modulen möglichst ganzheitlich mit dem Lebenszyklus von Kunststoffen auseinander zu setzen. Die Kerninhalte wurden im App-Umfeld erstellt und mit Bildern, Grafiken und produziertem Video Content ergänzt.

Aufbau des Contents

Wird ein als Text und Bild gekennzeichnetes Untermodul geöffnet, so erscheint der Inhalt direkt (vgl. *Abbildung 7*) und kann dann gelesen werden. Untermodule, die als Video, Gamification oder VR-Element gekennzeichnet sind, führen den Nutzer zunächst auf eine Vorschauseite, auf der der Inhalt des Videos, oder die Aufgabe des Elements kurz vorgestellt werden. Gamification-Elemente können durch Drücken des Pfeil-Icons gestartet werden.

Videoinhalte können auf zwei Weisen abgerufen werden (vgl. *Abbildung 8*). Zum einen steht eine Videodatei mit niedriger Auflösung zum Download bereit, welche in der App gespeichert wird, sodass das Video auch offline angeschaut werden kann. Zum anderen kann das Video über YouTube geöffnet werden. Auf YouTube sind die Videos in HD-Qualität abrufbar. Von dort sind sie auch über PC oder andere mobile Endgeräte verfügbar. Wurde ein Video in niedriger Auflösung heruntergeladen, so wird das durch einen Play-Button im Vorschaubild gekennzeichnet. So heruntergeladene Videoelemente werden bei der Deinstallation der App automatisch vom Smartphone entfernt und können nicht als Videodatei geteilt werden.

VR-Elemente können aufgrund der hohen Auflösung nur über YouTube geöffnet werden. Für das optimale Erlebnis wird eine VR-Brille empfohlen.



*Abbildung 7:
Anwenderoberfläche
für Textinhalte*



*Abbildung 8:
Anwenderoberfläche
für Videoinhalte*

Das Zusatzmaterial

Bei dem Zusatzmaterial handelt es sich um weiterführende Informationen in Form von PDF-Dateien, welche heruntergeladen werden können. Sie bereiten Themen auf, welche entlang des roten Fadens der App aus Gründen der Übersichtlichkeit nur kurz angesprochen werden konnten. Sie dienen der Vertiefung und sind speziell für den Projektunterricht entwickelt.

Im Zusatzmaterial werden auch chemische Hintergründe tiefergehend erklärt. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Lernenden der jeweiligen Schulform diese bald verlassen. Deshalb ist das Zusatzmaterial weniger stark für Schüler aufbereitet und zum vollen Verständnis können die Lernenden auf weitere Quellen, wie Bücher oder Internetseiten, zurückgreifen. Das Zusatzmaterial soll so auf das Lesen wissenschaftlicher Berichterstattungen vorbereiten, sodass die Lernenden sowohl ihr Verständnis von naturwissenschaftlichen Quellen als auch ihre Quellenkritik verbessern. Im Zusatzmaterial befinden sich auch Versuchsanleitungen zu Experimenten für den Schulunterricht und Zuhause. Insgesamt wurden 26 einzelne Zusatzmaterialien erstellt, die in *Tabelle 3* aufgelistet werden:

Tabelle 3: Auflistung der in *plastic*³⁶⁰ bereitgestellten Zusatzmaterialien

Module	Zitiercode	Titel und Inhalt der Zusatzmaterialien
Konsum und Verantwortung	[KN+1]	Kunststoffeinsatz in der Medizintechnik
	[KN+2]	Kunststoffeinsatz in der Landwirtschaft
	[KN+3]	Kunststoffeinsatz im Bausektor
	[KN+4]	Der Kunststoffabfallrechner
	[KN+5]	Kunststoffe als Verpackung
Kunststoffe in der Umwelt	[KU+1]	Meeresmüll vor Helgoland
	[KU+2]	Versuchsanweisung Mikroplastik aus Kosmetik
	[KU+3]	Versuchsanweisung Nachweis von Mikroplastik
Entsorgung und Recycling	[ER+1]	Depolymerisation
	[ER+2]	Cracking
	[ER+3]	Infrarotspektroskopie
	[ER+4]	Magnetscheider
	[ER+5]	Recyclingvorgang im Detail
	[ER+6]	Rohstoffliche Verwertung Vergasung
	[ER+7]	Schwimm-Sink-Verfahren
	[ER+8]	Windsichten
	[ER+9]	Wirbelstromscheider
	[ER+10]	Versuchsanweisung Trennen von Inhalten aus dem Gelben Sack
Rohstoffe und Verarbeitung	[RV+1]	Additive in Kunststoffen
	[RV+2]	Grundlagen einer Ökobilanz
	[RV+3]	Kettenpolymerisation
	[RV+4]	Polyaddition
	[RV+5]	Polykondensation
	[RV+6]	Versuchsanweisung Herstellen eines Biopolymers
	[RV+7]	Versuchsanweisung Umschmelzen eines Thermoplasten

Das Zusatzmaterial wird direkt in der App als Link hinterlegt, der auf den Downloadbereich für die Zusatzmaterialien auf der *plastic*³⁶⁰ Projektseite, führt ([Link zu Zusatzmaterialien](#)).

Der Zitiercode

Damit Informationen im Projektunterricht den jeweiligen Quellen zugeordnet werden können, wurde ein Zitiercode entwickelt. Er erleichtert es, Informationen bestimmten Untermodulen der App zuzuordnen, sodass Lehrkräfte besser in der Lage sind den Ursprung von Informationen zurückzuverfolgen. Jedem Untermodul und jedem Zusatzmaterial wurde ein vierstelliger Zitiercode

zugeordnet. Beispiel: Dem Untermodul Produktion und Funktion von Kunststoffen wurde der Zitiercode [KN02] zugeordnet.

Die ersten zwei Buchstaben, in diesem Fall KN, bilden ein Kürzel für das zugehörige Modul. Die Zahl gibt die Position des Untermoduls im Modul an. Handelt es sich um Zusatzmaterial, so befindet sich ein + im Zitiercode, bspw. [KN+2].

2.2.4 Ausarbeitung und Umsetzung der Einstiegssituationen und der 360° Animation inkl. der einzelnen Lebenszyklusphasen

Das Ziel der Startseite ist es, die Lernenden mit den Grundlagen des Lebenszyklus von Kunststoffen vertraut zu machen. Durch die gezielte Verknüpfung mit erlebnisreichen Informationen aus den Modulen sollen die SuS zu einer ganzheitlichen Sichtweise sowie einer möglichst umfassenden Informationslage zur Kreislaufführung von Kunststoffen und deren Umweltproblemen gelangen. Idealerweise führt dies zu einem umweltbewussteren Verbraucherverhalten. Dabei dient die Grafik über den Lebenszyklus auch als Orientierungshilfe während des selbstregulierten Lernprozesses im Rahmen einer Projektarbeit.

Beim ersten Öffnen der App erfolgt der Einstieg für den Nutzer über ein automatisch abgespieltes Teaser-Video. Die kurze Einführung zeigt die grundsätzlichen Inhalte der App, die durch einen Sprecher phonetisch ergänzt werden:

„Ob Verpackung, Kleidung, Automobil oder Medizinprodukt – Kunststoff ist Bestandteil unseres modernen Lebens! In plastic³⁶⁰ experimentieren wir und zeigen, warum Kunststoff als Werkstoff so erfolgreich ist und wie Kunststoffprodukte hergestellt werden.

Spielerisch und dank spannender Videos lernst Du, wie wir vermeiden können, dass Kunststoffe in der Umwelt landen, wie sich Kunststoff recyceln lässt und welche Folgen Kunststoffmüll in der Nordsee hat.

Viel Spaß bei plastic³⁶⁰!“

Nach dem Starten der Anwendung öffnet sich die Startseite. In der weiteren App-Nutzung lässt sich das Einführungsvideo über die Startseite jederzeit durch Klicken des Play Buttons in der Mitte des Startbildes wieder abspielen.

Durch Bewegen des Fingers im Uhrzeigersinn am äußeren Rand des Bildes verschwindet das Startbild und der Lebenszyklus von Kunststoffen entwickelt sich aus der Perspektive der Industrie, welche ausgehend von den Rohstoffen startet. Bewegt sich der Finger weiter, erweitert sich der Kreislauf zu den Punkten Verarbeitung und anschließend zu der Nutzung von Kunststoffen. Danach teilt sich die Grafik, einerseits in die richtige Entsorgung, welche dem Lebenszyklus erhalten bleibt und andererseits zu Kunststoffen in der Umwelt. Dieser Weg führt aus der Kreislaufwirtschaft hinaus, da die Kunststoffe nicht mehr zur Verwertung bereitstehen. Das Recycling schließt den Kreislauf (vgl. *Abbildung 9*).



Abbildung 9: Darstellung des 360° Lebenszyklus für Kunststoffe

Somit wird der Lebenszyklus in sechs Schritten gezeigt. Durch Antippen des jeweiligen Schrittes gelangt man in das zugehörige Modul. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der thematischen Überschneidungen die Zyklusschritte Rohstoffe und Verarbeitung im Modul 04 *Rohstoffe und Verarbeitung* und die Teilschritte richtige Entsorgung und Recycling im Modul 03 *Entsorgung und Recycling* zusammengefasst wurden. Entsorgung in der Umwelt findet sich in Modul 02 *Kunststoffe in der Umwelt* wieder und die Nutzung von Kunststoffen in Modul 01 *Konsum und Verantwortung*. In den Modulen werden die Nutzer/innen in andere durch Videos und Textinformationen aufbereitete Lebenszyklusphasen des Kunststoffs geführt.

Ursprünglich hätte der Lebenszyklus als 360° VR-Animation über auswählbare Einstiegspunkte (Teaser-Clips, die die Alltagssituationen von Jugendlichen darstellen) erfolgen sollen. In der Umsetzung haben sich die Projektpartner für ein einziges allgemeines Teaser-Video und ein sich entwickelnde Kreislauf-Grafik entschieden, um den offline Betrieb der Startseite zu gewährleisten. Dies war eine zentrale Forderung der Lehrer, die im September 2019 am *plastic³⁶⁰* Workshop teilnahmen. Dieser Austausch mit Chemielehrern führte zu wichtigen Erkenntnissen, die für die spätere Konzeption der App und der Unterrichtsreihen prägend waren: Zum einen war den Lehrpersonen wichtig, dass der Fokus weniger bei Virtual Reality Elementen liegt, sondern mehr auf der Wissensvermittlung und auf interessant aufbereiteten Laborversuchen. Eine weitere gestellte Anforderung, die für die Gestaltung des 360° Zyklus von entscheidender Bedeutung war, ist die möglichst umfangreiche Nutzung der App im offline Betrieb. Die Startseite muss für die Nutzung fest in der App integriert sein, jedoch benötigen VR-Techniken so viel Speicherplatz, dass eine offline Nutzung der Startseite nicht möglich gewesen wäre. Das gleiche gilt für den Einsatz mehrerer Teaser-Videos, welche die reibungsfreie Funktion der App beeinträchtigt hätten. Aus diesen Gründen haben sich die Partner für ein einziges allgemeines Teaser-Video entschieden, welches aufgrund der Kürze direkt in der App verankert ist und einem grafischen Zyklus, der sich durch Drehen im Uhrzeigersinn entwickelt.

2.2.5 Ausarbeitung und Umsetzung der Gamification Elemente

Ergänzt werden das Videomaterial und die Texte der App durch Gamification-Elemente, in denen die Lernenden bisher Gelerntes spielerisch vertiefen und erweitern können. Gamification bezeichnet dabei den Einsatz von Spielelementen in spielfremden Umgebungen, wie dem Unterricht [9].

Zur Motivation der Lernenden führen Pfeiffer und Wernbacher [9] drei Faktoren auf, welche zur Maximierung des Spielspaßes führen. Sie benennen dabei den Autonomie- und Erkundungsdrang, welcher durch Freiheit in der Erkundung der Spielwelt ausgelebt wird. Als zweiten Faktor führen Pfeiffer und Wernbacher Kompetenz- und Erfolgserlebnisse auf. Diese werden durch kurze Feedbackzyklen und Ingame-Belohnungen erreicht, wobei es dabei notwendig ist, die Gamification-Elemente auf eine Art und Weise zu gestalten, bei der Aktivität und Ergebnis gut miteinander verknüpft werden können. Im Rahmen der Gamification zu Bildungszwecken ist dies für den Kompetenzerwerb von großer Bedeutung, da nur durch eine zeitlich kurze Feedbackschleife die Konsequenz zur auslösenden Aktion sicher zugeordnet werden kann. Den dritten und letzten Faktor bilden nach Pfeiffer und Wernbacher die Beziehungs- und Gruppendynamik [9]. Die Spielenden sind bestrebt sich gegenseitig über das Spiel auszutauschen und mit Gruppenmitgliedern im Wettbewerb zu stehen, wodurch Pointification (reine Punktevergabe als Kernmethode der Gamification) zu Austausch im Rahmen des Wettbewerbs führen kann. Jedoch sollte es das Ziel sein, dass der Austausch nicht ausschließlich auf der Ebene der Punkte stattfindet, sondern sich auch auf die inhaltliche Ebene der Gamification-Elemente bezieht, sodass es zur Vertiefung dieser durch den Austausch kommt. Stampfl kritisiert, dass Gamification häufig nur durch Bepunktung beliebiger Aktivitäten stattfindet, wobei es das Ziel sein sollte, die Lernhandlung an sich so motivierend zu gestalten [10]. Wenn der Lerngegenstand und die Spielmechanik selbst die Lernenden intrinsisch motiviert, bedarf es keiner extrinsischen Motivation durch Bepunktung.

Die Gamification-Elemente der App stellen eine besondere Herausforderung bei der Programmierung dar. Neben der Entwicklung einer guten Spielidee ist die Programmierung eines App Games sehr zeitintensiv, was zugleich auch die Kostenstruktur anhebt. Aus diesem Grund wurde eine gut funktionierende App gegenüber der Qualität der Games Programmierung bevorzugt.

*plastic*³⁶⁰ bietet neben den visuell und textlich aufbereiteten Inhalten auch 4 Gamification-Elemente und eine Foto-Rallye, welche eine spielerisch-forschende Auseinandersetzung mit dem Thema Kunststoffe ermöglichen sollen. Die Spiele sind in der App integriert, wodurch sie keine Internetverbindung benötigen. In den nächsten Abschnitten werden die Spiele näher beschrieben.

Der Kunststoffabfallrechner

Oft wird darüber diskutiert, wie im Alltag Kunststoffe vermieden werden können. Dabei kommen oft neue Produkte auf den Markt, bei denen vollständig auf Kunststoff verzichtet wird. Diese sind oft teurer und zielen mit ihrer Marketingstrategie auf das ökologische Bewusstsein ihrer Kunden ab. Damit stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist jedes Produkt durch eine kunststofffreie Alternative zu ersetzen. Welche Aspekte müssen für diese Überlegungen betrachtet werden? Die Antwort darauf gibt der Kunststoffrechner.

Zunächst darf nicht nur betrachtet werden, ob ein Produkt Kunststoff enthält, sondern auch wie viel. Zusätzlich sollte die Lebensdauer des Kunststoffprodukts in die Überlegungen miteinbezogen werden. Diese kann von wenigen Minuten bis zu mehreren Jahren reichen. Als Verbraucher ist es oft schwierig, die genaue Lebensdauer jedes Produkts zu ermitteln. Durch eigene Überlegungen kann die Zeit, in der das Produkt vom Verbraucher genutzt wird, jedoch gut abgeschätzt werden.

Mit dem *Kunststoffabfallrechner*, aus Modul 01 *Konsum und Verantwortung*, können auf einfache Weise die Nutzungsdauer von Kunststoffprodukten und die Menge an entstehendem Kunststoffabfall durch die Nutzung verglichen werden. Der Rechner nimmt den Nutzern dabei

rechnerische Stolpersteine – wie Einheiten umrechnen – ab. Die Ergebnisse können gespeichert und im Anschluss jederzeit als Liste abgerufen werden.

Zusammen mit dem Wissen über den Kunststoffanteil, der Gesamtmasse und der Nutzungsdauer kann dann der Kunststoffabfall pro genutzte Stunde ermittelt werden (vgl. *Abbildung 10*).






Abbildung 10: Eingabe-Masken und Ergebnisliste (rechts außen) des Kunststoffabfallrechners

Nach Beantwortung der Fragen liefert der Kunststoffabfallrechner ein Ergebnis, das angibt wie viel Gramm Kunststoffabfall pro genutzte Stunde des Kunststoffgegenstands entstehen.

Die Rechnung

Die Menge des entstehenden Kunststoffabfalls je genutzte Stunde ergibt sich über folgende Formel.

$$\frac{\text{Menge}}{\text{Stunde}} = \frac{\text{Masse des Produkts} \cdot \text{Kunststoffanteil}}{\text{Genutzte Zeit vor Entsorgung}}$$

Das Ergebnis für den berechneten Gegenstand kann im Ergebnisbildschirm durch Drücken des Icons  gespeichert werden. Die gespeicherten Ergebnisse können jederzeit geöffnet werden, wenn innerhalb des Kunststoffabfallrechners das Icon  gedrückt wird. Um einen Eintrag zu löschen, muss dieser für eine kurze Zeit angedrückt  werden.

Die Ergebnisinterpretation für die SuS

Je größer der berechnete Wert, desto besser ist es die Nutzungsdauer des Gegenstandes zu verlängern. Den SuS wird folgender Denkanstoß gegeben: „Überlege, wie Du das erreichen kannst und entscheide selbst wie sinnvoll diese Umsetzung wäre. Denn bei Produkten muss auch immer deren Nutzen berücksichtigt werden. Als Beispiel sei hier die sterile Spritze (Medizinprodukt) erwähnt, als Einwegartikel hat sie eine sehr kurze Nutzungsdauer. Allerdings macht ein mehrmaliger Gebrauch der Spritze aus hygienischer Sicht keinen Sinn. Diskutiere mit Deinen Freunden darüber, wo es konkret Sinn macht die Nutzungsdauer zu erweitern oder vielleicht sogar eine kunststofffreie Alternative zu suchen. Auch bei einer kunststofffreien Alternative muss wieder genau abgewogen werden, wie groß deren Nutzen tatsächlich wäre.“

Motivationspsychologische Wirkungen werden hier insbesondere durch die Beziehungs- und Gruppendynamik erzielt. Die Ergebnisse des Nutzungsrechners werden als Diskussionsgrundlage genutzt, um die Eingangsfragen gemeinsam mit Mitschülern, Lehrern oder Eltern zu beantworten:

Ist es sinnvoll jedes Produkt durch eine kunststofffreie Alternative zu ersetzen und welche Aspekte müssen für diese Überlegungen betrachtet werden?

Designe deine Verpackung

Verpackungen schützen nicht nur das Produkt, sie informieren auch den Verbraucher. So vielfältig Verpackungen auch sind, so unterschiedlich ist oft auch Ihre Zusammensetzung. Produkte sind aber nur dann kreislauffähig, wenn die darin enthaltenen Werkstoffe auch eindeutig identifiziert werden können. Deshalb ist das Design von Verpackungen so wichtig für ihre Recyclingfähigkeit. Werden sie effizient gestaltet, so können fossile Ressourcen geschont und der CO₂-Ausstoß reduziert werden. Kleine Änderungen im Verpackungsdesign können die Verwertbarkeit maßgeblich verbessern, ohne die Hauptfunktionen zu beeinträchtigen.

Das Gamification-Element *Designe Deine Verpackung* aus Modul 03 *Entsorgung und Recycling* versetzt die Nutzer in die Situation von Unternehmen, welche eine günstige aber recyclingfähige Verpackung designen müssen. Sie sollte einerseits den Anforderungen des Produkts gerecht werden und andererseits aber auch wiedererkennbar die Marke darstellen.

Das Ziel ist es, in diesem Spiel einen bestmöglich recyclingfähigen Joghurtbecher zu planen. Dabei können die Materialien des Bechers und des Verschlusses, die Färbung und sowohl Größe als auch Material des Etiketts eingestellt werden. Dabei wird jede Entscheidung auch visualisiert, sodass am Ende des Prozesses ein fertiger Prototyp entsteht.

Der Joghurtbecher wird dann in fünf Kategorien bewertet (vgl. *Abbildung 11*):

KOSTEN > STABILITÄT > SCHUTZ DES INHALTS > MARKENERKENNUNG > RECYCLINGFÄHIGKEIT

Die Bewertung wird für jede Kategorie auf dem Bewertungsbildschirm in Prozent angegeben. Für eine ausführliche Bewertung der Recyclingfähigkeit werden die Entscheidungen, welche die Recyclingfähigkeit beeinträchtigen, textlich näher beschrieben. Diese Formulierungen sind durch Scrollen im unteren Abschnitt der Ergebnisübersicht nachzulesen.

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit orientiert sich an den Anforderungen des Instituts cyclos-HTP [11] für Verpackungen aus Polyethylen und Polypropylen. Die notwendigen Informationen, um einen möglichst recyclingfähigen Joghurtbecher zu planen, sind den Texten und Videos des Moduls 04 zu entnehmen.



Abbildung 11: Links: Kategorien für das Design des Joghurtbechers. Rechts: Ergebnisauswertung in Prozent mit Ergebnisbeschreibung in Textform für die Recyclingfähigkeit

Anregung für den Unterricht

Es besteht die Möglichkeit, im Unterricht aus der Aufgabe einen Wettbewerb zu gestalten: Wer entwirft die „beste“ Verpackung? Die Vergleichskriterien legt dabei die Lehrkraft fest. Mögliche Bewertungskriterien können dabei sein: niedrigste Kosten, höchster Schutz des Lebensmittels oder höchste Recyclingfähigkeit.

Der motivierende Faktor ist in diesem Spiel das schnelle Feedback durch die Ergebnisseite und ein gleichzeitiger Kompetenzerwerb durch die nähere textliche Erläuterung der Recyclingfähigkeit. Die prozentualen Angaben unter den Kategorien lassen eine Pointification Komponente zu, die sich im Klassenzimmer als Wettbewerb ausbauen lassen kann.

Unnützes Wissen

Durch das Element *Unnützes Wissen* wird das Modul 04 *Rohstoffe und Verwertung* aufgelockert und der Einblick in den Kunststoffkreislauf abgeschlossen. Es gibt Fakten, die kann man wissen, muss man aber nicht – daher können sie auch als unnützlich bezeichnet werden. Tatsächlich sind es eine Reihe an kurzen, grafisch aufbereiteten Fakten rund um den Lebenszyklus von Kunststoffen (vgl. *Abbildung 12*), die schnell ungewöhnliches Wissen vermitteln, welches im Gedächtnis hängen bleibt. Eine interaktive Nutzung der insgesamt acht Fakten ist nicht möglich, sie sind als reine Wissenserweiterung anzusehen.



Abbildung 12: Beispieltitel aus der Rubrik Unnützes Wissen

Abbauzeiten von Alltagsgegenständen

Dieses Quiz-Element fordert die Nutzer dazu auf, die Abbauzeiten von Alltagsgegenständen im Meer abzuschätzen. Es soll sie damit für die Notwendigkeit richtiger Entsorgung sensibilisieren und damit einen positiven Einfluss auf das Littering-Verhalten der Jugendlichen nehmen. Dem User wird Eingangs die Frage gestellt: Wie viel Zeit vergeht bis die folgenden Alltagsgegenstände (im Meer) abgebaut sind? Anschließend folgen Gegenstände aus verschiedenen Materialien, zu denen jeweils drei Antwortmöglichkeiten angegeben sind (siehe *Abbildung 13*). Die richtige Lösung wird durch Wischen mit dem Finger angezeigt.



Abbildung 13: Beispielfrage und Antwort aus dem Spiel Abbauzeiten im Meer

Der Frage/Antwort Aufbau des Spiels, hinterlässt dem Lernenden ein schnelles Feedback und erreicht so einen weiteren Kompetenzerwerb.

Die Foto-Rallye

Jugendliche werden dazu animiert selbst gemachte Fotos zu unterschiedlichen Fragestellungen zu erstellen und auf der online Fotoplattform Instagram zu teilen (vgl. *Abbildung 14*). Über die vier Hauptmodule von *plastic³⁶⁰* erstreckt sich eine Foto-Rallye mit vier Stationen.

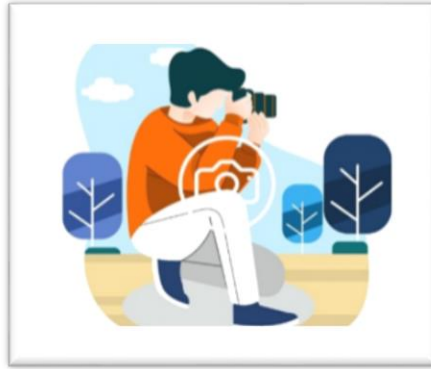


Abbildung 14: Foto-Rallye Hinweisbild

Station 01 – Verwendete Kunststoffprodukte

Rallye-Auftrag: Dokumentiere mit deinem Smartphone, welche Kunststoffprodukte Du über den Tag aktiv verwendest. Nutzt Du gerne Instagram? Wenn ja, poste doch Deine Bilder unter dem #kunststoffimalltag sowie #plastic360. Lasse Dich von anderen Usern oder sogar Deinen eigenen Mitschülern inspirieren, indem Du nach dem gleichnamigen Hashtag suchst.

Didaktisches Ziel: Sensibilisierung der Nutzer für die Allgegenwärtigkeit von Kunststoffen im alltäglichen Leben.

Station 02 – Littering im Lebensumfeld

Rallye-Auftrag: Dokumentiere Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfälle in deinem näheren Umfeld (Schule, Schulweg, Wohngegend). Nutzt Du gerne Instagram? Wenn ja, poste doch Deine Bilder unter dem #litteringtogo und #plastic360. Lasse Dich von anderen Usern oder sogar Deinen eigenen Mitschülern inspirieren, indem Du nach dem gleichnamigen Hashtag suchst.

Didaktisches Ziel: Sensibilisierung der Nutzer dafür, dass Littering eine häufig auftretende und auch Deutschland betreffende Problematik ist.

Station 03 – Produkte aus Rezyklat

Rallye-Auftrag: Dokumentiere, wenn du mit recyceltem Kunststoff in Kontakt kommst oder wenn du ein Kunststoffprodukt verwendest, welches auch aus recyceltem Kunststoff hergestellt werden könnte. Nutzt Du gerne Instagram? Wenn ja, poste doch Deine Bilder unter dem #produktrecycling und #plastic360. Lasse Dich von anderen Usern oder sogar Deinen eigenen Mitschülern inspirieren, indem Du nach dem gleichnamigen Hashtag suchst.

Didaktisches Ziel: Sensibilisierung gegenüber Produkten, welche aus Rezyklat hergestellt werden und Anregung der Fragehaltung, wieso nur wenige Produkte eine Verpackung aus Rezyklat besitzen.

Station 04 – Umschmelzen eines Thermoplasten

Rallye-Auftrag: Führe den Versuch *Umschmelzen eines Thermoplasten* nach der Versuchsanleitung aus dem Zusatzmaterial durch und dokumentiere die Durchführung. Nutzt Du gerne Instagram? Wenn ja, poste doch Deine Bilder unter dem #thermoversuch und #plastic360. Lasse Dich von anderen Usern oder sogar Deinen eigenen Mitschülern inspirieren, indem Du nach dem gleichnamigen Hashtag suchst.

Didaktisches Ziel: Näherbringen des wertstofflichen Recyclings und Stärkung psychomotorischer Fähigkeiten.

Anregung für den Unterricht

Bilder können entweder direkt in der App gemacht werden, oder aus der Galerie des Handys ausgewählt werden. Die Lernenden können die systemeigenen Apps oder Apps von Drittanbietern nutzen, um Collagen zu erstellen oder Texte in den Bildern zu integrieren. So kann beispielsweise in Station 01 eine Collage der verwendeten Gegenstände erstellt werden oder in Station 2 die Orte gekennzeichnet werden, an denen der Kunststoffabfall gefunden wurde.

Der größte motivierende Gamification-Faktor bei der Foto-Rallye ist das Gefühl der sozialen Eingebundenheit über den Austausch durch soziale Medien und das gemeinsame Erstellen von Collagen für die Mitschüler/innen.

Ein Aspekt bei der Umsetzung der Gamification-Elemente bei *plastic*³⁶⁰ war, dass diese mehrfach nutzbar sind und nicht nach einem Durchlauf die Ergebnisse soweit bekannt sind, dass sich die erneute Nutzung des Spiels womöglich erübrigen würde. Dies wurde bei den Games *Nutzungsrechner*, *Designe Deine Verpackung* und der *Foto-Rallye* erreicht. Bei *Unnützes Wissen* steht hingegen der auflockernde Wissenserwerb im Vordergrund und bei *Abbauzeiten im Meer* Schätzfragen, die nach einmaliger Beantwortung bekannt sein dürften. *Abbauzeiten im Meer* wurde sehr simpel umgesetzt. Erweiterungspotential dieses Elements besteht darin die Antworten grafisch anspruchsvoller über einen Zeitstrahl zu erfassen und das Ergebnisfeedback erscheint im Nachgang. Weiterhin wäre auch ein Rankingsystem über alle richtig und falsch beantworteten Fragen integrierbar, mit einer Gesamtanzeige über den Erfolgslevel von *Abbauzeiten-Profi* bis *Abbauzeiten-Anfänger*. Eine andere Spielidee wäre auch gewesen, Kontrollfragen zu jedem Modul abzufragen. Entsprechend der Anzahl richtiger und falscher Antworten, hätte der User als *Kreislauf-Profi* oder *Kreislauf-Anfänger* eingestuft werden können. Diese Ideen wurde nicht umgesetzt, um innerhalb des vorgegebenen Budgetrahmens bleiben zu können.

2.2.6 Testanwendungen der Beta-Version

Bevor die *plastic*³⁶⁰ App der Öffentlichkeit vorgestellt werden konnte, sollten Testanwendungen der Beta-Version Stärken und Schwächen der App aufdecken und Korrekturen rechtzeitig vor Release der App einsteuern. Eine konkrete Umsetzung dieser Anforderung erfolgte mittels des sog. Usability Tests, welcher die „Benutzerfreundlichkeit“ der App feststellt. Hierbei wurden verschiedene Kriterien wie der Aufbau, das Design, die Funktionen und das Nutzerverhalten bewertet. Der Usability Test stellt am Ende fest, wie attraktiv die App für den potentiellen Anwender ist [12].

Als sinnvolle Probandenzahl für den Usability Test legt Martin Ebner, von der Technischen Universität Graz, in seinem Erfahrungsbericht zum Usability Test für Lerntools fest, dass bereits 3 - 5 Probanden ausreichen um grobe Mängel einer Anwendung zu erkennen und zu beseitigen [13].

Personenkreis

Seit März 2020 hat das SKZ-Lab, das eigene Schülerlabor des SKZ, den Kursbetrieb aufgrund der allgegenwärtig vorherrschenden Corona-Pandemie eingestellt. Zum gleichen Zeitpunkt hatte das Projektteam bereits die Entwicklung der Beta-Version abgeschlossen. Aufgrund der kaum verfügbaren Testkapazitäten (ein Testtag für das Konzept des Schülerlabors konnte in Abschnitt 2.4.4 umgesetzt werden) des SKZ-Labs strebte das Projektteam eine Erweiterung der Erfahrungsberichte an, was zu einer Ausdehnung des Personenkreises führte. Da sich zum gleichen Zeitpunkt reguläre Schulen weit weg von einem Regelbetrieb des Unterrichts befanden, bestand die

neu aufgestellte Testgruppe aus wissenschaftlichen Mitarbeitern am SKZ, die besonders in der Lage sind die inhaltliche Richtigkeit zu prüfen und Lehrern bzw. Ausbildern aus Würzburg und Umgebung, die den Nutzen für den Schulunterricht bewerten können. Dabei wurden auch die Kontakte genutzt, die bereits während des Lehrerworkshops im September 2019 geschlossen wurden.

Fragebogen und Durchführung

Primär stand für den Testbetrieb die Android Version der App bereit. Auf Basis der nachgelagerten Optimierungen wurde angestrebt die iOS Version weiter zu entwickeln, um nicht doppelten Aufwand für den Entwickler zu erzeugen, indem er beide Versionen zu korrigieren hätte. Zunächst musste also die potenzielle Testgruppe in Android User und iOS User selektiert werden. Eine deutliche Anzahl an iPhone Nutzern konnte für diesen Android-Usability-Test nicht berücksichtigt werden, was wiederum die Sinnhaftigkeit bestätigt, beide Betriebssysteme für die Endnutzer bereitzustellen, damit die App eine möglichst breite Anwendung erreicht. Die Testpersonen luden sich die Beta-Version auf ihr eigenes Smartphone und erkundeten selbständig und ohne spezielle Hinweise oder Einführung die Funktionen und Inhalte der App. Danach wurden die Testpersonen für die *plastic³⁶⁰* Applikation mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens befragt. Den Probanden wurden 11 Fragen zur Person, Anwendbarkeit, Qualität der Inhalte, Bereitschaft zur Nutzung und Weiterempfehlung vorgelegt. Abschließend wurde um Verbesserungsvorschläge und Nennung möglicher Fehlerbilder gebeten. Nachfolgend sind die genauen Fragestellungen mit den entsprechenden Antwortoptionen aufgelistet:

1) **Name**

Klicken Sie hier, um Text einzugeben.

2) **Tätigkeit**

Schüler Lehrer/Ausbilder Wissenschaftl. Mitarbeiter Sonstiges

3) **Welche App Version testen Sie?**

Android iOS

4) **Bewerten Sie die Übersichtlichkeit der Anwenderoberfläche.**

Sehr gut Gut Angemessen Schlecht Sehr schlecht

5) **Bewerten Sie die Anwenderfreundlichkeit (z. B. intuitive Bedienung).**

Sehr gut Gut Angemessen Schlecht Sehr schlecht

6) **Bewerten Sie die Aufbereitung der App-Texte (in Bezug auf die Verständlichkeit für SuS*).**

Sehr gut Gut Angemessen Schlecht Sehr schlecht

7) **Bewerten Sie die Video-Qualität bezüglich Inhaltes und Aufbereitung.**

Sehr gut Gut Angemessen Schlecht Sehr schlecht

8) **Bewerten Sie die Gamification-Elemente.**

(Nutzungszeitrechner, Abbauzeiten – wird derzeit noch erstellt, Designe Deine Verpackung, Unnützes Wissen und Foto Rallye).

Sehr gut Gut Angemessen Schlecht Sehr schlecht

9) **Würden Sie die App *plastic³⁶⁰* weiterempfehlen?**

Ja Nein

10) **Würden Sie die App *plastic³⁶⁰* selbst nutzen?**

Ja Nein

11) **Haben Sie Verbesserungsvorschläge, Anmerkungen oder gefundene Bugs?**

Auswertung

Insgesamt nahmen an dem Usability-Test für die Android Beta- Version 6 Personen teil. Darunter waren 3 Lehrer/innen und 3 wissenschaftliche Mitarbeiter/innen. Trotz der limitierten Grundgesamtheit lassen sich daraus die folgenden Informationen gewinnen. Die Probanden bewerteten die Benutzerfreundlichkeit der App insgesamt positiv, wie aus *Abbildung 15* hervorgeht. Besonders positiv stechen mit den meisten *sehr gut* Bewertungen die Videos hervor. Hier wurden insgesamt nur 5 Stimmen abgegeben, da die Videos auf einem Endgerät aufgrund von schlechter Internetverfügbarkeit nicht abspielbar waren.

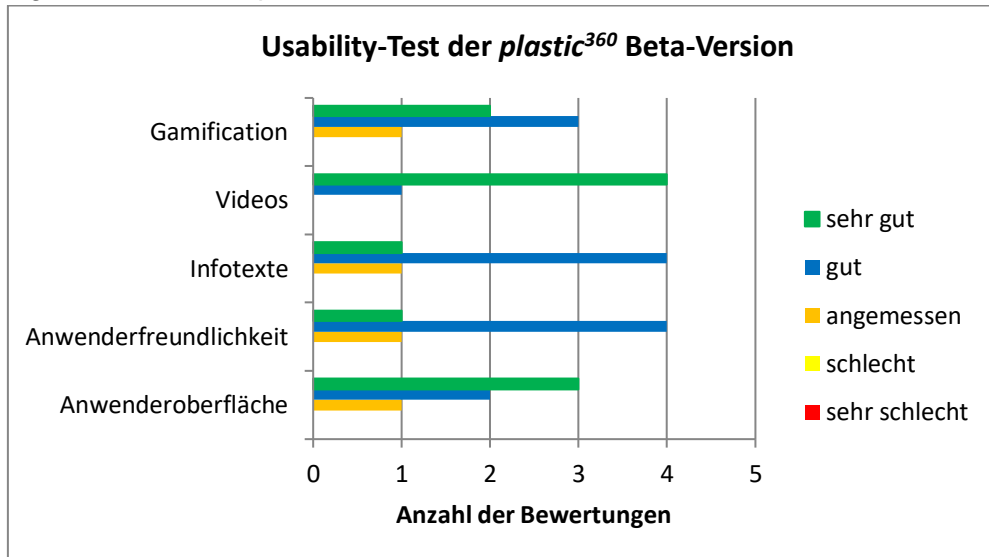


Abbildung 15: Auswertung der Benutzerfreundlichkeit für die *plastic³⁶⁰* Beta-Version

Die Nutzer sind im Allgemeinen mit der App zufrieden mit Bewertungen zwischen sehr gut bis angemessen. Die Lehrer beurteilten die Fragen sogar ausschließlich mit sehr gut und gut. Alle würden sie weiterempfehlen und alle drei Lehrer würden die App auch selbst zum Einsatz bringen. Abschließend ist auch eine Liste von hilfreichen Tipps, Änderungswünschen und Korrekturen entstanden, die dem App-Entwickler zur Verfügung gestellt wurde. Darunter sind folgende Fehlerbeschreibungen oder Verbesserungswünsche zu finden, in Klammern steht die getroffene Maßnahme:

- Rechtschreib- und Satzzeichenfehler (→ Korrektur der Fehler)
- Missverständliche Texte, Abbildungen oder Beschriftungen (→ Korrektur der Fehler)
- Heruntergeladene Videos sind nicht immer zuverlässig abspielbar (→ Video Format geändert)
- App lässt sich erst ab Android Version 8 installieren (→ kann aufgrund der App Store Vorgaben nicht geändert werden)
- Erweiterung des Lebenszyklus, Finger muss zu weit bewegt werden (→ Bewegungsradius wurde verringert)
- Über die Lebenszyklusansicht sollte man direkt ins jeweilige Modul gelangen (→ durch Antippen gelangt man in die Modulübersicht)
- Langer Fließtext mit eingestreuten Quizfragen auflockern, um generell die Interaktivität zu erhöhen (→ hoher Programmieraufwand, der nicht umgesetzt werden konnte)

- Ein Glossar für Fachbegriffe wäre wünschenswert (→ könnte noch in den Downloadbereich mit aufgenommen werden, aktuell aber nicht geplant)
- Foto-Rallye, eigentliche Aufgabe bzw. Auswertung noch unklar (→ Vernetzung auf Sozialen Medien ergänzt)
- Wenn man in einem Untermodul gelesen hat und zurück in die Übersicht geht, verliert man den Überblick wo man gerade her kam und wo man weiterlesen muss (→ Man könnte noch eine Anzeige einbauen, um die abgeschlossenen Unterpunkte anzuzeigen, aber da wäre das Problem zu entscheiden, wann etwas als durchgearbeitet markiert werden soll. Es würde mehr Verwirrung schaffen als Übersichtlichkeit)

Ergebniszusammenfassung der Testanwendungen der Beta-Version

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass ohne Usability Untersuchungen die *plastic*³⁶⁰ Applikation nicht die gewünschte Anwenderfreundlichkeit erlangt hätte. Kleinigkeiten wie falsche Benennung von Buttons, unpassend formulierte Textstellen, Unklarheiten bei der Bedienung, Missverständnisse bei grafischen Darstellungen sind so zu Tage gekommen und konnten behoben werden. Nicht alle Hinweise konnten technisch umgesetzt werden, da sie die Gesamtfunktionalität nicht entscheidend verbessert hätten oder der Aufwand in der Umsetzung sehr hoch gewesen wäre, so z. B. bei Quizfragen mit Auswahlmöglichkeiten für lange Textpassagen.

2.2.7 Fertigstellung der App

Die App wurde im September 2020 in den Google Play Store und Apple App Store hochgeladen und nach internen Prüfungen der Stores freigegeben. Dort ist die App nun für alle interessierten Personen kostenfrei zugänglich.

Abbildung 16 zeigt die Zusammenführung aller Inhalte. Dazu gehören Infotexte, Gamification, Videos, Foto-Rallye (als eigenständiger Teil der Gamification) und Zusatzmaterialien pro Modul. Zur Fertigstellung der App gehört auch das Erstellen einer Datenschutzerklärung, des Impressums, Quellenangaben von Bildern sowie die Bereitstellung einer Projektseite mit eigenem Downloadbereich (Integration auf der SKZ Homepage). Über Links in der App wird der Nutzer auf die Projektseite bzw. den Downloadbereich geführt. Es wurde ein eigener YouTube Kanal erstellt, um auch Videos in HD-Auflösung bereitstellen zu können.



Abbildung 16: Modulübersicht mit Untermodulen und Legende

2.3 AP 3 – Unterrichtsreihen

2.3.1 Didaktische Konzepte

In diesem Kapitel sollen zunächst die didaktischen Konzepte und die Rahmenbedingungen einer Unterrichtseinheit erläutert werden, bevor im Abschnitt 2.3.2 dann die Unterrichtsreihen konkret beschrieben werden.

Im Hinblick darauf, dass von Lernenden in Zukunft sowohl eigene Entscheidungen als auch eigene Lösungsansätze von ökologischen, ökonomischen und politisch-gesellschaftlichen Problemen erwartet werden, ist es Ziel dieser Unterrichtssequenzen, Kompetenzen im Bereich des selbstregulierten Lernens zu fordern und zu fördern.

Die Lernenden sollen die Kompetenz entwickeln, eigenständig Quellen zu finden, auszuwählen, zu analysieren, zusammenzufassen und aus ihnen eigene Produkte, wie Lösungsvorschläge und Kompromisse, zu entwickeln. Die SuS werden dabei für die Aspekte der Kreislaufwirtschaft im Kontext der Kunststoffe sensibilisiert und sollen diese bewerten (Kompetenzbereich Bewertung lt. Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz) und mithilfe des aus den Quellen erworbenen Wissens eigene Schlüsse ziehen. Die Lernenden sollen durch die selbstständige Recherche ihre eigene Meinung entwickeln und wissenschaftlich fundieren. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, den Lernenden kognitive und metakognitive Strategien zu vermitteln, die sie dabei unterstützen, zukünftige eigenständige Lernprozesse zu steuern und zu vollziehen.

Um die Förderung im Rahmen des Chemieunterrichts zu ermöglichen, muss vor allem eine Methode gewählt werden, welche eine Förderung der Kompetenzen des selbstregulierten Lernens ermöglicht. Dazu stehen direkte und indirekte Methoden zu Verfügung [14]. Eine direkte Förderung ist aufgrund des sehr kompakten Lehrplans im Rahmen des Chemieunterrichts nicht möglich, weshalb vor allem auf indirekte Methoden zurückgegriffen werden muss. Bei diesen ist es vor allem von Bedeutung, eine Lernumgebung zu schaffen, die selbstreguliertes Lernen ermöglicht und einfordert [14]. Die Schaffung einer solchen Lernumgebung kann im Rahmen besonderer Unterrichtsmethoden, wie Planarbeit, Stationsarbeit und Projektarbeit geschehen [14]. Im Rahmen dieser Unterrichtssequenzen sollen vor allem die Methoden der Projektarbeit und Stationsarbeit integriert werden, wobei ein vollständig schülergesteuerter Projektunterricht aufgrund seiner Definition und den Anforderungen des Lehrplans nicht möglich ist. Im Folgenden wird auf die didaktische Organisation, die Methoden und die Hintergründe eingegangen, welche für das Gelingen des Einsatzes des Lernkonzepts der Unterrichtssequenz von besonderer Bedeutung sind. Es wurden im Kontext von Zulassungsarbeiten zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt durch zwei Studierende der Universität Würzburg zwei Unterrichtsreihen, jeweils für Realschule und Gymnasium entwickelt.

Projektunterricht und Portfolio-Arbeit (Realschule)

Im Rahmen der abgeschlossenen Zulassungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen mit dem Titel „*Stärkung der Circular Economy durch Entwicklung eines Lernkonzepts zum Einsatz der Virtual-Reality-App des Projekts plastic³⁶⁰ im Rahmen des Chemieunterrichts der Realschule in Bayern*“ erfolgte die inhaltliche Ausarbeitung.

Die App *plastic³⁶⁰* kann lehrplanmäßig Anwendung im Chemieunterricht der 10. Klasse der Realschule in Bayern finden. Sie kann jedoch auch im Rahmen von Projektwochen von Schülern der 9. Jahrgangsstufe eingesetzt werden. Darüber hinaus ist das Thema Kunststoffe in den Lehrplänen aller Bundesländer verankert.

Die Unterrichtssequenz zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft durch Sensibilisierung von Schüler/innen und Lehrkräften wird in der Realschule in der Regel gegen Ende der zehnten Jahrgangsstufe zum Einsatz kommen. An diesem Punkt befinden sich die Lernenden direkt vor den

Abschlussprüfungen der Realschule in Bayern und damit kurz vor dem Ende ihrer Schullaufbahn. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei dem Fach Chemie in der bayerischen Realschule um kein Abschlussprüfungsfach handelt, herrscht bei den SuS zu diesem Zeitpunkt häufig eine verringerte Motivation sich auf den Chemieunterricht zu konzentrieren. Auf der anderen Seite bringen die Schülerinnen und Schüler die maximalen im Realschulverlauf erwerbenden Kompetenzen mit in den Unterricht. An diesem Punkt können die Lernenden soweit als möglich in ihrer Selbstständigkeit gefordert werden, da sie kurz vor der Entlassung aus der Schule und somit direkt vor dem Eintritt in die Arbeitswelt stehen.

In *plastic*³⁶⁰ wird die Selbstständigkeit der Lernenden gefördert, um eine tiefere Auseinandersetzung mit den Inhalten und daraus folgend eine Sensibilisierung für die Problematik Kunststoffabfälle und Förderung der Kreislaufwirtschaft zu erreichen. Dies wird durch Elemente des projektorientierten Unterrichts und des Portfolioprinzips erreicht, sodass die Lernenden im Rahmen des Lehrplans möglichst selbstgesteuert lernen können.

Der Fokus des Projekt- und projektorientierten Unterrichts liegt besonders auf der Durchführung selbstregulierter Lernprozesse. Bei der Gestaltung des Projektunterrichts können eine Vielzahl von Aspekten betrachtet werden, wobei mehrere unterschiedliche Unterrichtsformen, wie z. B. Wochenplanarbeit, freie Arbeit, Lernen an Stationen, Werkstattarbeit, Frontalunterricht und Exkursionen gleichzeitig Anwendung finden können. Wiedenhorn beschreibt die Umsetzung der Portfolio-Arbeit auf folgende Art und Weise. „Das Lernvorhaben selbst gleicht einem selbstständigen Forschungsprojekt unter Aufsicht und mit Betreuung von Experten, wobei die Forschenden ihren Lernprozess selbst dokumentieren und reflektieren“ [15].

An dieser Stelle kann die Portfolioarbeit mit dem projektorientierten Charakter des Lernkonzepts verknüpft werden. Das Portfolio ist in der Lage, die inhaltliche Basis zur Projektgestaltung zu bilden und ermöglicht es den Lernenden und der Lehrperson, die Recherchearbeit und den Lernprozess individuell nachzuvollziehen.

Strukturiert offene Unterrichtsformen erfordern eine gute Planung, damit den Lernenden auch genügend Material und Zeit zur Verfügung steht, um selbstständiges Lernen zuzulassen. Deshalb kann zusammenfassend die Durchführung der Sequenz auf drei organisatorische Bereiche reduziert werden.

- Die Organisation durch die Lehrkraft
- Die Durchführung durch die Lernenden
- Die Produkte als Ergebnis der Sequenz

Im Rahmen der vorrangigen Organisation ist es notwendig sich mit folgenden Fragen auseinanderzusetzen.

Die Voraussetzungen beinhalten die Schülervoraussetzungen, Raumplanung, Verfügbarkeit von Internetzugängen, Handyverfügbarkeit der Schüler sowie Experimentierausstattung. Hinzu kommen zeitliche Aspekte und die rechtliche Absicherung des BYOD-Prinzips (*Bring Your Own Device*) von mobilen Endgeräten. Neben der App *plastic*³⁶⁰ und dem ergänzenden Zusatzmaterial sollten den Lernenden weitere Medien zur Verfügung gestellt werden. Dabei können verschiedene Schul- und Fachbücher zum Einsatz kommen, Artikel oder Sonstige Quellen, und andere sonstige Medien zum Einsatz kommen. Diese müssen durch die Lehrperson ausgewählt und gegebenenfalls mit einem Quellcode versehen werden.

Sind die oben genannten organisatorischen Voraussetzungen gegeben, so kann mit der Sequenz im Unterricht begonnen werden. Zunächst werden die Lernenden nach den von ihnen gewählten Schwerpunkten in Gruppen eingeteilt. Diese Gruppen erhalten die übergeordnete Aufgabe sich zu ihrem Schwerpunkt ein Projektprodukt zu überlegen und dieses mithilfe von Informationen aus der

App *plastic³⁶⁰* und den ergänzenden Medienangebot (vgl. *Abbildung 17:*) in Rücksprache mit der Lehrkraft zu entwickeln und am Ende der Sequenz den anderen Gruppen vorzustellen. Für die Produktgestaltung gibt es endlos viele kreative Möglichkeiten, vom Produzieren von Präsentationen mit PowerPoint über die Erstellung eigener Erklärvideos, Bildercollagen, digitale Zeitschriften und Podcasts, der Aufnahme von Diskussionsrunden bis hin zu themenorientierten Social-Media-Aktionen.

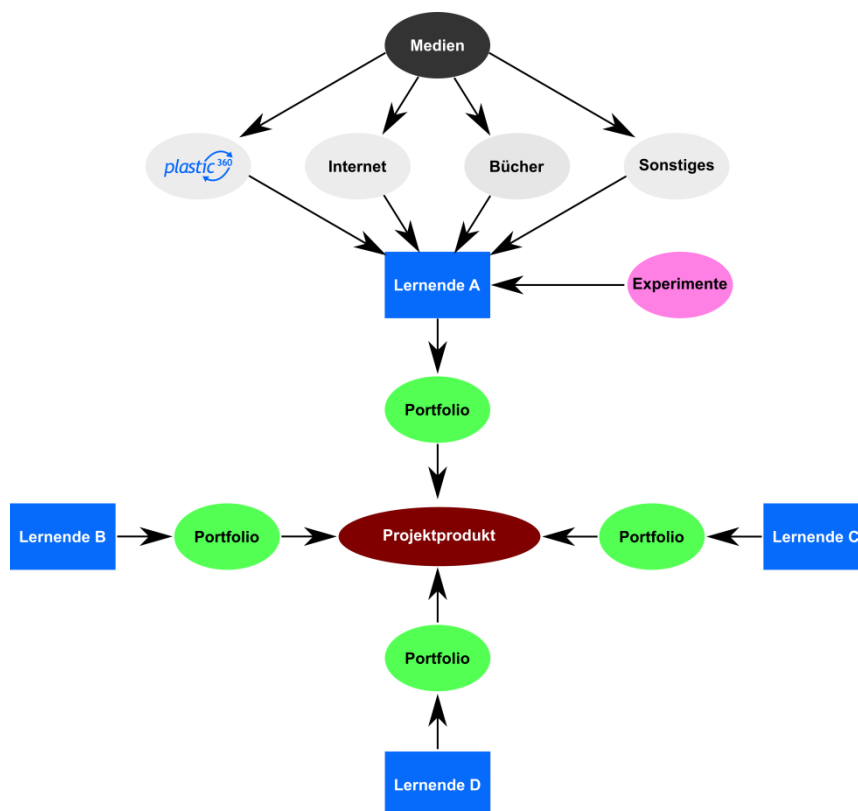


Abbildung 17: Informationsfluss während der Unterrichtssequenz zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft

Als Grundlage für das Projektprodukt erstellen die Lernenden zunächst jeweils ein eigenes Projekt-Portfolio, welches Exzerpte von Quellen, Projektentwürfen und -besprechungen sowie Reflektionen und Vorprodukte enthält. Um diesen Prozess zu unterstützen erhalten die Lernenden Vorlagen zur Erstellung der Exzerpte, Zugriff zu einer Quellenstation, mit den durch die Lehrperson zur Verfügung gestellten Medien und einer Experimentierstation an der die Lernenden in der Lage sind einfache Versuche zu Kunststoffen und Biopolymeren durchzuführen. Am Ende der Sequenz steht das entwickelte Projektprodukt der Lernenden. Das Portfolio soll es ermöglichen den Aufwand und Lernfortschritt der Lernenden für den Fall, dass das Projektprodukt nicht rechtzeitig fertiggestellt wird, nachzuvollziehen.

Damit die Lernenden einen Überblick in alle wichtigen Themengebiete der Unterrichtssequenz erhalten, können die Inhalte der anderen Schwerpunkte durch abschließende Präsentationen an die Mitschülerinnen und Mitschüler vermittelt werden.

Stationsarbeit (Gymnasium)

Aktuell (Stand November 2020) entsteht eine Zulassungsarbeit zur inhaltlichen Ausarbeitung zur Unterrichtsreihe an Gymnasien. Vollständig einzuordnen ist die Projektarbeit zur Sensibilisierung der SuS für Kunststoffkonsum und Kreislaufwirtschaft, nach bayerischem LehrplanPlus, in den Fachlehrplan Chemie.

Der Themenbereich ist im Lernbereich C12 3.2 Synthetische Makromoleküle - Werkstoffe nach Maß der 12. Jahrgangsstufe verortet. Da die App nicht ausschließlich fachliche vertiefte Inhalte anspricht, ist es auch möglich das Projekt im Rahmen von Projekttagen in der Sekundarstufe I durchzuführen. Ähnlich wie bei der Realschule ist auch am Gymnasium die Abschlussklasse (Jgst. 12) betroffen. Die SuS sind in dieser Zeit besonders mit den Abiturvorbereitungen befasst. Daher bleibt wenig Zeit, die neue Unterrichtsreihe in den regulären Unterricht zu integrieren. Demzufolge ist sie primär für den ergänzenden Projektunterricht geeignet. Mit dem Ziel, dass sich die SuS das Lernthema überwiegend selbständig an mehreren im Klassenraum installierten Lernstationen erarbeiten, bildet die Stationsarbeit eine weitere Form des Offenen Unterrichts.

Dazu werden an den Stationen Pflicht- und Wahl-(Zusatz-)aufgaben vorgegeben. Diese sollen mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Materials (App, Zusatzmaterialien, Zeitungsartikel, Computer, etc.) bearbeitet werden. In der Reinform können die Lernenden die Bearbeitungsdauer einer Station und die Reihenfolge der Stationen selbst bestimmen. Die Arbeit an den Stationen geschieht meist in heterogenen Kleingruppen, um sich gegenseitig beim Lernprozess zu unterstützen [16].

Zu Beginn der Stationsarbeit mit *plastic*³⁶⁰ werden die SuS in Kleingruppen von 2-4 Personen eingeteilt. Für die Bearbeitung einer Station sind von Seiten der Lehrkraft mindestens 90 Minuten einzuplanen. Die Gruppen bearbeiten mit den vorgegebenen Materialien die Arbeitsaufträge ihrer Station. Sollten sie vorzeitig ihre Arbeit abgeschlossen haben, so steht eine Zusatzaufgabe an jeder Station zur Verfügung. Die Lehrkraft begleitet die Gruppen an den Stationen, dient als Berater und gibt notfalls Hilfestellungen und Anregungen zur Bearbeitung. Zudem soll die Lehrperson den Arbeitsfortschritt und die Arbeitsteilung der Gruppen kontrollieren, um Auswirkungen hinderlicher Lerneffekte, wie Trittbrettfahren, soziales Faulenzen oder den Trotteleffekt zu begrenzen. Nach der vorgegebenen Arbeitszeit werden die Stationen systematisch (1>2>3>4>1...) gewechselt. Wenn genug Raum verfügbar ist, ist es auch denkbar alle Stationen mehrfach anzubieten und den SuS die freie Stationswahl zu lassen, solange sie am Ende der Stationsarbeit alle Stationen bearbeitet haben.

Die Arbeitsergebnisse der Gruppen können abschließend in der Klasse oder in der Schule ausgestellt oder als Informationsmaterial ausgelegt werden. Die zusammengetragenen Informationen haben das Potential die Schulgemeinschaft zum Nach- und Umdenken anzuregen, um neue Wege beim Einsatz von Kunststoffen und Recycling zu eröffnen.

Der Einsatz im alltäglichen Unterricht ist durch den hohen Zeitaufwand erschwert. Jedoch ist es möglich, dass die Lehrperson jeder Gruppe eine Station zuweist. Die SuS haben die Aufgabe, die Arbeitsaufträge in einer Doppelstunde durchzuarbeiten. In einer weiteren Stunde stellen die Gruppen ihre Ergebnisse der Klasse vor. Abschließend sollte eine Diskussion angeregt werden (z. B. mit einem scharfzüngigen Zitat), um festzustellen, ob die Einheit die SuS zum Nach- und Umdenken angeregt hat.

2.3.2 Inhaltliche Ausarbeitung der Unterrichtsmodule unter Einbindung der App und der Wissensgrundlagen aus AP 1

***plastic*³⁶⁰ als Plattform für Kompetenzerwerb**

Die Struktur von *plastic*³⁶⁰ wurde so gewählt, dass sie den Kompetenzerwerb im Chemieunterricht unterstützt. Die App bildet eine grundlegende Basis für den Aufbau von Fachwissen, die Möglichkeit Fachsprache zu nutzen, Informationen aus verschiedenen Arten von Quellen zu erschließen und diese in eigenen Produkten aufzubereiten. Gleichzeitig schafft sie Gelegenheiten, durch Experimente und deren Auswertung die Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung zu erweitern. Durch den Einsatz der eigenen Geräte im Unterricht können die Lernenden intrinsisch motiviert werden. Zu den positiven Einflüssen gehört deshalb die Annahme, dass die Lernleistung

und Motivation der Lernenden gesteigert und das Autonomieerleben verstärkt wird [6]. Der Einsatz von Tablets und Smartphones wird kognitionspsychologisch durch den lebensweltlichen Bezug für die Lernenden gerechtfertigt [6]. Dabei generiert die App Situationen, um die Kommunikation anzuregen. Der Themenbereich Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen konfrontiert die Lernenden mit Situationen, in denen sie in der Lage sind, eigene Meinungen zu bilden, diese zu hinterfragen, Problemstellungen zu begegnen und daraus Handlungsoptionen abzuleiten. Die Videos der *plastic³⁶⁰* App vermitteln den Lernenden eine Vielzahl an lebensweltbezogenen Themen, welche sie direkt oder indirekt betreffen. In Kombination mit Formen des selbstregulierten Lernens dient die App als Plattform, die es den Lernenden ermöglicht, ihren Interessen während des Kompetenzerwerbs nachzugehen und zu vertiefen.

a) Umsetzung des Lernkonzepts für die Realschule

Die Unterrichtssequenz beinhaltet einen zeitlichen Rahmen von fünf Unterrichtseinheiten á 45 Minuten, welche im LehrplanPlus der Realschule in Bayern verortet sind. Durch ergänzende Exkursionen und Projekttage oder Projektwochen (mehr Zeit), welche von den Lehrer/innen genutzt werden, kann diese zeitliche Vorgabe jedoch individuell erweitert werden. Dabei kann die Sequenz, im Rahmen des lehrplanmäßigen Unterrichts stattfinden oder auch im Rahmen von speziellen Projekttagen und -wochen zum Einsatz kommen. In Bayern bietet besonders die Woche der Gesundheit und Nachhaltigkeit, welche jährlich in der 42. Kalenderwoche stattfindet, einen geeigneten Rahmen, um diese Projektsequenz losgelöst vom regulären Chemieunterricht an der Realschule durchzuführen.

Durch die leichte Verfügbarkeit sind die Lernenden bereits zu Hause vor Beginn des Projektunterrichts in der Lage, sich einen Überblick über das Thema Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen zu verschaffen. Dabei helfen vor allem die Startseite, sowie die Kurzvorstellungen der einzelnen Module. Bereits vor dem ersten Projekttag können sich individuelle Interessen der Lernenden herauskristalisieren, sodass die Planung des Projekts in der Schule erleichtert wird.

Während des Projektunterrichts bietet die App eine umfassende Quelle von Fachwissen und Informationen und gleichzeitig Impulse für ein Projektprodukt. Dabei hilft die App bei der Orientierung und sollte mit weiteren Quellen, wie Büchern, Flyern, Videos etc. kombiniert werden, sodass den Lernenden ihre Kompetenzen im Umgang mit Quellen erweitern. Das ist besonders dahingehend wichtig, da die Lernenden kurz vor ihren Schulabschlüssen stehen und damit bald selbstständig und ungeleitet Informationen aus Quellen extrahieren und hinterfragen müssen.

Quellenarbeit mit *plastic³⁶⁰*

Während des Projektunterrichts mit *plastic³⁶⁰* sollen die Lernenden ihre Kompetenzen im Umgang mit Informationsquellen vertiefen. Die Lernenden sollen Quellen kritisch hinterfragen und miteinander vergleichen. Zu diesem Zweck wurde für *plastic³⁶⁰* ein Zitiercode entwickelt, mit dem Informationen auf einem einfachen Weg zitiert werden können. Dieser vierstellige Code soll das Arbeiten mit Quellen vereinfachen, wobei die Lernenden gleichzeitig daran gewöhnt werden die von ihnen verwendeten Quellen anzugeben. Mit Hilfe des Quellcodes soll wertvolle Zeit gespart werden, welche sonst für das Notieren langer Quellenbezeichnungen benötigt würde. Andere zur Verfügung gestellte Quellen, wie Bücher, Flyer, Ausdrücke können mit einem vierstelligen Quellcode versehen werden, um die Arbeitsweise einheitlicher zu gestalten.

Es empfiehlt sich eine Liste mit den Materialien zu erstellen, auf der die Quellcode diesen zugeordnet sind. Diese Liste kann dann zusammen mit den Materialien an einer Quellenstation, an einem gut zugänglichen Ort im Klassenzimmer, ausgelegt werden. Auf diese Weise können die Lernenden auf

der Liste sehen welche Materialien vorhanden sind, auch wenn diese gerade von einer anderen Gruppe verwendet werden. An der Quellenstation können auch Ausdrücke des Zusatzmaterials ausgelegt werden.

Die Liste sollte im besten Fall laminiert werden, sodass die Lernenden sich mit einem nicht-wasserfesten Marker eintragen können, wenn sie ein Material ausleihen. Dadurch können andere Gruppen die Materialien schneller in der Klasse finden.

Experimentieren im Projektunterricht

Um das Experimentieren im selbstgesteuerten Unterricht zu ermöglichen, sollte neben der Quellenstation eine Experimentierstation aufgebaut werden, an der die benötigten Chemikalien und Geräte zur Durchführung der Versuche in kleinen Kisten vorbereitet sind. Dabei können eigene Versuche oder auch Versuche aus dem Zusatzmaterial verwendet werden. Die Versuche aus dem Zusatzmaterial sind einfach und selbstständig und auch ohne Abzug durchführbar. Um das Experimentieren an einer einzelnen Station im Klassenzimmer zu organisieren, sollte ein Terminplan erstellt werden, welcher es den Lernenden ermöglicht für ihre Gruppen Zeiten an der Experimentierstation zu reservieren. Auf diese Weise wird das Geschehen an der Versuchsstation für die Lehrperson übersichtlicher und es werden Wartezeiten vermieden.

Unterrichtsmaterialien

Im Sinne der geforderten Eigeninitiative und um die Kreativität bei der Findung eines Projektprodukts möglichst wenig einzuschränken, wird auf klassische Unterrichtsmaterialien wie Arbeitsblätter verzichtet. Es wird empfohlen, mit den Lernenden die Techniken des Mind-Mappings und Concept-Mappings anzuwenden, sodass sie auf diese Weise den Modulen der App begegnen. Durch diese Techniken wird den Lernenden der Aufbau vernetzten Wissens erleichtert, sodass ausgehend von diesem vernetzten Wissen interessante Fragestellungen oder Initiativen für ein individuell gestaltetes und entwickeltes Projektprodukt entstehen können.

b) Umsetzung des Lernkonzepts für das Gymnasium

Die App ist in die vier Teilgebiete *Konsum und Verantwortung*, *Kunststoffe in der Umwelt*, *Entsorgung und Recycling* und *Rohstoffe und Verarbeitung* unterteilt. Somit bietet es sich an, das Projekt ebenfalls in diese vier Stationen zu gliedern. Die Stationen sind so aufgebaut, dass diese innerhalb eines App-Moduls bearbeitet werden können. Für die fachliche Tiefe werden Zusatzmaterialien aktiv eingebaut.

Für jede Station wurde ein eigenes Unterrichtskonzept erstellt (vgl. *Tabelle 4* bis *Tabelle 7*), welches sich in 5 Unterpunkte gliedern lässt:

- Lernziele (beschreibt die Kenntnisse und Fähigkeiten, die die SuS erlangen sollen),
- Projektprodukte (geforderte Arbeitsergebnisse der SuS),
- Durchführung (Ablauf der Stationsarbeit),
- Arbeitsaufträge (Aufgaben, die durch die SuS zu bearbeiten sind) und
- Materialien (bereitzustellende Arbeitsmaterialien, die für die Durchführung der Station nötig sind).

Vor Beginn der Stationsarbeit sollte die Lehrkraft auf die Foto-Rallye der App *plastic³⁶⁰* hinweisen. Es ist außerdem sinnvoll, über die gesamte Dauer des Projektes hinweg, den SuS die Möglichkeit zu geben, eigene Fotoaufnahmen zur Visualisierung der einzelnen Arbeitsergebnisse beizutragen.

Tabelle 4: Unterrichtskonzept für Station 1 – Konsum und Verantwortung

Station 1 – Konsum und Verantwortung	
Lernziele	<ul style="list-style-type: none"> • SuS können Kunststoffprodukte im Alltag erkennen und ihre Notwendigkeit erklären. • SuS können Vor- und Nachteile des Kunststoffeinsatzes in verschiedenen Anwendungsbereichen gegeneinander abwägen.
Projektprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • In Station 1 erarbeiten sich die SuS eine Übersicht über die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von Kunststoffen im Alltag und in der Industrie. • Die Gruppe soll eine Übersichtstafel erstellt haben. Darauf sollen Beispiele gesammelt und nach dem erzeugten Abfall/Stunde verglichen werden. • Am Ende wird die Frage erörtert, auf welche Kunststoffartikel man verzichten könnte, welche Alternativen es dafür gäbe oder ob manche unverzichtbar für unseren Lebensstil geworden sind.
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Zum Einstieg in die Station erforschen die SuS das 360° Bild der App. Hier stehen sie in einem Raum und können sich umschauen. Es sind verschiedene Kunststoffartikel „versteckt“. Die Schüler/-innen sollen schätzen wie viele Artikel aus Kunststoff in dem Raum vorhanden sind. • Anschließend sollen sie in der App die ersten beiden Textabschnitte bearbeiten. In „Produktion und Funktion von Kunststoffen“ erhalten sie Zahlen und Fakten zur Kunststoffproduktion und Kunststoffabfallproduktion. • Im Untermodul „Kunststoffkonsum und Verzicht“ lernen sie die Funktion des Kunststoffabfallrechners, an den Beispielen der Zahnbürste, der Einkaufstüte und des Smartphones kennen (siehe auch Zusatzmaterial KN+4_Der Kunststoffabfallrechner), um den Rechner später selbst an weiteren Beispielen anzuwenden. • Um die angesprochenen Inhalte zu vertiefen teilen sich die Gruppen auf. Die Informationstexte aus dem Zusatzmaterial „KN+1_Kunststoffeinsatz in der Medizintechnik“, „KN+2_Kunststoffeinsatz in der Landwirtschaft“, „KN+3_Kunststoffeinsatz im Bausektor“, „KN+5_Kunststoffe als Verpackung“ werden gleichmäßig auf die Gruppenmitglieder verteilt. Die Lernenden sollen die Funktionen und Aufgaben der Kunststoffe in der Branche herausarbeiten und sich Gedanken machen, ob Kunststoffe ersetzbar sind. • Anschließend stellen sich die Gruppenmitglieder gegenseitig die Themengebiete vor und diskutieren über den Einsatz von Kunststoffen. Die gewonnenen Informationen sollen als Gruppenergebnis in einer Übersichtstafel festgehalten werden. Hier ist es den SuS überlassen, ob sie ein Plakat, eine Mindmap, Concept-Map oder ähnliches gestalten.
Arbeitsaufträge	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wie viele Kunststoffartikel kannst Du im 360°-Bild – Im Raum mit Kunststoffen entdecken? 2. Bearbeitet die ersten beiden Textabschnitte „Produktion und Funktion von Kunststoffen“, „Kunststoffkonsum und die ausliegenden Texte. Teilt das Zusatzmaterial gleichmäßig auf die Gruppenmitglieder auf und stellt eure Erkenntnisse den anderen Gruppenmitgliedern vor. 3. Erstellt eine Übersicht über den Einsatz von Kunststoffen im Alltag. Gebt dabei Beispiele an und „ranked“ sie nach dem Abfall/Stunde. Eine Übersicht Deiner gespeicherten Ergebnisse findest Du über die Favoriten-Funktion im Rechner. Je größer der Wert, desto besser ist es die Nutzungsdauer des Gegenstandes zu verlängern. 4. ZUSATZ: Überlege, wie Du die Nutzungsdauer Deiner Gegenstände erreichen kannst und oder ob Kunststoffe ersetzbar sind. Entscheide selbst wie sinnvoll diese Umsetzung wäre. Denn bei Produkten (z. B. aus der Medizin) muss auch immer der Nutzen berücksichtigt werden. Diskutiere mit Deinen Mitschülern darüber.
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Endgeräte mit der vorab installierten App plastic³⁶⁰ – Die Videos sollten heruntergeladen sein, wenn keine dauerhafte Internetverbindung in der Schule verfügbar ist. • Zusatzmaterialien (als Ausdruck oder auf einem Tablett bzw. Handy) aus „Modul 01 Rohstoffe und Verarbeitung“ • Bastelmaterial (Scheren, buntes Kartonpapier, Kleber, etc.) zur Erstellung von analogen Projektprodukten

Tabelle 5: Unterrichtskonzept für Station 2 – Kunststoffe in der Umwelt

Station 2 – Kunststoffe in der Umwelt	
Lernziele	<ul style="list-style-type: none"> SuS können Mikro- und Makroplastik anhand der Definition unterscheiden. Sie können den Weg des Kunststoffes in die Umwelt beschreiben und die Auswirkungen auf die Umwelt benennen und erklären. SuS können den Mikroplastikkreislauf erläutern und Auswirkungen von Mikroplastik auf Tiere und Menschen abschätzen. SuS kennen Abbauezeiten von alltäglichen Materialien und können die unterschiedlichen Zeiten begründen.
Projektprodukte	<ul style="list-style-type: none"> Die SuS sollen mit Umweltverschmutzung der Erde durch Kunststoffe in Kontakt kommen. Um die Lernenden zum Nachdenken anzuregen wird mit den Basstölpeln auf Helgoland ein nationales Umweltproblem aufgegriffen. Ebenfalls sollen sie sich in ihrer eigenen Umgebung nach Umweltverschmutzungen umschaun und selbst Ideen entwickeln die Verschmutzung einzudämmen. Am Ende der Station sollen die Gruppen einen Flyer entwerfen, indem sie auf die Umweltverschmutzung in ihrer Umgebung aufmerksam machen und Lösungsansätze vorschlagen.
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> Mit dem Video „Basstölpel auf Helgoland“ erfolgt der Einstieg in die Station 2. Die SuS erkennen, wie Kunststoffe das Leben von Tieren erschweren und beenden können. Das Video soll motivieren sich darüber hinausgehend über Probleme der Umweltverschmutzung zu informieren. Mit den Informationstexten „Wie gelangt Makroplastik in die Umwelt“ und Umweltproblematik und Abbaubarkeit“ erarbeiten sich die Lernenden eine Wissensgrundlage. Anschließend sollen sie selbst aktiv werden und Umweltverschmutzungen im Umkreis der Schule dokumentieren und Bilder für ihren Flyer sammeln. Die Foto-Rallye der Applikation kann die Nutzer/-innen dabei unterstützen. Weiter sollen sich die SuS über Mikroplastik informieren, um auch diese Problematik in ihren Flyer aufnehmen zu können. Die App bietet dafür eine Definition und Quellen von Mikroplastik an. Die SuS erhalten die Abbildung der Top 10 Quellen von Mikroplastik und sollen sich mit Hilfe der App und eines Computers klar machen, wie Mikroplastik in den 10 Bereichen entsteht. Für den Flyer sollen die SuS zudem eigene Lösungsansätze entwickeln, wie man die Müllverschmutzung vermeiden kann. Sie können sich dabei in der App durch ein Videointerview mit Leonie Prillwitz (Mikrofaserfilter für die Waschmaschine entwickelt), oder dem Informationstext „Kampf gegen Kunststoffe im Meer“ inspirieren lassen. Eine weitere Aufgabe für die Lernenden ist es, die Abbauezeiten von verschiedenen Alltagsgegenständen zu visualisieren. Beispielhaft könnte ein Zeitstrahl entworfen werden, wobei alle in der Gamification „Abbauezeiten im Meer“ vorgegebenen Gegenstände eingetragen werden. Als Zusatzaufgabe steht die Frage im Raum, warum Kunststoffe, Holz und Baumwolle unterschiedliche Abbauezeiten besitzen, obwohl die Grundbausteine (Kohlenwasserstoffketten) der Moleküle gleich sind.
Arbeitsaufträge	<ol style="list-style-type: none"> Schaut Euch das Video Basstölpel auf Helgoland an. Lest anschließend die Texte in dem App Modul 02 „Wie gelangt Makroplastik in die Umwelt“, „Umweltproblematik und Abbaubarkeit“, „Was ist Mikroplastik“, und „Quellen von Mikroplastik“. Macht euch dabei bewusst, wie Mikroplastik in den einzelnen Quellen entsteht. Nutzt dafür Bücher oder das Internet. Entwickelt eigene Ideen, wie Ihr die Umweltverschmutzung und das Littering vermeiden könnt. Zur Inspiration könnt Ihr das Interview mit Leonie Prillwitz anschauen und den Text „Kampf gegen Kunststoffe im Meer“ lesen. Gestaltet einen Zeitstrahl mit den verschiedenen Abbauezeiten von Alltagsgegenständen. Nutzt für die Informationsgewinnung das Quiz „Abbauezeiten im Meer“ und ergänzt es mit weiteren Gegenständen. Sammelt eure Befunde und Ideen in einem Flyer zum Thema Umweltverschmutzung. Gestaltet euren Flyer mit eigenen Bildern und Grafiken. ZUSATZ: Warum benötigen Kunststoffe im Allgemeinen mehr Zeit, um vollständig zersetzt zu werden, obwohl Holz, Baumwolle und Kunststoffe aus denselben Grundbausteinen (Kohlenwasserstoffketten) bestehen?
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Endgeräte mit der installierten App plastic³⁶⁰ – Die Videos sollten vorab heruntergeladen sein, wenn keine dauerhafte Internetverbindung in der Schule verfügbar ist Zusatzmaterialien (als Ausdruck oder auf einem Tablett bzw. Handy) aus Modul 02 „Kunststoffe in der Umwelt“ Bastelmaterial (Scheren, buntes Kartonpapier, Kleber, etc.) Zugang zu einem Computer mit Drucker, zum Drucken von Bildaufnahmen

Tabelle 6: Unterrichtskonzept für Station 3 – Entsorgung und Recycling

Station 3 – Entsorgung und Recycling	
Lernziele	<ul style="list-style-type: none"> • SuS können die drei Verwertungswege für Kunststoffe differenzieren und erklären. • SuS kennen verschiedene Trennverfahren für Kunststoffe und können sie anwenden. • SuS können das System der Kreislaufwirtschaft beschreiben.
Projektprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • Lernende sollen das Prinzip der Kreislaufwirtschaft und dessen Wichtigkeit verstehen. Dafür soll der Kreislauf mit Bildern und Erklärungen erstellt werden (z.B. Infotafel, Plakat). • Weiter sollen sie zu dem Zitat: „Recycling ist der Antrieb der Kreislaufwirtschaft“ Stellung beziehen und Trennverfahren aus der Industrie kennenlernen. Diese sollen im Schulmaßstab simuliert und getestet werden.
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Zu Beginn der Station bekommen die SuS ein Gemisch aus verschiedenen Kunststoffarten, Weißblech und Aluminium präsentiert. Ihre Aufgabe besteht darin das Gemisch möglichst sortenrein aufzutrennen. Dafür liegen an der Station verschiedene Geräte bereit, welche für den Trennprozess verwendet werden können. Eine Versuchsanleitung, für Lehrkräfte, befindet sich im Zusatzmaterial „ER+10_Versuchsanweisung Trennen von Inhalten aus dem Gelben Sack“ von Modul 03 „Recycling und Entsorgung“. • Um die Aufgabe zu bewältigen steht den Schüler/-innen die Handy-App und ausliegendes Zusatzmaterial ER+4 bis ER+9 aus Modul 03 „Entsorgung und Recycling“ zu verschiedenen industriellen Trennverfahren (Windsichten, Wirbelstromscheider, Magnetscheider, Sink-Schwimm-Verfahren) zur Verfügung. Dabei sollen ihr Lösungsweg und die Lösung als Video oder Skript dokumentiert werden. • In der zweiten Aufgabe wird die weitere Verwertung der getrennten Kunststoffe betrachtet. Hier lernen die SuS die energetische (auch thermische Verwertung genannt), werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung kennen, indem sie den Abschnitt „Verwertungswege“ im Modul Entsorgung und Recycling bearbeiten. Die Lernenden sollen die Wege in Tabellenform charakterisieren. • Weiter sollen die SuS die Kreislaufwirtschaft darstellen (Plakat, Infotafel, etc.). In der App erhalten sie dabei Informationen aus den Texten „Recycling als Antrieb der Kreislaufwirtschaft“ und „Die Kreislaufwirtschaft am Beispiel der PET-Flasche“ Weitere Informationen können über einen Computer mit Internetzugang hinzugezogen werden. Dabei sollten die Schüler/-innen auf eine korrekte Zitierweise achten. Abschließend sollen sie die Kreislaufwirtschaft der Linearwirtschaft gegenüberstellen und Vor- und Nachteile abwägen. • Den Abschluss der Station bildet ein Video aus der Müllsortierungsanlage in Rehau (Bayern). Hier wird in fast 6 Minuten der Recyclingprozess und dessen Schwierigkeiten nochmals dargestellt und vom Wertstoffhelfer Stefan Böhme erläutert. • Zusatz für P-Seminare: In Anlehnung an das Zusatzmaterial zu Modul 03 / Trennverfahren mittels Nahinfrarotspektroskopie stehen auf Anfrage Informationen über den Bau einer auf diesem Prinzip beruhenden Trennanlage en miniature zur Verfügung • In der Zusatzaufgabe können die Lernenden ihr Wissen nutzen, um eine möglichst umweltfreundliche und recyclingfähige Verpackung eines Joghurtbechers zu entwerfen. In der Gamification „Designe deine Verpackung“ können sie zwischen verschiedenen Materialien, Etiketten, Farben und Deckeln wählen. Die App bewertet anschließend die Recyclingfähigkeit in den Punkten Kosten, Stabilität der Verpackung, Schutz des Lebensmittels, Markenerkennung und Recyclingfähigkeit. Es besteht die Möglichkeit aus der Aufgabe einen Wettbewerb zu gestalten, welche Gruppe die „beste“ Verpackung entwirft. Die Vergleichskriterien legt dabei die Lehrkraft fest. Mögliche Bewertungskriterien: Niedrigste Kosten, höchster Schutz des Lebensmittels oder höchste Recyclingfähigkeit

Station 3 – Entsorgung und Recycling	
Arbeitsaufträge	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trenne das Stoffgemisch aus dem Versuch „Trennen von Inhalten aus dem Gelben Sack“ sortenrein voneinander. Dokumentiere deinen Lösungsweg mit einem Video oder beschreibe die Durchführung. Nutze dabei die ausliegenden Zusatzmaterialien ER+4 bis ER+9 und den Text aus der App „Mülltrennung ermöglicht Recycling“ (Modul 03 „Entsorgung und Recycling“). 2. Charakterisiere und vergleiche die drei Verwertungswege. Nutze dazu den Textabschnitt „Verwertungswege“ im App Modul 03 „Entsorgung und Recycling“. Fertige dazu eine übersichtliche Tabelle an. 3. Erstelle mit den Informationen aus dem Text „Recycling als Antrieb der Kreislaufwirtschaft“ und Die Kreislaufwirtschaft am Beispiel der PET-Flasche“ eine visuelle Darstellung des Kreislauf. Beschreibe die einzelnen Abschnitte kurz. 4. Wäge Vor- und Nachteile der Kreislaufwirtschaft im Gegensatz zur Linearwirtschaft ab. 5. ZUSATZ: Entwerfe in der Gamification „Designe deine Verpackung“ eine möglichst recyclingfähige, gut schützende und kostengünstige Joghurt-Verpackung. Vergleiche eure Ergebnisse mit anderen Gruppen.
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Endgeräte mit der installierten App plastic³⁶⁰ – Die Videos sollten vorab heruntergeladen sein, wenn keine dauerhafte Internetverbindung in der Schule verfügbar ist • Zusatzmaterialien (als Ausdruck oder auf einem Tablett bzw. Handy) aus Modul 03 „Entsorgung und Recycling“ • Bastelmaterial (Scheren, buntes Kartonpapier, Kleber, etc.) • Zugang zu einem Computer mit Drucker, zum Drucken von Bildaufnahmen • Für den Versuch: Föhn, Sieb, Becherglas, Wasser, Salz, Magnet, simulierter Inhalt eines gelben Sacks (verschiedene Kunststoffe, Weißblechdosen, Kartonverpackung (z. B. Tetra Pak), Aluminiumdose, Erde)

Tabelle 7: Unterrichtskonzept für Station 4 – Rohstoffe und Verarbeitung

Station 4 – Rohstoffe und Verarbeitung	
Lernziele	<ul style="list-style-type: none"> • SuS können Biopolymere und Polymere auf Erdölbasis an der Bezeichnung und in deren Herstellung unterscheiden. • SuS können den Aufbau eines Polymers beschreiben und Additive und deren Aufgaben benennen. • SuS können ein Biopolymer herstellen und die Polymerisation (der Stärke oder Milchsäure) auf Molekülebene erklären. • SuS können die Arten von Kunststoffen benennen und deren daraus resultierenden Eigenschaften beschreiben.
Projektprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • Die Lernenden sollen einen ökobilanziellen Vergleich zwischen Polyethylen aus Erdöl und Polyethylen aus Zuckerrohr führen. Sie sollen schließlich bewerten können, wie sinnvoll der Einsatz von Biokunststoffen ist. • Weiter sollen sie selbst eigene biologisch abbaubare Kunststoffe herstellen.
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Zu Beginn bearbeiten die SuS die Informationstexte „Fossile Rohstoffe“ und „Biokunststoffe“ im Modul 04 „Rohstoffe und Verarbeitung“. Sie sollen eine kurze Gegenüberstellung zwischen einem Kunststoff aus Rohöl und Biokunststoffen erstellen. • Es stellt sich die Frage welcher Kunststoff besser für die Umwelt ist, da auch Biokunststoffe Nachteile haben. Um die Frage beantworten zu können, lesen die SuS den Text „ökobilanzieller Vergleich von PE-LD und Bio-PE Folien“. Am Beispiel einer Polyethylen-Folie werden die Ökobilanz und die Bewertung der Umweltwirkung erarbeitet. • Darüber hinaus haben die SuS die Aufgabe den Zusatzmaterialtext über „RV+1_Additive in Kunststoffen“ zu lesen, um anschließend den Zeitungsartikel der Süddeutschen Zeitung zu analysieren und Stellung dazu zu beziehen. • Eine weitere mögliche Aufgabe umfasst die Zuordnung verschiedener Kunststoffprodukte (Reifenabschnitte, Schuhsohlen, Klemmbausteine, ...) aus dem Alltag zur richtigen Kunststoffart (Elastomer, Thermoplast, Duroplast) zuzuordnen. • Abschließend erhalten die SuS die Aufgabe, selbst ein Biopolymer aus Stärke herzustellen. Dafür soll im Zusatzmaterial die „RV+6_Versuchsanweisung Herstellung eines Biopolymers“ genutzt werden. Optional kann die Lehrkraft eine weitere Versuchsanweisung bereitstellen, um z. B. ein Biopolymer aus Milchsäure herzustellen.
Arbeitsaufträge	<ul style="list-style-type: none"> • Lest die Textabschnitte „Fossile Rohstoffe“ und „Biokunststoffe“ aus Modul 4 „Rohstoffe und Verarbeitung“. • Beantwortet die Frage: „Welche Kunststoffart belastet die Umwelt mehr?“ Wägt die Antwort genau ab! Dazu stehen Euch die Texte „ökobilanzieller Vergleich von PE-LD und Bio-PE Folien“ und der Zusatzmaterialtext „RV+1_Additive in Kunststoffen“ zur Verfügung. Begründet eure Antwort. • Stellt selbst ein Biopolymer aus Stärke (nach dem Zusatzmaterial „RV+6_Versuchsanweisung Herstellung eines Biopolymers“) her. • Analysiert den Zeitungsartikel Biokunststoffe in der Spielwarenindustrie. Schreibt eine kurze Stellungnahme zu dem Artikel, indem ihr eure Meinung zur Umstellung der Produktion auf Biokunststoffe klarstellt.
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Endgeräte mit der installierten App plastic³⁶⁰ – Die Videos sollten vorab heruntergeladen sein, wenn keine dauerhafte Internetverbindung in der Schule verfügbar ist • Analoge oder digitale Zusatzmaterialien RV+1 und RV+6 (als Ausdruck oder auf einem Tablett) aus Modul 04 „Rohstoffe und Verarbeitung“ • Zeitungsartikel der Süddeutschen Zeitung „Lego stellt auf Biokunststoffe um“ • Elastomere, wie Reifen, Gummibänder, Dichtungen, Neopren,... • Thermoplasten, wie Kabelisolierung, PET-Flaschen, Kunststoffzahnräder, Spritzen, Teflon, Styropor,... • Duroplasten, wie Harze, Lacke, Holzleim, Textilfasern, ...

2.3.3 Entwicklung von adressatengerechten Unterrichtsversuchen

Das Experimentieren mit Kunststoffen sorgt für einen spannenden, abwechslungsreichen und anschaulichen Chemieunterricht. Für SuS und Lehrkräfte wurden 5 chemische Experimente zusammengestellt. Alle Experimente haben einen inhaltlichen Bezug zu Kunststoffen (Mikroplastik, Mülltrennung, Biopolymer und Thermoplaste) und können einfach vorbereitet und durchgeführt werden. Für jedes Experiment gibt es eine Versuchsanweisung als Zusatzmaterial (siehe Abschnitt 2.2.3 Einbindung der Wissensgrundlagen und des Video Contents aus AP 1), welche alle wesentlichen Informationen, vom Versuchsaufbau bis hin zu den Gefahrenhinweisen, beinhaltet. Wie alle Zusatzmaterialien können die Versuchsanweisungen kostenlos über den Downloadbereich der plastic³⁶⁰ Projektseite heruntergeladen werden:

<https://www.skz.de/Zusatzmaterialien-zu-Modulinhalten-der-plastic360-App.html>

Zusätzlich können zu drei Experimenten kurze Lehrfilme in der *plastic³⁶⁰* App angeschaut werden. Dies ist vor allem dann von Vorteil, wenn während des regulären Schulunterrichts keine freien Kapazitäten zur Verfügung stehen, um mit Schüler/innen aktiv die Experimente durchzuführen. Neben den verfügbaren Zusatzmaterialien folgen hier inhaltliche Beschreibungen der Unterrichtsversuche:

[KU+2] Versuchsanweisung *Mikroplastik aus Kosmetik* (auch als Video verfügbar):

Viele Kosmetikprodukte enthalten Kunststoffpartikel. Diese erfüllen in den Produkten verschiedene Aufgaben. Hierzu gehört das Binden von Inhaltsstoffen. Darüber hinaus dienen sie als Füllmittel oder als Filmbildner – „für ein geschmeidiges Hautgefühl“. Die für diese Aufgaben eingesetzten Partikel sind überwiegend wasserlöslich, sie lassen sich nicht einfach herausfiltern. Teilweise werden Mikroplastikpartikel aber auch als Schleif- und Peelingmittel verwendet. Diese Partikel sind nicht wasserlöslich und können demnach aus dem Shampoo, Waschpeeling, Duschgel oder der Zahnpasta herausgefiltert werden.

Beim Experiment werden eine feste und eine flüssige Phase mit Hilfe eines Filters getrennt. Die eingesetzten Filterpapiere besitzen eine spezifische Porengröße. Partikel kleiner als 5 µm (durchschnittliche Porengröße eines Kaffeefilters) können das Filterpapier durchdringen, wohingegen Größere am Filterpapier hängen bleiben. Der Rückstand kann dann bewertet werden (z. B. über Gewichtsmessungen).

[KU+3] Versuchsanweisung *Nachweis von Mikroplastik* (auch als Video verfügbar):

Durch Van-der-Waals-Wechselwirkung lagert sich der Farbstoff Nilrot an Kunststoffpartikel an. Da in einem polaren Lösemittel der Abstand zwischen Anregungs- und Emissionswellenlänge der Fluoreszenz am größten ist, empfiehlt sich als Lösemittel Aceton einzusetzen. Der angelagerte Farbstoff wird anschließend mit einer Wellenlänge von 530 nm angeregt, wodurch die Mikroplastikpartikel, unter dem Fluoreszenzmikroskop, gelb-rot fluoreszieren. Somit erfolgt der Nachweis von Mikropartikeln. Diese können weiter analysiert werden, wie z. B. mit Größemessungen etc.

[ER+10] Versuchsanweisung *Trennen von Inhalten aus dem Gelben Sack*:

Bei der Trennung der Verpackungsabfälle werden die diversen Eigenschaften der enthaltenen Stoffe genutzt. Zum Heraussortieren des Blechs wird dessen magnetische Eigenschaft verwendet. Um leichte Stoffe abzutrennen wird mit dem Föhn ein Windscheider simuliert. Der Luftzug trägt die Stoffe durch ihre geringe Dichte aus der Box. Um die restlichen Kunststoffe weiter zu trennen, kann die unterschiedliche Dichte ausgenutzt werden. Die Polymere mit der geringeren Dichte schwimmen in einem Wasserbad an der Oberfläche, wohingegen die Stoffe mit einer hohen Dichte auf den Boden des Becherglases sinken. Genauere Erläuterungen zu den theoretischen Hintergründen der einzelnen Trennverfahren sind ebenfalls in den Zusatzmaterialien ER+4 bis ER+9 nachzulesen. Die SuS simulieren mit einfachen Mitteln eine Sortieranlage und lernen die Trennung nach Materialeigenschaften z. B. durch Dichte kennen.

[RV+6] Versuchsanweisung *Herstellen eines Biopolymers* (auch als Video vorhanden):

Stärke ist ein Polysaccharid (Mehrfachzucker) mit der Summenformel $(C_6H_{10}O_5)_n$, welches aus aneinander geketteten α -D-Glucose-Einheiten ($C_6H_{12}O_6$) besteht. Ein Teil (20-30 %) der Stärkekettchen liegt als Helix-(Schraub-)Struktur vor (Amylose). Der Großteil besteht aus einer stark verzweigten Struktur (Amylopektin). Guarkernmehl (Guaran ($C_{18}H_{30}O_{15}$)_n) ist dabei wie die Stärke auch ein Polysaccharid, jedoch aus β -D-Mannose und Galactose-Einheiten aufgebaut. Die

Monomere sind ebenfalls zu Ketten mit verzweigten Strukturen verknüpft und haben folglich ähnliche Eigenschaften wie die Stärke.

Beim Verrühren der Pulvermischung mit Wasser quellen Stärke und Guarkernmehl auf. Auf der Teilchenebene lagern sich Wassermoleküle in die spiralförmigen Strukturen der Glucose- bzw. Mannose-Ketten ein. Es entsteht ein sogenannter Stärkekleister, welcher durch das Erhitzen im Waffeleisen unter Abgabe überschüssigen Wassers abbindet und später aushärtet. Das entstandene Bio-Polymer ist einer der gebräuchlichsten Vertreter der Biokunststoffe und wird oft für Verpackungsfolien eingesetzt. Die SuS lernen die Herstellung eines Bio-Polymers aus natürlichen Ressourcen.

[RV+7] Versuchsanweisung *Umschmelzen eines Thermoplasten*:

Die Polymerstränge der thermoplastischen Kunststoffe sind einfache Ketten ohne oder mit wenig Verzweigungen und ohne Quervernetzungen. Diese sind in der amorphen Form wie ein Wollknäuel miteinander verbunden. Beim Erhitzen gleiten die einzelnen Ketten aneinander vorbei. Der Thermoplast lässt sich dadurch leicht verformen. Beim Auskühlen erstarrt die Bewegung der Ketten wieder und das Material härtet aus.

Ob ein Thermoplast bei Raumtemperatur hart oder weich ist, hängt von der sogenannten „Glasübergangstemperatur“ ab. Liegt diese oberhalb (bzw. unterhalb) der Raumtemperatur ist der Kunststoff weich (bzw. hart). Thermoplaste, die einen Schmelzbereich bei relativ niedrigen Temperaturen besitzen, können leicht durch Umschmelzen zurück zu gebrauchsfähigen Kunststoffen verwertet werden.

2.3.4 Ausarbeitung eines Transfermoduls für Lehrerfortbildungen

Der grundsätzliche Wissenstransfer für Lehrer/innen und Schulen erfolgt über eine Lehrerhandreichung bzw. die *plastic³⁶⁰* Anleitung in PDF-Format. Diese bieten den Vorteil, dass sie den unterschiedlichsten Einrichtungen oder Personen z. B. Lehrkräfte, Schulen, Eltern, Multiplikatoren, Ministerien, Netzwerken oder online Plattformen problemlos zur Verfügung gestellt werden können und somit als universelles Marketinginstrument zur Verbreitung der App nutzbar werden. Zusätzlich ist das PDF-Dokument auf der Projektseite [Link zu plastic360 Downloadbereich](#) abrufbar.

In der Lehrerhandreichung sind alle wichtigen Inhalte der App anschaulich aufbereitet. Sie bietet Lehrer/innen zudem Informationen darüber, wie Sie die App in den Unterricht einbinden können. Die sog. *plastic³⁶⁰* Anleitung gliedert sich in drei Hauptabschnitte, beginnend mit dem technischen Teil, der die Funktionen der App erläutert und somit eine Hilfestellung für jeden Anwender bietet. Darauf folgt der didaktische Teil mit dem Fokus auf offene Projektarbeit nach dem Model des selbstregulierten Unterrichts und der Stationsarbeit. Diesem Abschnitt schließen sich die Unterrichtsmaterialien an, die gleichzeitig den letzten Teil der Anleitung darstellen. Die zwei letzten Abschnitte beinhalten besonders für Lehrer/innen nützliche Informationen.

Auf Basis der Darstellungen aus der *plastic³⁶⁰* Anleitung kann speziell für Lehrerfortbildungen mit Präsenz ohne viel Aufwand eine Power-Point Präsentation erstellt werden, die wiederum unmittelbar auf die Teilnehmer/innen zugeschnitten werden kann und aktuelle Einflüsse berücksichtigen kann.

Ursprünglich war die erstmalige Lehrkräftefortbildung durch die Universität Würzburg und das SKZ im letzten Projektmonat (18) geplant, doch auch hier hat die Corona-Pandemie die Durchführung unmöglich gemacht. Nach Projektende wird mindestens eine Lehrerfortbildung am SKZ stattfinden. Entsprechend der Nachfrage und dem Interesse der Lehrer/innen wird das Angebot für die nächsten

Jahre aufrechterhalten. Fortbildungsveranstaltungen im Videokonferenz-Format werden in diesem Fall als nicht zielführend erachtet.

2.3.5 Aufbereitung und Bereitstellung (online) der Unterrichtsmaterialien

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden die Unterrichtsmaterialien in gebündelter Form als *plastic*³⁶⁰ Anleitung bzw. Lehrerhandreichung zunächst auf der Projektseite bereitgestellt ([Link zu Lehrerhandreichung](#)). Nach Projektende werden die Informationen auf drei verschiedenen Plattformen öffentlich bekannt gemacht.

Speziell Lehrer sollen auf eigens für sie zugeschnittenen Plattformen angesprochen werden und der Zugang zu den Unterrichtsmaterialien ermöglicht werden:

- Mebis (ein Internetportal des bayerischen Kultusministeriums)
- Lehrer-Online (Internet Portal für Lehrer zum schulischen Einsatz neuer Medien)
- Chemie-Lehrer Fortbildung am SKZ
- Das SKZ erstellt Flyer, die an Schulen versendet werden

Diese Punkte sind auch in Kapitel 4 Kommunikationskonzept, Fortführung und Perspektiven aufgenommen worden.

2.4 AP 4 – Lernmodul Schülerlabor

Schülerlabore als außerschulischer Lernort, erfreuen sich weltweit großer Beliebtheit. Im September 2020 verzeichnete der Bundesverband der deutschen Schülerlabore LernortLabor insgesamt 386 Schülerlabore in ihrem Schülerlabor-Atlas [17]. Darunter sind auch die in diesem Projekt erwähnten Schülerlabore, das SKZ-Lab und das M!ND-Center der Universität Würzburg zu finden. Mit beiden Laboren wurde für die Ausarbeitung eines didaktischen Konzepts zum Einsatz der *plastic*³⁶⁰ App in Schülerlaboren kooperiert. Es sind daraus zwei Methoden entstanden, die es Schüler/innen im Kunststofftechnologieumfeld des SKZ und dem chemisch-wissenschaftlichen Kontext der Universität Würzburg ermöglichen, Themen der Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen zu erleben und fokussiert durch Arbeitsaufträge und Experimente zu bearbeiten.

Die ausgewählten Schülerlabore werden von unterschiedlichen Institutionen betrieben und verfolgen neben gemeinsamen Primärzielen, wie z. B. das Verständnis von Naturwissenschaften zu fördern, ganz unterschiedliche Sekundärziele. Dazu erläutert O. J. Haupt, Geschäftsführer des *LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabor e.V.*: „So möchte zum Beispiel eine Universität in den MINT-Fächern gute Studienanfänger bekommen und ihren Lehramtsstudierenden anhand des Schülerlabors eine gute und praxisnahe Fachdidaktik-Ausbildung angedeihen lassen. [...] Unternehmen der Großindustrie oder Forschungseinrichtungen, bei denen Schülerlabore zum Beispiel zur Abteilung Öffentlichkeitsarbeit gehören, betreiben mit ihren Schülerlaboren auch Werbung um spätere Fachkräfte, nutzen ihre Schülerlabore aber gleichzeitig zur Information über ihre Arbeit und zur Imagepflege in der Region“ [18]. Die nun ganz differenzierten Strukturen der Schülerlabore, das SKZ-Lab fordert eher betriebliches Denken und das M!ND Center hat eher Interesse an einem starken Austausch zwischen dem Betreuer und den Lernenden im Rahmen von Experimenten, erfordern auch unterschiedliche konzeptionelle Aufbereitungen der Lernmodule. Genau aus diesem Grund wurde im Rahmen dieses Bildungsprojekts nicht nur eine Institution und ein Lernmodul festgelegt, sondern zwei, um mehr Input und Nutzen für deutsche Schülerlabore zu bieten.

2.4.1 Ausarbeitung des didaktischen Konzepts

Das Lernmodul für Schülerlabore orientiert sich hinsichtlich der didaktischen Konzeption an dem unter AP 3 für die Unterrichtsreihen beschriebenen Konzept (vgl. Abschnitt 2.3.1 Didaktische Konzepte) der Stationsarbeit als Teil der offenen Projektarbeit. Die Durchführung beider Schülerlabore erfolgt pädagogisch strukturiert: Lernende werden in Kleingruppen aufgeteilt und erhalten Arbeitsaufträge, die selbständig aber unter Begleitung einer oder mehrerer Betreuer, ausgeführt werden. Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass ein Besuch im Schülerlabor für Lernende primär motivationale Effekte hervorruft und erst durch weitere Teilnahmen sich nachweisbare kognitive Effekte einstellen [18]. Schülerlabore fallen unter die Kategorie der Breitenförderung und sind eine direkte Ergänzung des Schulunterrichts [18]. Daher wird es als sehr sinnvoll erachtet, die im Lehrplan verankerten Aspekte der Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe auch verstärkt in den Unterricht an außerschulische Lernorte zu transferieren. Somit werden die Arbeit im Team und das Interesse an Kreislaufwirtschaft gefördert.

Die Module, Zusatzmaterial, Videomaterial, Gamification-Elemente und Experimente der *plastic³⁶⁰* Applikation können den Lernenden, in dieser am selbstständigen Lernen orientierten Unterrichtsform, Anreize, Informationen und Möglichkeiten bieten, mit Hilfe ihrer Betreuer/innen, ein selbstgestaltetes Projektprodukt zu entwickeln. Die App-Module können auch ohne Vorwissen aus den anderen Modulen in der Stationsarbeit eingesetzt werden.

Die Bildungsstandards für den naturwissenschaftlichen Unterricht strukturieren die fachspezifischen Kompetenzen in vier Kompetenzbereiche: Aufbau von Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung von Sachverhalten [19]. Mit ihnen bewältigen die Lernenden einerseits die Komplexität z. B. chemischer Sachverhalte, vernetzen andererseits das exemplarisch und kumulativ erworbene Wissen. Diese Kompetenzbereiche werden in die Nutzung der *plastic³⁶⁰* App gestellt, vgl. *Tabelle 8*:

Tabelle 8: Kompetenzbereiche in der Anwendung der *plastic³⁶⁰* App

Kompetenzbereich	Anwendung der <i>plastic³⁶⁰</i> App
Fachwissen	Anknüpfung durch aktuelle Faktenlage, Begriffe und Prinzipien zum Thema Kreislaufwirtschaft durch Texte, Zusatzmaterial und Videos der App. Einführung der App als Recherchequelle und Nutzung von Content wie Texte, Gamification und Videos.
Erkenntnisgewinnung	Konkrete Arbeitsaufträge entlang des Lebenszyklus Kunststoffe: Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Arbeitstechniken anwenden.
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen: Projektprodukte erstellen. Gemeinsame Herausarbeitung der Aktualität und der Besonderheit des Kontextes.
Bewertung	In der Gruppe gemeinsame Herausarbeitung der Erkenntnisse und gleichzeitiges Hinterfragen der eigenen Schlussfolgerungen.

Die in *Tabelle 8* beschriebenen Kompetenzbereiche strukturieren gleichzeitig den groben Aufbau der Lernmodule. Bei der Entwicklung der Konzepte ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Umsetzung je nach Schwerpunkt des einzelnen Schülerlabors erfolgt. Folgend werden kurz die inhaltlichen und didaktischen Schwerpunkte des SKZ-Lab und des Lehr-Lern-Labor M!ND-Center Würzburg beschrieben.

SKZ-Lab

In sechs Teams simulieren Schüler/innen einen Kundenauftrag und bekommen auf schülergerechtem Niveau Einblick in Betriebsprozesse eines kunststoffverarbeitenden Unternehmens. Jugendliche sollen im SKZ-Schülerlabor die Möglichkeit erhalten, sich selbstständig Wissen zu erarbeiten, Zusammenhänge zu erkennen, Abläufe zu überblicken und eigenständige Entscheidungen zu treffen [20]. Die Teams erhalten Anleitung und Betreuung durch SKZ-Ausbilder. Sie entwickeln und formulieren Entwürfe, lernen den Umgang mit Maschinen und Werkzeugen, führen Berechnungen durch, überprüfen die Produktqualität und führen Verbesserungen aus. Das früher aus fünf Teams (Forschung, Kommunikation, Design, Finanzen und Technik) zusammengesetzte Schülerlabor wird nun durch das „Nachhaltigkeitsteam“ ergänzt [20]. Nachhaltigkeit ist im simulierten Unternehmen zu verbessern, wodurch Lernende auch im Alltag bewusst und umweltgerecht mit Kunststoffen umgehen lernen.

Lehr-Lern-Labor M!ND-Center Würzburg

Außerschulische M!ND-Lernorte, sind laut O. Haupt nur dann als Schülerlabor anerkannt, wenn die Schülerinnen und Schüler eigenständig experimentieren und diese Arbeitsweise schwerpunktmäßig verfolgt wird [18].

In den Lehr-Lern-Laboren experimentieren Schülerinnen und Schüler unter der Betreuung von Lehramtsstudierenden in den Laborräumen des Mathematisch-Informationstechnologischen und Naturwissenschaftlichen Didaktik-Center (M!ND-Center). Schülerinnen und Schüler experimentieren mit Geräten und Materialien, die in den Schulen in der Regel nicht vorhanden sind und erhalten zusätzlich einen Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen [21]. Die Didaktik der Chemie bietet zu dem Themengebiet Kunststoffe ein Lehr-Lern-Labore (LLL) mit variablen Stationen für Realschulen und Gymnasien an.

2.4.2 Entwicklung eines Moduls zur Einführung der Thematik und der App in Schülerlaboren

a) SKZ-Lab

Eine Schulklasse verbringt insgesamt sieben Stunden im SKZ-Schülerlabor, davon arbeiten sie effektiv drei Stunden (2 x 1,5 h) in den sechs Teams an ihren Arbeitsaufträgen. Dieser Zeitraum erscheint ausreichend für die inhaltliche Bearbeitung wichtiger Aspekte des gesamten Lebenszyklus von Kunststoffen. Dabei befassen sich die SuS mit vier Themenblöcken: *Produktion von Kunststoffen*, in *Kunststoffe in der Umwelt* steht Mikroplastik im Fokus, gefolgt von *Recycling der Motor der Kreislaufwirtschaft* und abschließend wird sich kritisch mit *Kunststoffkonsum und -verzicht* auseinandergesetzt. Die Arbeitsaufträge wurden möglichst kurz und prägnant formuliert, um den SuS einen schnellen Überblick über die Anforderungen zu geben und über Stichworte die Recherchearbeit zu erleichtern.

Neben den wichtigen Textelementen für eine faktenbasierte Recherche sind auch die Spiele *Designe Deine Verpackung* und der Nutzungsrechner für das unternehmerische Team Nachhaltigkeit von Relevanz. Das Vorhandensein von Videos wird zwar erwähnt aber kein starker Bezug darauf genommen, da das SKZ-Lab von Betriebsprozessen geprägt wird und diese selbst praxisnah abbildet. Die *plastic*³⁶⁰ Videos würden dazu keine zwingend nützliche Ergänzung bilden aber selbstverständlich bei Bedarf trotzdem genutzt werden. Eine PowerPoint Präsentation aller ermittelten Ergebnisse stellt das am Ende zu erreichende Projektprodukt dar, welche den anderen Teams vorgestellt werden soll.

An dieser Stelle folgt als Ergebnisdarstellung das Lernmodul für das SKZ-Lab in Form des Handouts für die Schüler/innen:

„Kunststoffabfälle werden zum Umweltthema und die Zeit drängt. Laut einer neuen Studie des Informationsdienstes IHS Markit verdoppelt sich der jährliche Verbrauch bis 2030 von zuletzt 185 Millionen Tonnen auf fast 400 Millionen Tonnen. Die wachsende Weltwirtschaft, der steigende Bedarf an Leichtbau-materialien im Automobilbau sowie neue Anwendungen in Medizin- und Elektrotechnik treiben den Kunststoffboom an. Die Masse davon wandert nach dem Gebrauch auf Mülldeponien und in Verbrennungsanlagen. In Europa wird nur jede dritte Tonne Plastikabfall wiederverwertet. Diese gigantischen Mengen Kunststoffabfälle sollten durch gezielte Verwertung und Aufbereitung der Abfälle genutzt werden, statt sie zu verbrennen oder in der Umwelt liegen zu lassen. Wie sieht es in Ihrem Unternehmen mit Kunststoffabfällen aus? Setzen Sie sich kritisch mit dem Thema auseinander und nutzen Sie als Wissensgrundlage die App *plastic*³⁶⁰.

Produktion von Kunststoffen

- Produzierte Mengen Kunststoff in Tonnen pro Jahr
 - In welchen Branchen werden Kunststoffe hauptsächlich eingesetzt und welche Mengen stehen dahinter?
 - Fossile vs. erneuerbare Ressourcen, alles hat seine Vor- und Nachteile
- (Informationen aus den App-Modulen 1+4)

Kunststoffe in der Umwelt – Mikroplastik

- Definition von Mikroplastik
- Quellen von Mikroplastik und jährlich freigesetzte Mengen pro Person in Deutschland mit Bezug auf die Kunststoffproduktion

- Erläutern sie den Vermeidungsansatz "Zero Pellet Loss" des Umweltministeriums unter <https://www.plasticseurope.org/de>
- Warum ist die Vermeidung von Mikroplastik so wichtig und welche Umweltwirkungen zeigt Mikroplastik ("Mikroplastikkreislauf")?

(Informationen aus dem App-Modul 2 inkl. Videos)

Recycling, der Motor der Kreislaufwirtschaft

- Verwertungswege und Verwertung in Zahlen
- Grenzen des Recyclings und Herausforderungen der Mülltrennung
- Designe Deine Verpackung – Beispiele für Kriterien zur recyclingfähigen Verpackung (spielen Sie gerne das dazugehörige Spiel in der App)

(Informationen aus dem App-Modul 3 inkl. Video)

Kunststoffkonsum und -verzicht

- Wir verwenden Kunststoffe heute fast überall. Dabei wäre es besser für uns und die Umwelt, häufiger auf sie zu verzichten. Oder doch nicht? Schauen Sie sich Ihren Alltag an. Wo sehen Sie Potential, auf Kunststoff verzichten zu können bzw. wo sind sie zwingend erforderlich? Für eine objektive Darstellung der Überlegungen nutzen Sie dafür gerne den Nutzungsrechner der App.
- Beschreiben Sie kurz die Nutzungsirrtümer von Plastiktüten im Vergleich zu Papiertüten und bewerten Sie deren Nachhaltigkeit

(Informationen aus dem App-Modul 1)

Diskutieren und überprüfen Sie mit den anderen Fachabteilungen, wie Sie die Nachhaltigkeit in Ihrem Unternehmen deutlich verbessern können. Abschließend stellen Sie Ihre Ergebnisse in einer PowerPoint Präsentation zusammen.

Nachhaltigkeit geht uns alle an!"

b) Lehr-Lern-Labor M!ND-Center Würzburg

Das *Lehr-Lern-Labor Kunststoffe* bietet sechs abwechslungsreiche Stationen mit großem experimentellem Anteil an. Für jede Station sind etwa 35 Minuten vorgesehen. Um den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen und Raum für weitere Bildungsprojekte zu schaffen, musste darauf verzichtet werden, den gesamten Lebenszyklus Kunststoffe in die Arbeit mit sechs Stationen umzuwandeln. Deshalb wurde eine für Schülerlabore typische Station erfolgreich mit Inhalten aus *plastic³⁶⁰* zum Thema Recycling überarbeitet.

Zwei zentrale Elemente wurden übernommen – fachliche Hintergrundinformationen aus AP 1 und Videomaterial als Einstiegssituation und in ein über 20 seitiges Betreuerskript überführt. Anstelle einer detaillierten Darstellung des umfangreichen Betreuerskripts ([Link zum Betreuerskript](#)), wird hier die Durchführung der Station beschrieben:

Die Lernenden finden an der Station einen gefüllten Gelben Sack vor. Es wird die Frage gestellt, welcher Müll in den Gelben Sack gehört. Die Lernenden werden aufgefordert, den Sack auszuräumen und jeweils zu diskutieren, ob der Müll korrekt entsorgt wurde oder nicht. Die Lernenden erläutern, nach welchen Kriterien sie die Müllbestandteile sortiert haben, und welche Kriterien relevant sind. Im Gespräch wird thematisiert, dass es verschiedene Kunststoffsorten gibt. Diese sind äußerlich nicht leicht zu unterscheiden und an den aufgedruckten oder eingepprägten Angaben zu identifizieren. Es entsteht die Frage, wie die einzelnen Kunststoffe und Metalle in den Sortieranlagen aufgetrennt werden können.

Erarbeitung 1: Drei Wege des Recyclings

Die Lehrkraft kündigt einen kleinen Film an und stellt den Lernenden folgende Beobachtungsaufträge: Nach dem Film sollt Ihr jeweils eine der genannten Trennmethode erklären können und die entstandenen Fraktionen aufzählen können.

Den SuS wird das Video Wertstoffreise: Die Sortieranlage ca. 5:55 Minuten gezeigt.

Nach dem Film werden die Lernenden aufgefordert, die von ihnen vorgenommene Sortierung mit den Fraktionen der im Film beschriebenen Trennung zu vergleichen. Es wird zu der Frage überleitet, was mit diesen Fraktionen geschieht. Die Lernenden diskutieren dies auf der Grundlage ihres Vorwissens. Die Lehrkraft kündigt an, dass es viele Möglichkeiten des Recyclings gibt und wir uns nun erst einmal einen Überblick verschaffen wollen. Die Lernenden erhalten die zerschnittene, laminierte Grafik mit der Aufforderung, das Recycling-Wege-Puzzle sinnvoll zusammensetzen und zu identifizieren, welche Recyclingwege der Film beschrieben hat. Im Diskurs mit der Lehrkraft erkennen die Lernenden, dass ein werkstoffliches Recycling vorgenommen wurde.

Die

plastic³⁶⁰ für zu Hause: Vertiefende Informationen zur Kunststoffsortierung in den Zusatzmaterialien: *Magnetscheider* [ER+4], *Recyclingvorgang im Detail* [ER+5], *Rohstofflichen Verwertung – Vergasung* [ER+6], *Schwimm-Sink-Verfahren* [ER+7], *Windsichten* [ER+8] und *Wirbelstromscheider* [ER+9].

Lehrkraft fragt, welcher dieser Recyclingwege der erstrebenswerteste ist und warum. Die Vor- und Nachteile der Wege werden diskutiert. Die entsprechenden Argumente und Assoziationen werden auf dem Labortisch mit Hilfe von Kreide im Sinne einer Concept-Map um die Grafik herum ergänzt. In der Diskussion wird thematisiert, dass die Weiterverarbeitung zum Regranulat nur mit Thermoplasten möglich ist. Ein solches Recycling dürfen die Lernenden im Folgenden durchführen:

Versuch – Recycling eines Thermoplasten nach eigener Versuchsbeschreibung

plastic³⁶⁰ für zu Hause: Im Zusatzmaterial ist die Versuchsanweisung *Umschmelzen eins Thermoplasten* [RV+7], für eine eigene Nachstellung des Versuchs zu finden.

Erarbeitung 2: Hochwertige Rezyklate durch bessere Trennung

Die Lehrkraft kehrt mit den Lernenden zu den sortierten Kunststofffraktionen zurück. Sie spricht an, dass chemisch verschiedene Kunststoffe äußerlich sehr ähnlich aussehen, aber dennoch getrennt werden müssen. Mit Verweis auf die Grafik und den Film erinnert sie daran, dass möglichst sortenreine Fraktionen erreicht werden müssen. Sie fordert die Lernenden auf, Ideen zu äußern, wie eine sortenreine Auftrennung der Fraktionen erreicht werden könnte. Falls die Lernenden den Begriff der „Dichte“ nicht nennen, erfragt ihn die Lehrkraft oder nennt schließlich die Dichte als für das Trennen hilfreiche Eigenschaft. Die Lernenden werden aufgefordert, aufgrund ihres Vorwissens die Definition der Dichte zu nennen bzw. ihr Verständnis von Dichte zu artikulieren. Die Lehrkraft verweist zur Orientierung auch auf die entsprechende Tabelle auf dem Poster.

Versuch – Sink-Schwimm Verfahren nach eigener Anweisung

plastic³⁶⁰ für zu Hause: Für eine theoretische Vertiefung steht in der App das Zusatzmaterial *Schwimm-Sink Verfahren* [ER+7] zur Verfügung.

Erarbeitung 3: „Recycling“ ist nicht gleich „Duales System“!

Die Gruppe kehrt zu den sortierten Fraktionen zurück und die Lehrkraft verweist auf die Fraktion der Störstoffe. Sie erinnert an die Aussagen von Herrn Böhme im Video der sagt, dass sein Betrieb

immer wieder große Mengen an Störstoffen und Fehlwürfen aussortieren muss. Die Lehrkraft fragt, ob man eine Kunststoffzahnbürste oder einen Kunststoffstrohhalm im Gelben Sack entsorgen darf. Die Lernenden diskutieren dies.

Abschließend erläutert die Lehrkraft, dass nur Verpackungen, die außen um ein Produkt liegen in den Gelben Sack dürfen, die nicht aus Glas oder Papier sind. Da es sich bei einer Zahnbürste oder bei einem Strohhalm aber nicht um ein Verpackungsmaterial handelt und sich das System des Gelben Sackes (Duales System) ausschließlich über Verpackungshersteller finanziert, müssen die beiden Kunststoffabfälle rein rechtlich gesehen im Restmüll entsorgt werden, wo sie in der Regel einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

plastic³⁶⁰ für zu Hause: Weitere Informationen zu der Thematik Duales System können die SuS privat im Modul 03 *Entsorgung und Recycling* → Untermodul: *Mülltrennung ermöglicht Recycling* der App nachlesen und verstehen.

2.4.3 Einbindung der Wissensgrundlagen aus AP 1

Dem Team Nachhaltigkeit des SKZ-Lab stehen die vier App-Module zur Verfügung, um Fragestellungen für das Team zu recherchieren. Die Schüler/innen werden mit einer neuen Lebenswelt konfrontiert, sie müssen zum Teil technische, nachhaltige, entwicklungs- oder betriebswirtschaftliche Entscheidungen fällen und eigenständig umsetzen, denn hier stehen die unternehmerischen Interessen im Vordergrund. Diese Lebenswelt ist nicht der Fokus der *plastic³⁶⁰* App, dennoch gibt es viele Überschneidungen, die in den Fragestellungen des Handouts für die SuS explizit herausgearbeitet wurden.

Für die Lehr-Lern-Labore wurden die fachlichen Hintergrundinformationen im Betreuerskript nach den gesammelten Kenntnissen aus der Wissensgrundlage erstellt. Zu den bearbeiteten Themen gehören Kreislaufwirtschaft durch Recycling, Verwertungswege (werkstofflich, rohstofflich und energetisch) sowie der Recyclingvorgang (Sortierung, Aufbereitung und Sink-Schwimm Verfahren). Diese Informationen dienen ausschließlich den Betreuer/innen der Station als aktuelle auf Fakten basierte Wissenserweiterung, um potenzielle Fragen der Teilnehmer/innen fachkundig beantworten zu können.

2.4.4 Testanwendung des Lernmoduls im Schülerlabor des SKZ

Aufgrund der aktuellen Corona-Pandemie werden zurzeit (Stand: November 2020) keine SKZ-Lab Veranstaltungen angeboten. Nach Monaten des Stillstandes fand am 07.09.2020 ein Kurs statt, allerdings wurde kurz darauf der Betrieb wiedereingestellt. Am gleichen Tag fand die erste Testanwendung der App in Kombination mit dem Schülerlabor statt. Im SKZ-Lab arbeiteten gleichzeitig zwei Azubis mit der App und beantworteten somit Ihre Fragestellungen innerhalb des Teams Nachhaltigkeit. Da das Team Nachhaltigkeit, auch aus zeitlichen Gründen, nur einen eingeschränkten Umfang der App nutzt (so werden z. B. keine Videos oder nicht alle Spiele genutzt) wurde davon abgesehen den Azubis den Fragebogen vorzulegen, sondern die Einschätzung und Beobachtungen der Betreuerperson im Schülerlabor eingeholt. Das Feedback der SKZ-Lab Betreuerin ergab eine sehr gute Tauglichkeit für die Nutzung der App im Rahmen des Teams Nachhaltigkeit. Demnach konnten die Azubis selbständig und mit wenig Rückfragen die gestellten Fragen beantworten und schließlich eine informative Präsentation für ihre Kollegen bereitstellen. Die Kursteilnehmer waren stets motiviert sich mit der App zu beschäftigen.

Langfristig ist es das Ziel, das neu entwickelte Modul für das SKZ-Schülerlabor kontinuierlich zu optimieren. Damit wird auch die fortlaufende Anwendung des Lernmoduls im SKZ versichert. Das Lehr-Lern-Labor M!ND-Center Würzburg erlebt die letzten Monate den gleichen coronabedingten Stillstand und es ist noch nicht abzusehen, wann die Aktivitäten wieder beginnen können. Die neue Recycling Station soll in die Testanwendung gehen, sobald wieder ein „LLL Kunststoffe“ abgehalten werden kann.

2.4.5 Erarbeitung eines Transfermoduls für Lehrkräfte in Schülerlaboren

Das Transfermodul für Lehrkräfte bzw. Betreuer an Schülerlaboren ist ähnlich aufgebaut wie die Lehrerhandreichung aus Kapitel 2.3.4. Es beinhaltet das Betreuerskript für das Lehr-Lern-Labor Kunststoffe mit angegliederter Technischer Anleitung zur App-Nutzung. Zusätzlich ist das PDF-Dokument auf der Projektseite ([Link zum Betreuerskript](#)) abrufbar.

2.4.6 Aufbereitung und Bereitstellung (online) der Lernmaterialien

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, werden die Unterrichtsmaterialien in gebündelter Form als Betreuerskript für Schülerlabore zunächst auf der Projektseite bereitgestellt ([Link zum Betreuerskript](#)). Nach Projektende werden die Informationen auf der Plattformen LernOrtLabor öffentlich bekannt gemacht. Grund hierfür ist, dass erst die App Entwicklung vollständig abgeschlossen sein muss und die finalisierte App in den App Stores frei zugänglich sein muss:

- Das Lernmodul für die Schülerlabore wird in Kooperation mit dem Schülerlabor-Netzwerk LernOrtLabor beworben.
- Auf der nach Projektabschluss stattfindenden Jahrestagung (Stand November 2020: geplant für den 08. März 2021 als online Veranstaltung) des Netzwerks ist ein Workshop zu *plastic*³⁶⁰ geplant, der maximal 40 Teilnehmer/innen die Anwendung des Lernmoduls in Schülerlaboren vermittelt. LeLa-Jahrestagung von LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore.

Diese Punkte sind auch in Kapitel 4 Kommunikationskonzept, Fortführung und Perspektiven mit aufgenommen worden.

2.5 AP 5 – Projektkoordination, Dokumentation und Bekanntmachung

2.5.1 Vorbereitung und Durchführung des Kick-Off-Meetings und eines Workshops

Zum Projektstart fanden sich die Projektpartner und der potentielle Unterauftragnehmer für die App-Entwicklung und Erstellung der Videoaufnahmen am 4. April 2019 im SKZ ein.

Neben der Projekt- und Mitarbeitervorstellung wurden die Arbeitsaufteilung unter den Projektpartnern und der Fahrplan für die ersten drei Projektmonate festgelegt.

Noch bevor es zur Ausarbeitung der Unterrichtsreihen und der Programmierung der App kam, fand am 24. September 2019 ein Workshop mit 5 Lehrern für Realschulen und Gymnasien der Region Würzburg statt. Das Ziel des Workshops, Lehrer möglichst früh in die Konzeption einzubinden, um die Akzeptanz des Bildungsangebots zu erhöhen und somit die Anwenderwahrscheinlichkeit in den Klassenzimmern zu erhöhen, wurde voll erfüllt. Die in diesem Rahmen ausgearbeiteten Vorschläge und Hinweise waren sehr prägend für die weitere Konzeption und Entwicklung der App und der

Unterrichtsreihen. In den vorherigen Kapiteln dieses Berichtes wurden bestimmte Lehrerhinweise bereits explizit erwähnt. Folgend sollen die wichtigsten Erkenntnisse kurz aufgeführt werden:

- Lebensweltlicher Bezug ist wichtig, damit SuS den Bezug zu sich selbst herstellen können
- Die App sollte auch ohne VR-Brille nutzbar sein (ein Element in VR-Technik, der Rest in 2D Video, Audio und Text), da nicht alle Schulen bereit sein werden VR-Brillen anzuschaffen
- Reguläre Anwendung im Unterricht ist kaum möglich wegen der Prüfungsvorbereitungen für 10. Klassen Realschule und 12. Klassen Gymnasium. Daher positive Rückmeldung in Richtung Projektarbeiten (z. B. 9. Klasse Realschule) zum Thema Kunststoffe und v. a. Nachhaltigkeit. Einsatz z. B. in der Woche der Nachhaltigkeit
- App sollte auch gut offline verwendbar sein
- Videos und Unterrichtsmaterialien sollten auf der Lehrerplattform *Mebis* gespeichert werden. Von Lehrern für Lehrer entwickelt. *Mebis* muss von Lehrern für die Fortbildung verwendet werden. Weitere Alternativen: Bildungsserver BW, Lehrer Online, 4teachers (auch zur App Vorstellung gut nutzbar)
- Schülerexperimente sollten auch gefilmt werden
- Wenn Jugendliche gezeigt werden, sollte es möglichst zeitlos gehalten werden
- Es sollte möglich sein, einzelne Inhalte in der App auszuwählen

Eine Abstimmung mit Betreuern der Schülerlabore, des SKZ und M!ND Center der Universität Würzburg fand aufgrund der sehr unterschiedlichen thematischen Schwerpunkte und der zeitlichen Verfügbarkeit separat in wiederkehrendem Austausch voneinander statt.

2.5.2 Projektkoordination, Dokumentation und Bekanntmachung

Die gesamte Projektkoordination wurde durch die Projektleitung – dem SKZ – gesteuert. Dazu zählten u. a. rechtliche Fragestellungen wie der Abschluss der Kooperationsvereinbarung zwischen beiden Partnern, Unterstützung bei der Vergabe des Unterauftrages für die App-Entwicklung, administrative Belange z. B. Fördermittelabrufe und Projektverlängerung, organisatorische Punkte wie gegenseitige Abstimmung durch regelmäßige (zu Beginn monatlich dann immer wöchentlich) Teambesprechungen, Informationsfluss durch Bereitstellung von Protokollen, Erstellen von Berichten und die Bekanntmachung des Projektes.

Zur Verbreitung des Bildungsprojektes wurden bis zum Projektabschluss nachfolgende Bekanntmachungen zusammengestellt:

- „Kunststoffkunde Plastic³⁶⁰“ in Kunststoffe 5/2019 [22]
- „plastic³⁶⁰ – Modernes Lernen für einen besseren Umgang mit Kunststoffen“
 - Homepage Didaktik der Chemie der Universität Würzburg vom 14.01.2020 [23]
 - SKZ Homepage vom 15.04.2019 [24]
- „Kunststoffmüll in der Nordsee – Dreharbeiten auf Helgoland für digitales Bildungsprojekt“
 - pressebox vom 17.09.2019 [25]
 - SKZ Homepage vom 17.09.2019 [26]
 - SKZ aktuell Ausgabe 19.5.2019 [27]
 - WIP-Kunststoffe e.V. Wissens- und Innovationsnetzwerk Polymertechnik vom 18.09.19 [28]
- Auf dem SKZ Netzwerktag am 08.05.2019 wurde das Projekt durch den Institutsleiter des SKZ Herrn Prof. Bastian zahlreichen (>300) Mitgliedern und Besuchern vorgestellt.

Da die Finalisierung der App für Android und iOS relativ zeitnah zum Projektabschluss erfolgte, schließen sich die weiteren Maßnahmen zur Verbreitung, entsprechend dem Kommunikationskonzept aus Kapitel 4, an.

3 Fazit zu angestrebten Zielen und erzielten Ergebnissen

Im Rahmen dieses Bildungsprojektes sollten über drei aufeinander abgestimmte Kanäle, dem Schulunterricht, einer mobilen App und dem in Deutschland vorhandenen Netz an Schülerlaboren Jugendlichen aufgezeigt werden, an welcher Stelle des Produktlebenszyklus von Kunststoffen sie als Verbraucher ins Spiel kommen und welche Auswirkungen unbewusster Konsum, Littering und unsachgemäße Entsorgung haben.

Im ersten Schritt sollte die fundierte Wissensgrundlage zu Kunststoffen und deren Kreislaufführung, die Vorarbeit für die folgenden Arbeitspakete liefern. Diese wurde in enger Abstimmung von SKZ mit der Arbeitsgruppe „Didaktik der Chemie“ der Universität Würzburg durchgeführt, um den bayerischen Lehrplänen zu entsprechen. Die zunächst für 3 Monate angestrebte Dauer für Videoproduktionen, hat sich aufgrund der zeitlich stark verzögerten Untervergabe des Programmierauftrages und der Social Distancing Auswirkungen bedingt durch die Corona-Krise, auf die gesamte Projektlaufzeit ausgedehnt. Insgesamt wurden 12 eindrucksvolle Videos in 2D- und VR-Technik zu den Themen Konsum, Littering, Meeresmüll, Recycling, Kunststoffverarbeitung, Laborversuche und einem Teaser zur App-Einführung erstellt.

Die *plastic*³⁶⁰ App ist das Herzstück des Projektes und verteilt alle wichtigen Informationen in schülergerechter Form auf vier Hauptmodule, welche den Kunststoffkreislauf thematisch mit einem roten Faden herausarbeiten. Die Module holen die Lernenden aus ihrer Lebenswelt ab. Die App startet mit einem kurzen Teaser und geht in einen, sich entwickelnden Lebenszyklus der als 360° Drehscheibe animiert ist über. Innerhalb der einzelnen Module bereiten Videos, VR-Elemente und Gamifications Informationen audiovisuell und teils spielerisch auf. Durch eine Foto-Rallye Aufgabe, pro Modul, werden SuS animiert, sich mit Ihrer Lebenswelt auseinanderzusetzen und Inhalte auf Sozialen Medien zu teilen. Informationstexte stehen direkt in der App zur Verfügung. Fachliche Tiefen werden in zahlreichen Zusatzmaterialien in Textform angeboten, die als PDF-Dokumente heruntergeladen oder ausgedruckt werden können. Die App ist sowohl für Android und iOS Geräte erhältlich und kann über die jeweiligen App-Stores kostenfrei heruntergeladen werden.

Die Struktur von *plastic*³⁶⁰ wurde so gewählt, dass sie den Kompetenzerwerb im Chemieunterricht unterstützt. Die App bildet eine grundlegende Basis für den Aufbau von Fachwissen. Gleichzeitig schafft sie Gelegenheiten die Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung zu erweitern. Dabei generiert die App Situationen, um die Kommunikation anzuregen. Deshalb wurde *plastic*³⁶⁰ idealerweise für den offenen Projektunterricht konzipiert, da bei Abschlussklassen (10. Klasse Realschule und 12. Klasse Gymnasium) die Vorbereitungen für die Abschlussprüfungen Priorität haben. Studierende der Didaktik der Chemie der Universität Würzburg entwickelten jeweils im Rahmen Ihrer Zulassungsarbeit ein Konzept zur Integration der App in den selbstregulierten Unterricht in Form von offener Projektarbeit und einer Ausarbeitung zur Stationsarbeit. Beide Konzepte können sowohl für die Realschule als auch das Gymnasium angewendet werden. Eine Einschränkung erfolgt nur durch den Schwierigkeitsgrad, der am Gymnasium höher sein muss und gleichzeitig auch das chemische Basiswissen vertieft.

Neben den klassischen Schulformen bieten auch Schülerlabore für Schulklassen beliebte außerschulische Lernorte, zu den Themen Kunststofftechnik oder Chemie an. Im Rahmen dieses Projektes wurde nicht nur ein Lernmodul, sondern aufgrund der sehr unterschiedlichen

Schwerpunkte der Schülerlabore zwei Konzepte entwickelt. Damit wurde sichergestellt, dass die Lernmodule bei mehreren Schülerlaboren Anwendung finden. Das SKZ-Lab hat eine unternehmerische Ausrichtung, in diesem Modul werden den SuS konkrete Aufgabenstellungen in Bezug auf das Betriebsumfeld gestellt, die mit Hilfe der *plastic³⁶⁰* App recherchiert werden. Im Lehr-Lern-Laboren (LLL) des M!ND-Center der Universität Würzburg experimentieren Schülerinnen und Schüler unter der Betreuung von Lehramtsstudierenden in Laborräumen. Da hier der Fokus sehr stark auf die Experimente gelegt wird, die nicht in Schulen durchgeführt werden können, wurde hier bei der Einbindung der *plastic³⁶⁰* App Wert auf die motivierende Einstiegsphase (durch einen Videobeitrag) und die vertiefende Nachbereitung der Station (mit Hilfe der App) im privaten Umfeld gelegt. Beiden Schülerlaboren ist gemeinsam, dass sie nach dem Konzept der Stationsarbeit lehren.

Nach Finalisierung der App und fast gleichzeitigem Projektende beginnt die Verbreitung der App in einem umfangreichen Kommunikationskonzept.

4 Kommunikationskonzept, Fortführung und Perspektiven

Zu Beginn der Projektlaufzeit wurde zunächst die Bekanntmachung durch zwei Pressemitteilungen gefördert (siehe Abschnitt 2.5.2). Lehrkräfte an Schulen begleiteten *plastic³⁶⁰* in Form eines konzeptionellen Workshops und gegen Ende des Projektes wurden sie als Testpersonen der Android Beta-Version eingesetzt. Weiterhin konnten in enger Abstimmung mit Betreuern von zwei Schülerlaboren die Lernmodule entwickelt werden. Auf der Projekthomepage werden den Nutzern nützliche Informationen zur App, wie z. B. Zusatzmaterialien, Lehrerhandreichung, Betreuerskript für Schülerlabore und Datenschutzhinweise angeboten. Zu guter Letzt konnte die finalisierte Bildungs-App in Google und Apple App Stores bereitgestellt werden.

Tabelle 9 zeigt die Pfade und die konkreten Maßnahmen auf, die zu einer möglichst großen Verbreitung von *plastic³⁶⁰* nach Projektabschluss führen sollen. Da das Bildungsangebot mehrere Komponenten beinhaltet, die durch Klassenzimmer und Schülerlabore verschiedene Einsatzorte haben bzw. in Form der App auch ohne Lehrkräfte Anwendung finden können, muss auch die Verbreitung des Projekts auf mehreren Wegen erfolgen. Die Kommunikation erfolgt zum einen direkt in Richtung der Jugendlichen, zum anderen muss *plastic³⁶⁰* Akzeptanz bei Lehrerinnen und Lehrern finden, die die Inhalte vermitteln sollen. Mit der Absicht auch Eltern als Mittler zur Zielgruppe zu erreichen, soll das Projekt, insbesondere die App, im Rundfunk sowie über die allgemeine Presse beworben werden. Dabei nutzen die DBU und das SKZ ihr Netzwerke, um eine möglichst breite Masse an potenziellen Interessenten zu gewinnen.

Die App wird am SKZ insbesondere bei den Lehrer/innen beworben, die mit ihren Schulklassen das SKZ-Lab besuchen. Weiterhin wird die App durch den Bildungsvertrieb des SKZ auf den sozialen Netzen beworben und in die Bildungsaktivitäten mit aufgenommen. Hierzu werden die Schulungsunterlagen mit dem QR-Code zum App-Download versehen und so den Schulungsteilnehmern aus Industrie und Wirtschaft zugänglich gemacht.

Tabelle 9: Kommunikationspfade und Maßnahmen für die Verbreitung von *plastic*³⁶⁰ nach Projektabschluss

Kommunikationspfade	Maßnahmen	Adressaten			
		Schüler/innen	Lehrkräfte an Schulen	Betreuer an Schülerlaboren	Eltern
DBU Netzwerk	One-Pager, Verbreitung durch DBU Marketingkanäle	✓	✓	✓	✓
SKZ Netzwerk	Flyer, Verbreitung durch SKZ Marketingkanäle (Soziale Netze, Schulungen)	✓	✓	✓	✓
Schule	Flyer + Lehrerhandreichung, Verbreitung durch Kultuseinrichtungen	✓	✓		
Schülerzeitschriften	Informationsartikel für Schülerzeitschriften	✓	✓		✓
Lehrerzeitschriften	Informationsartikel in einer Lehrerzeitschrift (z. B. Globales Lernen)		✓		
Allgemeine Presse	Informationsartikel in verschiedenen Zeitschriften	✓	✓	✓	✓
Rundfunk	Hörfunkbeiträge für verschiedene Sender	✓	✓	✓	✓
Lehrerfortbildungsstellen	Durchführung von zunächst einer Lehrerfortbildung am SKZ mit maximal 25 Teilnehmer/innen. Je nach Bedarf wird das Angebot jährlich wiederholt		✓		
	Bereitstellung der Lehrerhandreichung		✓		
Online Plattformen	Online Bereitstellung der Lehrerhandreichung (z. B. Mebis und Lehrer Online)	✓	✓		✓
LernOrtLabor/ MINT Nachhaltigkeitsnetzwerk	Online Bereitstellung des Betreuerskripts			✓	
	Durchführung eines Workshops zur Anwendung des Lernmoduls auf der LernOrtLabor-Jahrestagung			✓	

Darüber hinaus werden die Materialien auf Plattformen, wie z. B. *Lehrer-Online.de* oder *Mebis.bayern.de* zur Verfügung gestellt. Die Mebis online Plattform für mediendidaktische Themen des bayrischen Kultusministeriums, wird von allen Lehrern bayernweit genutzt und hat dadurch eine breite Akzeptanz bei der *plastic*³⁶⁰ Zielgruppe. Lehrer-Online ist hingegen bundesweit präsent, mit einem online Service für Lehrer, der Informationen rund um den schulischen Einsatz digitaler Medien bietet. Hier finden sich komplette Unterrichtsreihen mit Arbeitsblättern, Internetressourcen und didaktischen Kommentaren.

Das Lernmodul für die Schülerlabore wird in Kooperation mit dem Schülerlabor-Netzwerk LernOrtLabor beworben. Auf der nach Projektabschluss stattfindenden Jahrestagung des Netzwerks ist ein Workshop zu *plastic*³⁶⁰ geplant, der maximal 40 Teilnehmer/innen die Anwendung des Lernmoduls in Schülerlaboren vermittelt. Besonders gute Aussichten für die Verwendung bestehen laut LernOrtLabor für die 50 im Netzwerk MINT Nachhaltigkeitsbildung organisierten Schülerlabore. Das Lernmodul soll daher insbesondere auf der zugehörigen Webseite zur Verfügung gestellt und im Netzwerk beworben werden. In jedem Fall findet das Lernmodul Anwendung im Schülerlabor des SKZ, welches in der Regel von 10 bis 20 Schulklassen jährlich besucht wird.

Über den Rücklauf eines Feedbackbogens sowie dem Abruf von Nutzerstatistiken der App erfolgt eine kontinuierliche Bewertung des Erfolgs von *plastic*³⁶⁰. Nach Auswertung evaluiert das

Projektkonsortium eine Überarbeitung bzw. eine Ausweitung des Konzepts auf andere Altersstufen. Für eine mögliche Erweiterung sehen sich die Projektpartner in der Lage erneut, ein durch öffentliche Förderung ermöglichtes Projekt durchzuführen. Umgestaltungen und Ausweitungen der Unterrichtsreihen können auch ohne Drittmittelfinanzierung im Rahmen von Zulassungsarbeiten an der Universität Würzburg vorgenommen werden.

5 Literatur

- [1] M. Ebner, „Digitales Lernen – kann Lernen digital sein?“, *IJAB Journal*, Nr. 14.1, S. 12-13, 2020.
- [2] S. Feierabend, T. Rathgeb und T. Reutter, *JIM-Studie 2018 - Jugend, Information, Medien - Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*.
- [3] L. Pohl, *Ortsgruppen*. Verfügbar unter: <https://fridaysforfuture.de/regionalgruppen/>. Zugriff am: 1. September 2020.
- [4] EUROPEAN COMMISSION, *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN*.
- [5] *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz – VerpackG): VerpackG*, 2017.
- [6] J. Kuhn, M. Ropohl und J. Groß, *Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge: Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.joachim-herzstiftung.de/fileadmin/Redaktion/04_Lernprozesse_mit_dig_Werkz_unterst.pdf#page=11 (Zugriff am: 1. September 2020).
- [7] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*. Cambridge.
- [8] D. Würstl, *Native Apps vs. Web Apps - Unterschiede und Vorteile*. Verfügbar unter: <https://appentwickler-verzeichnis.de/faq-app-entwicklung/11-definitionen/586-unterschiede-und-vergleich-native-apps-vs-web-apps-2>. Zugriff am: 1. September 2020.
- [9] A. Pfeiffer und T. Wernbacher, *Digitale Medien in Arbeits- und Lernumgebungen: Beiträge zum Usability Day XIII : 12. Juni 2015*. Gamification. Lengerich: Pabst Science Publishers, 2015.
- [10] N. Stampfl, *Die verspielte Gesellschaft*. Garbsen: Heise Medien, 2012.
- [11] N. Völl, *Design4Recycling: Kunststoffverpackungen recyclinggerecht gestalten*. Verfügbar unter: <https://www.gruener-punkt.de/de/nachhaltige-verpackungen/ueber-design4recycling.html>. Zugriff am: 1. September 2020.
- [12] XOXI GmbH, *Was ist ein Usability Test?* [Online]. Verfügbar unter: <https://www.xovi.de/was-ist-ein-usability-test/>.
- [13] M. Ebner, *Usability Tests und deren Einsatz bei der Entwicklung von Lerntools für die Hochschullehre – ein Erfahrungsbericht*.
- [14] U. Nett und T. Götz, *Psychologie für den Lehrberuf*. Heidelberg: SPRINGER, 2019.
- [15] T. Wiedenhorn, *Das Portfolio-Konzept in der Sekundarstufe: Individualisiertes Lernen organisieren*. Mülheim an der Ruhr: Verl. an der Ruhr, 2006.
- [16] J. Wiechmann, *Zwölf Unterrichtsmethoden: Vielfalt für die Praxis*, 3. Aufl. Weinheim: Beltz, 2002.
- [17] *Schülerlabor-Atlas*. Verfügbar unter: <https://www.schuelerlabor-atlas.de>. Zugriff am: 1. September 2020.
- [18] O. Haupt et al., *Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung*. Verfügbar unter: http://genau-bb.de/wp-content/uploads/Schuelerlabor-Kategorisierung_MNU.pdf. Zugriff am: 1. September 2020.
- [19] Luchterhand, *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Luchterhand: Luchterhand. Verfügbar unter: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf. Zugriff am: 1. September 2020.
- [20] I. Heuzeroth, *Das Schülerlabor*. Verfügbar unter: <https://www.skz.de/de/weiterbildung/skz-lab/index.html>. Zugriff am: 1. September 2020.

- [21] MIND-Center, *EXPERIMENTIEREN in den LLL@M!ND*. Verfügbar unter: <https://www.uni-wuerzburg.de/einrichtungen/mind/bildungspfade/experimentieren/>. Zugriff am: 1. September 2020.
- [22] H. Achenbach, „Kunststoffkunde Plastic360: Bildungsprojekt für einen besseren Umgang mit Kunststoffen“, *Kunststoffe*, Nr. 5, S. 6, 2019.
- [23] Julius-Maximilians-Universität Würzburg, *Plastic360 – Modernes Lernen für einen besseren Umgang mit Kunststoffen*. Verfügbar unter: <https://www.chemie.uni-wuerzburg.de/didaktik/projekte/>. Zugriff am: 22. Mai 2020.
- [24] H. Achenbach, *Plastic360: Bildungsprojekt für einen besseren Umgang mit Kunststoffen*. Verfügbar unter: <https://www.skz.de/de/newsaktuelles/8849.Plastic360.html>. Zugriff am: 22. Mai 2020.
- [25] unn | UNITED NEWS NETWORK GmbH, *Kunststoffmüll in der Nordsee - Dreharbeiten auf Helgoland für digitales Bildungsprojekt*. Verfügbar unter: <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/skz-consem-gmbh-congresse-seminare/Kunststoffmuell-in-der-Nordsee-Dreharbeiten-auf-Helgoland-fuer-digitales-Bildungsprojekt/boxid/973336>. Zugriff am: 22. Mai 2020.
- [26] Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e.V., *Kunststoffmüll in der Nordsee: Dreharbeiten auf Helgoland für digitales Bildungsprojekt*. Verfügbar unter: <https://www.skz.de/de/newsaktuelles/8999.Kunststoffmuell-in-der-Nordsee.html>. Zugriff am: 22. Mai 2020.
- [27] H. Achenbach, *Kunststoffmüll in der Nordsee – Dreharbeiten auf Helgoland für digitales Bildungsprojekt, SKZ aktuell*. Verfügbar unter: https://www.skz.de/de/informationen/presse/skzaktuell/m_127364. Zugriff am: 22. Mai 2020.
- [28] B. Bartram, *Bildungsprojekt plastic360*. Verfügbar unter: <https://wip-kunststoffe.de/wip/nachrichten/968983-bildungsprojekt-plastic360/>. Zugriff am: 22. Mai 2020.
-