




Gestaltung umweltschonender Produkte in Makerspaces

Abschlussbericht

Projektleitung	Technische Universität Berlin Prof. Dr. Rainer Stark
Projektbearbeitung	Antje Klemichen, Ina Roeder Maurice Preidel
Projektpartner	ViNN:Lab (Technische Hochschule Wildau) Fab Lab Berlin (Agile Heap e.V.), Fab Lab Kamp-Lintfort Wilma-Rudolph-Schule, Georg-Schlesinger-Schule
Berichtszeitraum	01.10.2017-30.04.2020
Aktenzeichen	33779/01



<div style="text-align: center;">  </div>			Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt		
Az	33779/01-41	Referat	Finanzielles Projektcontrolling	Fördersumme	375.075€
Antragstitel		ecoMaker – Gestaltung umweltfreundlicher Produkte in Maker Spaces			
Stichworte		Makerspaces, Fab Lab, nachhaltige Produktgestaltung, Start-Ups, Umweltbewertung, Lemplattform, Maker, Schulkooperationen, Design Sprint			
Laufzeit	30 Monate	Projektbeginn	01.10.2017	Projektende	30.04.2020
Zwischenberichte		Projektphase(n) Projektabschluss			
Bewilligungsempfänger	Technische Universität Berlin Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) Fachgebietsleiter Industrielle Informationstechnik Herrn Prof. Dr. Rainer Stark Pascalstraße 8-9 10587 Berlin			Tel	49 (0)30 314 254-16
				Fax	+49 (0)30 3930246
				Projektleitung Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark	
				Bearbeiter Antje Klemichen, Ina Peters (ehemals Roeder)	
Kooperationspartner	Fab Lab Berlin (später „Agile Heap“) VINN:Lab der TH Wildau				
<p>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</p> <p>Im ecoMaker-Projekt ging es darum, Lösungen der umweltfreundlichen Produktentwicklung für unterschiedliche NutzerInnengruppen von Makerspaces zu entwickeln. Vom Schüler bis zur Start-up-Gründerin sollten Menschen in Makerspaces befähigt werden, ihre Projektideen im Bewusstsein ihrer Umweltfolgen so ökologisch nachhaltig wie möglich umzusetzen. Makerspaces wurden im Projekt als Multiplikator-Orte verstanden, an denen einerseits Innovationen entstehen, bei denen Umweltfaktoren frühzeitig mitgedacht werden müssen, wenn sie in einer späteren umfangreicheren Produktion berücksichtigt werden sollen, wo aber auch zunehmend Menschen in Gemeinschaften zusammenkommen, sich austauschen, kollaborativ arbeiten und lernen und neu erworbenes Wissen mit nach Hause und in ihre Peer-Gruppen außerhalb des Makerspaces tragen.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Mit dem Projekt wurde wissenschaftlich Neuland betreten, nicht nur innerhalb Deutschlands. Beim jährlichen International Symposium on Academic Makerspaces der großen akademischen Treiber der Maker-Bewegung (MIT, Yale, Stanford, Berkeley und andere) war 2019 der Beitrag des ecoMaker-Projekts der einzige, der sich dem Thema ökologische Nachhaltigkeit widmete.</p>					
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt © An der Bornau 2 © 49090 Osnabrück © Tel 0541/9633-0 © Fax 0541/9633-190 © http://www.dbu.de</small>					

Als Pionierprojekt gab es kaum Daten, auf denen aufgebaut werden konnte. Sämtliche Informationsgrundlagen mussten selbst erarbeitet werden. Hierfür war ein permanenter Austausch, nicht nur mit den Projektpartnern, sondern auch mit dem wissenschaftlichen Beirat des Projekts und der Maker-Szene im Allgemeinen, unerlässlich. Entsprechend wurden die Projektfortschritte regelmäßig auch bei eigens einberufenen Beiratstreffen und öffentlichen Veranstaltungen der unterschiedlichen Zielgruppen zur Diskussion gestellt, sodass ein reger Austausch in unterschiedliche Communities hinein gepflegt wurde.

Die Notwendigkeit, Grundlagen zu schaffen, zeigte sich auch in den beiden großen Projektphasen Datenerhebung sowie Entwicklung und Implementierung von Lösungen. So verschieden waren die Zielgruppen (SchülerInnen, Studierende, allgemeine Maker und UnternehmerInnen), dass diese in der ersten Projektphase zunächst näher definiert und verstanden werden mussten. In Befragungen, Workshops und ExpertInnengesprächen wurde sich den unterschiedlichen Gruppen angenähert, Umwelteinstellungen wurden erfragt, Hindernisse für ökologisches Handeln und Unterstützungsbedarfe identifiziert und die voraussichtliche Akzeptanz möglicher Lösungen geprüft.

In der zweiten Projektphase wurden basierend auf den Ergebnissen der ersten Projektphase Lösungskonzepte ausgewählt, konkretisiert, umgesetzt, getestet und iterativ weiterentwickelt. Entsprechend der fehlenden Datenlage bei der Projektbeantragung wurden nach Auswertung der ersten Projektphase im Vergleich zum Antrag viele Anpassungen der Lösungsideen vorgenommen – zum Teil musste komplett neu gedacht werden.

Ergebnisse und Diskussion

Für allgemeine Maker und Start-Ups wurde für die rasche Beurteilung des Umwelteinflusses von Produktideen der digitale *ecoMaker Check* entwickelt. Das Online-Tool beurteilt die Produktidee entlang der Lebenszyklusphasen, bietet zusätzliche Informationen z.B. zu Materialeigenschaften und zeigt sowohl grafisch als auch in Textform an, in welchen Bereichen der Produktidee ökologisches Verbesserungspotenzial besteht.

Hauptsächlich für Maker – wobei die Grenze zwischen Maker und UnternehmerIn oft fließend ist –, wurde zusammen mit einem Programmierdienstleister eine *Online-Plattform* aufgebaut, auf der einerseits umweltfreundliche Projektideen mitsamt Nachbauanleitungen und Produktdaten geteilt und bewertet werden können, andererseits ein umfangreicher Wissensraum Methoden und Tools für die nachhaltige Produktgestaltung in jeder Produktentstehungsphase anbietet.

Für Maker und Studierende in Hackathons und Projektseminaren hat sich der entwickelte *ecoMaker Design Sprint* bewährt. Hierbei wurde die klassische Idee der Unterteilung der Produktentwicklung in klar umrissene, zeitlich eng begrenzte Phasen übernommen und auf ökologische Nachhaltigkeit angepasst. Begleitende Hilfsmitteln unterstützen die ProduktentwicklerInnen dabei, den Prozess des Design Sprints eigenständig zu durchlaufen und dabei umweltfreundlichere Alternativen zur ursprünglichen Umsetzungsidee des geplanten Produktes zu entwickeln.

Insbesondere für unerfahrene Maker, zu denen auch Studierende und SchülerInnen zählen können, wurde eine Serie von Animationen entwickelt, die helfen sollen, die gängigsten Fehler zu vermeiden, die in Makerspaces zu unnötigem Material- und Energieverbrauch führen. Die Idee hinter den per QR-Code erreichbaren Animationen dient allerdings ebenso sehr dem Vermitteln ressourcensparender Praktiken als auch der Inszenierung des Makerspaces als umweltfreundlichen Handlungsraum.

Bezüglich Schulkooperationen hat sich gezeigt, dass es zwar eine Reihe von Makerspace-Angeboten für SchülerInnen und Schulklassen gibt, diese jedoch LehrerInnen in der Regel nicht bekannt sind und auf Seiten der Schulen viele strukturelle Hürden für Kooperationen mit Makerspaces bestehen, von denen ein Großteil allerdings auf Unsicherheiten der Lehrkräfte in Bezug auf den neuen Lernraum "Makerspace" basieren. Exemplarisch wurde ein modulares Hackathon-Format für die Sekundarstufe 1 und 2 entwickelt und mehrfach durchgeführt. Da sich jedoch gezeigt hat, dass Hürden bei solchen Kooperationen viel früher als erst beim didaktischen Konzept auftreten, wurde letztlich als Produkt eine Broschüre für Lehrkräfte entwickelt, die helfen soll, Unsicherheiten abzubauen und den Weg vom Klassenzimmer in den Makerspace zu ebnen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Aus dem ecoMaker-Projekt sind mehrere Veröffentlichungen entstanden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse aus der Maker-Befragung und der Design-Sprint Entwicklung wurden auf Fachkonferenzen publiziert. Für die Verbreitung des Projekts und seiner Ergebnisse wurden gezielt größere, großenteils öffentliche Zielgruppen-Veranstaltungen bedient. Außerdem wurde eine umfangreiche Onlinedarstellung der Ziele und Ergebnisse des Projekts unter www.projekt.ecomaking.org aufgebaut, wofür ein einheitliches Projektdesign entwickelt wurde, und erfolgreich um eine mediale Darstellung zum Projektende hingeworben. Mehrfach wurden zudem Teilergebnisse in der Zeitschrift Futur des Produktionstechnischen Zentrums Berlin platziert. Auch wurde eine 32-seitige Leitfadens-Broschüre zu Schulkooperationen mit Makerspaces für LehrerInnen produziert. Aus dem ecoMaker-Projekt sind überdies zwei Bachelorarbeiten hervorgegangen.

Wissenschaftliche Publikationen

- Klemichen, A., Roeder, I., Ringhof, J. & Stark, R. (2018). Needs and Requirements for Environmental-friendly Product Development in Makerspaces – A Survey of German Makerspaces. *Proceedings Going Green – Care Innovation*, 28.-29. November 2018, Wien/Österreich.
- Roeder, I., Klemichen, A. & Stark, R. (2019). Be(com)ing an Eco-Maker – a Pre-Structured Self-Learning Concept for Environmentally-Friendly Product Creation in Makerspaces. *Proceedings 4th International Symposium on Academic Makerspaces ISAM*, 16.-18. Oktober 2019, Yale/USA.

Populärwissenschaftliche Publikationen

- Roeder, I. (2019). Offene Werkstatt – Gestaltung umweltschonender Produkte in Makerspaces. *FUTUR – Vision, Innovation, Realisierung*. 1/2019, 21, S. 17.
- Klemichen, A. (2020). Ökologisch gut – Produkte aus Makerspaces. *FUTUR – Vision, Innovation, Realisierung*. 2/2020, 22, S. 34 f.
- Roeder, I., Wang, W. M. (2020). *Makerspaces Machen Schule. Schulkooperationen mit offenen Werkstätten.*

Präsentation

- Klemichen, A. (2020). The role of collaborative makerspaces for performing environmental-friendly production. *Waterkant Festival 2020*, 18. Juni 2020, digital.

Öffentliche Veranstaltungen

- 7. Netzwerkkonferenz BilRes – Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz, 14. September 2017, Berlin (Projektankündigung)
- Cowork-Tagung "Werkstätten des Wandels", 25. Oktober 2017, Berlin

- 8. Netzwerkkonferenz BilRes – Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz, 06. März 2018, Frankfurt a. M.
- re:publica 18, 02.-04. Mai 2018, Berlin
- Open Source Circular Economy Days Berlin 2018, 14.-16. Juni 2018, Berlin.
- MakeCity Festival, FAB LAB Berlin Meetup "Is Circular Design Leading Anywhere?", 29. Juni 2018, Berlin
- Hackathon "Re:Think Mobility", November 2018, Berlin

Web-Präsenz

- Darstellung auf den Webseiten des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik der TU Berlin, <https://www.ii.tu-berlin.de/menu/forschung/projekte/ecomaker/>
- Komplette Projektdarstellung, <http://www.eco-making.org>
- Lernplattform, <http://www.ecomaking.org>

Berichterstattung

- ecoMaker – Mehr Nachhaltigkeit für Maker-Projekte. *Make Magazin*, 3/2020, S. 116
- Ausprobiert: ecoMaker Check, *Heise online*, veröffentlicht: 28. Mai 2020, <https://www.heise.de/hintergrund/Ausprobiert-ecoMaker-Check-4724984.html>

Bachelorarbeiten

- Roos, M. (2019). AR-Ausstellungskonzept „nachhaltige Produktion“ in Maker Spaces. Eingereicht: April 2019.
- Stahl, J.-P. (2019). Analyse der Potentiale und Hemmnisse für die nachhaltige Gestaltung von Produkten in offenen Werkstätten. Eingereicht: April 2019.

Fazit

Mit dem ecoMaker-Projekt wurde eine wichtige Datenbasis gelegt, es wurden alltags-taugliche Produkte für eine umweltfreundlichere Produktion in Makerspaces entwickelt und enge Verbindungen zwischen Makerspaces und Wissenschaft aufgebaut, bei denen sich beide Seiten gegenseitig befruchten. Gerade hinsichtlich der zunehmenden politischen Organisation und somit Formalisierung von Makerspaces in Deutschland und der Ausbildung eines Zweigs, der sich stark auf Geschäftsmodelle unter Einbin-dung von KMU konzentriert, ist die noch weit verbreitete Haltung von Makern, ihr Han-deln habe keinen nennenswerten Umwelteinfluss und müsse diesbezüglich nicht über-dacht werden, kritisch zu sehen. Daher würde es sich lohnen, die Ideen des ecoMaker-Projekts, Makerspaces nicht nur in technologische, sondern auch ökologische Lernum-gebungen umzuwandeln, weiterzudenken. So ist auch über das Projekt hinaus eine Weiterentwicklung und Umsetzung der Best-Practices-Animationen zu einem imple-mentierten Lernpfad geplant. Darüber hinaus wäre es wünschenswert, die Funktionali-tät des ecoMaker Check auszuweiten, damit er in mehr Produkt-Kontexten als bisher Maker-tauglich wird. Auf politischer Ebene wäre ein Makerspace-Netzwerk für Schulkooperationen wünschenswert, da solche Kooperationen aktuell noch stark von den kapazitativen und finanziellen Möglichkeiten der einzelnen Makerspaces abhängen und kaum koordiniert sind, was zur geringen Bekanntheit dieser Option unter LehrerIn-nen beiträgt.

INHALTSVERZEICHNIS

1	KURZZUSAMMENFASSUNG	1
2	MOTIVATION UND ZIEL DES PROJEKTS	2
3	STAND DER WISSENSCHAFT	3
3.1	Fab Labs und Makerspaces	3
3.2	Maker	4
3.3	Einstellungen der Maker	4
3.4	Individualisierte Fertigung und Rebound-Effekte	5
4	VORGEHENSWEISE UND ERGEBNISSE	7
4.1	Bedarfsanalyse	7
4.1.1	Befragung der Maker	7
4.1.2	Leitfadeninterviews mit Start-Ups/KMU	10
4.1.3	Workshops mit Lehrenden und Lernende	11
4.1.4	LehrerInnen und SchülerInnen	12
4.2	Workshops	13
4.2.1	Pilotprojekt mit Studierenden	13
4.2.2	SchülerInnen-Training	14
4.3	ecoMaker Produkte	19
4.3.1	ecoMaker Design Sprint	19
4.3.2	Lernplattform	22
4.3.3	Analyseassistent - ecoMaker Check	25
4.3.4	Schulbroschüre	32
4.3.5	Best-Practices-Animationen	34
5	AUßENDARSTELLUNG	35
6	AUSBLICK	37

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Projekttypen in Makerspaces (N=119).....	8
Abbildung 2: technologischer Interessenschwerpunkt von Makern (N=100).....	8
Abbildung 3: Vorgehensweise des Trial-and-Error.....	9
Abbildung 4: Studierendenwünsche bzgl. Tools zur nachhaltigen Produktgestaltung	11
Abbildung 5: Clusterergebnisse der LehrerInnen- und SchülerInnen-Workshops.....	12
Abbildung 6: Studierenden-Workshop zu nachhaltiger Produktgestaltung im Fab Lab Berlin	13
Abbildung 7: Nachhaltige Produktegestaltung von Pick-and-Place-Robotern	13
Abbildung 8: Beispielanwendungen in FreeCAD aus dem SchülerInnen-Training	16
Abbildung 9: Erstes SchülerInnen-Training mit der Georg-Schlesinger-Schule.....	17
Abbildung 10: Materialien des verkürzten ecoMaker SchülerInnen-Trainings: Vorderseite (links oben) und Rückseite (links unten) einer Prozesskarte sowie ein Template aus einem der Prozessschritte (rechts).....	19
Abbildung 11: Konzept für die Einbettung des ecoMaker Design Sprints in einen Hackathon	20
Abbildung 12: Arbeitsmaterialien des ecoMaker Design Sprints, links: Canvas, rechts: Drehscheibe und Logbuch.....	21
Abbildung 13: Arbeit an der ecoMaker Design Sprint Canvas im Arbeitsschritt „Ideen-Sprint“	21
Abbildung 14: Motivation für die Lernplattform.....	22
Abbildung 15: Wünsche der Maker im Ranking für eine Lehr- und Lernplattform	23
Abbildung 16: Beispiel einer Projektdarstellung (Ausschnitt Header)	23
Abbildung 17: Beispielauszug für eine Replikation	24
Abbildung 18: Beispiele für die Klassifizierung von Materialien	26
Abbildung 19: Flow Chart des ecoCheck.....	28
Abbildung 20: Infobox für Material PET-Filament.....	29
Abbildung 22: Auszug aus Datenmaterial der Lebenszyklusanalyse und Allokationsstrategie	30
Abbildung 21: Ermittlung des durchschnittlichen Verbrauchs einer CNC-Fräse	30
Abbildung 23: Ergebnis der PET-basierten Zitronenpresse.....	31
Abbildung 24: Konzeptbewertung (N=5)	31
Abbildung 25: Auszüge aus der Broschüre „Makerspaces machen Schule“	34
Abbildung 26: Screenshots von Best-Practices-Animationen	35
Abbildung 27: ecoMaker-Maskottchen „ecoOn“	35

1 KURZZUSAMMENFASSUNG

Im ecoMaker-Projekt ging es darum, Lösungen der umweltfreundlichen Produktentwicklung für unterschiedliche NutzerInnengruppen von Makerspaces zu entwickeln. Vom Schüler bis zur Start-up-Gründerin sollten Menschen in Makerspaces befähigt werden, ihre Projektideen im Bewusstsein ihrer Umweltfolgen so ökologisch nachhaltig wie möglich umzusetzen.

Mit dem Projekt wurde wissenschaftlich Neuland betreten, nicht nur innerhalb Deutschlands. Beim jährlichen International Symposium on Academic Makerspaces der großen akademischen Treiber der Maker-Bewegung (MIT, Yale, Stanford, Berkeley und andere) war 2019 der Beitrag des ecoMaker-Projekts der einzige, der sich dem Thema ökologische Nachhaltigkeit widmete. Als Pionierprojekt gab es kaum Daten, auf denen aufgebaut werden konnte. Sämtliche Informationsgrundlagen mussten selbst erarbeitet werden. Hierfür war ein permanenter Austausch, nicht nur mit den Projektpartnern, sondern auch mit dem wissenschaftlichen Beirat des Projekts und der Maker-Szene im Allgemeinen, unerlässlich. Entsprechend wurden die Projektfortschritte regelmäßig auch bei eigens einberufenen Beiratstreffen und öffentlichen Veranstaltungen der unterschiedlichen Zielgruppen zur Diskussion gestellt, sodass ein reger Austausch in unterschiedliche Communities hinein gepflegt wurde.

Die Notwendigkeit, Grundlagen zu schaffen, zeigte sich auch in den beiden großen Projektphasen Datenerhebung sowie Entwicklung und Implementierung von Lösungen. So verschieden waren die Zielgruppen (SchülerInnen, Studierende, allgemeine Maker und UnternehmerInnen), dass diese in der *ersten Projektphase* zunächst näher definiert und verstanden werden mussten. In Befragungen, Workshops und ExpertInnengesprächen wurde sich den unterschiedlichen Gruppen angenähert, Umwelteinstellungen wurden erfragt, Hindernisse für ökologisches Handeln und Unterstützungsbedarfe identifiziert und die voraussichtliche Akzeptanz möglicher Lösungen geprüft.

In der *zweiten Projektphase* wurden basierend auf den Ergebnissen der ersten Projektphase Lösungskonzepte ausgewählt, konkretisiert, umgesetzt, getestet und iterativ weiterentwickelt. Entsprechend der fehlenden Datenlage bei der Projektbeantragung wurden nach Auswertung der ersten Projektphase im Vergleich zum Antrag viele Anpassungen der Lösungsideen vorgenommen – zum Teil musste komplett neu gedacht werden.

Für allgemeine Maker und Start-Ups wurde für die rasche Beurteilung des Umwelteinflusses von Produktideen der digitale *ecoMaker Check* entwickelt. Das Online-Tool beurteilt die Produktidee entlang der Lebenszyklusphasen, bietet zusätzliche Informationen z.B. zu Materialeigenschaften und zeigt sowohl grafisch als auch in Textform an, in welchen Bereichen der Produktidee ökologisches Verbesserungspotenzial besteht.

Hauptsächlich für Maker – wobei die Grenze zwischen Maker und UnternehmerIn oft fließend ist –, wurde zusammen mit einem Programmierdienstleister eine *Online-Plattform* aufgebaut, auf der einerseits umweltfreundliche Projektideen mitsamt Nachbauanleitungen und Produktdaten geteilt und bewertet werden können, andererseits ein umfangreicher Wissensraum Methoden und Tools für die nachhaltige Produktgestaltung in jeder Produktentstehungsphase anbietet.

Für Maker und Studierende in Hackathons und Projektseminaren hat sich der entwickelte *ecoMaker Design Sprint* bewährt. Hierbei wurde die klassische Idee der Unterteilung der Produktentwicklung in

klar umrissene, zeitlich eng begrenzte Phasen übernommen und auf ökologische Nachhaltigkeit angepasst. Begleitende Hilfsmitteln unterstützen die ProduktentwicklerInnen dabei, den Prozess des Design Sprints eigenständig zu durchlaufen und dabei umweltfreundlichere Alternativen zur ursprünglichen Umsetzungsidee des geplanten Produktes zu entwickeln.

Insbesondere für unerfahrene Maker, zu denen auch Studierende und SchülerInnen zählen können, wurde eine *Serie von Animationen* entwickelt, die helfen sollen, die gängigsten Fehler zu vermeiden, die in Makerspaces zu unnötigem Material- und Energieverbrauch führen. Die Idee hinter den per QR-Code erreichbaren Animationen dient allerdings ebenso sehr dem Vermitteln ressourcensparender Praktiken als auch der Inszenierung des Makerspaces als umweltfreundlichen Handlungsraum.

Bezüglich Schulkooperationen hat sich gezeigt, dass es zwar eine Reihe von Makerspace-Angeboten für SchülerInnen und Schulklassen gibt, diese jedoch LehrerInnen in der Regel nicht bekannt sind und auf Seiten der Schulen viele strukturelle Hürden für Kooperationen mit Makerspaces bestehen, von denen ein Großteil allerdings auf Unsicherheiten der Lehrkräfte in Bezug auf den neuen Lernraum "Makerspace" basieren. Exemplarisch wurde ein *modulares Hackathon-Format* für die Sekundarstufe 1 und 2 entwickelt und mehrfach durchgeführt. Da sich jedoch gezeigt hat, dass Hürden bei solchen Kooperationen viel früher als erst beim didaktischen Konzept auftreten, wurde letztlich als Produkt eine *Broschüre für Lehrkräfte* entwickelt, die helfen soll, Unsicherheiten abzubauen und den Weg vom Klassenzimmer in den Makerspace zu ebnet.

Über die Projektergebnisse wurde kontinuierlich in wissenschaftlichen, populärwissenschaftlichen und szenenspezifischen Formaten berichtet. Unter der Prämisse des Open-Gedankens wurden sämtliche Inhalte als herunterladbare Datenpakete unter einer cc-0-Lizenz auf der Projekt-Webseite veröffentlicht und die digitalen Produkte ausschließlich unter Verwendung von Open-Source-Programmen erstellt. Die wichtige Rolle der DBU als Fördermittelgeberin wurde bei allen Publikationen und Auftritten deutlich benannt.

2 MOTIVATION UND ZIEL DES PROJEKTS

Den Zielgruppen im Maker Space sollten Wissen zur Förderung des kollaborativen Wissenstransfers sowie konkrete Werkzeuge zur Gestaltung ressourcenschonender individueller Produkte an die Hand gegeben werden. Dafür sollten im Projekt vier verschiedene Lösungsmodul (Workshops, Analyseassistent, Lehr- und Lernplattform und Ausstellung) entwickelt werden, die den jeweiligen Zielgruppen entsprechen und exemplarisch drei Anwendungsfelder berücksichtigen. Die Anwendungsfelder knüpften dabei an parallel im Fab Lab Berlin laufende Projekte und Initiativen an. Über die reine Erarbeitung dieser Lösungsmodul hinaus sollte ein finanziell tragfähiges Konzept zur langfristigen Verankerung von Themen der ökologischen Nachhaltigkeit im Fab Lab Berlin gefunden werden. Das Fab Lab Berlin wird dabei lediglich als Ausgangspunkt verstanden. EcoMaker wurde als Modellprojekt gestaltet, dessen Lösungen übertragbar sein und genügend Strahlkraft besitzen sollten, um auch in anderen Maker Spaces zum Einsatz zu kommen. Projektbegleitend ergaben sich daraus folgende Forschungsfragen:

FF1: Wie lässt sich Wissen über die Entwicklung nachhaltiger Produkte so in Maker Spaces integrieren, dass Nutzer motiviert werden, selbstständig mehr über diese Ansätze zu lernen bzw. dieses Wissen in eigenen Entwicklungsprojekten anzuwenden?

FF2: Wie können Maker Spaces verstärkt als praktische Experimentierumgebung für die Ausbildung von Lernenden in formalen Bildungsprozessen genutzt werden, um das allgemeine Interesse an Nachhaltigkeitswirkungen im Kontext von Technik zu erhöhen?

FF3: Wie kann die Vermittlung von Nachhaltigkeitswissen in Maker Spaces langfristig finanziell tragfähig gestaltet werden?

3 STAND DER WISSENSCHAFT

Der sogenannten „Maker-Bewegung“ wird nachgesagt, sie habe das Potenzial einer industriellen Revolution, die durch das rasch wachsende weltweite Netzwerk für Desktop-Werkzeugmaschinen noch zusätzliches Momentum erfährt [1]. Menschen erlangen Zugang zu Produktionsmitteln und werden somit in die Lage versetzt, selbst Güter für den eigenen Bedarf herzustellen [2]. Diese „Maker“, oft auch als „Prosumenten“ bezeichnet [3], bewegen und vernetzen sich zunehmend im digitalen Raum und lassen sich von unzähligen Beispielprodukten auf Maker-Plattformen inspirieren. Die Produktion ist dezentral an verschiedenen Standorten wie Reparatur-Cafés, Makerspaces und Fab Labs organisiert. Diese Orte sind gekennzeichnet durch ihre öffentliche Zugänglichkeit, ihr assoziiertes gemeinsames Netzwerk und die Unterstützung individueller Produktion durch ihre Ausstattung wie mit Druckern, Lasercuttern, Lötstationen etc.

Verglichen mit den streng definierten industriellen Produktions- und Ausbildungsprozessen steht die Produktentwicklung in Makerspaces für deutlich weniger strukturierte Herangehensweisen [4]. Das zeigt sich auch an der Überforderung von Makern angesichts der Vielzahl an Methoden und Werkzeugen, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, um Produktdesigner bei einer nachhaltigen Produktentwicklung zu unterstützen, wie bspw. die „Ten Golden Rules“ [5], das Konzept des kumulativen Energieaufwands [6] oder das „EcoDesign Strategy Wheel“ [7]. Kohtala beschreibt den Widerspruch, den Maker aus dem globalen Norden erfahren, wenn sie versuchen, ihre ideologisch getriebenen Produktideen innerhalb der „mondänen und beschränkenden Alltagsroutine“ in Fab Labs umzusetzen [8]. Aus dieser Erfahrung leitet sie das Konzept des „Attitude-behaviour-gap“ von Makern beim Thema Nachhaltigkeit ab. Allerdings betont sie auch, dass es zahlreiche Subkulturen in der Maker-Szene gibt, die sich hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitsorientierung und auch ihres –wissens teils stark unterscheiden [9]. Trotz dieser Vielfalt an Haltungen, Wissensbeständen und Praktiken innerhalb der Maker-Szene, herrscht im öffentlichen Diskurs ein relativ kohärentes Bild sowohl von Makerspaces als auch Makern als eng mit der Nachhaltigkeitsidee verbunden [9, 10].

3.1 Fab Labs und Makerspaces

Fab Labs, Makerspaces und Hackerspaces sind „lokale kollaborative Innovationsräume“ [11], in denen BürgerInnen befähigt werden sollen, Produkte zu designen und herzustellen, zu reparieren oder umzugestalten. Im Gegensatz zu Reparatur-Cafés und offenen Werkstätten, die es bereits lange vor der Maker-Bewegung gab, konzentrieren sich Fab Labs und Makerspaces stärker auf die Herstellung neuer

Produkte unter Nutzung digitaler Fertigungsverfahren sowie auf Vermittlungsformate, um ihre Mitglieder im Umgang mit diesen Technologien zu schulen.

Während die Begriffe “Makerspace” und “Hackerspace” häufig synonym verwendet werden, bezeichnet “Fab Lab” lokale Räume einer definierten globalen Gemeinschaft, die ihren Ursprung am *MIT Center for Bits and Atoms* hat [12]. Fab Labs orientieren sich an ihrem Manifest, der “Fab Charter”, die sich dem “Open”-Gedanken verpflichtet. Das tun sie sowohl hinsichtlich des ungehinderten Zugangs zu Fab Labs für alle Interessierten als auch im Hinblick auf einen offenen Wissensaustausch innerhalb des Fab-Lab-Netzwerks [13]. Hackerspaces und Makerspaces haben keine derartigen explizierten übergeordneten Prinzipien. Sie können eher als gemeinsam genutzte Arbeitsräume beschrieben werden, die partizipativ getrieben sind und für Peer-to-peer-Ansätze stehen: Peer-Lernen und Peer-Produktion.

Fab Labs und Makerspaces folgen unterschiedlichen Geschäftsformen, Business-Modellen und Betriebsformen, die jeweils einen Einfluss auf das individuelle Potenzial für nachhaltige Produktentwicklung in der einzelnen Einrichtung hat. In den USA sind ein Großteil der Makerspaces und Fab Labs an Universitäten und Schulen angeschlossen. In Europa gilt die Mehrheit der Einrichtungen als eigenständige “Grassroots”-Initiative, ohne Anschluss an Universitäten oder Unternehmen [14]. Solche eigenständigen Makerspaces und Fab Labs werden häufig von Ehrenamtlichen betrieben und erhalten Förderung von der Gemeinde oder kulturellen Einrichtungen. In der Regel erheben sie auch eine Mitgliedschaftsgebühr. Solche Orte haben meist einen starken Fokus auf der Befähigung von BürgerInnen [15], um diesen einen Zugang zu Produktion und Innovation mit Mitteln digitaler Fertigungstechnologien zu ermöglichen.

3.2 Maker

Die NutzerInnengruppen von Makerspaces und Fab Labs verfolgen vielfältige unterschiedliche Ziele. Studierende nutzen solche Produktionsorte im Rahmen ihres Studiums ebenso wie DIY-BastlerInnen oder Selbstständige und Start-Ups mit ökonomischen Interessen. Viele der NutzerInnen verstehen sich selbst als digitale “Prosumenten” [3], denen der Entstehungsprozess des Produktes beinahe ebenso wichtig ist wie das Produkt selbst. Sie empfinden Spaß an der Produktgestaltung und sehen den Weg zum fertigen Produkt als Lernprozess. Das Ziel, die eigene Abhängigkeit von der Massenfertigung zu minimieren, ist oft der Anstoß ihres Tuns. Für Selbstständige und Start-Ups bieten Fab Labs und Makerspaces Zugang zu Werkzeugen des Rapid Prototyping, was existenziell für ihr Geschäft sein kann. Darüber hinaus bieten solche Räume ihnen ein lokales Netzwerk mit Zugang zu potenziellen Partnern, Unterauftragnehmern und Nutzern ihrer Produkte. Ein weiterer Grund für die ökonomisch-orientierte Nutzung sind Geschäftsmodelle, die auf hoch-individualisierten Produkten oder Kleinserienfertigung für einen lokalen Bedarf basieren.

3.3 Einstellungen der Maker

In der Medienberichterstattung werden Maker häufig als Teil der Nachhaltigkeitsbewegung dargestellt [18]. Diese Annahmen basieren jedoch nicht auf einer empirischen Datenbasis, sondern auf einer angenommenen Nähe von Makerspaces zu anderen Feldern, die unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit diskutiert werden, wie der individualisierten Fertigung [19] und der politisch motivierten “Open”-Bewegung.

Die umweltfreundlichen Praktiken, die in Deutschland inzwischen zur kulturellen Routine gehören, wie Mülltrennung, Zurückbringen von Pfandgut, Nutzung wiederverwendbarer Einkaufstaschen und – zumindest in größeren Städten – Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs, wurden allesamt durch finanzielle Anreizsysteme etabliert und gehen nicht zwangsläufig mit einer umweltbewussten Haltung der AkteurInnen einher [20]. Eine representative Studie zeigte, dass 64% der TeilnehmerInnen bemängelten ein geringes private Engagement der Deutschen, schätzten aber zugleich den positiven Effekt durch privates Engagement in der deutschen Umweltbilanz als relative hoch ein. Der Attitude-Behaviour-Gap zeigt sich demnach nicht nur in Subkulturen der Maker-Szene, sondern ist vielmehr ein gesamtgesellschaftliches Phänomen. Der Unterschied liegt in der Anwendungsumgebung, in der Einstellungen sichtbar werden und zur Bewusstseinsbildung in einer rasant wachsenden Gemeinschaft beisteuern können.

3.4 Individualisierte Fertigung und Rebound-Effekte

Die zunehmende Verbreitung von Makerspaces und Fab Labs ermöglicht einen unkomplizierten Zugang zu teuren Werkzeugmaschinen wie sie vormals nur in der Industrie genutzt wurden. Darüber hinaus ist der Ansatz, Designs und Produktdaten gemäß eines Open-Source-(Hardware-)Gedankens öffentlich zur

Tabelle 1: Umweltauswirkungen in Makerspaces [9]

ASPECTS (↑) positive impacts (↓) negative impacts (↔) unstudied	Material	Fabrication	Distribution	End of Life	Consumptio
Current Practices					
Biodegradability	↑				
Durability	↑	↑			
Renewable Sources	↔	↔			
Toxicity	↓				
Packaging	↑		↑		
Emissions		↑			↔
Energy		↓			
Dematerialisation	↔				↔
Reparability					
Recyclability	↑			↓	

Verfügung zu stellen, in dieser Umgebung bereits gängige Praxis geworden [2]. Insbesondere anhand des 3D-Drucks lässt sich gut nachverfolgen, wie ein gemeinsamer Wissensraum vielfältiger AkteurInnen mit unterschiedlichen Interessen die Zugangshürden zur Umsetzung individueller Projekte mit einer neuen Technologie für BürgerInnen herabsetzen kann. Das sagt jedoch nichts über die Umweltauswirkungen solcher Innovationen aus. Kohtala hat einen Überblick über positive und negative Faktoren individualisierter Fertigung, wie sie aktuell in Makerspaces und Fab Labs praktiziert wird, zusammengetragen [8]. Wie in Tabelle 1 zu sehen, handeln Maker aktuell vor allem in der ersten Lebenszyklusphase ihrer Produkte umweltfreundlich, wenn es um Materialien geht.

Unterfragner et al. haben Umwelt-Einstellungen in einer qualitativen Querschnittsstudie in zehn Makerspaces in acht Ländern untersucht, auch in Deutschland [16]. Den Autoren zufolge lässt sich eine generelle Tendenz zu “Reparieren, Recyceln und Upcyceln” erkennen. Dies geschieht in der Regel entlang unbewusster Entscheidungsprozesse. Für ein tatsächlich umweltfreundliches Verhalten fehlt es den AkteurInnen an Wissen, bspw. um geeignete Materialien.

Fab Labs und Makerspaces betonen häufig ihr großes Potenzial für die nachhaltige Produktentwicklung, z. B. durch eine lokale Produktion. Die tatsächliche Natur ihrer Nachhaltigkeitsauswirkungen wird jedoch kontrovers diskutiert [13]. Häufig können Rebound-Effekte beobachtet werden [17]. Insbesondere der 3D-Druck mit seinen geringen Material- und Betriebskosten führt zu einer starken Zunahme von

Kunststoffabfällen durch Fehldrucke und die fehlende Möglichkeit, gedruckte Produkte zu demontieren, um bspw. nur einzelne Teile auszutauschen. Der übliche "Trial-and-Error"-Ansatz in der Produktentwicklung in Makerspaces und Fab Labs trägt zu diesem Anwachsen von Produktionsabfällen bei.

Literatur

- [1] "<https://www.fablabs.io/labs/>," [Online]. Available: <https://www.fablabs.io/labs/>. [Accessed 30 07 2018].
- [2] C. Anderson, *Makers: The New Industrial Revolution*, Random House Business Books, 2012.
- [3] A. Toffler, "The Third Wave," *Journal of Peer Production*, 1980.
- [4] M. Sosna, R. N. Trevinyo-Rodríguez and S. RamakrishnaVelamuri, "Business Model Innovation through Trial-and-Error Learning: The Naturhouse Case," *Long Range Planning*, vol. 43, pp. 383-407.
- [5] C. Luttrup and J. Lagerstedt, "EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development," *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, pp. 1396-1408, 2006.
- [6] R. Frischknecht, F. Wyss, S. B. Knöpfel, T. Lützkendorf and M. Balouktsi, "Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 20, 2015.
- [7] J. Brezet and C. v. Hemel, *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption.*, Paris : UNEP, 1997.
- [8] C. Kohtala, *Making Sustainability. How Fab Labs Address Environmental Issues*, Helsinki: Aalto ARTS Books, 2016.
- [9] C. Kohtala and S. Hyysalo, "Anticipated environmental sustainability of personal fabrication," *Journal of Cleaner Production*, vol. 99, pp. 333-344, 21 March 2015.
- [10] A. Simons, U. Petschow and J. Peuckert, *Offene Werkstätten - nachhaltig innovativ?*, Berlin: IÖW, 2018.
- [11] I. Capdevila, "Typologies of Localized Spaces of Collaborative Innovation," *Social Science Research Network*, 2013.
- [12] N. Gershenfeld, *How to make almost everything, The digital fabrication revolution*, 91 ed., 2012.
- [13] Kohtala, *Making Sustainability*, Aalto University, 2016.
- [14] P. Troxler, "Fab Labs Forked: A Grassroot Insurgency inside the Next Industrial Revolution," *Journal of Peer Production*, vol. 5, no. available from: <http://peerproduction.net/issues/issue-5-shared-machine-shops/editorial-section/fab-labs-forked-a-grassroots-insurgency-inside-the-next-industrial-revolution/>, 2014.
- [15] F. Eychenne, "Fab Labs Overview," 2012. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/slidesharefin/fab-labs-overview>. [Accessed 26 07 2018].
- [16] E. Unterfrauner and C. Voigt, "Maker's ambitions to do socially valuable things," *The Design Journal*, 2017.

- [17] U. Petschow, J.-P. Ferdinand, S. Dickel, H. Fläming, M. Steinfeldt and A. Worobei, *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit; Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker Bewegung und Industrie 4.0*, Schriftenreihe des IÖW 206/14, 2014.
- [18] F. Hartmann, D. Mietzner and D. Zerbe, "Die Maker Bewegung als neues soziales Phänomen - Ergebnisse einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewählter Massenmedien," TH Wildau, Wildau, 2016.
- [19] N. Gershenfeld, *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop-from Personal Computers to Personal Fabrication*, New York: Basic Books/Perseus Books, 2005.
- [20] R. Benthin and A. Gellrich, "Umweltbewusstsein in Deutschland. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage," BMUB, Berlin, 2016.

4 VORGEHENSWEISE UND ERGEBNISSE

Das Projekt zielte auf ein bedarfsgerechtes Angebot für die Maker-Community ab, zur Sensibilisierung und Befähigung von Makern für die Gestaltung umweltfreundlicher Produkte in Makerspaces. Aus diesem Grund wurde vor dem Start der Projekt-Konzeptionierung die Community in einer deutschlandweiten Studie zu Einstellungen, Routinen und Bedarfen von Makern befragt. Dies Notwendigkeit hierfür bestand, da die Literatur zwar vielfach über die Potentiale der Maker-Bewegung hinsichtlich einer Transformation in der nachhaltigen Produktentwicklung und Fertigung spricht, jedoch keine konkreten Aufschlüsse über die tatsächliche Maker-Praxis im Alltag gibt. So gesehen kann die Studie als Pionier-Studie auf dem Gebiet der Makerspace-Forschung in Deutschland verstanden werden.

4.1 Bedarfsanalyse

Die im Rahmen des Projekts zu erarbeitenden Lösungen wurden in vier Module aufgeteilt, die den jeweiligen Bedürfnissen der Zielgruppen entsprachen, etwa gemäß zu erwartenden kognitiven Fähigkeiten und Lerntypen. Daher wurde im Projekt ein modulares Lösungskonzept entwickelt, dessen einzelne Module in unterschiedlicher Form auf die jeweiligen Zielgruppen im Projekt zugeschnitten sind. Zur Analyse der Vorkenntnisse und der Bedarfe wurden dementsprechend zielgruppenspezifische Befragungsformen und -Werkzeuge entwickelt, eingesetzt und ausgewertet. In Bezug auf die klassischen Maker wurde eine Online-Befragung durchgeführt, Start-Ups und KMU wurden mithilfe eines Leitfadens interviewt und mit AkteurInnen der Bildungslandschaft – Studierende, SchülerInnen und Lehrende unterschiedlicher Qualifikationsstufen – dagegen Workshops abgehalten.

4.1.1 Befragung der Maker

Kern der empirischen Maker-Studie ist die Erfassung der üblicherweise angewandten Methoden der Produktentwicklungen, des allgemeinen Verständnisses von Nachhaltigkeit in Makerspaces sowie der bisherigen und künftigen Integration von spezifischen Nachhaltigkeitskriterien in die Projekte der Maker (Prosumenten). Hierfür wurde einerseits eine Onlinebefragung im Rahmen einer Querschnittsstudie mit dem Tool Limesurvey konzipiert, ausgebarbeitet und an alle deutschen Makerspaces und Fab Labs verschickt (Rücklauf: 158 Maker).

4.1.1.1 4.1.1.1 Online-Befragung

Trotz des Einbezugs aller deutscher Makerspaces entsprang die Mehrheit der Teilnehmenden letzten Endes dem Netzwerk des Fab Lab Berlin, da dieses als Projektpartner bei seinen Mitgliedern über einen Newsletter eigens für die Teilnahme geworben hatte. Erfragt wurden:

- Rolle des Makerspaces
- Produktentwicklungsprozess und Nachhaltigkeit
- Feedback zu Lösungskonzepten des ecoMaker-Projekts

4.1.1.2 Rolle des Makerspaces

Überraschenderweise werden Makerspaces und Fab Labs weniger häufig aufgesucht als angenommen: 65% der TeilnehmerInnen gaben an, dass sie nach eigenem Ermessen den Makerspace nur manchmal oder selten besuchen. 9% behaupteten sogar, nie in ihren Makerspace zu gehen, obwohl sie auf der Mitgliederliste stehen und die Makerspace-Nachrichten lesen. Nur 26% gaben an, den Makerspace oft oder sogar sehr oft zu besuchen.

Mit einer Mehrheit von 71% handelt es sich nach der Studie bei den meisten Projekten um sogenannte Do-It-Yourself (DIY)-Projekte, gefolgt von „Hacks“ (Umfunktionierung) und Reparaturen von bestehenden Produkten (vgl. Abbildung 1).

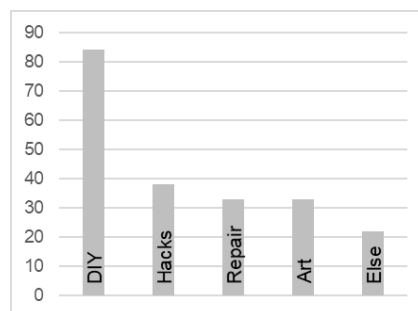


Abbildung 1: Projekttypen in Makerspaces (N=119)

Die Abgrenzung zwischen DIY und Hack kann je nach persönlichem Verständnis stark unterschiedlich ausfallen. Im Folgenden wurde im Projekt folgende Unterscheidung vorgenommen: Do-It-Yourself-Projekte sind Prozesse des Selbermachens wie Reparieren, Verbessern, Wiederverwenden oder Herstellen. Hacks dagegen sind repräsentativ für eine Funktionserweiterung oder -änderung eines bestehenden Produktes. Die maßgeblich verwendeten Technologien in den dargestellten Makerspaces und Fab Labs waren Laser-Cutter sowie 3D-Drucker (vgl. Abbildung 2).

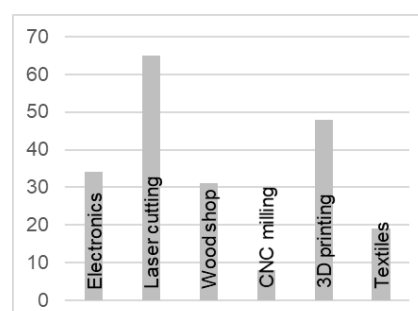


Abbildung 2: technologischer Interessenschwerpunkt von Makern (N=100)

4.1.1.3 Produktentwicklungsprozess

Bezüglich des Produktentwicklungsprozesses erklärten einige Maker ausdrücklich, dass sie keinem formalen Prozess folgen. Die intuitiven Prozessabfolgen wurden hierbei oftmals nicht als systematisches Vorgehen in Betracht gezogen. Vielmehr argumentierten die Maker, dass es ihnen in den offenen Werkstätten vorrangig um Spaß und nicht um Professionalität ginge. Dennoch konnten 46 Maker die Abfolge der Prozessschritte in ihren Projekten benennen. In der Regel wurde eine Produktidee als Ausgangspunkt beschrieben. Nur sehr wenige Maker gaben an, dass sie gezielt nach Inspiration suchten. Für diese Minderheit kann das hergestellte Produkt eher als Nebenprodukt verstanden werden, im Zentrum steht das Bauen an sich. Normalerweise treten die Maker in den Produktentwicklungsprozess ein, indem sie versuchen, ihre Idee auf Papier oder digital zu erfassen. Einige nehmen Kostenkalkulationen vor oder berücksichtigen das Design zur Abfallreduzierung. Die überwiegende Mehrheit beginnt jedoch direkt mit dem Modellieren und Bauen. Einige betrachten erste Ergebnisse als Prototypen oder erstellen sogar gezielt Prototypen für bestimmte Elemente für ein geplantes Testverfahren. Andere betrachten ihre Ergebnisse als Endprodukte, die angepasst werden müssen. Alle arbeiten jedoch mit Iterationen. Das Hauptprinzip der Produktentwicklung im Makerspace scheint „Trial-and-Error“ (vgl. Abbildung 3) zu sein. So wird beispielsweise keine digitale Simulation eingesetzt, um Fehlfunktionen vor der Bauphase zu identifizieren.

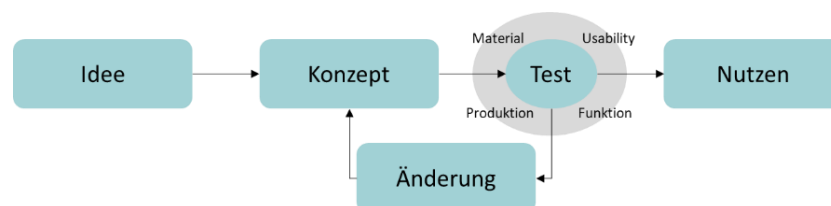


Abbildung 3: Vorgehensweise des Trial-and-Error

Nichtsdestotrotz gibt es verschiedene Designkriterien, die bereits implizit oder explizit das Themenfeld Nachhaltigkeit berühren: 44% bewerteten die Bedeutung von Nachhaltigkeitskriterien im Vergleich zu anderen Kriterien bei der Entwicklung eines Produkts als hoch oder sehr hoch.

4.1.1.4 ecoMaker-Lösungskonzepte

Anhand der Befragungen sollten zudem die einzelnen in ecoMaker vorgesehenen Lösungsideen hinsichtlich Ihrer Nützlichkeit für und Akzeptanz durch die Maker analysiert werden. So wurden die Lösungen in Bezug auf deren Inhalte und Nutzungswahrscheinlichkeiten untersucht. Es hat sich gezeigt, dass eine Vielzahl der Prosumenten sich Unterstützung für ihren Produktentwicklungsprozess sowohl in Form eines digitalen Assistenzsystems als auch einer Lehr- und Lernplattform wünschen und die Tools in ihren Arbeitsprozess einbeziehen würden. Der Fokus bei der Lernplattform wird dabei vorrangig nicht auf den interaktiven Lernprozess in Form von Webinaren gelegt, sondern vielmehr in der Bereitstellung von Hintergrundwissen und einer Projektgalerie. Das hat sich ebenso in den Kommentarfunktionen der Befragung gezeigt. Viele ProsumentInnen orientieren sich an bereits bestehenden Produkten, die sie aus Plattformen wie *instructables*¹, *github*² u. a. beziehen.

¹ <<https://www.instructables.com/>>

² <<https://github.com/OttoDIY>>

4.1.2 Leitfadeninterviews mit Start-Ups/KMU

Parallel zur Online-Befragung von Makern wurden fünf qualitative Leitfadeninterviews mit Start-Up-GründerInnen geführt, die am Fab Lab Berlin sowohl den Co-Working Space als auch die Werkstatt im Rahmen ihrer Arbeit nutzten. Ziel der Befragung der Start-Ups war ein vertiefter Einblick in deren Produktentwicklungsprozess und der ggfs. angewandten Methoden bzw. Tools, insbesondere solcher, die zu einer Integration von Nachhaltigkeitsaspekten führen (vgl. Tabelle 2). Dabei hat sich gezeigt, dass lediglich eines der Unternehmen Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigte, und das aufgrund von Kundenwünschen. Die übrigen Start-ups hingegen konzentrierten sich primär auf andere Produktaspekte wie Kosteneffizienz oder Materialverfügbarkeit.

Tabelle 2: Verständnis von Nachhaltigkeit unter Start-Ups/KMU

"Für mein Unternehmen ist Nachhaltigkeit..."					
	P1	P2	P3	P4	P5
...ein führender Startpunkt		x			
...ein strategischer Erfolgsfaktor	(x)	(x)		x	
...durch Zufall entdeckt			x		
...völlig irrelevant	x		x		
andere	x				x
P1: positiver Begleiteffekt für den Kunden; "einfach mitdenken mit gesundem Menschenverstand".					
P3: "Die Stückzahl ist so gering, dass es wirklich wenig Sinn macht, viel Arbeit hineinzulegen." "Das wäre sicherlich ein ziemlicher Rattenschwanz für Beschaffung, Test, Qualitätsmanagement..."					
P5: "...nachhaltiges Marketing überall. Ja, das ist interessant. Ich habe nie darüber nachgedacht, um ehrlich zu sein, für unsere Produkte."					

Die dem Vorhaben zugrunde liegende Annahme, dass Makerspace-NutzerInnen oft überraschend wenig über die ökologischen Implikationen ihrer Entwicklungen reflektieren, sondern der schnellen Erarbeitung eines funktionierenden Prototypen andere Ziele unterordnen, bestätigte sich auch hier. Je höher der Komplexitätsgrad der Entwicklungen, desto weniger Bedeutung maßen die EntwicklerInnen in ökologischen Aspekten bei. Es liegt nahe, dass der hohe vordergründige Kosten- und Erfolgsdruck, der auf den EntwicklerInnen technologisch hochkomplexer Projekte lastet, diese dazu verleitet, kreislaufwirtschaftliche Aspekte hintan zu stellen. Die eher langfristige Ratio, die den kreislaufwirtschaftlichen Produktgestaltungsprozessen zugrunde liegt, ist für auf kurze Sicht profit- bzw. erfolgsgetriebene Teams nicht relevant. Sie erkennen zwar das wirtschaftliche Potential von Aspekten ökologisch nachhaltig gestalteter Gebrauchsgüter an, argumentieren aber häufig, dass sie sich dies auf der verkürzten Zeitachse, die in Zeiten immer kürzerer Produktentwicklungszyklen für viele Hardware-Startups alternativlos erscheint, „leider nicht leisten können“³.

Hinsichtlich möglicher Gestaltungshilfen für die umweltfreundliche Produktgestaltung durch ecoMaker zeigten die Start-ups am ehesten ein Interesse an der Bereitstellung von Checklisten. Hinsichtlich des Assistenz-Tools begründete ein Start-up die geringe Wahrscheinlichkeit einer Nutzung folgendermaßen: „Realistisch glaube ich, dass es in Arbeitszeit gerechnet ausreicht, solche Infos parat zu haben, [ein solches Tool wäre] nichts was im Tagesgeschäft sehr präsent wäre.“ Des Weiteren wurde ersichtlich,

³ Zitat eines im Fab Lab Berlin entwickelnden Hardware-Startups

dass sich die potentiellen AnwenderInnen eine Datenbank wünschen, die konkret Informationen zu nachhaltigen Materialien und optimalerweise auch Herstellern bündelt.

4.1.3 Workshops mit Lehrenden und Lernende

Eine weitere Zielgruppe in ecoMaker waren Lernende unterschiedlicher Qualifizierungsstufen sowie – als Multiplikatoren – Lehrende. Hierzu wurde eine Befragung unter 28 Master-Studierenden eines Konstruktionskurses am Fachgebiet Industrielle Informationstechnik durchgeführt. Im Hinblick auf die Zielgruppe SchülerInnen wurden mit vier LehrerInnen der Projekt-Partnerschulen in aufeinander aufbauenden Gesprächsrunden der Bedarf und die Rahmenbedingungen im schulischen Sektor identifiziert. Darüber hinaus ein ExpertInnen-Workshop mit 11 LehrerInnen und ein Workshop mit 6 SchülerInnen mit einem Design-Schwerpunkt durchgeführt.

4.1.3.1 Befragung von Studierenden

Um die Bedarfe Studierender hinsichtlich nachhaltiger Produktgestaltung sowie ihre Nutzungsbereitschaft von unterstützenden Tools zu erfragen, wurde zunächst eine schriftliche Befragung im Projektkurs „Anwendungen Industrieller Informationstechnik für Ingenieure“ (N=28) des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik durchgeführt, der prototypisch für die Ingenieurausbildung im Masterstudiengang mit praktischen Aufgaben zur Produktgestaltung steht. Hierfür wurde ein Fragebogen im Learning Management System der TU Berlin ISIS-MOODLE erstellt, der auch bisherige Gestaltungserfahrungen und Einstellungen gegenüber Makerspaces abfragt. Die Items bezogen sich auf folgende Themengebiete:

- Nachhaltigkeitsinteresse
- Einschätzung des Nachhaltigkeitswissens (subjektiv)
- Nachhaltigkeitswissen (objektiv)
- Einschätzung des Wissens zu nachhaltiger Produktentwicklung (subjektiv)
- Wissen zu nachhaltiger Produktentwicklung (objektiv)
- Vertrautheit mit Makerspaces und ggf. Nutzungsgewohnheiten
- Unterstützungsbedarf für nachhaltige Produktentwicklung

Die Befragung hat ergeben, dass die Studierenden prinzipiell durchaus ein Interesse an Nachhaltigkeitsthemen mitbringen, jedoch lediglich über mäßige Kenntnisse im Bereich nachhaltige Produktentwicklung verfügen. Produkte werden hauptsächlich im Rahmen des Studiums gestaltet, Kriterien der Nachhaltigkeit werden jedoch in der Regel nicht berücksichtigt. Die Befragten konnten durchweg keine Maker-Space-Erfahrung vorweisen, nach einem Workshop im Fab Lab Berlin konnten sich jedoch 2/3 der Teilgenommenen eine künftige Nutzung solcher Orte vorstellen, drei sogar als Ausgangspunkt für unternehmerische Aktivitäten. Unterstützende Tools zur Berücksichtigung von

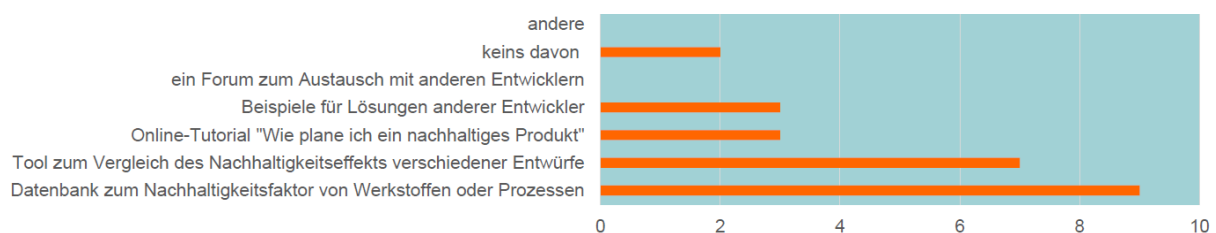


Abbildung 4: Studierendenwünsche bzgl. Tools zur nachhaltigen Produktgestaltung

Nachhaltigkeitskriterien bei der Produktgestaltung wären den Befragungsergebnissen zufolge durchaus erwünscht. Ähnlich wie die Maker und KMU wünschen sich die Studierenden eher eine knappe und intuitive Bereitstellung von relevantem Wissen, bspw. in Form einer Datenbank zum Nachhaltigkeitsfaktor von Werkstoffen und Prozessen, oder ein Tool, mit dem der Nachhaltigkeitseffekt unterschiedlicher Entwürfe verglichen werden kann (vgl. Abbildung 4).

4.1.4 LehrerInnen und SchülerInnen

Mit den verantwortlichen LehrerInnen der Partnerschulen wurde in vier mehrstündigen Projekttreffen die Bedarfe und speziellen Anforderungen von Schulen an Makerspaces als schulisch-außerschulischen Lernort erörtert. Da das Ziel darin bestand, ein auf andere Schulen übertragbares Konzept zu entwickeln, erschien es ratsam, weitere LehrerInnen und für eine möglichst große Akzeptanz und einen damit zu erwartenden höheren Lernerfolg auch SchülerInnen in die Diskussion einzubeziehen. Deshalb wurden bei der 8. Netzwerkkonferenz des am VDI/VDE ZRE angesiedelten *Netzwerks Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz* (BilRes) zwei Workshops durchgeführt, bei dem mit 11 LehrerInnen und 6 Design-SchülerInnen mögliche Chancen und Hürden des ecoMaker-Projekts diskutiert und individuelle Bedarfe der vertretenen Schulen für einen potenziellen Transfer der Lehrkonzepte abgefragt wurden. Dies geschah in mehreren Brainstorming-Sessions mit anschließender Diskussion.

Dabei wurde deutlich, dass das größte Risiko aus Sicht der Lehrerinnen in einem chronischen Zeitmangel im Schul-Setting gesehen wird (vgl. Abbildung 5), dicht gefolgt von fehlendem Know-how auf Seiten der LehrerInnen und mangelnder technischer Ausstattung der Schulen. Als Chance wurde hingegen vor allem durch die SchülerInnen der Standort Berlin und andere Standorte großer Fab Labs gesehen, die eine Einbindung in Projektwochen oder in Form von Klassenexkursionen ermöglichten. Am schwierigsten erschienen allen TeilnehmerInnen der Wissenstransfer vom Projekt auf LehrerInnen, insbesondere im Bereich CAD-Modellierung, sowie aus Sicht der LehrerInnen die Verbreitung des Angebots im Kollegium. Als wichtige Gegenmaßnahme wurden von den LehrerInnen verstetigte Partnerschaften zwischen einzelnen Fab Labs und Schulen mit jeweils einer für die Kooperation verantwortlichen Lehrkraft pro Schule genannt.

Hürden	Bedarfe	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Zeit, Zeit, Zeit • Kosten • Entfernung • Passung mit dem Lehrplan • Attitüde der Lehrenden 	<ul style="list-style-type: none"> • Verantwortliche/r in der Schule (Rollenvergabe) • Offenheit der einzelnen Schule (Kultur) • Technische Ausstattung • Know-How • Methodenbeschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektwochen nutzen, um ein Angebot ins Fab Lab auszulagern • Potenzial „Berlin“ (Schulausflüge, Klassenfahrten) • Schülerlabore, Hort • Start-up-Wettbewerbe • Schülerfirmen



Abbildung 5: Clusterergebnisse der LehrerInnen- und SchülerInnen-Workshops

4.2 Workshops

4.2.1 Pilotprojekt mit Studierenden

Bereits im Wintersemester 2017/2018 unternahm das Projektteam einen Versuch, das Bewusstsein für Nachhaltigkeitsaspekte in den Produktgestaltungsprozess im Rahmen eines Projektkurses „Anwendungen Industrieller Informationstechnik für Ingenieure“ als Kurs-Add-on in Form eines Workshops zu integrieren. Hierfür erhielten die Studierenden zunächst wie üblich eine Einführung in die Aufgabenstellung ihrer Projektteams: Sie sollten im Laufe des Semesters in kleinen Teams einen Pick-and-Place-Roboter unter Verwendung von Arduino zur Erfüllung definierter Aufgaben entwickeln und bauen. Vor der eigentlichen Entwicklungsphase fand diesmal jedoch erstmals der dreistündige Workshop zum Thema nachhaltige Produktgestaltung im Fab Lab Berlin statt (siehe Abbildung 6).

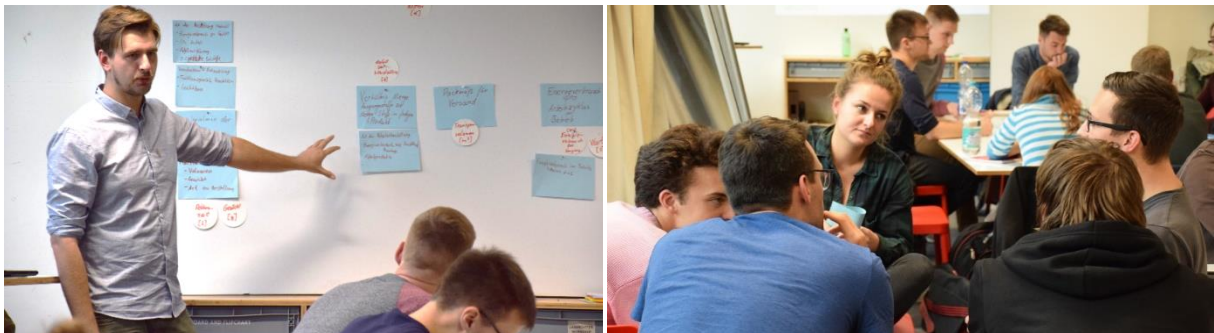


Abbildung 6: Studierenden-Workshop zu nachhaltiger Produktgestaltung im Fab Lab Berlin

Der Workshop gliederte sich in einen Einführungsvortrag zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Produktgestaltung, eine anschließende Gruppenarbeitsphase zur Definition von Nachhaltigkeitsindikatoren, die im Rahmen des Projekts relevant werden könnten, und schließlich des Mappings und der Diskussion der Indikatoren sowie der Festlegung eines Indikatorensets, das während des Projektes verbindlich von allen Teams zu berücksichtigen war. Bei den Ergebnispräsentationen im Laufe des Semesters musste die Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsanforderungen explizit dargestellt werden.

Nach Abschluss des Projekts wurde eine schriftliche Befragung durchgeführt, um unter anderem Feedback zu dem gewählten Workshop-Format einzuholen. Auch wurden einzelne Feedback-Gespräche geführt. Die Befragung ergab, dass die Mehrheit der Studierenden den Eindruck hatte, die verbindlich festgelegten Indikatoren hätten im Vergleich zu den durch sie individuell definierten Indikatoren einen

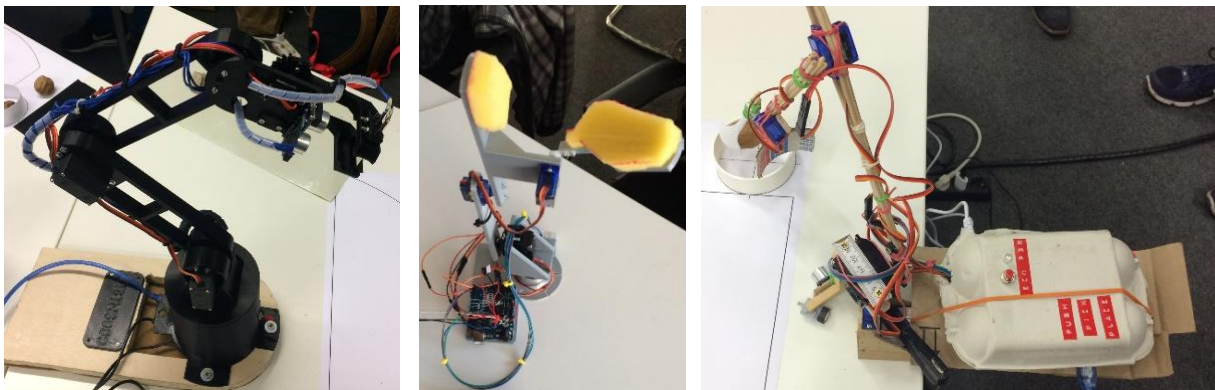


Abbildung 7: Nachhaltige Produktgestaltung von Pick-and-Place-Robotern

geringeren Nachhaltigkeitseffekt, was als frustrierend empfunden wurde. In der Folge scheint dies auch zu einer geringeren Motivation geführt zu haben, die Indikatoren ernsthaft zu berücksichtigen. Zwei Projektteams erlegten sich selbst strengere Nachhaltigkeitskriterien auf als im Kurs definiert und verfolgten diese konsequent. Bei den übrigen zeigte sich, dass der Nachhaltigkeitsaspekt rasch hinter anderen Aspekten wie Ästhetik zurückgestellt wurde (für Lösungsbeispiele der Teams siehe Abbildung 7). Ein Ergebnis für künftige Workshops sollte daher sein, den Studierenden mehr Verantwortung bei der Definition ihrer Kriterien zu übertragen. Vor allem aber sollte der Aspekt Nachhaltigkeit im Entwicklungsprozess integriert und kontinuierlich betrachtet werden. Vorab einen Mindeststandard anhand von Nachhaltigkeitsindikatoren zu definieren und dann weitgehend losgelöst davon in den Designprozess einzusteigen führt dazu, dass Nachhaltigkeit nicht konsequent mitgedacht wird, sondern selbst lediglich als Add-on wahrgenommen wird. Aus dieser Erkenntnis ergab sich das Projektvorhaben, einen integrierten Designsprint zu entwickeln, bei dem Nachhaltigkeitsaspekte zeitgleich mit anderen Designanforderungen gedacht würden.

4.2.2 SchülerInnen-Training

Mit der Georg-Schlesinger-Schule (Berufsschule in einem sozio-ökonomisch benachteiligten Stadtteil) und der Wilma-Rudolf-Schule (Gymnasium in einem sozio-ökonomisch bevorteilten Stadtteil) wurden zwei Partnerschulen ausgewählt, die möglichst konträr waren hinsichtlich Bildungsaspiration und Lernmotivation der Schülerschaft. Auch brachten die SchülerInnen unterschiedliches Vorwissen bspw. im Bereich Produktion mit. Dieses Spektrum abzubilden war wichtig, da der Transfer der Projektergebnisse nicht auf eine Schulart beschränkt sein sollte.

In den Workshops mit den LehrerInnen der Partnerschulen hat sich rasch gezeigt, dass die Erwartungen der Lehrenden an die Leistungsfähigkeit und damit an den Betreuungsaufwand je nach Schulform unterschiedlich waren. Gemeinsam war ihnen, dass das Training produktbezogen sein sollte, um die Motivation der SchülerInnen zu wecken. Während den BerufsschülerInnen jedoch möglichst enge Vorgaben gemacht werden sollten, bspw. hinsichtlich der zu entwickelnden Objekte, und eine engmaschige Betreuung jedes Arbeitsschritts aus Sicht der Lehrenden erforderlich war, wurde den GymnasiastInnen deutlich mehr Eigenständigkeit in allen Arbeitsschritten zugetraut. Eine engmaschige Betreuung wurde im Hinblick auf die BerufsschülerInnen von den Lehrenden als motivationssteigernd angenommen, da Überforderung vermieden würde, im Hinblick auf die GymnasiastInnen als demotivierend aufgrund zu geringer Freiheitsgrade. Für den Transfer der Projektergebnisse war also ein modulares Angebot an Lehrmaterial, das den Lehrenden klassenspezifische Anpassungen erlaubte, unumgänglich.

Ein wesentliches Element der Maker-Bewegung ist der kollaborative Wissensaustausch untereinander. Hackathons treten hierbei als wiederkehrendes Veranstaltungsformat auf. Hierbei handelt es sich um einen zeitlich begrenzten Workshop, in dem – möglichst interdisziplinär aufgestellt – die TeilnehmerInnen in Gruppen Lösungen für eine bestimmte Problemstellung erarbeiten. Makerspaces repräsentieren durch ihren „Open-Access“ einen Lernraum, der auch für SchülerInnen durch den interaktiven Charakter attraktiv sein kann. Im Projekt wurden daher Upcycling-Hackathons mit SchülerInnen der zwei Partnerschulen durchgeführt. Hierfür wurde ein Trainingsprogramm entwickelt. Das Konzept sah vor, dass die SchülerInnen vorab für das Thema Nachhaltigkeit sensibilisiert sowie mit

der digitalen Erstellung von CAD-Modellen vertraut gemacht werden sollten. Somit gliederte sich das „ecoMaker SchülerInnen-Training“ in seinem ersten Ansatz in folgende drei Module:

- (1) „Lernen“ – Nachhaltigkeit: Einführung in das Thema Nachhaltigkeit in der Produktion in den Schulen vor Ort
- (2) „Modellieren“ – computergestützte Produktgestaltung: Einführung in FreeCAD an der TU Berlin
- (3) „Bauen“ – Hackathon: Dreitägiger Hackathon mit einem Design Sprint und Prototyping am Fab Lab Berlin.

4.2.2.1 Nachhaltigkeitseinführung

Aus früheren Projekten und Studien war der üblicherweise geringe Wissensstand von SchülerInnen zum Thema Nachhaltigkeit bekannt. Daher wurde ein dreistündiger interaktiver Einführungsworkshop entworfen, in dem die SchülerInnen mittels eines Teamquizzes mit Rechercheaufgabe, eines kurzen Vortrags, eines Gamification-Elements und eines Lernspiels zu nachhaltiger Produktion im Produktlebenszyklus geschult werden sollten.

Bereits vorhanden war dabei aus einem früheren Projekt das Gamification-Element eines satirischen Typentests, ein an sogenannte „Psychotests“ aus Jugendzeitschriften angelehntes Ankreuzspiel zur Einschätzung des eigenen Nachhaltigkeitstyps. Ebenfalls bereits vorhanden war der positiv auf seine Wirksamkeit hin getestete Prototyp des Lernspiels „Goods-Loop“. Dabei handelt es sich um ein Brettspiel, bei dem die SpielerInnen in die Rolle von ProduzentInnen schlüpfen und ein Produkt durch seinen Produktlebenszyklus begleiten. Hierbei begegnen ihnen in allen Produktlebensphasen spezifische Herausforderungen, zu deren Lösung die SpielerInnen Entscheidungen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten treffen müssen. Für den Einsatz im ecoMaker-Projekt wurde das Spiel umfangreich angepasst. Das Kartenset, das die Herausforderungen in den einzelnen Produktlebensphasen definiert, wurde von 116 auf 230 nahezu verdoppelt, um der Bedeutung der Produktentstehungsphase für ein nachhaltiges Produkt Gewicht zu verleihen. Entsprechend wurden Teile des Spiels eigens für die Workshops neu produziert.

Neu entwickelt wurde ein Teamquizz für den Einstieg ins Thema Nachhaltigkeit. Aus aktuellen Studien wurden Zahlen mit Schockpotenzial identifiziert und passend zu jedem „Shocking Fact“ ein Poster gestaltet. Die SchülerInnen sollten sich dem Konzept nach um die Poster herum in maximal fünf Gruppen teilen und online recherchieren, ob die Behauptung auf ihrem Poster wahr oder unwahr sei. Anschließend sollten die Gruppen im Wettkampf mit einander raten, welche Fakten „wahr“ oder „unwahr“ seien, wobei jede Gruppe die Antwort für ihren Fakt kennen und nach der Rate-Session auflösen sollte. Ebenfalls neu erstellt wurde ein Kurzvortrag, der von den recherchierten allgemeinen Fakten zum Thema umweltfreundliche Produktion überleitete.

Die Reihenfolge sah vor, mit dem Recherchequizz breit in die Thematik Nachhaltigkeit einzusteigen, anschließend durch den Kurzvortrag das Thema auf nachhaltige Produktion zuzuspitzen und das Denken im Produktlebenszyklus einzuführen, als nächstes die SchülerInnen mit dem Typentest satirisch für ihre eigene Position beim Thema Nachhaltigkeit zu sensibilisieren und anschließend das 90minütige Lernspiel durchzuführen.

4.2.2.2 CAD-Einführung

Das Erlernte sollte am Fab Lab Berlin auch gleich in die Praxis umgesetzt werden. Damit die Ideen und Konzepte an den Maschinen realisiert werden konnten, mussten diese mit CAD modelliert und im entsprechenden *.stl Format konvertiert werden können. Aufgrund des Open-Source-Anspruches innerhalb des Projektes wurden zunächst verschiedene Open-Source-Konstruktionsprogramme gesichtet und bezüglich ihrer Eignung sowohl für den Einsatz vor Ort als auch für den Modellierungs-Workshop an der TU Berlin analysiert. Daraufhin wurde das Tool *FreeCad* ausgewählt (für einen Eindruck der Oberfläche siehe Abbildung 8). In den 4-stündigen Workshops sollten die SchülerInnen den Umgang mit CAD erlernen anhand ausgewählter Übungsbeispiele, die die TeilnehmerInnen zum Teil angeleitet und im Anschluss in eigenem Tempo erstellen sollten.

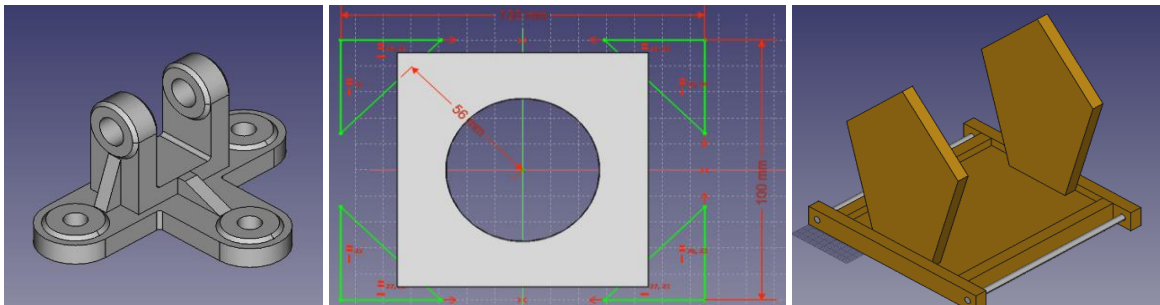


Abbildung 8: Beispielanwendungen in FreeCAD aus dem SchülerInnen-Training

Workshop-begleitend wurden folgende Unterlagen erstellt:

- Umgang mit FreeCAD
- Tutorial zur Erstellung eines Gabellagerbocks für die Georg-Schlesinger-Berufsschule
- Tutorial zur Erstellung eines Whiffle-Balls für die Georg-Schlesinger-Berufsschule und die Wilma-Rudolf-Schule
- Tutorial zur Erstellung eines Vogelfutter-Spenders für die Wilma-Rudolf-Schule

4.2.2.3 Hackathon

Im letzten Schritt wurden die SchülerInnen in das Fab Lab Berlin eingeladen, um im Rahmen eines Design-Sprints (für Eindrücke des Hackathons vgl. Abbildung 9) ein nachhaltiges Produktkonzept zu erarbeiten, welches final mit den im Fab Lab vorhandenen Maschinen und einer Auswahl an Upcycling-Materialien, die an der TU Berlin gesammelt und von den TeilnehmerInnen mitgebracht wurden, gefertigt werden sollte. Der Design Sprint wurde eigens für die Zielgruppe und den Einsatzzweck iterativ entwickelt. Er ist in der Planungsphase des Produktentwicklungsprozesses einzuordnen und besteht aus den drei Subsprints Basis-Sprint, Öko-Sprint und Ideen-Sprint (vgl. Kapitel 4.3).

Am Ende des Hackathons präsentierten die Teams in „Elevator Pitches“ ihr Produkt. Dabei sollten sie ihre Idee, ihr Vorgehen, Schwierigkeiten während der Produktentwicklung und berücksichtigte Umweltaspekte vortragen. Mit Post-its mussten dafür all jene Stellen am fertigen Produkt markiert werden, die einen Nachhaltigkeitsbezug aufwiesen, etwa wiederverwendetes Material oder ressourcenschonende Funktionalitäten.



Abbildung 9: Erstes SchülerInnen-Training mit der Georg-Schlesinger-Schule

4.2.2.4 Anpassungen

Im Laufe der drei durchgeführten ecoMaker SchülerInnen-Trainings (vgl. Tabelle 3) ergaben sich eine Vielzahl von Erkenntnissen zu Hackathons mit SchülerInnen, aber auch zur Kooperation von Makerspaces und Schulen, von denen einige zu gewichtigen Änderungen des didaktischen Designs führten. So war es zunächst einmal überraschend schwer, eine Verbindlichkeit aufseiten der Schulen herzustellen. Mehrfach wurden die Klassen am vereinbarten Termin für die Nachhaltigkeitseinführung gar nicht oder nur zum Teil in der Schule angetroffen, teils nicht einmal die LehrerInnen. Die vereinbarten Termine waren vergessen oder im Kollegium schlecht kommuniziert worden. Vor Ort konnte dann selten der volle vereinbarte zeitliche Umfang gewährt werden, weshalb das Programm gekürzt werden musste, was die didaktische Struktur empfindlich störte. Die CAD-Einführung an der TU Berlin wurde von einer Partnerschule kurzfristig abgesagt. Auch für die Durchführung der Hackathons stellte sich in zwei von drei Fällen kurzfristig heraus, dass weniger Zeit zur Verfügung stand als angekündigt (im extremsten Fall zwei halbe anstelle von vorgesehenen drei vollen Tagen).

Tabelle 3: SchülerInnen-Trainings während des ecoMaker-Projekts

Partner	Georg-Schlesinger-Schule	Wilma-Rudolf-Schule	
		Training No. 1	Training No. 2
Nachhaltigkeits-einführung (Schule)	20.04.2018 3 Schüler, großenteils ausgefallen	16.05.2018 25 SchülerInnen, deutlich verkürzt	In den Produktentwicklungsprozess integriert
Einführung in CAD-Software (TUB)	23.04.2018 weitgehend ohne Lehrerbegleitung	Geplant: 06.06.2018 Kurzfristige Absage	In den Produktentwicklungsprozess integriert
Hackathon (Fablab Berlin, ViNN:Lab)	24.-25.04.2018 zum Teil ohne Lehrerbegleitung,	18.-20.06.2018 ohne Lehrer-Beteiligung	02.-03.12.2019 Mit Lehrerbeteiligung
Entstandene Produkte	Toilettenpapierrollenhalter, Shisha-Adapter, Vogelkäfig	Lautsprecher, Grinder, Blackrole, LED-Untersetzer, Handy Controller	u.a. Sitzsack, Multifunktions-tisch, Granulat-Sortierer

Aus alledem wurde geschlossen, dass es Schulen schwerfällt, die SchülerInnen für den ursprünglich geplanten Zeitraum vom Regelunterricht zu befreien. Das SchülerInnen-Training wurde entsprechend grundlegend überarbeitet. Sämtliche vorgelagerten Workshops wurden abgeschafft. Das Training sollte sich nun ausschließlich auf die Zeit im Makerspace konzentrieren. Hierfür wurde der Designsprint um eine Reihe von Begleitmaterialien ergänzt, sodass die Bewusstseinsbildung hinsichtlich Umweltaspekten parallel zur Planung und Gestaltung des avisierten Produktes geschieht. Auf die CAD-Einführung wurde indes verzichtet, da sich herausgestellt hatte, dass die SchülerInnen in der Regel entweder bereits über recht umfangreiche Erfahrungen verfügten oder aber das Training nicht ausreichte, damit sie ihre Projekte im Makerspace anschließend tatsächlich eigenständig gestalten konnten. Stattdessen wurde Personal im Makerspace vorgesehen, das bei Bedarf gemeinsam mit den SchülerInnen die CAD-Arbeiten vornahm.

Eine weitere Beobachtung bestand darin, dass es einigen SchülerInnen zum Teil schwerfiel, eine Produktidee zu entwickeln, was viel Zeit kostete, die später bei den verkürzten Hackathon-Zeiten für die Umsetzung fehlte. Auch überzeugten die Produkte zum Teil nicht im Punkt Nachhaltigkeit. So wurde beim letzten Hackathon eine eingrenzende Rahmenaufgabe gestellt, die zugleich Inspiration bieten und einen positiven Umwelteinfluss vorgab: Es sollten neue Produkte aus üblichen Makerspace-Abfällen wie Granulat aus 3D-Druck-Filament (von Fehldrucken) oder Filamentspulen (für die es noch kein überzeugendes Rücknahmesystem vonseiten der Hersteller gibt) entwickelt werden. Die Ergebnisse zeugten von einem deutlich stärkeren Fokus auf kreislaufwirtschaftlichen Vorstellungen als bei den vorangegangenen Hackathons. Selbst wenn zuvor Abfallmaterialien verwendet wurden, geschah dies meist weniger im Bewusstsein einer umweltfreundlichen Design-Entscheidung als eher aufgrund der raschen Verfügbarkeit des Materials. Das zeigte den für die ökologische Bewusstseinsbildung förderlichen Einfluss einer groben Eingrenzung der Aufgabenstellung, die den Fokus auf einen Umweltaspekt transportiert.

Bei einem stark verkürzten Hackathon von weniger als zwei vollen Tagen nimmt das Vorgehen des ecoMaker Design Sprints zu viel Zeit ein. Deshalb wurde für den dritten Hackathon stattdessen ein Produktentwicklungsprozess in mehreren Phasen vorgegeben. Jedes SchülerInnen-Team erhielt einen Stapel an Prozesskarten (zur Ansicht vgl. Abbildung 10) mit exakten Aufgabenstellungen für die jeweilige Phase sowie an die ecoDesign-Checklist angelehnte Templates, deren Bearbeitung die Prozesskarten vorgaben. Die Karten bezogen sich auf die Schritte:

1. Ideenfindung (Ideation-Phase)
2. Ideenmarkt (Ideation-Phase)
3. Gruppenbildung (Ideation-Phase)
4. Produktdefinition (Design-Phase)
5. Entwerfen (Design-Phase)
6. Prototypenbau (Create-Phase)
7. Vorbereitung Präsentation (Present-Phase)

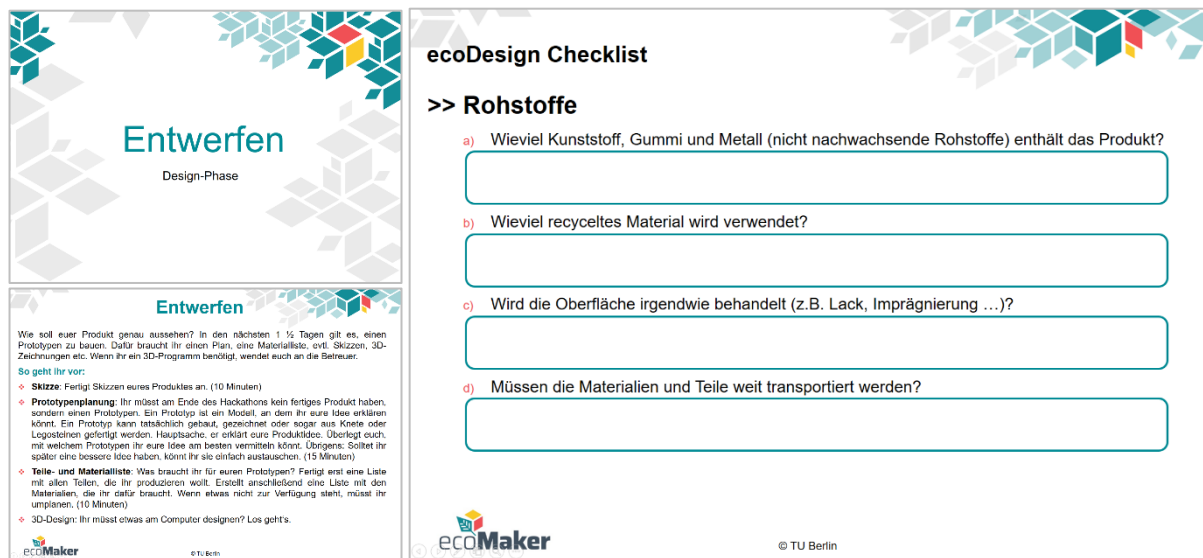


Abbildung 10: Materialien des verkürzten ecoMaker SchülerInnen-Trainings: Vorderseite (links oben) und Rückseite (links unten) einer Prozesskarte sowie ein Template aus einem der Prozessschritte (rechts)

4.3 ecoMaker Produkte

Die aus der ersten Projektphase abgeleiteten Lösungskonzepte wurden in der zweiten Projektphase in Form von Produkten umgesetzt. Dabei unterlagen sie allesamt einem iterativen Prozess aus Entwickeln, Erproben und Anpassen. Zudem wurde darauf geachtet, alle Produkte nach Vorgaben des "Open Knowledge"-Gedanken der breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen und wenn möglich adaptierbar zu halten. So wurden alle druckbaren Produkte unter einer cc-0-Lizenz veröffentlicht und die digitalen nach Möglichkeit unter Verwendung von Open-Source-Software erstellt.

4.3.1 ecoMaker Design Sprint

Design Sprints sind eine etablierte Methode im Produktentwicklungsprozess und haben ihren Ursprung im Design Thinking-Ansatz. Sie beschreiben einen Entwicklungsprozess, der üblicherweise in die fünf Phasen (1) Verstehen, (2) Divergieren, (3) Konvergieren, (4) Prototyp und (5) Testen aufgeteilt wird⁴. Die Methode wurde entwickelt, um innovative Produkte in kurzer Zeit auf den Markt zu bringen und Marktrisiken zu reduzieren, indem eine sehr breite Systemebene in die Produktentwicklung einbezogen wird. Da Design Sprints klassischer Weise in den frühen Phasen der Produktentstehung eingebettet sind, einfach und schnell durchgeführt werden können und überdies einen kollaborativen Charakter

⁴ J. Knapp, J. Zeratsky and B. Kowitz, *Sprint. How to solve big problems and test new ideas in just five days*, New York: Simon & Schuster, 2016.

aufweisen, lag es nahe, die Methode für das Setting Makerspace anzupassen, sodass er ökologische Fragestellungen zu Projektideen aufwirft, bevor diese realisiert bzw. produziert werden. Der Fokus lag auf kreativem Denken zur ökologischen Problemlösung.

Der im Rahmen des Projekts entstandene ecoMaker Design Sprint dauert in der Durchführung ca. 2,5 Stunden und richtet sich final an alle potentiellen Zielgruppen, die in Makerspaces und Fablabs mitwirken – unabhängig von deren Wissenstand um ökologische Problemstellungen. Die Entwicklung der Methode erfolgte iterativ und wurde neben den SchülerInnen-Trainings auch auf den Community-Veranstaltungen Open Source Circular Economy Days, Re:publica 2018 und dem Hackathon „Re:Think Mobility“ im November 2018 getestet und fortlaufend optimiert. Insbesondere eingebettet in das Hackathon-Format erwies er sich als ausgesprochen erfolgreich. Die Hackathon-erfahrenen TeilnehmerInnen lobten die Methode in ihrem Feedback explizit als sehr hilfreich und erbaten das Material für weitere private Projekte. Für eine mögliche Einbettung des ecoMaker Design Sprints in einen klassischen Hackathon, der die Herstellung physische Prototypen zum Ziel hat, vgl. Abbildung 11.

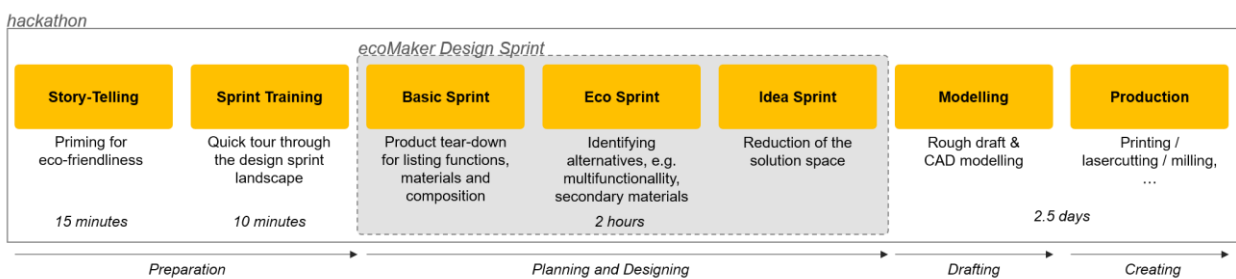


Abbildung 11: Konzept für die Einbettung des ecoMaker Design Sprints in einen Hackathon

4.3.1.1 Beschreibung der Methode

Gängigen Methoden zur Produktentwicklung unterstützen ProduktentwicklerInnen vor allem konzeptionell. Dies trifft auch auf den ecoMaker Design Sprint zu, mit dem integrierten Ziel, Produktideen unter der Prämisse der umweltfreundlichen Produktgestaltung und anschließenden Fertigung zu begleiten. Der Sprint eignet sich primär für physische Produkte und kann sowohl von Einzelpersonen als auch von Gruppen durchgeführt werden.

Der ecoMaker Design Sprint besteht aus den Sub-Sprints (1) Basis-Sprint, (2) Öko-Sprint und (3) Ideensprint. Bei jedem Sub-Sprint handelt es sich um eine in sich geschlossene Teilaufgabe mit jeweils eigenen Hilfsmitteln. Gearbeitet wird mit einem Template-Poster, einer sogenannten „Canvas“ (vgl. Abbildung 12), an dem im Laufe des ecoMaker Design Sprints mittels Haftnotizen umweltfreundliche Lösungsmöglichkeiten gesammelt, geclustert, bewertet und aussortiert werden.

Die einzelnen Arbeitsschritte sind in der Canvas als konzentrische Ringe angeordnet. Im Laufe des Sprints wird sich von innen nach außen vorgearbeitet. Jeder Ring ist außerdem in Segmente unterteilt, die MakerInnen dabei unterstützen, das Produkt in all seinen Lebensphasen (von der Materialgewinnung bis zur Entsorgung) zu betrachten. Für die letzte Arbeitsphase, dem Ideen-Sprint, gibt es keinen eigenen Ring. In dieser Phase wird weiter im Ring des Öko-Sprints gearbeitet.



Abbildung 12: Arbeitsmaterialien des ecoMaker Design Sprints, links: Canvas, rechts: Drehscheibe und Logbuch

Im *Basis-Sprint* wird das konzipierte Produkt basierend auf existierenden Referenzprodukten mit ähnlichen Funktionseigenschaften analysiert. Hierfür werden neben den Lebensphasen Material, Herstellung, Nutzen und Lebensende auch die allgemeinen Funktionen des Referenzprodukts betrachtet. Anschließend werden im *Öko-Sprint* anhand gezielter Leitfragen entlang des Produktlebenszyklus, die nutzungsfreundlich in einer Drehscheibe aufbereitet wurden (vgl. Abbildung 12), eine Vielzahl an sogenannten ökologischen Stellschrauben identifiziert. Das heißt, zu jedem Aspekt aus dem Basis-Sprint – etwa Material oder Herstellungsart – werden möglichst viele umweltfreundlichere Alternativen gesucht und auf der Canvas festgehalten (für ein Beispiel bis zu diesem Prozessschritt vgl. Abbildung 13).

Im *Ideen-Sprint* werden aus all den umweltfreundlichen Alternativen diejenigen herausgefiltert, die für das jeweilige Projekt realistisch in Frage kommen. Mit Hilfe einer Schritt-für-Schritt-Anleitung in Form des „Logbuchs“ (vgl. Abbildung 12) werden dabei die individuellen Ansprüche hinsichtlich Kosten, Zeitaufwand und Designkriterien definiert und die umweltfreundlichen Optionen des Ideen-Sprints danach bewertet. Dabei stellt sich wahrscheinlich ein Großteil der Ideen als ungeeignet heraus und wird aussortiert. Aus den verbleibenden Ideen wird eine Rangfolge erstellt und die umzusetzenden Entscheidungen für das Produkt festgelegt.



Abbildung 13: Arbeit an der ecoMaker Design Sprint Canvas im Arbeitsschritt „Ideen-Sprint“

Sämtliche Materialien des ecoMaker Design Sprint wurden so gestaltet, dass sie mit einfachen Mitteln (Drucker und Schere) erstellt werden können und als „Bastelvorlagen“ in einer digitalen Arbeitsmappe zusammen mit einer Methodenbeschreibung, einer Schritt-für-Schritt-Anleitung und einer Bastelanleitung abgelegt. Dieses Materialpaket steht auf der Projekt-Webseite zum Download bereit.

4.3.2 Lernplattform

Plattformen bieten einen Raum für User um eigene Projekte umzusetzen, sich neue Dinge anzueignen, aber auch der Weitergabe von Erkenntnissen, die während der Projektumsetzung gewonnen wurde. Somit entsteht ein Prozess des Voneinander-Lernens und des Lernens durch Machen. Der Lernprozess hat somit einen primär informellen Charakter. Existierende Plattformen wie *Instructables* bieten MakerInnen bieten bereits eine Option zur Bereitstellung von Wissen, bieten aber eine derartige Fülle an Projekten und Projektideen, die eine Filterung umweltfreundlicher bzw. umweltfreundlich gestalteter Projekte erschwert. Der erleichterte Zugang zu den Technologien hat aber gleichermaßen zur Folge, dass Rebound-Effekte in Form der Mehrproduktion an individuellen Produkten zu verzeichnen sind (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Motivation für die Lernplattform

Die Förderung einer offenen Community für spezifisch umweltfreundliche Produktgestaltung ist somit neben dem Zusatzangebot des Wissensraums eines der Alleinstellungsmerkmale. Basierend auf den Erkenntnissen der Vorabbefragung konnten spezifische Anforderungen und Wünsche der Maker abgeleitet werden (vgl. Abbildung 15). Der Fokus der Plattform wurde somit auf die Bereitstellung von Hintergrundwissen und Projektbeispielen gelegt und in Zusammenarbeit mit einem IT-Unternehmen implementiert.

Die Inhalte der Plattform können über Internetseite www.ecomaking.org aufgerufen werden. Die Einstellung eigener Projekte/Replikationen erfordert die Registrierung auf der Webseite und berechtigt ebenso zur Bewertung vorhandener Projekte nach den Kriterien Umweltfreundlichkeit (Material, Herstellungsart, Beständigkeit und Nützlichkeit) sowie Tauglichkeit der Darstellung (Verständlichkeit, Qualität der mitgelieferten Daten, Darstellungsart, Neuartigkeit der Idee und Ästhetik). Die Projekte und Anleitungen können zur weiteren Verwendung als PDF heruntergeladen, gedruckt oder in der eigenen Community via Facebook geteilt werden.

Eine verbesserte Nutzung der Plattform soll durch eine vordefinierte Filterstruktur erreicht werden. Hier können die Nutzenden die Anzahl der anzuzeigenden Projekte gemäß ihrem Vorhaben und ihren technologischen Möglichkeiten (z. B. Bauraumgröße, technologischen Kenntnisse, Materialien, Kosten) reduzieren. Ein Sonderfilter stellt die Maßgabe der grünen Alltagsprodukte dar, die durch einen klaren Bezug zu Produkten mit einem konkreten nachhaltigen Alltagsmehrwert charakterisiert sind.

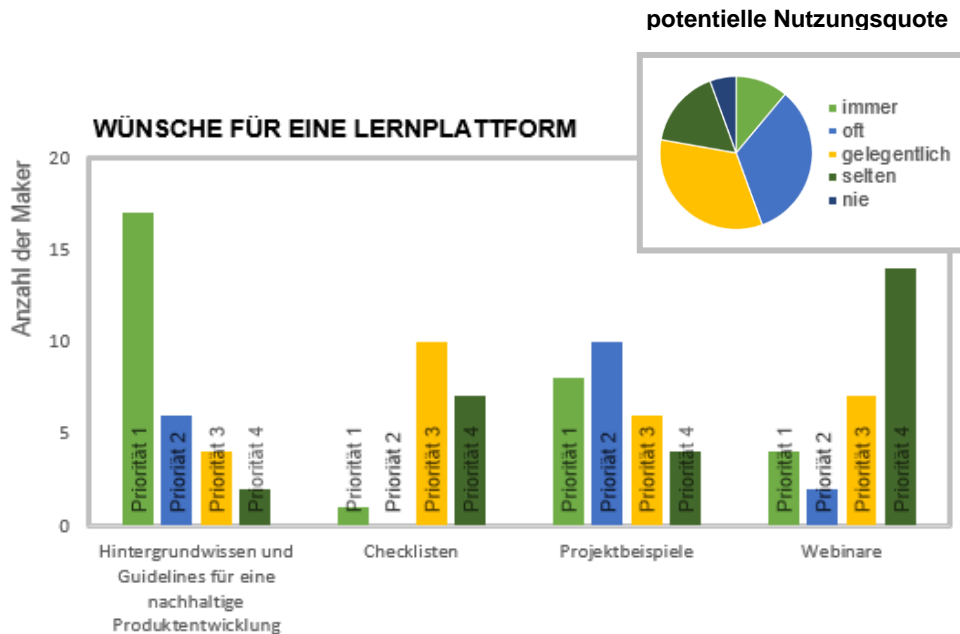


Abbildung 15: Wünsche der Maker im Ranking für eine Lehr- und Lernplattform

4.3.2.1 Projektgalerie

Die Projektgalerie bietet eine Plattform zur Vorstellung eigener fertiger Projekte und die Möglichkeit, Feedback sowie Anregungen und Anerkennung aus der Community zu erhalten. Als Maßstab dient entweder die Verwendung umweltfreundlicher Materialien, umweltfreundliche Produktion und/oder der Bezug für einen nachhaltigen Alltag.

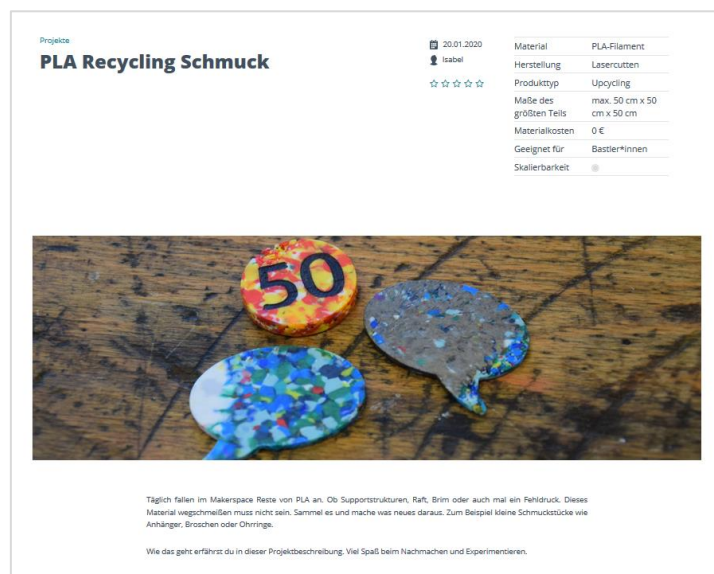


Abbildung 16: Beispiel einer Projektdarstellung (Ausschnitt Header)

4.3.2.2 Replikationen

Eine detaillierte Dokumentation der Projekte wird in der Rubrik der Replikas vorgestellt, in denen sie in Schritt-für-Schritt-Beschreibungen die Projektdurchführung, verwendete Tools und Materialien sowie die gesammelten Erfahrungen mit der Community teilen. Torrey und McDonald⁵ beschreiben die prozedurale Information sequentiell vergleichbar mit einer Rezeptanleitung beim Kochen. Die Anleitungen können durch die Einbettung von Bildern, Videos und PDF-Dokumenten verständlich aufbereitet werden.

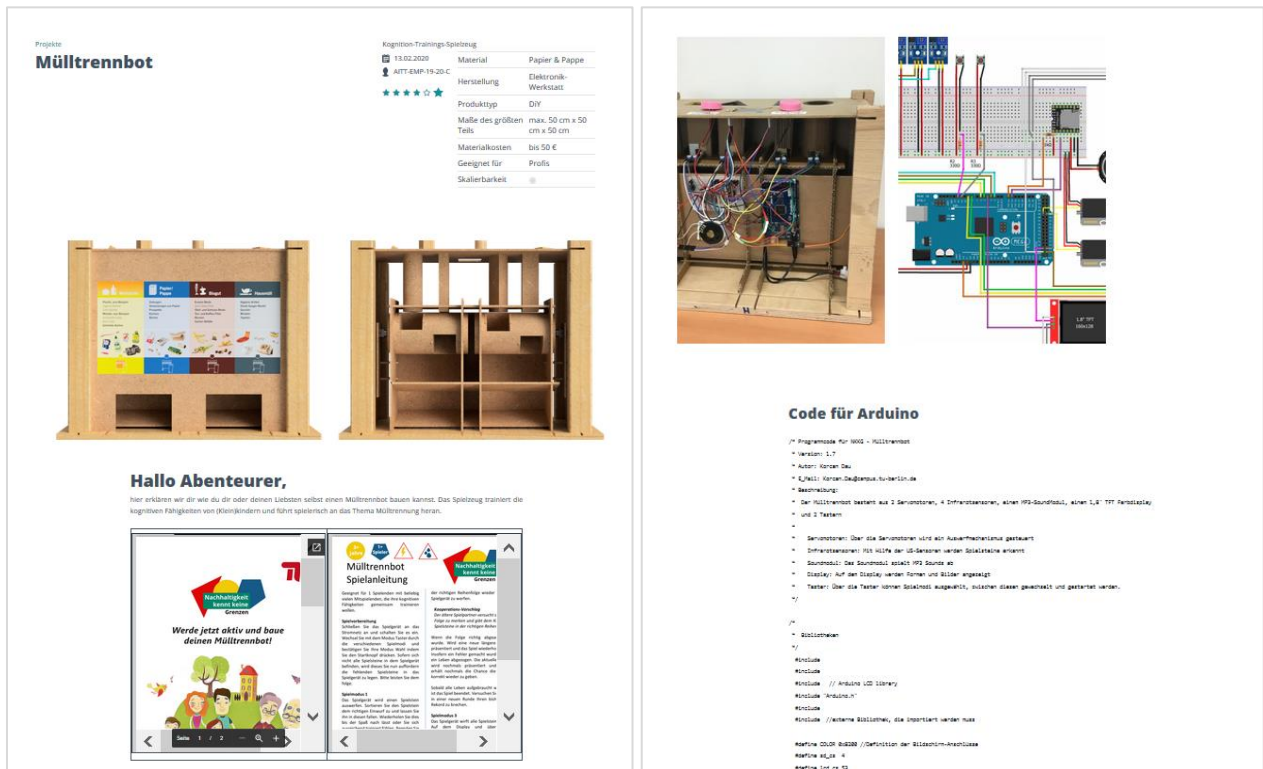


Abbildung 17: Beispielauszug für eine Replikation

4.3.2.3 Wissensraum

Zusätzlich zum Lernen über angewandte Projektpraxis wird im Wissensraum Wissen entlang des Produktentwicklungsprozesses bereitgestellt werden. Die Inhalte orientieren sich stark an den Bedürfnissen und dem aus der Bedarfsanalyse (AP1) abgeleiteten Kenntnisstand der Maker-Community. Aufgrund der starken Diversität möglicher Maker-Projekte wurde ein universaler Wissensraum geschaffen, der für vielfältige Themenbereiche eine Verlinkung zu bereits bestehenden Wissen bietet als primäre Unterstützungsmaßnahme der von der informations- und werkzeugüberfluteten Community. Folgende relevanten Themenbereiche wurden hierfür identifiziert:

- Warum ist es wichtig, umweltfreundliche Produkte zu gestalten? Vorgaben und persönliche Motivation, Paradoxien unseres Lebens
- Grundlegende Ansätze: Circular Economy, Peer-To-Peer-Production
- Methoden der Produktentstehung

⁵ Torrey, C., McDonald, D. W., Schilit, B. N. & Bly, S. (2007). How-to pages: Informal systems of expertise sharing. In ECSCW'07: Proceedings of the tenth european conference on computer supported cooperative work (S. 391–410). London: Springer.

- Checklisten, Best Practices
- Methoden zum Messen und Beurteilen von Nachhaltigkeit von Produkten
- Software und Expertensysteme

und basieren auf systematischer Literaturrecherche als auch über Befragungen hinsichtlich der angewandten Praxis innerhalb der Maker-Community selbst. Die Auswahl der Inhalte erfolgte unter der Anwendung folgender Kriterien:

- | | |
|---|------------------------------------|
| • Redesign Fokus | • Schwierigkeit |
| • Anzahl abgedeckter Nachhaltigkeitsaspekte | • Lebenszyklusphasen |
| • Zweck | • Verfügbarkeit im Internet |
| • Allgemeiner Aufwand | • Angesprochene Lebenszyklusphasen |
| • Informationen, um die Methode | • Nachhaltigkeitsdimension |
| | • Zeitaufwand |

4.3.3 Analyseassistent - ecoMaker Check

Der Analyseassistent soll Makern bei der Auswahl von Prozessen und Materialien im Rahmen des Produktentstehungsprozesses unterstützen. Das konfigurierte Produkt soll zudem bewertet werden und ggfs. mit anderen Nutzern vergleichbar gemacht werden. Somit soll Transparenz für das eigene Produkt in Hinsicht auf die Verbesserungspotentiale des Produktes/der Projekte geschaffen werden. Der Assistent soll somit folgende Aufgaben erfüllen:

- Der Assistent **unterstützt** bei der der Auswahl von Designstrategien
- Der Assistent **gibt einen Überblick** über die Nachhaltigkeitsthemen, die ein Produkt betreffen
- Der Assistent **informiert** im Detail über die Vor- und Nachteile einzelner Auswahlvarianten
- Der Assistent **bewertet** das Produkt in Hinsicht auf ökologische Design-Strategien

4.3.3.1 Analysephase

Basierend auf den Online-Befragungen und Experteninterviews mit ausgewählten Start-Ups wurde ein Konzept entworfen, welches sich am Kenntnisstand der potentiellen AnwenderInnen zum Thema ecoDesign, Nachhaltigkeitsbewertung und Entwicklungsprozessen sowie deren identifizierten Bedarfe und Wünsche orientiert. Dieses soll einerseits Inspiration zu alternativen Materialien, Technologien und Handlungszielen in Bezug auf das Projekt/Produkt aber auch gleichermaßen eine Betrachtung des ökologischen Impacts ermöglichen. Im Zuge der Analyse der Rahmenbedingungen in den Makerspaces mussten vorab folgende Fragestellungen geklärt werden:

- *Welche Werkzeuge, Maschinen und Materialien werden deutschlandweit eingesetzt und stehen den NutzerInnen zur Verfügung?*
- *Wo liegen die ökologischen Hotspots in einem Makerspace (u.a. Interviews, Befragungen im Rahmen der Bachelorarbeiten)*
- *Wie arbeitet ein Maker und welche Rolle spielt EcoDesign in seinem Prototypingprozess?*

Für die Beantwortung der Frage nach den allgemein verwendeten Technologien wurde erneut eine Umfrage an Makerspaces und Fablabs gestartet. Die Daten wurden durch eigene Webrecherche ergänzt, sodass im Rahmen von ecoMaker die gängigsten Materialien, Maschinen und Werkzeuge identifiziert und zugeordnet werden konnten (vgl. Abbildung 18).

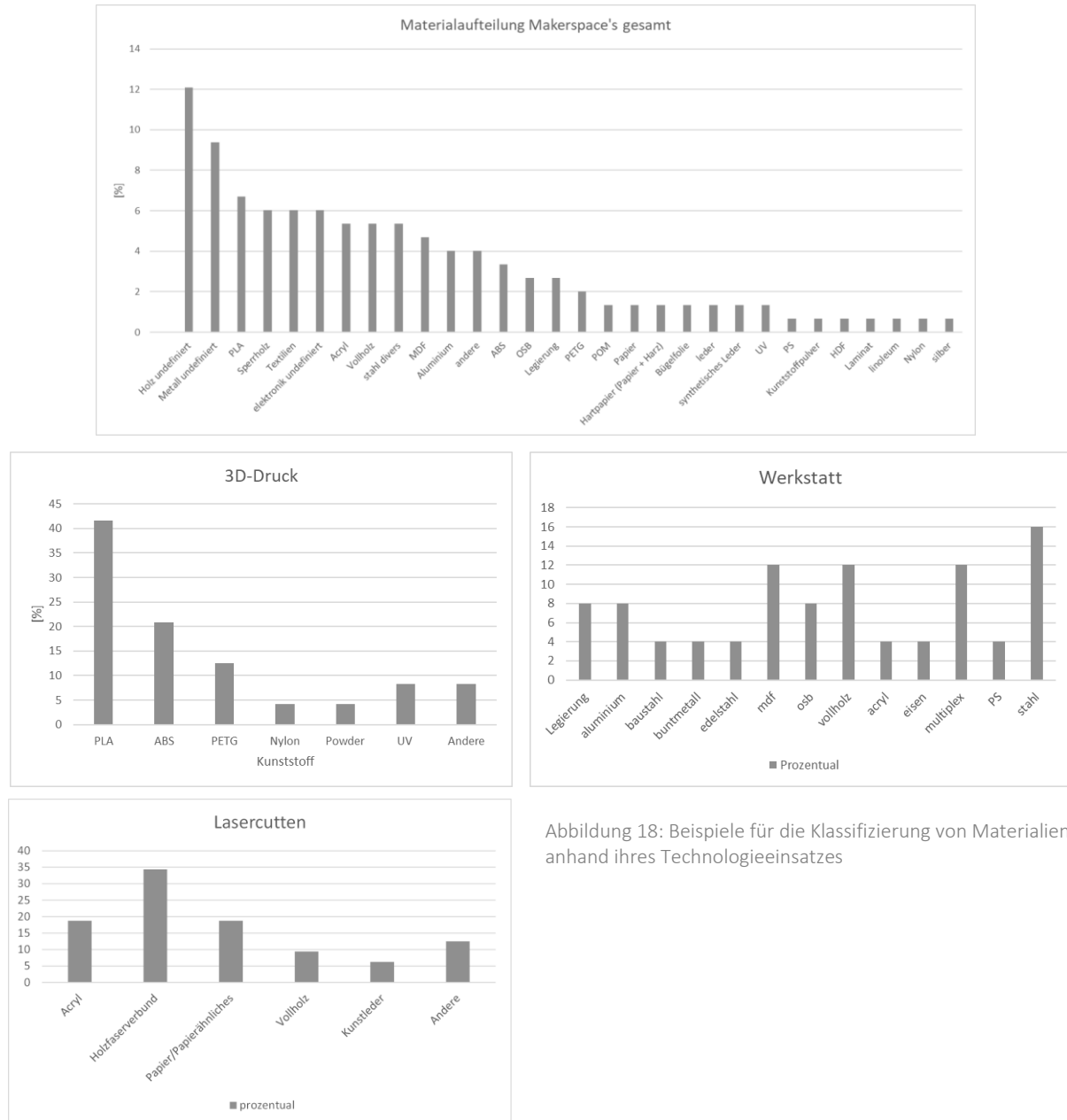


Abbildung 18: Beispiele für die Klassifizierung von Materialien anhand ihres Technologieeinsatzes

Darauf aufbauend schloss sich die Recherchephase zu existierenden Gesetzeslagen und politischen Strategien (z.B. EU: Ecodesign Working Plan 2016-2019, Circular Economy Action Plan, UNEP Report Design for Sustainability) an. Aufgrund der Tatsache, dass das EcoDesign bereits eine etablierte Methode in der Produktentwicklung (z.B. TU Delft EcoDesign Checklist and Strategy Wheel, The Institute ENSAM of Chambéry: Design for Repair and Design for Dismantling Approach, EcoPilot.at, VDI 2243: „Recycling oriented productdesign“) darstellt, musste eine Lösung gefunden werden, wie dieses Wissen für eine vereinfachte Produktbewertung unter dem Gesichtspunkt Umweltfreundlichkeit genutzt werden kann. Um eine Bewertungsmethode für das webbasierte Tool "ecoMaker Check" zu entwickeln,

wurden daher ökologische Produktaspekte und Designkriterien unter Berücksichtigung der Eigenschaften von Herstellerräumen als Produktionsumgebung erarbeitet. Da es keinen Satz von Designstrategien und Kriterien gab, die umweltfreundliches Verhalten und umweltfreundliche Produktionsmethoden beachten, die zur Bewertung der Produktentwicklung in Herstellerräumen verwendet werden könnten, wurde ein allgemeines Design für Nachhaltigkeitsstrategien verwendet. Somit kann ein breites Spektrum von Verbesserungsrichtungen in allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts abgedeckt werden:

Tabelle 4: Übersicht der ausgewählten Designstrategien

0> New concept development	1> Selection of low-impact materials	2> Reduction of materials usage	3> Optimization of production techniques
Dematerialization	Cleaner materials	Reduction in weight	Alternative production techniques
Shared use of product	Renewable materials	Reduction in (transport) volume	Lower/cleaner energy consumption
Integration of functions	Lower energy content materials		Fewer/cleaner production consumables
Functional optimization	Recycled materials		Fewer production steps
	Recyclable materials with positive social impact		Less production waste
			Safety and cleanliness of the workplace
4> Optimization of distribution system	5> Reduction of impact during use	6> Optimization of initial lifetime	7> Optimization of end-of-life system
Less/cleaner/reusable packaging	Fewer consumables needed	Reliability and durability	Re-use of product
Energy efficient transport mode	Low energy consumption	Easier maintenance and repair	Remanufacturing/refurbishing
Energy efficient logistics	Clean energy consumption	Modular product structure	Recycling of materials
Involve local supplier	Cleaner consumables	classic design	Safer incineration
	Reduce wastage of energy and other consumables	strong product-user relation	Taking in consideration local collection recycling systems
		Involve local maintenance and service systems	

4.3.3.2 Qualitative Bewertung der Projekte

Im Anschluss wurden die recherchierten Handlungsweisen, Zielsetzungen und methodischen Ansätze auf ihre Einsatzfähigkeit für die Makercommunity und deren Arbeitsweise untersucht. In einer Checklist wurden anschließend die Kriterien, die die Strategien passend zu den Handlungsmöglichkeiten des Makers charakterisiert werden, in verständlichen Multiple Choice Fragen übertragen. Die Antworten werden in einer numerischen Skala, die die Erfüllungsquote einer Designstrategie darstellt, übersetzt (z. B. Kriterium wurde voll(+1) / teilweise(0) / nicht erfüllt(-1) und entlang der Lebensphasen des Produktes zugeordnet. Hierbei müssen die Maker den gesamten Lebenszyklus des Produkts beginnend von der Komplexität über Materialien, Herstellung, Benutzen, Reparieren sowie Entsorgung durchlaufen (vgl. Abbildung 19). Dieser Fragebogen entspricht der inhaltlichen Eingabemaske des Tools.

Anhand von Infoboxen, die die Maker während des Durchlaufs begleiten und angeklickt werden können, sollen zusätzlich weitere Inspirationen bezüglich alternativer Materialien, Produktionstechniken oder Handlungsoptionen geschaffen werden. Somit gibt der ecoMaker Check nicht nur einen Überblick über

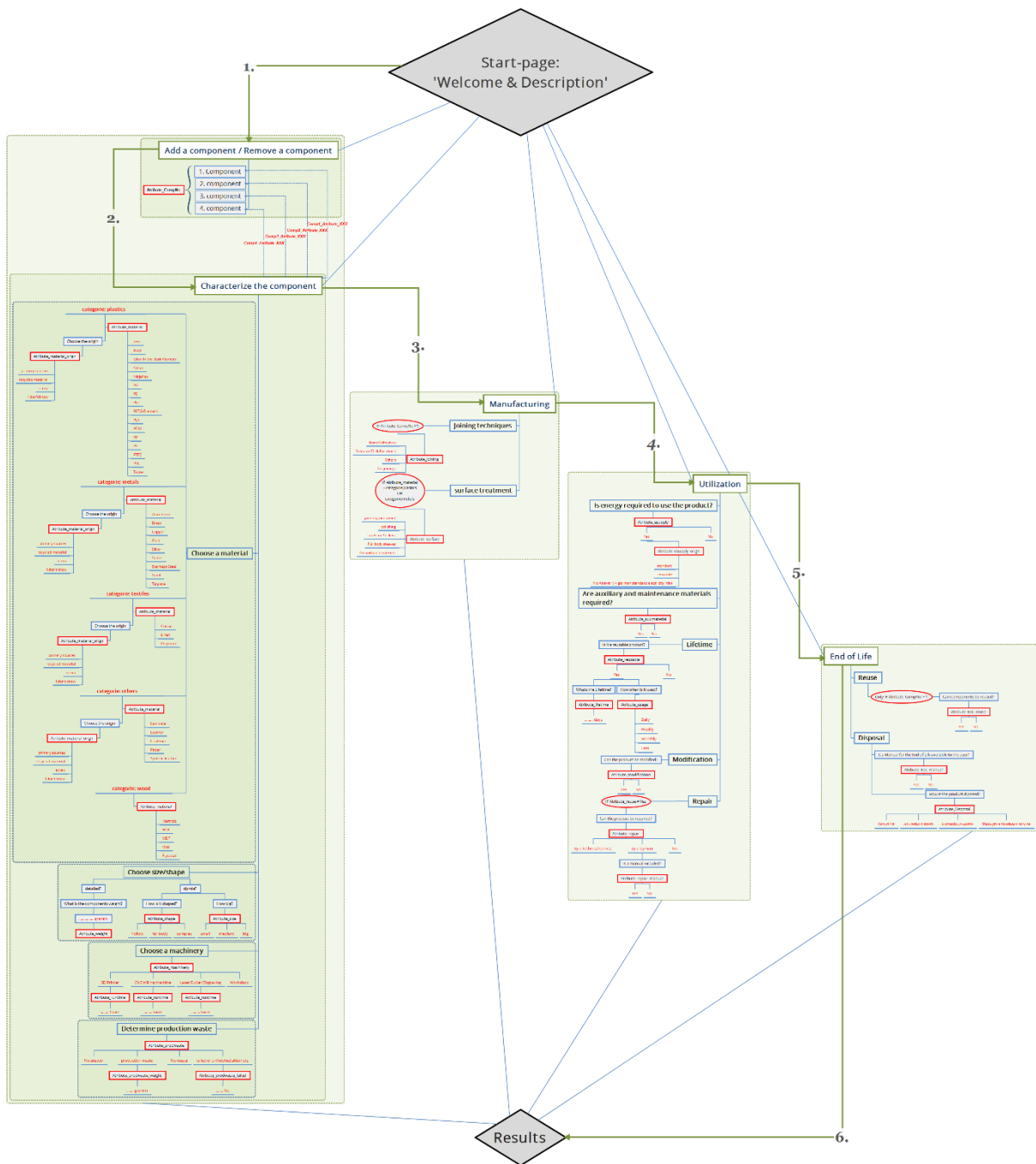


Abbildung 19: Flow Chart des ecoCheck

die potentielle Umweltwirkungen des Konzepts, sondern stellt gleichermaßen zusammengefasste Informationen hinsichtlich Verarbeitung aber auch ökologischen Aspekten wie Rezyklierbarkeit bereit (vgl. Abbildung 20).

Durch die Antworten wird ermittelt in wie weit das Produkt die festgelegten EcoDesign Kriterien erfüllt. Da jedem Kriterium zuvor ein Wert auf der numerischen Skala zugeordnet wurde, können diese Werte zusammengefasst werden, sodass sich eine umfassendere Aussage darüber treffen lässt in wie weit ein Produkt die EcoMaker Strategien in jeder Lebenszyklusphase erfüllt. Dies wird schlussendlich in einer Radarchart grafisch präsentiert. Gleichzeitig wird der Nutzer in argumentativer Form auf besonders prägnante Einflüsse, auf die Umweltverträglichkeit des Produkts, aufmerksam gemacht.

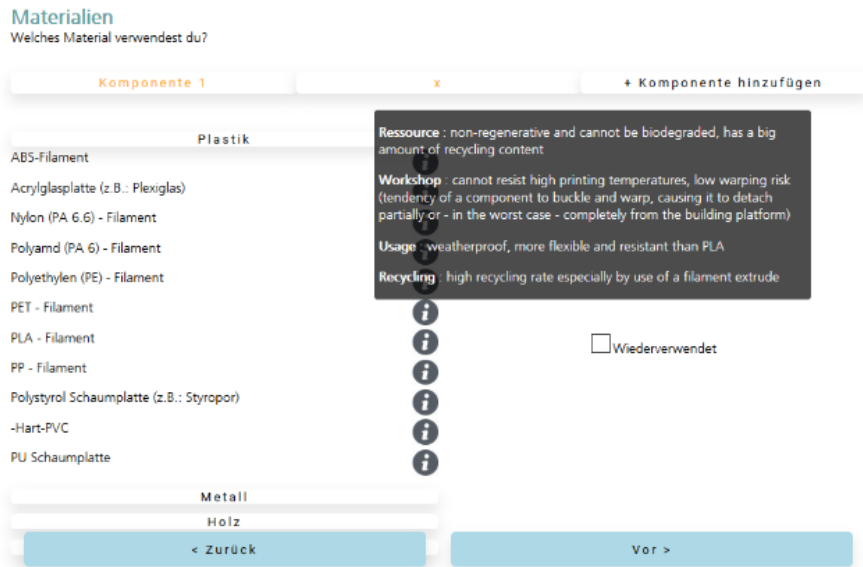


Abbildung 20: Infobox für Material PET-Filament

4.3.3.3 Quantitative Bewertung

Anhand der Fragen und Antworten im ecoMaker Check kann zur gleichen Zeit eine vereinfachte Berechnung des CO₂-Fußabdruckes des Produkts durchgeführt werden. Dabei werden die Treibhausgasemissionen während der Materialherstellung, der Produktion und der Entsorgung betrachtet. Die Durchführung der quantitativen Lebenszyklusanalyse erfolgte mit der Software Gabi 6.0. Aufgrund der Variabilität der Maschinen und der unzureichenden Datengrundlage z.B. bei der realen Leistung und Verbrauch, wurden an dieser Stelle durchschnittliche Werte ermittelt und als Standard angenommen (vgl. Tabelle 5, Abbildung 22). Diese Wirkungsabschätzung wurde mittels der CML2001 Methodik zur Ökobilanzierung durchgeführt (vgl. Abbildung 21).

Tabelle 5: Ermittlung des durchschnittlichen Verbrauchs eines Lasercutters

<i>Category</i>	<i>Working process</i>	<i>Mean Power [W]</i>	<i>Min Power [W]</i>	<i>Max Power [W]</i>
<i>Plastics</i>	Cutting	557,50	464,38	650,63
	Engraving	204,55	127,85	281,24
<i>Metals</i>	Cutting	-	-	-
	Engraving	540,00	454,29	625,71
<i>Wood</i>	Cutting	540,00	471,43	608,57
	Engraving	273,18	155,45	390,91
<i>Others</i>	Cutting	490,00	363,33	616,67
	Engraving	203,33	148,89	257,78
<i>CO2 Laser efficiency:</i>	10%	<i>K. Kellens et al.: "Energy and Resource Efficiency of Laser Cutting Processes", Physics Procedia, Volume 56, 2014</i>		

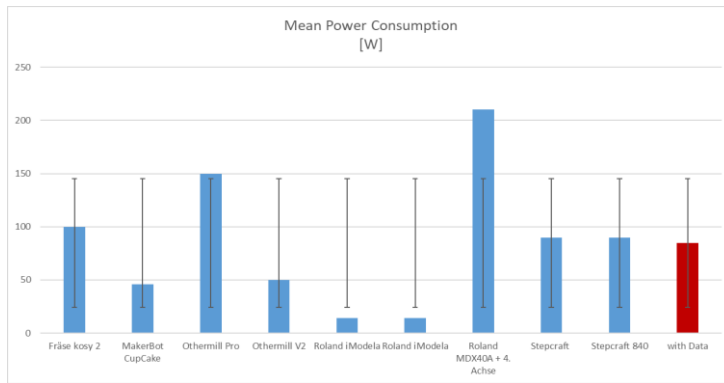


Abbildung 22: Ermittlung des durchschnittlichen Verbrauchs einer CNC-Fräse

categorie: metals	GWP [kg_CO2-eq./kg]	GWP recycled [kg_CO2-eq./kg]	AP [g SO2 eq. / kg]	EP [g PO ₄ ³⁻ eq. / kg]	POCP [g Ethene eq. / kg]	HTTP (inf) [kg DCB-eq./kg]	water consumption [Liter/kg]	fossil depletion	Clean material	low energy material	recyclable material	renewable material
Aluminium	9,4881		34,0162	2,3518	1,9778	33,02776633	245,3148	104,0082			X	
Stainless Steel	3,2920		21,0061	1,1725	1,0493	84,16059967	125,8883	39,0148			X	
Steel	2,6025		7,5064	0,5813	0,9785	17,87592247	185,6088	27,5825			X	
Tinplate	2,7018		6,0939	0,5710	0,9042	13,19857721	222,1455	28,6223			(X)	
Brass	0,5604		4,0756	0,2170	0,2203	0,373605238	25,2725	6,6184			X	
Copper	1,2487		5,0754	0,4417	0,3206	0,425291051		12,4829			X	
Gold												X
Silver												X

	Materials																Manufacturing																	
	Comp1				Comp2				Comp3				Comp4				Attribute_joining	Attribute_surface																
	Comp1_Attribute_material	Comp1_Attribute_shape	Comp1_Attribute_size	Comp1_Attribute_weight	Comp1_Attribute_prodsteps	Comp1_Attribute_3D_runtime	Comp1_Attribute_CNC_runtime	Comp1_Attribute_IC_runtime	Comp1_Attribute_other_runtime	Comp1_Attribute_nondestructlog	Comp1_Attribute_prodsteps	Comp1_Attribute_material	Comp1_Attribute_shape	Comp1_Attribute_size	Comp1_Attribute_weight	Comp1_Attribute_prodsteps	Comp1_Attribute_3D_runtime	Comp1_Attribute_CNC_runtime	Comp1_Attribute_IC_runtime	Comp1_Attribute_other_runtime	Comp1_Attribute_nondestructlog	Comp1_Attribute_prodsteps	Comp1_Attribute_material	Comp1_Attribute_shape	Comp1_Attribute_size	Comp1_Attribute_weight	Comp1_Attribute_prodsteps	Comp1_Attribute_3D_runtime	Comp1_Attribute_CNC_runtime	Comp1_Attribute_IC_runtime	Comp1_Attribute_other_runtime	Comp1_Attribute_nondestructlog	Attribute_MaterialDiversity	Attribute_CompNo
New Concept Development	Functional optimisation of product (components)																																	
Selection of low impact materials	Clean materials																X																	
	Renewable materials																X																	
	Low energy content materials																X																	
	Recycled materials																X																	
	Recyclable materials																X																	
Reduction of material usage	Reduction in weight																X																	
	Reduction in volume (transport)																X																	
Optimization of production techniques	Fewer production steps																X																	
	Low/clean energy consumption																X																	
	Less production waste																X																	
Reduction of impact during use	Low/clean energy consumption																X																	
	Few consumables																X																	
Optimization of initial lifetime	Easy maintenance and repair																																	
	Modular product structure																																	
	Classic Design																																	
	Reliability and durability																																	
	Strong product-user relation																																	
Optimization of End system	Reuse of product (components)																X	X																
	Recycling of materials																X	X																
	Safe incineration																X	X																

Abbildung 21: Auszug aus Datenmaterial der Lebenszyklusanalyse und Allokationsstrategie

Das folgende Beispiel einer Zitronenpresse demonstriert die Entscheidungswege durch den Assistenten. Das Produkt punktet insbesondere in der Phase des Lebensendes und in der Herstellung des Produktes. Die entscheidenden Parameter für die Umweltfreundlichkeit in diesen Kategorien begründen sich auf die leichte Demontage des Produkts sowie die Annahme, dass das Material zurückgeführt und mindestens ein Bauteil wiederverwendet werden kann (vgl. Abbildung 23).

Tabelle 6: Entscheidungsparameter für Zitronenpresse

Kategorie	Auswahl
Komplexität	Presskörper: komplex, mittlerer Größe Auffangbehälter: einfache Geometrie, mittlere Größe
Material	PET-Filament, keine wiederverwendeten Materialien
Produktion	3D-Druck, 2h Druckdauer, einige Fehlversuche, unbekannte Menge an produziertem Abfall (Stützstruktur), keine Verbindungstechniken und keine Oberflächenbehandlung
Benutzung	Kein Stromverbrauch während der Nutzung, Einwegprodukt, keine Umänderung der Funktionalität/Aussehen,
Reparierbarkeit	Kann nicht repariert werden
Entsorgung	Rücknahmesystem, Auffangbehälter kann u.U. wiederverwendet werden

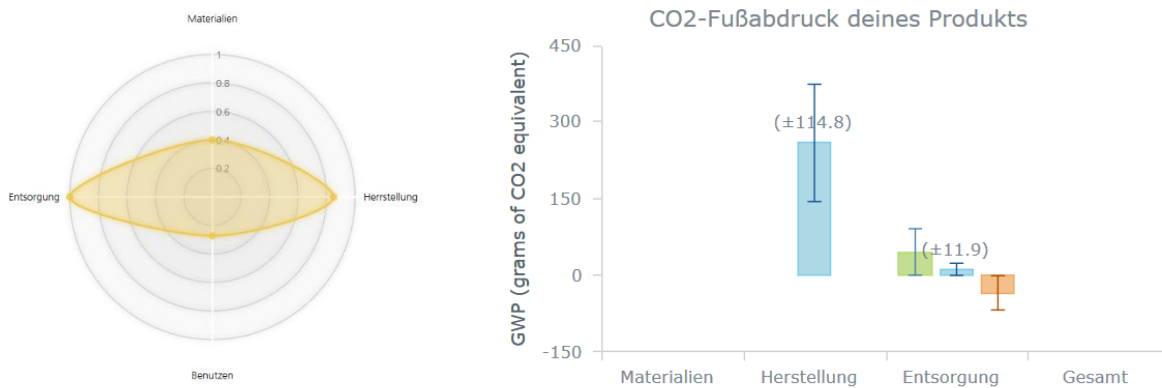


Abbildung 23: Ergebnis der PET-basierten Zitronenpresse

4.3.3.4 Evaluation des ecoMaker Checks

Die Evaluation des ecoMaker checks erfolgte zunächst anhand eines ersten klickbaren Mock-Ups am Vinn:Lab der TH Wildau vor der technischen Implementierung. In der Erwartung möglichst viele Teilnehmende zu bekommen, wurde an einem Tag der offenen Tür das Konzept am Computer vorgestellt. Anhand ihres eigenen Produkts sollten die Teilnehmenden die Fragen des Checks durchlaufen. In einem einfachen Bewertungsbogen wurde das erste Feedback eingeholt. Aufgrund der Ferienzeiten kamen nur wenige Maker in das VINN:Lab, sodass hier keine große Teilnehmerquote zu verzeichnen war. Insgesamt stieß das Konzept auf ein reges Interesse und in den Gesprächen hat sich erneut gezeigt, dass die Bereitschaft für einen sensibleren Umgang vorhanden ist.

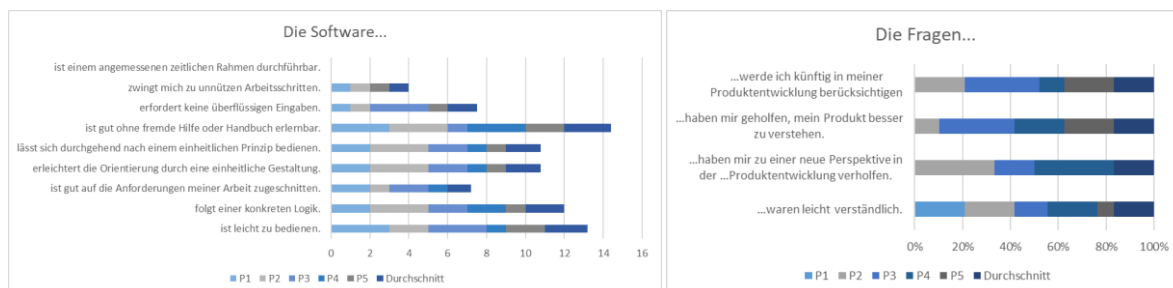


Abbildung 24: Konzeptbewertung (N=5)

Nach Fertigstellung des Assistenten wurde erneut an zwei verschiedenen Tagen (jeweils Tag der offenen Tür) das VINN:Lab für die Evaluierung genutzt. Insgesamt konnten nun 13 Teilnehmende, in der Regel einem Alter zwischen 20-30 zuzuordnen, für die Befragung gewonnen werden. Die Befragung wurde dabei in zwei grundlegende Abschnitte geteilt:

Zunächst sollten die Teilnehmenden sich in das Szenario hineinversetzen, Freunde zum Brunch eingeladen zu haben. Da beim letzten Umzug den Saftpresse verloren gegangen ist, beschließen die Teilnehmenden selbst einen Entsafter zu gestalten mit dem Wunsch, ein erstes eigenes Pilotprojekt für ein nachhaltiges Produkt zu entwerfen. Um die Erfahrung der Teilnehmenden besser einschätzen zu können, wurde eine eigene Einschätzung über die bisherigen Erfahrungen/Erkenntnisse im Bereich der Produktgestaltung in Makerspaces erfragt (vgl. Tabelle 7). Das durchschnittliche Wissen ist im Mittel bei der Bedienung der Maschinen und Werkzeuge am höchsten, im Gesamtvergleich aber doch recht moderat.

Für die Konzeptionierung sollte zunächst eine einfache Skizze, die um gezielte Leitfragen entlang des Lebenszyklus ergänzt wurden, erstellt.

Tabelle 7: Vorwissen der Evaluationsteilnehmenden

<i>Vorwissen</i>	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	Ø
Nachhaltige Produktgestaltung	2	2	3	2	3	1	1	1	1	2	5	3	3	2,2
Maschinen/Werkzeuge	4	3	3	4	5	1	1	1	1	3	5	4	4	3,0
Materialien	3	2	3	3	4	1	1	1	1	3	5	4	3	2,6
Skala: 1- sehr gering, 2- gering, 3 - mittel, 4- groß, 5-sehr groß														

Im weiteren Verlauf wurden die Teilnehmenden auf die Projektwebseite von ecoMaker weitergeleitet, wo auf den ecoMaker Check verwiesen wird. Nach einer kurzen Kennenlernphase ließen sich die Teilnehmenden durch Tool leiten. Die Antworten wurden parallel schriftlich festgehalten. Bei einem Entsafter handelt es sich um ein alltägliches Produkt, welches trotz seiner einfachen Funktionalität in vielfältiger Weise umgesetzt werden kann. Das zeigte sich auch in den Konzepten: von einfachen mechanischen Pressen bis hin zum komplexen elektronischen Gerät. Die meisten Konzepte basieren auf der Technologie des 3D-Drucks, wobei PLA als meistgewähltes Material zum Einsatz kommt. Der Bekanntheitsgrad dieses Filaments ist in dem Fab Lab sehr groß. Lediglich drei Maker gaben an, keinen Abfall zu produzieren, wobei die Anzahl der Fehlversuche noch unbekannt sei. Der ebenso mit dem 3D-Druck entstehende Abfall über die Stützstruktur wurde anscheinend nicht mitberücksichtigt. Die Mehrheit verzichtet auf zusätzliche Verbindungselemente oder gar auf das die Demontierbarkeit beeinflussende Verfahren Kleben. Zusätzliche Oberflächenbehandlungen werden durch Polieren und Lackieren realisiert. Vier Konzepte sehen ein Konzept mit elektrischem Antrieb vor. Es ist kaum erstaunlich, dass nur die Hälfte der Befragten bereits eine Idee über den Entsorgungsweg des künftigen Produktes hat. Dies deckt sich mit der vorhergehenden Befragung aus dem Projekt. Nichtsdestotrotz soll mindestens eine Komponente des Produktes wiederverwendbar sein.

Insgesamt stieß das Tool auf ein reges Interesse bei den Makern und die Fragen regten zum Nachdenken an. Allerdings hinderte die Usability an einer umfangreichen regelmäßigen Nutzung. Dies liegt daran, dass insbesondere für die ersten Lebensphasen mehrere Komponenten den Aufwand zur Beantwortung der Fragen deutlich erhöhen. Im erste Durchlauf war ebenso das Fehlermanagement noch nicht ausgereift, wurde in der nächsten Befragung jedoch optimiert.

4.3.4 Schulbroschüre

Da sich in der Zusammenarbeit mit Schulen über ihren Regelalltag hinaus wenig Zuverlässigkeit zusichern können und selbst die Existenz von Makerspaces unter LehrerInnen wenig bekannt ist, wurde von dem ursprünglichen Plan einer Wanderausstellung von in Makerspace gefertigten Produkten als Werbung für die Zusammenarbeit mit Makerspaces Abstand genommen. Stattdessen wurde im Hinblick auf die Werbung in Schulen eine 32-seitige Broschüre (A5, Querformat) zur Kooperation von Schulen und Makerspaces aufgelegt, die grundlegende Fragen beantwortet, etwa „Was ist ein Makerspace?“, „Wie passt das in den Lehrplan?“ oder auch „Wie organisiere ich einen Klassenbesuch im Makerspace?“ (für einen ästhetischen Eindruck).

Tabelle 8: Evaluation des ecoMaker Checks

	Frage	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	Ø
Effektivität	Die bereitgestellten Informationen helfen mir dabei die Umweltwirkungen meines Projektes besser einschätzen zu können.	4	2	1	3	3	2	3	4	3	2	4	4	3	2,92
	Ich kann durch Anwendung des Tools etwas über das Thema Nachhaltigkeit im Entwicklungsprozess lernen.	4	3	2	3	4	3	2	3	3	3	4	3	4	3,15
	Die bereitgestellten Ergebnisse sind relevant für mein Projekt.	2	1	2	2	1	2	1	0	2	2	1	3	3	1,69
	Ich kann durch die Anwendung des Tools Zielkonflikte bei meinen Projekten identifizieren.	2	2	1	2	1	2	3	4	1	3	2	3	0	2,00
	Ich kann durch Anwendung des Tools die Umweltverträglichkeit meines Produktes positiv beeinflussen.	4	2	1	3	1	2	1	4	2	4	4	2	3	2,54
Effizienz	Die Zeit zur Anwendung des Tools ist angemessen.	4	2	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	1	3,08
	Es fiel mir leicht, die Fragen zu beantworten.	3	1	3	2	4	2	2	4	2	2	4	3	3	2,69
	Es fiel mir leicht, das Ergebnis zu verstehen.	2	3	2	2	4	1	2	4	3	3	3	4	2	2,69
	Die Toolbedienung ist logisch. Es sind keine unnötigen Schritte vorhanden.	4	1	2	3	3	2	2	2	3	2	4	4	3	2,69
	Das Tool kann leicht in den Projektalltag von Makern integriert werden.	4	2	3	3	2	3	2	3	3	2	4	3	4	2,92
Zufriedenheit	Ich bin mit dem Tool zufrieden.	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	4	4	2	2,69
	Ich denke, ich werde das Tool künftig regelmäßig nutzen.		1	2	1	1	0	1	2	2	2	1	3	2	1,50
Zeit	Zeitaufwand gemessen in Minuten	13	40	25	45	40	45	31	13	24	61	20	28	75	35,4

Ich stimme zu... 0 - weiß nicht, 1- eher nicht, 2-teils, 3-eher, 4 - voll

In der Broschüre kommen Makerspaces, Lehrkräfte und SchülerInnen zu Wort, die Erfahrungen mit Schulkooperationen in Makerspaces gemacht haben. Beispielhafte Kooperationen und Projekte für unterschiedliche Klassenstufen werden vorgestellt und eine Checkliste angeboten, mit der LehrerInnen ihren ersten Makerspace-Besuch planen können. Außerdem antwortet eine Q&A-Rubrik auf die gängigsten Fragen und Bedenken von LehrerInnen, die im ecoMaker-Projekt bspw. in den LehrerInnen-Workshops aufgekommen sind. Die 500 Exemplare sollten ursprünglich bei der BilRess-Konferenz 2020 an Lehrkräfte verteilt werden. Da die Konferenz aufgrund der Pandemie-Beschränkungen 2020 abgesagt wurde, wurden die Broschüren stattdessen an Makerspaces in Berlin und Brandenburg verteilt, die in der SchülerInnenbildung aktiv sind und bspw. auch an Fortbildungen für Lehrkräfte mitwirken. Außerdem steht die Broschüre unter der Kategorie „Produkte“ auf der Projektplattform zum Download zur Verfügung.



Abbildung 25: Auszüge aus der Broschüre „Makerspaces machen Schule“

4.3.5 Best-Practices-Animationen

Gemäß dem Ansatz, dass das Umfeld beeinflusst, welche Aspekte einer Person in deren Selbstwahrnehmung in den Vordergrund treten („Arbeits-Ich“⁶), die wiederum Entscheidungen und Handlungen dieser Person maßgeblich mitbestimmt, wurde mit dem virtuellen Lernpfad ein weiteres Produkt entwickelt, das Makerspaces einsetzen können, um sich als Umfeld zu präsentieren, das in den Makerspaces deren umweltfreundliche Seiten aktiviert. Hierfür wurden zusammen mit dem Vinn:Lab die häufigsten ökologisch nachteiligen Verhaltensweisen in Makerspaces identifiziert wie Fehlbedienung von Maschinen oder Fehlkonstruktionen, was zu Fehlproduktion und Ausschuss führt, aber auch bspw. das ständige Verwenden von Neumaterial anstelle von Restbeständen aus früheren Projekten.

Für die drei häufig in Makerspaces vertretenen Verfahren 3D-Druck, CNC-Fräsen und Lasercutten wurde eine Serie mit insgesamt 13 Kurzanimationen erstellt (für Beispielsichten vgl. Abbildung 26), die als „Tipps und Tricks“ per QR-Code an Maschinen, Computerarbeitsplätzen oder im Ausstellungsbereich von Makerspaces präsentiert werden können, jeweils mit einem knappen Einleitungstext. Die

[1] ⁶ D. Oyserman, „Identity-Based Motivation,“ in *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences*, R. Scott and S. Kosslyn, Eds., John Wiley & Sons, May, 2015. [Online serial]. Available: <https://dornsife.usc.edu/assets/sites/782/docs/oyserman2015ibm.pdf>.

Animationen sind zudem auf der Projekt-Webseite unter „Anfängertipps“ sowie im eigens eingerichteten ecoMaker Youtube-Kanal abrufbar.



Abbildung 26: Screenshots von Best-Practices-Animationen

Es ist angedacht, über die Projektlaufzeit hinaus ein umfassendes Konzept für einen „Lernpfad“ in Makerspaces zu entwickeln, der durch farbige „Fußspuren“ im Makerspace repräsentiert wird, denen die Maker auf technologiebezogenen Pfaden durch ihren Makerspace folgen können. Hierfür wurde ein Maskottchen entworfen, das die Maker auf ihrer virtuellen Reise begleitet, der „ecoOn“ (eine



Abbildung 27: ecoMaker-Maskottchen „ecoOn“

Wortschöpfung aus „eco“ und „raccoon“ – Waschbär, zu sehen in Abbildung 27) sowie ein Begrüßungsposter. Auch mit dem Erstellen einer virtuellen Repräsentation eines Makerspaces mit implementierten Lernpfaden zur Veranschaulichung der Umsetzungsmöglichkeiten für interessierte Makerspaces wurde seit Projektende bereits begonnen. Es ist geplant, diese Pfade im ViNN:Lab prototypisch umzusetzen und das Material für andere Makerspaces nachträglich auf der ecoMaker-Projektwebseite verfügbar zu machen.

5 AUßENDARSTELLUNG

Aus dem ecoMaker-Projekt sind mehrere Veröffentlichungen entstanden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse aus der Maker-Befragung und der Design-Sprint Entwicklung wurden auf Fachkonferenzen publiziert. Für die Verbreitung des Projekts und seiner Ergebnisse wurden gezielt größere, großenteils öffentliche Zielgruppen-Veranstaltungen bedient. Außerdem wurde eine umfangreiche Onlinedarstellung der Ziele und Ergebnisse des Projekts unter www.projekt.ecomaking.org aufgebaut, wofür ein einheitliches Projektdesign entwickelt wurde, und erfolgreich um eine mediale Darstellung

zum Projektende hin geworben. Mehrfach wurden zudem Teilergebnisse in der Zeitschrift *Futur* des Produktionstechnischen Zentrums Berlin platziert. Auch wurde eine 32-seitige Leitfadenbroschüre zu Schulkooperationen mit Makerspaces für LehrerInnen produziert. Aus dem ecoMaker-Projekt sind überdies zwei Bachelorarbeiten hervorgegangen.

Aufgrund der Pandemie-Situation im Frühjahr 2020 konnten die bereits vorbereitete Teilnahme an der *MakerFaire*, an der *Landesgartenausstellung* in Kamp-Lintfort und eine Konferenzpublikation auf der *Global Conference on Sustainable Manufacturing* nicht mehr umgesetzt werden. Bei allen Publikationen wurde die DBU als Projektmittelgeberin sichtbar gemacht.

5.1.1.1 Wissenschaftliche Publikationen

Klemichen, A., Roeder, I., Ringhof, J. & Stark, R. (2018). Needs and Requirements for Environmental-friendly Product Development in Makerspaces – A Survey of German Makerspaces. *Proceedings Going Green – Care Innovation*, 26.-29. November 2018, Wien/Österreich.

Roeder, I., Klemichen, A. & Stark, R. (2019). Be(com)ing an Eco-Maker – a Pre-Structured Self-Learning Concept for Environmentally-Friendly Product Creation in Makerspaces. *Proceedings 4th International Symposium on Academic Makerspaces ISAM*, 16.-18. Oktober 2019, Yale/USA.

5.1.1.2 Populärwissenschaftliche Publikationen

Roeder, I. (2019). Offene Werkstatt – Gestaltung umweltschonender Produkte in Makerspaces. *FUTUR – Vision, Innovation, Realisierung*. 1/2019, 21, S. 17.

Klemichen, A. (2020). Ökologisch gut – Produkte aus Makerspaces. *FUTUR – Vision, Innovation, Realisierung*. 2/2020, 22, S. 34 f.

Roeder, I., Wang, W. M. (2020). *Makerspaces Machen Schule. Schulkooperationen mit offenen Werkstätten*.

5.1.1.3 Präsentation

Klemichen, A. (2020). The role of collaborative makerspaces for performing environmental-friendly production. *Waterkant Festival 2020*, 18. Juni 2020, digital.

5.1.1.4 Öffentliche Veranstaltungen

7. *Netzwerkkonferenz BilRess – Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz*, 14. September 2017, Berlin (Projektankündigung)

Cowork-Tagung “Werkstätten des Wandels”, 25. Oktober 2017, Berlin

8. *Netzwerkkonferenz BilRess – Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz*, 06. März 2018, Frankfurt a. M.

re:publica 18, 02.-04. Mai 2018, Berlin

Open Source Circular Economy Days Berlin 2018, 14.-16. Juni 2018, Berlin.

MakeCity Festival, FAB LAB Berlin Meetup “Is Circular Design Leading Anywhere?”, 29. Juni 2018, Berlin

Hackathon “Re:Think Mobility”, November 2018, Berlin

5.1.1.5 Web-Präsenz

Darstellung auf den Webseiten des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik der TU Berlin, <https://www.iit.tu-berlin.de/menue/forschung/projekte/ecomaker/>

Komplette Projektdarstellung, <http://projekt.ecomaking.org>

Lernplattform, <http://www.ecomaking.org>

5.1.1.6 Berichterstattung

ecoMaker – Mehr Nachhaltigkeit für Maker-Projekte. *Make Magazin*, 3/2020, S. 116

Ausprobiert: ecoMaker Check, *Heise online*, veröffentlicht: 28. Mai 2020, <https://www.heise.de/hintergrund/Ausprobiert-ecoMaker-Check-4724984.html>

5.1.1.7 Bachelorarbeiten

Roos, M. (2019). AR-Ausstellungskonzept „nachhaltige Produktion“ in Maker Spaces. Eingereicht: April 2019.

Stahl, J.-P. (2019). Analyse der Potentiale und Hemmnisse für die nachhaltige Gestaltung von Produkten in offenen Werkstätten. Eingereicht: April 2019.

6 AUSBLICK

Im Projekt ecoMaker wurden Einstellungen und Bedarfe unterschiedlicher Zielgruppen in Makerspaces rund um das Thema nachhaltige Produktion erhoben und daraus abgeleitet eine Reihe von Werkzeugen und Methoden zur Unterstützung von Makern entwickelt. Gemäß dem Ansatz des „Arbeits-Ich“ wurde es im Verlauf des Projekts zunehmend das Ziel, Makerspaces als Ganzes in Lernumgebungen zu nachhaltiger Produktentwicklung umzuwandeln, in denen der Fokus auf umweltfreundliches Verhalten stets präsent ist und so in den einzelnen Makern Persönlichkeitsaspekte triggert, die zu umweltfreundlicherem Verhalten bei der Produktentwicklung führen – und unter Umständen auch darüber hinaus. Makerspaces wurden im Projekt als Multiplikator-Orte verstanden, an denen einerseits Innovationen entstehen, bei denen Umweltfaktoren frühzeitig mitgedacht werden müssen, wenn sie in einer späteren umfangreicheren Produktion berücksichtigt werden sollen, wo aber auch zunehmend Menschen in Gemeinschaften zusammenkommen, sich austauschen, kollaborativ arbeiten und lernen und neu erworbenes Wissen mit nach Hause und in ihre Peer-Gruppen außerhalb des Makerspaces tragen. Ob SchülerIn und Entrepreneur, Menschen passen sich ihrer Umgebung ein Stück weit an, umso mehr, wenn sie sich über sie identifizieren. Um einen Makerspaces in der Wahrnehmung der Maker ökologisch zu trimmen, brauchte es viele verschiedenartige Angebote, denen die Maker an unterschiedlichsten Stellen im Makerspace begegnen. So wird ein Makerspace zu einem ökologischen Bildungsort und Maker zu ecoMakern.

Diese Ideen Weiterzudenken lohnt sich. So ist auch über das Projekt hinaus eine Weiterentwicklung und Umsetzung der Best-Practices-Animationen zu einem implementierten Lernpfad geplant. Darüber hinaus wäre es wünschenswert, die Funktionalität des ecoMaker Check auszuweiten, damit er in mehr Produkt-Kontexten als bisher Maker-tauglich wird. Auf politischer Ebene wäre ein Makerspace-Netzwerk für Schulkooperationen wünschenswert, da solche Kooperationen aktuell noch stark von den

kapazitiven und finanziellen Möglichkeiten der einzelnen Makerspaces abhängen und kaum koordiniert sind, was zur geringen Bekanntheit dieser Option unter LehrerInnen beiträgt.