



Abschlussbericht

WIR! - BioZ - insectmatter

Teilvorhaben InsMat-IV: exploring & proposing for regional circulation

Förderkennzeichen **03WIR5306D**

Verbundkoordinator

madebymade GmbH
Dr. Jonas Fink
Löbener Weg 7
04523 Pegau OT Thesau

Teilprojekt 4

Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle
Prof. Mareike Gast
Neuwerk 7
06108 Halle (Saale)



Projektdauer

01.01.2023 – 31.12.2024

Berichtszeitraum

01.01.2023 – 31.12.2024

Mitarbeitende

Ina Turinsky, Hannah Kannenberg, Dr. Falko Matthes, Johann Bauerfeind, Henning Frančik

Abschlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr. 4.1 NABF 2017

Inhalt

1. Kurze Darstellung	3
1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung	3
1.3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen	4
2. Eingehende Darstellung	5
2.1. Angaben zur Verwendung der Zuwendung	5
2.1.1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	5
2.1.2. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten	5
2.2. Erzielte Ergebnisse im Einzelnen	7
AP 1 Präzisierung des Anforderungsprofils der Rohstoffe und Materialien sowie Bewertungskriterien, Funktionsmuster und Demonstratoren	7
AP 5 Ermittlung und Analyse potenzieller Umweltwirkungen: Chitin und Chitosan	10
AP 6 Erfassung relevanter Stakeholder:innen, Materialkreisläufe und möglicher Materialkombinationen	15
AP 7 Untersuchung industrieller Verarbeitungsformen / Nachweisfähigkeit für den industriefähigen Maßstab	15
AP 8 Entwicklung regionaler Produktkonzepte / Erprobung von Chitin/Chitosan in der Anwendung und Erarbeitung von Nutzungskonzepten	20
AP 9 Bewertung der Kreislauffähigkeit der im Prozess entstandenen Halbzeuge und Produkte	28
2.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse, Planungen für die nähere Zukunft	30
2.5. Erfolge oder geplante Veröffentlichungen	31
3. Quellen	32

1. Kurze Darstellung

1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Nachhaltiger Konsum und Kreislaufwirtschaft sind zentrale Anliegen regionaler, nationaler und europäischer Entwicklungsstrategien. Ziel des Gesamtvorhabens ist die zukunftsfähige Gestaltung von Lieferketten und Produktionsprozessen in Mitteldeutschland auf Basis regionaler, biobasierter Rohstoffe. Nach Cellulose ist Chitin das zweithäufigste Biopolymer. In der Entwicklung zukunftsfähiger Produkte wird der Rohstoff daher künftig eine relevante Rolle spielen. In Mitteldeutschland fallen bei der Produktion von Futter- und Düngemitteln – und perspektivisch auch Nahrungsmitteln – aus Insektenproteinen Chitin und Melanin als Nebenprodukte an. Diese sollen als Rohstoffe für weiterführende Wertschöpfungsketten nutzbar gemacht werden. Chitin besitzt sehr gute mechanische Eigenschaften, gleichwohl ist das Nutzungsspektrum aufgrund eingeschränkter Verarbeitungs- möglichkeiten begrenzt. Chitosan, ein hauptsächlich durch Deacetylierung aus Chitin gewonnenes Derivat, ist löslich und vielseitig einsetzbar. Es wird kommerziell bisher zumeist aus Schalenresten von Garnelen und anderen Krustentieren gewonnen. Davon ausgehend zielt das Gesamtvorhaben auf die Entwicklung und Gestaltung von regionalen Lieferketten und Produktionsprozessen auf Basis biobasierter Rohstoffe ab.

Die Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle (BURG) übernimmt im Rahmen des Teilvorhabens “insectmatter – exploring & proposing for regional circulation” (InsMat-IV) einerseits eine kontextualisierende Funktion, indem sie sich analytisch mit Umweltwirkungen und Stoffkreisläufen von Chitin und Chitosan in der Region auseinandersetzt; andererseits erarbeitet sie aufbauend auf der explorativ angelegten Untersuchung, Entwicklung und Erprobung eines innovativen Materials auf Chitin/Chitosan-Basis konkrete Anwendungsfelder und Prototypen. Die *BURG* beteiligt sich am Gesamtvorhaben *insectmatter* mit den *BurgLabs*. In enger Zusammenarbeit erarbeiten *SustainLab* und *BioLab* neuartige Materialkombinationen, explorieren deren Eigenschaften und identifizieren mögliche Verarbeitungsweisen. Aufbauend darauf werden Anwendungsszenarien sowie exemplarische Prototypen entwickelt. Das *SustainLab* fokussiert darüber hinaus die Analyse, Auswertung und Etablierung von Umweltwirkungen und Kreisläufen.

1.2. Ablauf des Vorhabens

Um das Projektziel zu erreichen, wurde ein interdisziplinäres Team der *BURG* und der Verbundpartner zusammengestellt:

Verbundkoordination	madebymade GmbH
Projektleitung (VBB)	Dr. Jonas Fink
Teilprojekt InsMat-IV	BurgLabs, Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle

	Labor für materialbezogene Nachhaltigkeit (SustainLab) und Labor für biogene Materialien und Prozesse (BioLab)
Projektleitung InsMat-IV	Prof. Mareike Gast
Konsortialpartner	BioLog Heppe GmbH NIG Nahrungstechnik GmbH Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), Technische Universität Dresden

Das Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit der fünf Institutionen im Zeitraum vom 01.01.2023 bis 31.12.2024 durchgeführt.

1.3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Die im Rahmen des Teilvorhabens erarbeiteten Konzepte zeigen erfolgreich auf, wie biobasierte Materialien und regionale Reststoffe in produktive, alltagsnahe Anwendungen überführt werden können. Ihre Entwicklung stellt einen anregenden Beitrag zur Etablierung nachhaltiger Produktionskulturen in Mitteldeutschland dar. Die Firma *madebymade GmbH* aus dem Leipziger Umland züchtet Soldatenfliegen für die Tierfutterproduktion. Dabei fällt Chitin als Nebenprodukt an, denn Insektenlarven häuten sich während ihres Wachstums bis zu fünfmal und hinterlassen ihre chitinhaltigen Hüllen (Exuvien). Um eine Nutzbarkeit zu erreichen, prozessiert das Chemieunternehmen *BioLog Heppe GmbH* in Landsberg Chitin zu löslichem Chitosan. Ein weiteres Nebenprodukt des Prozesses ist das fast schwarze Melanin, ein natürlicher Farbstoff, den das Magdeburger Unternehmen *NIG GmbH* aufbereitet. Bisher ungenutzte Nebenprodukte wie Chitin und Melanin werden so zu wertvollen Rohstoffen für neue Anwendungen. Das Institut für *Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden (ITM)* stellt aus Chitosan Polymerfasergarne und Papierbeschichtungen her. *BioLab* und *SustainLab* demonstrieren zirkuläre Alltagsprodukte durch regionale Synergien: Eine Türklinke und mietbare Tischleuchte für die Gastronomie zeigen mögliche kreislauforientierte Wertschöpfungsmodelle durch insektenbasiertes Chitosan. Als Bindemittel vernetzt das Biopolymer nicht nur regionale Nebenprodukte, sondern gleichzeitig beteiligte Akteure zu einer Produktions- und Verwertungsgemeinschaft. Landwirtschaft, Industrie und Gestaltung ermöglichen so zukunftsfähige Alltagsprodukte, die in dieser Gemeinschaft zirkulieren können. Das Vorhaben zeigt auf, wie Gestaltung zum Bindeglied einer ökologisch, sozial und infrastrukturell zukunftsfähigen Produktionskultur wird. Die Zusammenarbeit mit externen Einrichtungen beschränkte sich dabei auf die Zusammenarbeit innerhalb des Forschungskonsortiums.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Angaben zur Verwendung der Zuwendung

2.1.1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die erzielten Ergebnisse der Arbeitspakete wurden durch die Personalausgaben, den wesentlichen Teil der Zuwendung, ermöglicht. AP 1, 5, 6, 7, 8 und 9 konnten durch den personellen Einsatz seitens *SustainLab* und *BioLab* der *Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle* bearbeitet werden.

Wechselnde wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützten die Arbeit der künstlerischen und wissenschaftlichen Mitarbeitenden über die Projektlaufzeit hinweg. Im Fokus der Tätigkeit stand die inhaltliche Erarbeitung der Ergebnisse. Außerdem wurde die Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse verantwortet sowie der Austausch im Projektkonsortium gepflegt.

Die Sachmittel für die Vergabe von Aufträgen wurden in der Projektphase der Entwicklung und Bewertung (AP 8 und 9) eingesetzt. Die ursprünglich geplanten Anschaffungen – eine Spritzenpumpe mit Mikroflussrate sowie ein Orbitalschüttler – wurden im Projektverlauf nicht realisiert. Im Zuge der inhaltlichen Fokussierung auf andere Verfahren und Prozesse entfiel die Notwendigkeit dieser Geräte. Eine Beschaffung war somit fachlich nicht mehr begründbar und wurde entsprechend verworfen.

2.1.2. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten

Ausgehend von der wachsenden Bedeutung regionaler Insektenzucht als Proteinquelle – sowohl für Futter- als auch für Lebensmittel – erschließt das Projekt das Potenzial ihres bislang wenig genutzten Nebenprodukts: Chitin. Das Gesamtvorhaben erforschte Nutzungsmöglichkeiten, um insektenbasierte Materialien in alltagsrelevante Anwendungen zu überführen. Eingebettet in den historischen Wandel Mitteldeutschlands von der erdölbasierten Kunststoffindustrie hin zur Bioökonomie erzielte das Teilprojekt *InsMat-IV* einen konkreten Vorschlag zur Etablierung regenerativer Produktionsmodelle, die potenziell wirtschaftlich tragfähig und ökologisch zukunftsweisend sind. Das Vorhaben adressierte damit zahlreiche übergeordnete Forschungsfragen und Entwicklungsbedarfe, die in den Arbeitspaketen behandelt wurden:

- Welche Anforderungen müssen biobasierte Werkstoffe erfüllen, um technische, gestalterische und anwendungsspezifische Relevanz zu gewinnen? (AP 1)
- Wie lassen sich ökologische Wirkungen und Kreislauffähigkeit biobasierter Materialien über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg systematisch gestalten? (AP 5)
- Wie können regionale Materialkreisläufe für biobasierte Reststoffe etabliert werden? (AP 6)
- Welche industriellen Verarbeitungstechnologien eignen sich für nicht thermoplastische Biopolymere? (AP 7)

- Welchen Beitrag leistet Design in der Verzahnung regionaler Stoffkreisläufe und zirkuläre Geschäftsmodelle? (AP 8)
- Welches erweiterte Wertschöpfungspotenzial – ökonomisch wie ökologisch – liegt in regionaler Insektenzucht? (AP 9)

Die im Verbundprojekt durchgeführten Forschungsarbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, sie konnten entsprechend den im Projektantrag formulierten Aufgaben und der Arbeitsplanung erfolgreich bearbeitet werden. Darüber hinaus waren keine zusätzlichen Ressourcen für das Projekt notwendig.

2.2. Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

AP 1 Präzisierung des Anforderungsprofils der Rohstoffe und Materialien sowie Bewertungskriterien, Funktionsmuster und Demonstratoren

AP 1.4 Präzisierung des Anforderungsprofils der Materialien und Bewertungskriterien für Ströme und Prozesse

Der Wissens- und Erfahrungsaustausch innerhalb des Konsortiums zu den Eigenschaften von Chitin und Chitosan im Allgemeinen, sowie chitinhaltigen Nebenprodukten der Insektenzucht im Speziellen, konsolidierte sich in der systematischen Ableitung von Anforderungskriterien an das Material und seine Derivate für die weitere Verarbeitung. *Bio-* und *SustainLab* fokussierten (neuartige) Verarbeitungsformen von insektenbasiertem Chitin bzw. Chitosan im Verbund mit anderen Materialien, ausgelegt auf die Herstellung von seriellen Produkten. Dafür wurden folgende Anforderungen als zentral identifiziert:

1. Chitosan-Komposite erfordern stets hohe Klebe- und Bindefähigkeit, je nach Verfahren hingegen variierende Viskositäten des Chitosan-Feststoffs (100-400 cps).
2. Für die Verfahren 3D-Druck im Pulverbett und Bedampfen ist eine besonders hohe Löslichkeit des Chitosan-Feststoffs ausschlaggebend.
3. Die Verarbeitung mittels Radiofrequenz-Technologie setzt nichtmetallische Substanzen (geringer Schwermetallgehalt) sowie
4. unpolare bis schwach polare Stoffe voraus.

AP 5 Ermittlung und Analyse potenzieller Umweltwirkungen: Chitin und Chitosan

AP 5.1 Erfassung und Dokumentation umweltrelevanter stofflicher und energetischer Flüsse

Zur Erhebung der Daten für die quantitative Erfassung der Stoffströme im Materialsystem Chitosan wurden die entsprechenden Produktionsprozesse der Projektpartner *BioLog Heppe GmbH* und *madebymade GmbH* erfasst. Die Gewinnung von Chitosan ist durch die beiden beteiligten Unternehmen an zwei Standorten verortet:

1. Die Gewinnung von Exuvien der schwarzen Soldatenfliege (BSF) durch *madebymade GmbH* und
2. die Produktion eines Chitin-Melanin-Komplexes und dessen Weiterverarbeitung zu Chitosan aus Exuvien der BSF durch *BioLog Heppe GmbH*.

Die Exuvien-Gewinnung (1) unterteilt sich in die drei Produktionsbereiche Reproduktion, Mast und Verarbeitung. Diese werden jeweils über vier ineinandergreifende Prozessschritte (siehe Tabelle) realisiert. Die Prozessierung der Insektenhüllen (2) kann in die drei Produktionsbereiche Deproteinierung, Dekalzifizierung und Deacetylierung unterteilt werden.

Standort	Produktionsbereich	primäre Funktion	Prozessschritte
1. madebymade GmbH, Pegau	Reproduktion	Zucht von Insektenlarven aus der Mast zu Jungtieren durch die Verwertung von organischen Reststoffen (Repro-Futter)	<ul style="list-style-type: none"> - Puppenstube - Fliegenzucht - Aufzucht - Reinigung
	Mast	Zucht von Jungtieren aus der Reproduktion zu verwertbaren Insektenlarven durch die Verwertung organischer Reststoffe (Pülpe und Weizenkleie)	<ul style="list-style-type: none"> - Futterzubereitung - Mast - Trennung von Larven und Restsubstrat - Reinigung
	Verarbeitung	Trocknung, Elimination des Ausschusses und Pressung der Larven zur Gewinnung von Proteinemehl und Larvenfett	<ul style="list-style-type: none"> - Trocknung - Nachsiebung - Lagerung - Pressung
2. BioLog Heppe GmbH, Landsberg	Deproteinierung	Abtrennung von Proteinen aus Rohstoff und Aufbereitung des Zwischenprodukts	<ul style="list-style-type: none"> - Chem. Reaktion - Reinigung
	Dekalzifizierung	Ausfällen von Mineralstoffen wie Kalzium oder Phosphat und Aufbereitung des Chitin-Melanin-Komplexes	<ul style="list-style-type: none"> - Chem. Reaktion - Reinigung - Entwässerung - Trocknung - Siebung - Mahlung
	Deacetylierung	Abspaltung von Acetylgruppen und Aufbereitung des Chitosan bzw. Chitosan-Melanin-Komplexes	<ul style="list-style-type: none"> - Chem. Reaktion - Reinigung - Entwässerung - Trocknung - Siebung - Mahlung

Nach der Erfassung und Dokumentation der Produktionsprozesse wurden die stofflichen und energetischen Flüsse ermittelt. Dazu wurden zum einen die Daten der Projektpartner in Form von Produktionsbilanzen und Schätzungen erhoben, zum anderen wurden für externe Prozessinputs (z.B. Chemikalien) Datensätze aus geeigneter Sachbilanzdatenbank (*Probas, Umweltbundesamt*) herangezogen.

AP 5.2 Bewertung der stofflichen und energetischen Ströme

Mit einer “Vereinfachten Umweltbewertung” können systematisch plausible Umweltanalysen von Produkten, Prozessen und Technologien vorgenommen werden, auch wenn keine vollständigen, quantitativen Untersuchungen im Sinne der Sachbilanz einer vollumfänglichen Ökobilanz vorliegen. Durchgeführt wurde eine entwicklungsbegleitende Umweltanalyse nach dem Ansatz des “Environmental Responsible Product Assessment” (ERPA, *Graedel et al.*), ergänzt durch eine qualitative Beschreibung der Bewertungsergebnisse nach der “Vereinfachten Umweltbewertung” (VERUM, *Umweltbundesamt*).

Eine wesentliche Herausforderung im Zusammenhang mit der entwicklungsbegleitenden Umweltanalyse und der Betrachtung von potenziellen Nachhaltigkeitsrisiken im Projekt **insectmatter** bestand darin, dass im frühen Stadium der Materialeexperimente und der Ableitung erster Anwendungsideen noch keine konkreten Nutzungs- bzw. Produktszenarien vorliegen. Da eine reine

Analyse von Materialien ohne Anwendungskontext, Herstellungsverfahren und End-of-Life-Szenarien weder methodisch möglich noch inhaltlich sinnvoll ist, wurden im Anschluss an das Screening der Stoffströme konkrete Anwendungs- bzw. Nutzungsszenarien entwickelt, die exemplarisch Rückschlüsse auf die Umweltwirkungen ermöglichen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die Ausarbeitung der konkreten Produkt-, Nutzungs- und Kreislaufkonzepte in AP8 ein und ermöglichten so einen iterativen, umweltwissenschaftlich informierten Gestaltungsprozess.

Anwendungsszenario		Material	Hintergrund/ Relevanz	Öko-Design-Prinzip
A.1	Flip-Flops aus Chitosan-Kork-Komposit für eine kurze Nutzungsdauer	Korkschat aus post-consumer Sammlung; insektenbasiertes Chitosan; Hanfgewebe; Essigsäure; Glycerin	Der Abrieb von Schuhsohlen und die unsachgemäße Entsorgung von konventionellen Flip-Flops resultieren in erheblichen Mengen an (Mikro-)Kunststoffen, die in aquatische Ökosysteme, Strände und Böden eingetragen werden. Dies kann ein mechanisches und ökotoxikologisches Risiko für aquatische und terrestrische Organismen bedeuten.	Biologische Abbaubarkeit und Problemstoffarmut mindern Ökotoxizität im Einwegprodukt
A.2	Kinderstuhl aus Chitosan-Hanfaser-Komposit für eine lange Nutzungsdauer	post-production Hanffaserreste; insektenbasiertes Chitosan; Hanfgewebe; Essigsäure; Glycerin	Die hohe Nutzungsauslastung von Kinderstühlen in schulischen Kontexten bedeutet eine besondere Beanspruchung und schnellen Verschleiß. Das Chitosan-Hanfaser-Komposit erlaubt einfaches Aufbereiten von Kratzern, Rissen und Bruchstellen. Die Reparatur von Mängeln kann eine frühzeitige Entsorgung verhindern. Ein Produkt, welches im Unterricht eigenhändig gepflegt und repariert wird, kann darüber hinaus selbst zum Lehr- und Lernmittel werden.	Reparierbarkeit ermöglicht Langlebigkeit bei hoher Nutzungsauslastung und steigert Ressourceneffizienz des geteilten Produkts

Die Produkte der beiden Anwendungsszenarien wurden hinsichtlich einer konkreten materiellen Zusammensetzung, erforderlichen Herstellungsverfahren sowie einer Aufstellung des Nutzungskontextes (Logistik, Rücknahmesystem) charakterisiert. Es folgte die Untersuchung von Einflussfaktoren und Umweltrisiken (Abb. 1-4).

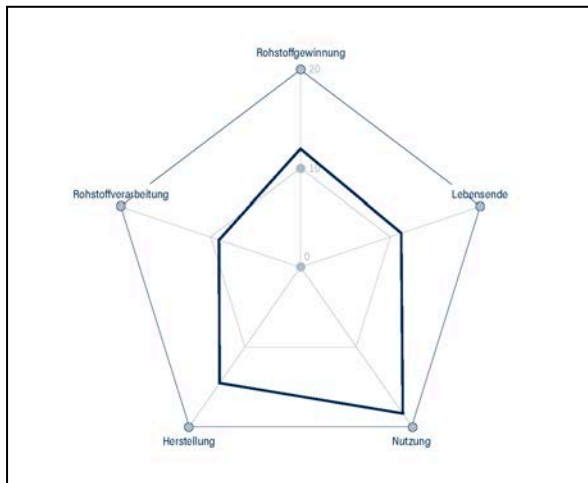


Abb. 1 Szenario A.1: Bewertung nach Lebenszyklusphase (Grafik: Elsa Westreicher)

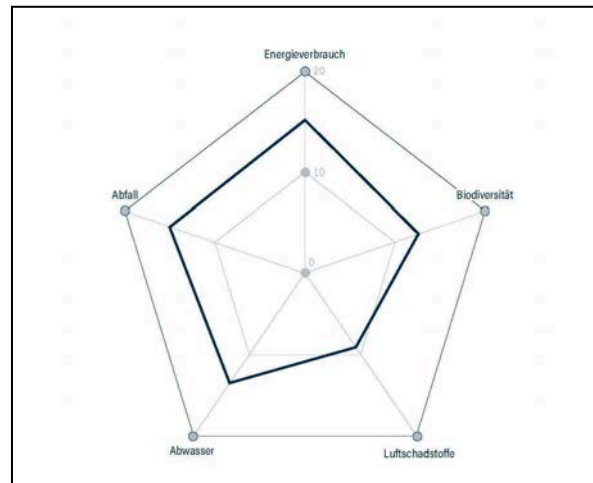


Abb. 2 Szenario A.1: Bewertung nach Umweltproblemfeldern (Grafik: Elsa Westreicher)

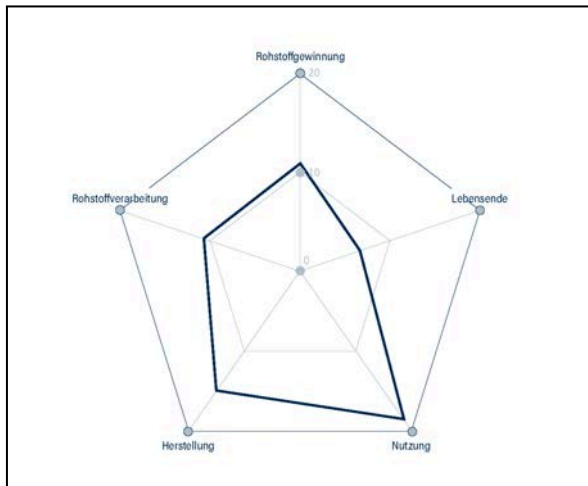


Abb. 3 Szenario A.2: Bewertung nach Lebenszyklusphase
(Grafik: Elsa Westreicher)

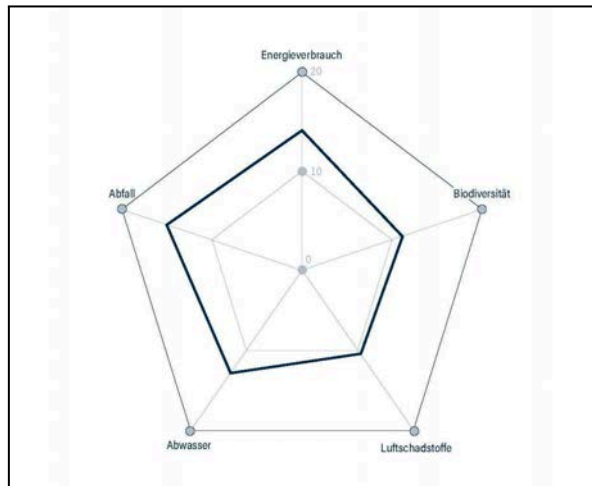


Abb. 4 Szenario A.2: Bewertung nach Umweltproblembereichen
(Grafik: Elsa Westreicher)

5.3 Hotspot- und Sensitivitätsanalyse

Die Durchführung einer Hotspotanalyse diente dazu herauszufinden, welche Prozesse, Systemeigenschaften und Inputs in den Lebenszyklusphasen den größten Einfluss auf die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems bzw. das Ergebnis einer Umweltanalyse haben – und warum. Die Sensitivitätsanalyse hingegen hatte das Ziel aufzuzeigen, welchen Einfluss die Veränderung von Annahmen, technischen oder gestalterischen Parametern des Produktsystems (z.B. Art der verwendeten Energiequellen, Herkunft von Rohstoffen, Organisation eines Rücknahmesystems) auf die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems bzw. das Ergebnis der Umweltanalyse haben.

Bei der Hotspotanalyse (*Abb. 5-6*) fällt auf, dass bei beiden Anwendungsszenarien vor allem die Phasen der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung (Glycerin, Futtermittel, Recycling-Kork, Dekalzifizierung, Auslastung der Anlage für Larvenzucht) sowie Lebensende (Rezyklierbarkeit, gesamte Nutzungsdauer) mit hohen Umweltrisiken verbunden sind. Daraus ergibt sich im weiteren Forschungs- und Entwicklungsprozess die Notwendigkeit, diese Hotspots zu adressieren und alternative Materialien, Technologien und Designkonzepte zu finden, die die Nachhaltigkeit der Produkte weiter verbessern.



Abb. 5-6 Zwei Anwendungsszenarien im Vergleich: Hotspot-Analyse nach ERPA (Grafiken: Elsa Westreicher)

Die identifizierten Hotspots sind gut geeignet zur Betrachtung der Sensitivitäten der Umweltanalyse, da insbesondere bei Variablen mit hohem Umweltrisiko ggf. ein hohes Reduktionspotenzial durch die Änderung der Annahmen besteht. Das betrifft vor allem die Variablen Anzahl Nutzungszyklen, Anlagenauslastung, Futtermittelquelle und Weichmacher (Glycerin). Die untere Tabelle zeigt exemplarisch aktuelle sowie alternative Systemzustände der vier betrachteten Variablen.

Variable	aktuelle Annahme	alternative Annahme
Anzahl Nutzungszyklen	4 x 4 Jahre (16 Jahre)	4 x 6 Jahre (24 Jahre)
Anlagenauslastung	30 %	100 %
Futtermittelquelle	Kuppelprodukte: Weizenkleie, Pülpe (Zeit)	organische Reststoffe ohne andere stoffliche Nutzungswege
Weichmacher (Glycerin)	konventionelle petrochemische Herstellung (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, ≥99,7 %, p.a., wasserfrei, Ultra Qualität, synthetisch)	Herstellung als Nebenprodukt z.B. der Biodieselherstellung aus Leipzig (99,8% Reinheit, HACCP zertifiziert)

AP 6 Erfassung relevanter Stakeholder:innen, Materialkreisläufe und möglicher Materialkombinationen

6.1 Evaluation der Chitin- und Chitosan-Produktions- und Verarbeitungsprozesse im insectmatter-Konsortium

Die Erfassung und Kartierung der Produktions- und Verarbeitungsprozesse im Konsortium wurde in einer Infografik zusammengeführt. Sie fasst prozessrelevante Informationen zusammen und zeichnet bestehende Infrastruktur aus (Abb. 7).

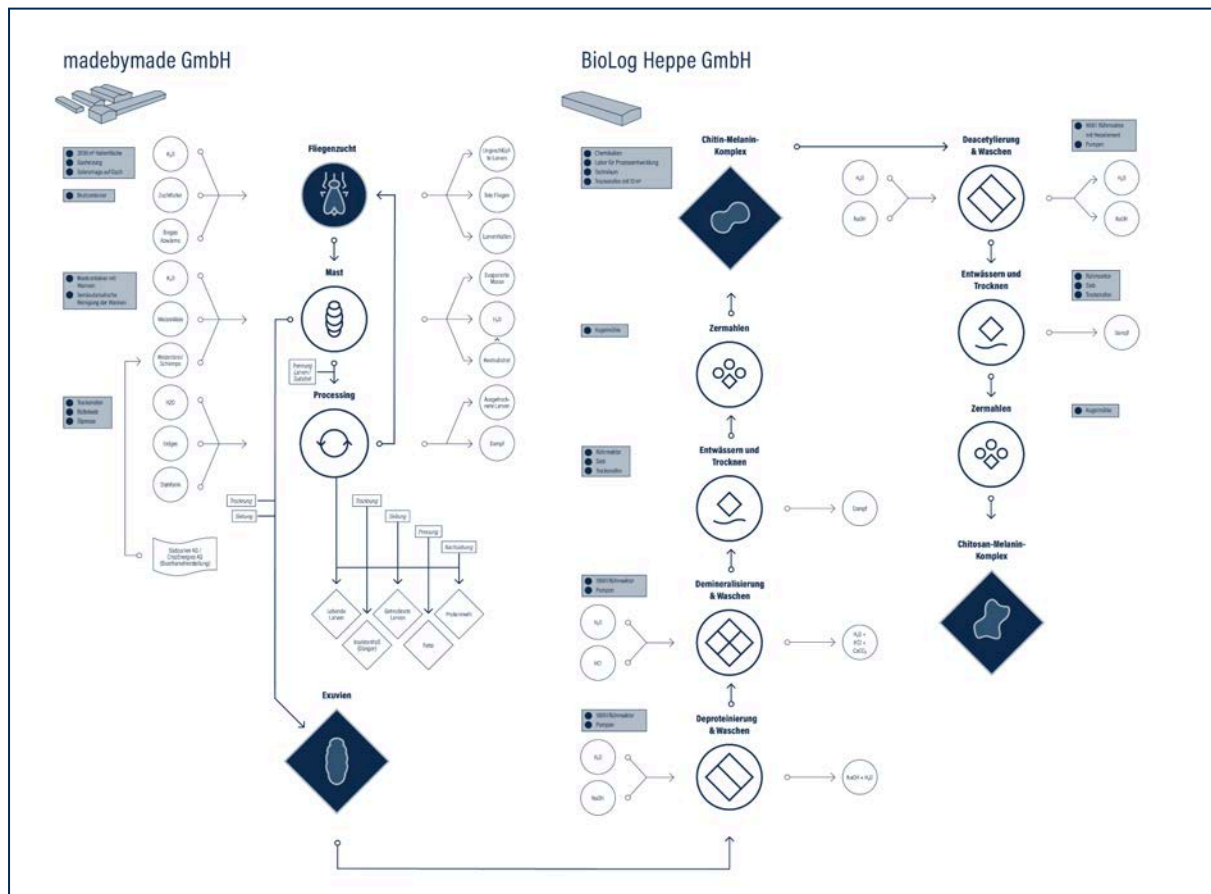


Abb. 7 Prozesse und Infrastruktur in der Herstellung von insektenbasiertem Chitosan im Konsortium (Grafik: Elsa Westreicher)

Darüber hinaus wurden relevante Akteure und Materialverfügbarkeiten außerhalb des Konsortiums identifiziert. Da Chitosan besonders im Verbund hervorragende Eigenschaften zeigt, ist die Kombination mit anderen Materialien ein besonderer Fokus der Forschung im Teilvorhaben. Dabei werden regionale Reststoffe fokussiert: Die Einbindung im Umfeld anfallender Materialien kann Abhängigkeiten reduzieren, Materialkreisläufe schließen und die regionale Wirtschaft stärken. Kartiert wurden 37 Akteure für regionale Nebenprodukte, Reststoffe und Koppelprodukte, die potenziell in Chitosan-Kompositen Verwendung finden können (Abb. 8). In ausführlichen Profilen wurden Entstehungskontexte beschrieben, wesentliche Eigenschaften und spezifische Potenziale beleuchtet sowie mögliche Synergieeffekte im Zusammenspiel mit Chitosan aufgezeigt.

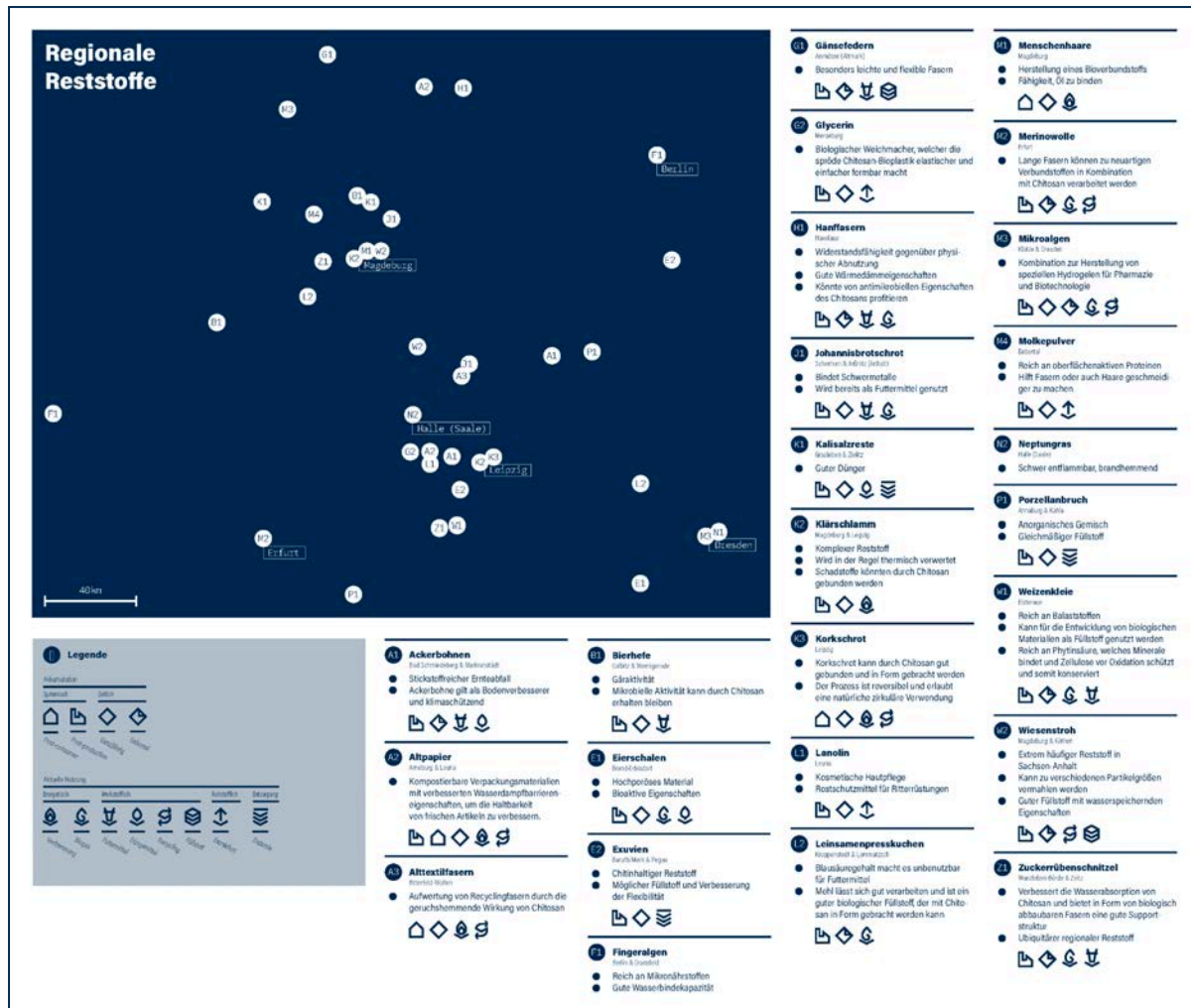


Abb. 8 Regionale Reststoffe im mitteldeutschen Raum (Grafik: Elsa Westreicher)

6.2 Vertiefte Infrastruktur- und Potenzialanalyse zur Identifikation von Synergieeffekten

Die vertiefte Infrastruktur- und Potenzialanalyse konzentrierte sich darauf, Synergieeffekte zu identifizieren, die eine effiziente(re) und ggf. nachhaltige(re) Prozessgestaltung ermöglichen. Neben den Potenzialen, die regionale Reststoffe und deren Akteure (AP 6.1) eröffnen, wurden weitere Schlüsselaspekte ermittelt:

1. Das modulare Anlagenkonzept der *madebymade GmbH* bietet eine vielversprechende Möglichkeit zur Skalierung des Prozesses. Durch diese Flexibilität kann die Produktionskapazität bedarfsgerecht angepasst werden, was ein erhebliches Potenzial für Ressourcenschonung und Effizienzsteigerungen birgt.
2. Die Verwendung variabler Substrate in der Fliegenzucht und anpassbare Kompositzusammensetzungen in Produkten eröffnen die Chance einer flexiblen und lokalen Reststoffverwertung. Diese Strategie ermöglicht es, regionale Ressourcen effizient zu nutzen und Abfallmengen zu reduzieren.
3. Die Nutzung der entstehenden Abwärme bei der Mast der Fliegenlarven, z.B. für Trocknungsschritte im weiteren Prozess, stellt einen aussichtsreichen Synergieeffekt dar.

4. Die Einbindung der Chemieinfrastruktur von *BioLog Hepe GmbH* für künftige Verarbeitungs-, Veredelungs- und Recyclingprozesse bietet die Möglichkeit, zusätzliche Wertschöpfungspotenziale zu erschließen.

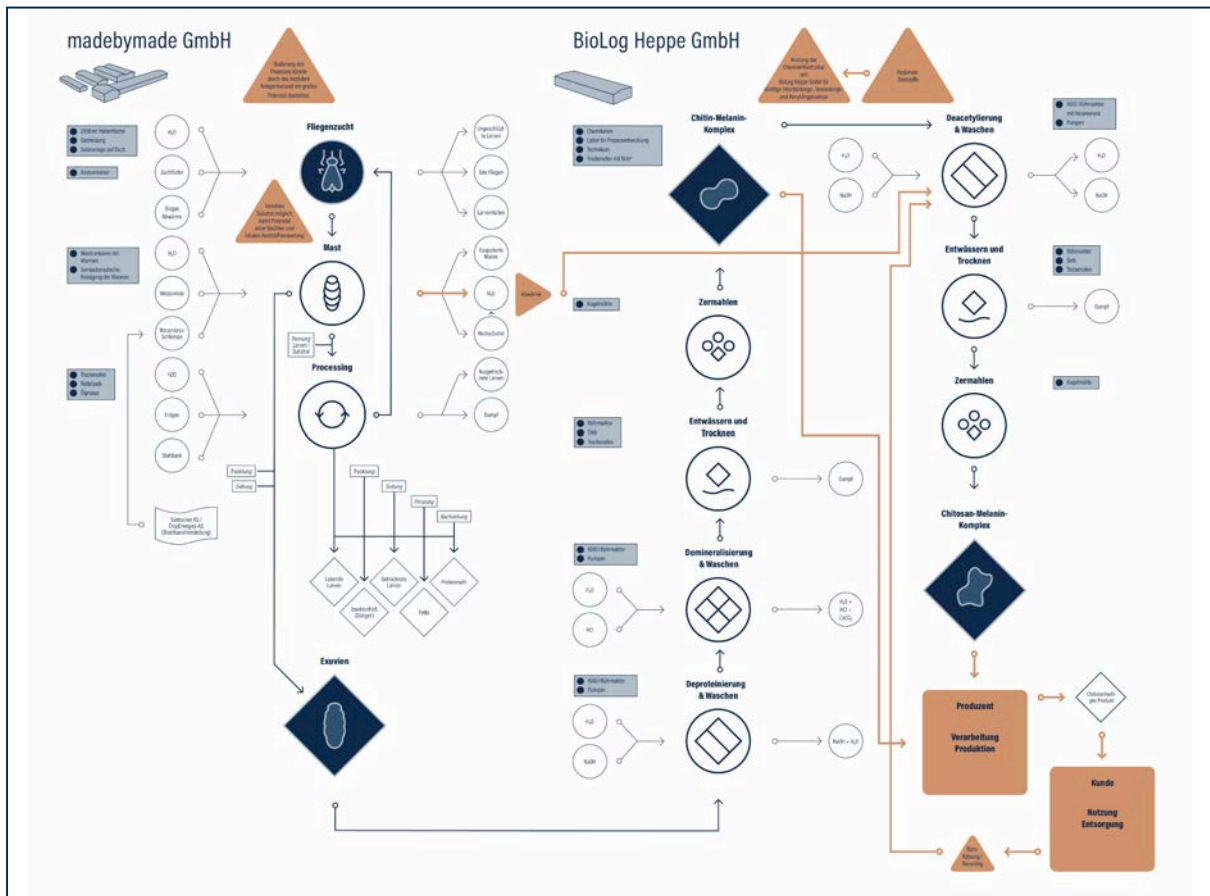


Abb. 9 Herstellung von insektenbasiertem Chitosan im Konsortium: Prozesse, Infrastruktur, Potenziale (Grafik: Elsa Westreicher)

6.3 Ableitung neuartiger Materialkombinationen und Verarbeitungsformen

Aufbauend auf den Vorarbeiten aus AP 6.1 wurden die ermittelten Reststoffe bei den entsprechenden Akteuren der Region angefordert. 37 Materialien konnten als Füll- oder Trägerstoffe, teils als Additive, in Kombination mit Chitosan erprobt werden (*Abb. 10*). Die Versuchsreihen wurden vorerst stellvertretend mit marinem Chitosan in unterschiedlichen Spezifikationen (Viskosität, Deacetylierungsgrad, Aschegehalt) durchgeführt. Das Chitosan bildet die bindende Matrix im Verbundwerkstoff. Mittels simpler Urformungsverfahren wie Gießen und (Form-)Pressen wurden erste, vergleichbare Materialproben erstellt. In Abhängigkeit von Zustand (Feststoff, Flüssigkeit), Format (Pulver, Granulat, Flakes, Kurz- oder Langfaser) und Eigenschaften (Oberflächenbeschaffenheit, Saugfähigkeit) wurde das Verhältnis von Füllstoff zu Bindemittel und ggf. Additiv eingestellt und dokumentiert.

<i>Chitosan + ...</i>		Ackerbohenschrot	<i>Alttextilfaser(-staub)</i>	Biertreber
Bakteriencellulose	Eierschalen(-pulver)	<i>Exuvien</i>	Gänsefedern	Getreidespelzen
Gips(-formen)	<i>Hanffaserreste</i>	Getreidespelzen	Hühnerfedern	Johannisbrotschrot
Käferholz	Kalirestsatz	Kalkhaltige Bauabfälle	Kartoffelschrot	Klärschlamm
<i>Korkschrot</i>	Lanolin	Larvenschalen	<i>Leinsamenpresskuchen</i>	<i>Maisreste</i>
Menschenhaar	Mikroalgen	Milchreste (Kasein)	Molke(-pulver)	Nadeln (Nadelbäume)
<i>Papierschnittreste</i>	Porzellanbruch	<i>Rohwolle</i>	Schraubenalgen	<i>Seegras</i>
<i>Silphiefaser</i>	<i>Sonnenblumenkernpresskuchen</i>	<i>Weizenkleie</i>	<i>Wiesenstroh</i>	Zuckerrübenschnitzel

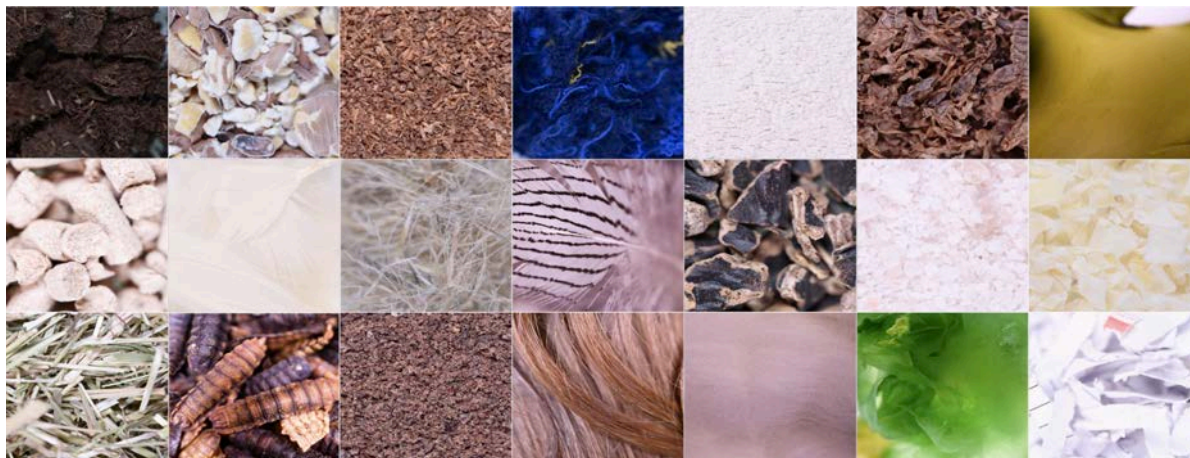


Abb. 10 Regionale Reststoffkartei

AP 7 Untersuchung industrieller Verarbeitungsformen / Nachweisfähigkeit für den industriefähigen Maßstab

7.5 Evaluation der Eigenschaften von Chitin/Chitosan-Materialkombinationen

Die Materialproben der Chitosan-Verbundstoffe (*Abb. 11*) wurden hinsichtlich ihrer mechanischen und haptisch-optischen Eigenschaften getestet und bewertet. Zwölf der 37 explorierten Materialkombinationen (siehe oben *fett-kursiv*) erwiesen sich als besonders aussichtsreich für die Exploration neuartiger Verarbeitungsformen. Ausschlaggebendes Kriterium waren breite Nutzungs-/Anwendungsmöglichkeiten. Für die Produktkonzeption im industriellen Maßstab müssen darüber hinaus die Verfügbarkeit des Reststoffs gewährleistet und Rebound-Effekte ausgeschlossen werden. Die Rezyklierbarkeit konnte in einem Langzeitversuch aufgezeigt werden: Die Möglichkeit, Chitosan wieder aus einem Komposit herauszulösen und so samt Faser- oder Füllstoffen für neue Anwendungen wiederzugewinnen, ist ein vielversprechender Ansatz hinsichtlich seiner Kreislauffähigkeit. Entsprechende Testreihen zeigten, dass Chitosan über viele Lösungszyklen seine Eigenschaften beibehält und so der Wiederverwendung zur Verfügung steht.



Abb. 11 Materialkomposit-Samples und Aluminium-Pressform

7.6 Explorative Erprobung (neuartiger) Verarbeitungsformen

Konventionelle Verarbeitungsweisen von Chitosan in Industrie und Forschung konzentrieren sich auf die Herstellung von sprühbaren Lösungen, pulvrigen oder flockigen Zusatzstoffen, dem Nassspinnen von Garnen und der Herstellung von Folien. Fehlende Alternativen an Herstellungsmöglichkeiten für dreidimensionale Produkte in Serie, die komplexe Geometrien, vielfältige Materialkombinationen, geringe Werkzeugkosten, reproduzierbare Produktionsverfahren, offene Schnittstellen und hohe Recyclingfähigkeit erreichen, stellen eine zentrale Herausforderung dar. Identifiziert und erprobt wurden in diesem Projektabschnitt 19 relevante Technologien, die für die Verarbeitung von Chitosan aussichtsreich sind (*Abb. 12*).

Verfahrenspool

<i>Tauchformen</i>	Elektrospinnen	Extrusions-3D-Druck	Foliengießen	<i>Formpressen</i>
Laminated Object Manufacturing (LOM)	Siebdruck	Faserspritzen	Ausfällen	Tiefziehen
Formschäumen	<i>Faserwickeln</i>	<i>3D-Druck im Pulverbett</i>	Nassspinnen	<i>Radiofrequenz-Technologie</i>
<i>Faserblasformen</i>	<i>Faserguss</i>	Gefriertrocknen	Wassertransferdruck	

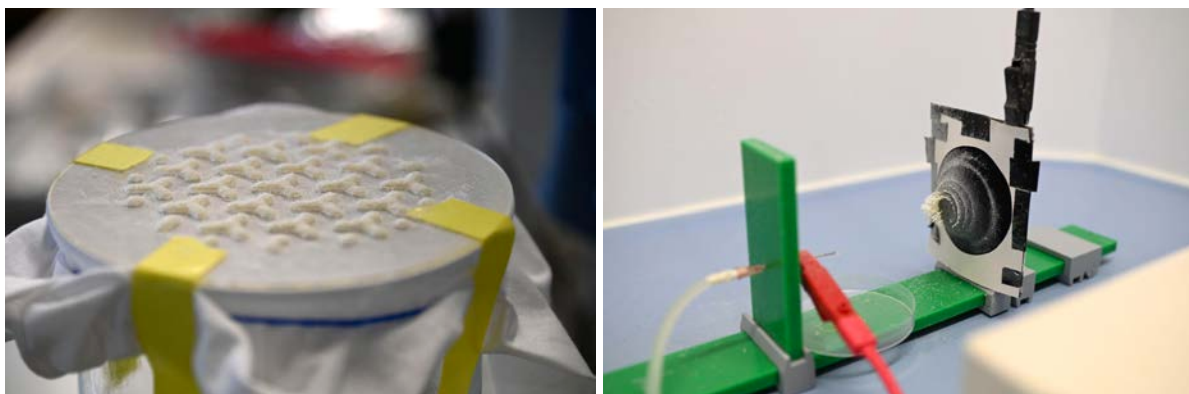


Abb. 12 Bedampfen und Elektrospinning im Versuchsaufbau

7.7 Modifizierung und Verfeinerung der Material-Technologie-Kombination

In der vertieften praktischen Forschung wurden 12 Material-Technologie-Konzepte (MTK) weiter exploriert (siehe Tabelle S.18 f.). Dabei wurde besonderer Wert auf die Identifizierung von Synergieeffekten gelegt, bei denen die gemeinsame Anwendung von Chitosan und anderen Materialien in Kombination mit dem Verfahren einen Mehrwert erzeugt, der über die Summe der Einzelteile hinausgeht: “1+1=3”.

Konnte ein Verfahren mit der Ausstattung der Werkstätten und Labore der BURG nicht durchgeführt werden, wurden entsprechende Technologieunternehmen aufgesucht. Alle Untersuchungen wurden protokolliert, foto- und videografisch dokumentiert und abschließend evaluiert (*Abb. 13-16*).



Abb. 13-14 (oben) Samples der Material-Technologie-Konzepte: Powder Jet (links) und Fibre Wrap (rechts)
 Abb. 15-16 (unten) Samples der Material-Technologie-Konzepte: Radio Form (links) und Fibre Blow (rechts)

MTK	Material	Technologie	Fazit
Paste Print	Chitosanlösung, feines Granulat bzw. Kurzfaser (Kork, Exuvien, Alttextilfasern, Wiesenstroh etc.)	3D-Druck	Ein 3D-Druck mit Chitosan (rein oder mit Füllstoffen) ist im Pastendrucker prinzipiell möglich. Jedoch ist die Trocknungszeit des gelösten Chitosans sehr lang. Daraus ergibt sich eine große Einschränkung in der Vielfalt der druckbaren Geometrien, da das gelöste Chitosan wenig Eigenstabilität besitzt. Ein Trocknen, zum Beispiel mittels warmer Luft, während des Druckvorgangs ist denkbar, jedoch sehr energie- und zeitaufwändig. Außerdem schrumpft das Material während der Trocknung, so dass eine konturgenaue Herstellung erschwert ist.
Gel Paste Print	Chitosanlösung, pulverförmiges Granulat bzw. Kurzfaser (Kork, Exuvien etc.),	3D-Druck im Ausfällgel	Der 3D-Druck im Ausfällgel mit Chitosan und Füllstoff ist sehr vielversprechend, da dieser einen 3D-Druck ohne Stützstruktur ermöglicht. Ob hier im Laufe des Projektes ein konkreter Anwendungszweck gefunden oder diese Verarbeitungsweise für sich genommen weiter beforscht werden

	basisches Ausfällgel (Carrageengel, Xanthan etc.)		sollte, bleibt zu diesem Zeitpunkt offen. Weitere Materialkombinationen, Auflösungen etc. werden zunächst anwendungsoffen untersucht.
Powder Jet (Abb. 13)	Chitosanpulver, Lösungsmittel (Essigsäure, Zitronensäure etc.)	3D-Druck im Pulverbett	Der Pulverbett-3D-Druck mit Chitosan und Füllstoff ist sehr vielversprechend, da dieser einen 3D-Druck frei im Raum ohne Stützstruktur ermöglicht. Ob hier im Laufe des Projektes ein konkreter Anwendungszweck gefunden oder diese Verarbeitungsweise für sich genommen weiter beforscht werden sollte, bleibt zu diesem Zeitpunkt offen. Weitere Materialkombinationen, Auflösungen etc. werden zunächst anwendungsoffen untersucht.
Pulp Form	Chitosanlösung, Kurzfaser (Papierreste, Alttextilfasern, Silphiefaser, Hanffaserreste etc.)	Faserguss	Die Herstellung von Papierfaserguss-Teilen mit Chitosananteil ist prinzipiell möglich. Im Fasergussprozess wurde der Pulpe eine Chitosanlösung zugegeben. Es lässt sich ein guter Verbund aus Chitosan und Zellstoff (oder anderen Fasern) herstellen. Das Papier erhält zusätzliche Eigenschaften durch die Zugabe von Chitosan. Dennoch haben die Versuche des Faserblasens (s.u.) als auch des Sprühens gezeigt, dass auch ohne den Einsatz derart großer Mengen Chitosanlösung, die im Faserguss notwendig sind, um die Fasern schöpfen zu können, eine gute Vermischung von Faser und Matrix möglich ist. Die großen notwendigen Mengen Chitosanlösung sind nicht nur für den Herstellungsprozess problematisch, da sie kostenintensiv sind, sondern auch im Trocknungsprozess, da dieser entsprechend länger dauert bzw. aufwändiger ist. Daher wird die Verarbeitung von Chitosan im Fasergussprozess an dieser Stelle nicht weiter verfolgt, obwohl Chitosan als Zusatz zu Papier dessen Eigenschaften entscheidend verändern kann – möglicherweise ohne die Recyclingfähigkeit der Papierfasern einzuschränken. Hier bleibt jedoch die Frage, ob in herkömmlichen Papierrecyclinganlagen auch das Chitosan zurückgewonnen werden könnte.
Layer Dip	Chitosanlösung, feines Granulat bzw. Kurzfaser (Kork, Exuvien, Alttextilfasern, Wiesenstroh etc.)	Tauchformen	Fazit der zwar prinzipiell erfolgreichen Versuche ist, dass sich Chitosan im Tauchformungsprozess zu dreidimensionalen Teilen verarbeiten lässt. Es trocknet dabei sehr langsam und bekommt eine ungleichmäßige Oberfläche. Die Versuche, weitere Materialien durch ein "Panieren" einzubinden, führten zu wenig aussichtsreichen Ergebnissen. Es stellte sich kein ausreichend fester Verbund heraus. Es ergaben sich aus den Versuchen keine besonderen Potenziale, materialgerechte Bauteile herzustellen.
Fibre Blow (Abb. 16)	Chitosanlösung, kurz- bis mittellange Faser (Rohwolle, Alttextilfasern, Hanffaserreste etc.)	Faserblasen → eine Technologie der <i>Fiber Engineering GmbH</i>	Die ersten Versuche sind vielversprechend, weil es die Faserblastechologie erlaubt, Fasern und Chitosan automatisiert und gleichmäßig zu vermischen und in eine Form einzubringen. Das anschließende Verpressen und Trocknen bedarf beispielsweise der RF-Technologie – hier ist die übliche Verarbeitung mittels Heißpressen ungeeignet.
Fibre Wrap (Abb. 14)	Chitosanlösung, Endlosgarn (Rohwolle, Alttextilfasern, Hanffaserreste etc.)	Faserwickeln	Diese Experimente mit vornehmlich Hanffasern zeigen, dass das Prinzip des Fertigungsprozesses des Faserwickelns auf Chitosan übertragbar ist. Ebenso lassen sich so textile Schichten wie auch Endlosfasern mit Chitosan benetzen. In einem nächsten Schritt könnten wir eine entsprechende Sprühpistole ausleihen und diese gegebenenfalls mit einem sechsachsigen Gelenkroboter bedienen und die Trocknung mittels Druck und RF-Technologie verbessern.
Foam Mould	Chitosanlösung, pulverförmiges bzw. feines Granulat (Korkschröt, Exuvien etc.)	Formschäumen	Während verschiedene Versuche zeigten, dass das Schäumen von Chitosan prinzipiell gut funktioniert, gestaltet sich die Stabilisierung der Ergebnisse besonders schwierig. Die bisherigen Samples bleiben spröde und brüchig. Wir sehen diese Ergebnisse als wertvollen Zwischenschritt, jedoch nicht als eigenständige Verarbeitungsweise.
Electro Spin	Chitosanlösung, Celluloseacetat, Polyethylenoxid	Elektrospinnen	Dieser Ansatz bedarf weit mehr Forschung als in diesem Projekt möglich und vorgesehen. Er könnte aber aufgrund des prinzipiellen Potenzials an anderer Stelle weiterverfolgt werden.
Steam Form	Chitosanpulver, Lösungsmittel (Essigsäure, Zitronensäure etc.)	Bedampfen	Wir sehen diese Ergebnisse des Bedampfens von pulverförmigem Chitosan auf einem Substrat mit Essigsäuredampf als wertvollen Zwischenschritt, jedoch nicht als eigenständige Verarbeitungsweise. Vielmehr kann das Bedampfen als Füge- und funktionale Veredelung eingesetzt werden.
Radio Form (Abb. 15)	Chitosan-Komposite aller Art	Radio-Frequenz-Technologie → ein Verfahren von <i>Kurtz Ersa</i>	Die RF-Technologie ist für die Verarbeitung von Chitosan äußerst vielversprechend, da sie eine schonende, gleichmäßige und energieeffiziente Trocknung des Materials ermöglicht. Die Herausforderung wird sein, diese Technologie mit geeigneten Formgebungsmethoden, wie dem Faserwickeln, Faserblasen, Laminieren und Verpressen zu kombinieren.

Multi Cycle	Lösungsmittel (Essigsäure, Zitronensäure etc.)	Rezyklieren	Die Möglichkeit, Chitosanbauteile im Nachhinein anzulösen und so ihre Form zu verändern, ist ein vielversprechender Ansatz hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit. Darüber hinaus ist es möglich, das Chitosan wieder aus einem Komposit herauszulösen und so das Chitosan und die Faser- oder Füllstoffe für neue Anwendungen wiederzugewinnen. Das Chitosan behält über viele Lösungszyklen seine Eigenschaften bei und steht so auch einer Wiederverwendung zur Verfügung.
-------------	--	-------------	--

Im Rahmen des Teilvorhabens entstand an der *BURG* eine „Researchmap“ (*Abb. 17*): Die im Prozess stetig gewachsene Übersicht hält die vielschichtigen Annäherungen aus wissenschaftlicher und gestalterischer Perspektive fest. Sie dient als Wissensspeicher, Prozessdokumentation und Ergebnispräsentation. Die Abbildung der umfassenden Exploration verzweigt sich entsprechend der Schwerpunkte der Forschungsarbeit von *BioLab* und *SustainLab* in vier Bereiche: Regionale Reststoffe, relevante Technologien, Material-Technologie-Konzepte und Umweltanalyse. (Ein Zugriff ist den Konsortialpartnern vorbehalten, auf Anfrage kann dieser bereitgestellt werden.)

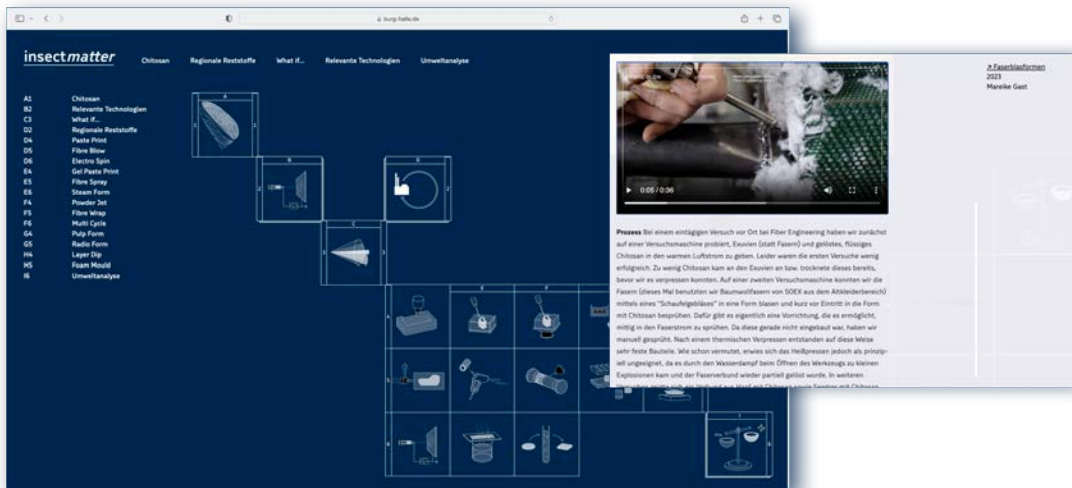


Abb. 17 insectmatter-Researchmap

AP 8 Entwicklung regionaler Produktkonzepte / Erprobung von Chitin/Chitosan in der Anwendung und Erarbeitung von Nutzungskonzepten

8.2 Entwicklung Validierung eines regionalen Produkt- und Nutzungskonzepts

Die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete wurden in ein konkretes Anwendungskonzept überführt. Alltägliche Produkte dienten dabei gezielt als Träger funktionaler wie gesellschaftlicher Relevanz (*Abb. 18*): Sie ermöglichen eine niedrigschwellige Annäherung an neue Werkstoffe, tragen dazu bei, mögliche Berührungsängste gegenüber insektenbasierten Materialien abzubauen und fördern den Aufbau neuer Materialgewohnheiten. Der Fokus lag daher auf der Entwicklung vertrauter Gebrauchsobjekte, die durch unmittelbare, wiederkehrende Nutzung das Potenzial des Materials erfahrbar machen. So können dessen haptische, funktionale und ästhetische Qualitäten erprobt werden – und schrittweise Eingang in neue Materialkulturen finden. Dabei definierte die Schnittmenge regionaler Potenziale, gesellschaftlicher Bedarfe und zirkuläre Verwertungsperspektiven den Gestaltungsrahmen (*Abb. 19*).



Abb. 18 Zielkontext: Produktwelt des Alltags

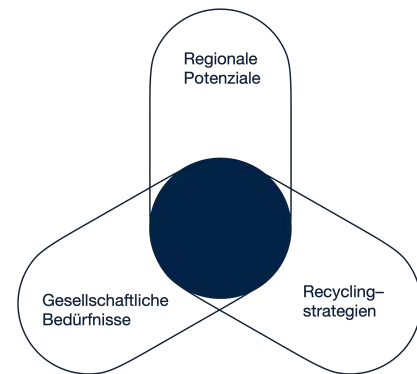


Abb. 19 Gestaltungsrahmen

Die Auswahl potenzieller Produktanwendungen stützte sich auf eine systematische Analyse alltäglicher Gegenstände. Die fotografische Kartierung eines Haushalts (*Abb. 20*) diente als methodischer Zugang, um die Vielfalt möglicher Anwendungen zu erfassen und alltägliche Produktphänomene sichtbar zu machen. Diese dokumentarische Perspektive wurde durch spekulative Entwurfsmethoden ergänzt. Mithilfe der Szenariotechnik wurden wünschenswerte Zukünfte durchgespielt, um deren Wirkung im Gebrauchskontext auszuloten. Die daraus abgeleiteten Fragen zielten darauf, bestehende Produktlogiken zu hinterfragen und alternative Gestaltungsansätze zu erproben:

Was wäre, wenn...

- Produkte so gestaltet wären, dass ihre Abnutzung keine negativen Auswirkungen hinterlässt?
- Produkte so konzipiert wären, dass sie keine Störstoffe in Recyclingprozesse eintragen?
- Produktdesign flexibel auf regionale Rohstoffe und saisonale Verfügbarkeiten reagiert?
- Komponenten mit unterschiedlichen Lebensdauern gezielt voneinander entkoppelt werden?
- Herstellung und Recycling in ein und demselben Prozess integriert sind?
- Reststoffe eine neue Wertigkeit erfahren – und gefragter werden als Primärrohstoffe?



Abb. 20 Auszug der Fotokartierung eines Haushalts

Aus der Analyse gingen zwei Produkttypen hervor, die sich für eine gestalterische wie technische Erprobung in besonderer Weise eignen: eine Türklinke und eine akkubetriebene Tischleuchte (siehe Markierung Abb. 20). Beide adressieren unterschiedliche Nutzungsszenarien und erlauben eine differenzierte Untersuchung der Materialeigenschaften im Alltag – einerseits ein niederkomplexes und langlebiges, andererseits ein trendgetriebenes, elektronisches Produkt. Die im Antrag vorgesehene Konzentration auf ein einzelnes Produktkonzept erwies sich dabei an dieser Stelle als zu eng gefasst. Um dem hohen Potenzial der entwickelten Material-Technologie-Konzepte und ihrer diversen Anwendungsmöglichkeiten angemessen zu begegnen, wurden beide Ansätze ausgearbeitet:

Produkt-, Nutzungs- und Kreislaufkonzept 1: Türklinke

Design	Das Gestaltungskonzept vereint die regionale Materialität mit kulturhistorischen Referenzen: Mit dem ikonischen Bauhaus-Türdrücker besteht ein regionaler Bezug zum Objekt. Der neue Entwurf folgt gleichermaßen einer sachlich, geometrischen Formensprache. Der zylindrische Klinkengriff wird vom Klinkenschaft (Kegelstumpf) zur Hälfte umschlossen. Dadurch kommt die Klinke ohne separate Rosette aus, wodurch möglichen Schwachstellen formal entgegengewirkt wird und die Formteileanzahl reduziert werden kann. Der verrundete Übergang der beiden Formen dient als Daumenbremse. Der Durchmesser des Griffs ist an einem optimalen Greifvolumen orientiert. (Diese Kriterien folgen Otl Aichers "vier Geboten des Greifens" siehe Aicher, O., Kuhn, R. (1987) Greifen und Griffe. S.76.) Die Schnittstelle zur Tür (Vierkantstahl, Madenschraube) ist an etablierte Standards angepasst, zugänglich und leicht (de-/)montierbar. (Abb. 21)
Material	<p>Gefertigt wird der Türdrücker aus einem Komposit aus drei Komponenten. Die vorgeschlagenen Reststoffe und Nebenprodukte fungieren nicht als bloße Füllstoffe, sondern bringen in gezielter Kombination neue Eigenschaften ins Komposit ein und sind vollwertiger Ersatz für Primärrohstoffe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Gemahlene Sonnenblumenkern-Presskuchen aus der Ölproduktion machen den mengenmäßig größten Anteil im Komposit aus. Sie bringen Faser- und Proteinanteile ins Material ein und verbessern damit insbesondere die Biegefestigkeit. 2) Weizenkleie – bezogen aus der Getreideverarbeitung – sorgt durch ihren Reststärkegehalt für eine Quervernetzung der Polymerstruktur von Chitosan und erhöht die mechanische, chemische und thermische Beständigkeit des Komposits. 3) Insektenbasiertes Chitosan (BioLog Hepp GmbH) dient mit seiner hohen Klebefähigkeit als Bindemittel. Hier eignet sich der gelöste Chitosan-Melanin-Komplex aus Exuvien. Anders als in Anwendungen oder Verarbeitungsprozessen mit hohen Anforderungen an Reinheit oder Farbgebung (vgl. Fasererspinnung am ITM) können die Rückstände in diesem Fall dem Füllstoffanteil zugeschrieben werden. Im Vergleich zu Chitosan aus Fliegen und Kokons weisen Exuvien die höchste Ausbeute auf. Dadurch – und durch das Einsparen von Filtration

	<p>und weiteren Prozessierungsschritten wie beispielsweise Melanin-Extraktion oder Bleaching – kann der Ressourcenaufwand im Prozess reduziert werden.</p> <p>4) Zur Oberflächenveredelung kann optional ein Lack zum Einsatz kommen: Filtriertes Kokon-Chitosan in Lösung (<i>BioLog Heppe GmbH</i>) dient als Trägermedium für Pigmente (z.B. "Gardenia black" der <i>NIG</i>) und fungiert als Stabilisator und Filmbildner. Gardenia Black Pigment ist ein löslicher Farbstoff, der aus den Früchten der Gardenie (<i>Gardenia jasminoides</i>) gewonnen wird. Die Hauptbestandteile sind Crocin und Crocetin, die für die Farbgebung verantwortlich sind. Das Pigment ist hitze- und lichtstabil und zeigt eine gute Farbstabilität im pH-Bereich von 4 bis 8. Das Pigment dient als stellvertretendes Färbemittel. Perspektivisch ist hier das erforschte, insektenbasierte Melanin (<i>NIG</i>) vorgesehen.</p>
Herstellung	<p>Die Herstellung der Bauteile erfolgt im Pressverfahren. Das Aushärten bedarf der physikalischen Trocknung. Da die Formmasse einen hohen Feuchtegehalt aufweist (15%), stellt der Trocknungsprozess eine große Herausforderung dar. Der zeitliche und energetische Aufwand als auch die Gefahr von Spannungsrissen und Formveränderungen schließen die konventionelle Trocknung durch Heißluft aus. Das Radiofrequenz-Verfahren (AP 7.6) verschafft hier eine praktikable, ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative. Durch dielektrische Erwärmung wird der Energiebedarf (im Vergleich zu Heißlufttrocknung) signifikant gesenkt. Gleichzeitig gewährleistet das Trocknen der Bauteile in der Werkzeugform Formstabilität und Maßhaltigkeit. Pressen und Trocknen erfolgen auf der entsprechenden Anlage in einem Prozessschritt. Zur Oberflächenveredelung kann eine Sprühbeschichtung mit Gardenia-Chitosan-Lack (<i>NIG</i>) erfolgen. Gardenia Black Pigment ist ein löslicher Farbstoff, der aus den Früchten der Gardenie (<i>Gardenia jasminoides</i>) gewonnen wird. Die Hauptbestandteile sind Crocin und Crocetin, die für die Farbgebung verantwortlich sind. Das Pigment ist hitze- und lichtstabil und zeigt eine gute Farbstabilität im pH-Bereich von 4 bis 8.</p>
Nutzung	<p>Material-Technologie-Kombination und Design der Türklinke sind auf Langlebigkeit ausgelegt. Für Gebrauchsspuren und Oberflächenbeschädigungen wird ein Reparaturset mitgedacht („Chito-Kit“), das Nutzenden eine eigenständige Instandhaltung ermöglicht und die Nutzungsdauer verlängert.</p>
End of Life	<p>Die Entsorgung der Türklinke erfolgt bei <i>BioLog Heppe</i>: Die Rohstoffverarbeitung wird zum Recyclingprozess. Ausgediente Türbeschläge können geschreddert dem Deacetylierungsprozess der Chitosanaufbereitung zugeführt werden. Hier findet ein Rückgewinn von Chitosan statt und Feststoffe werden abgetrennt (<i>Abb. 22</i>).</p>

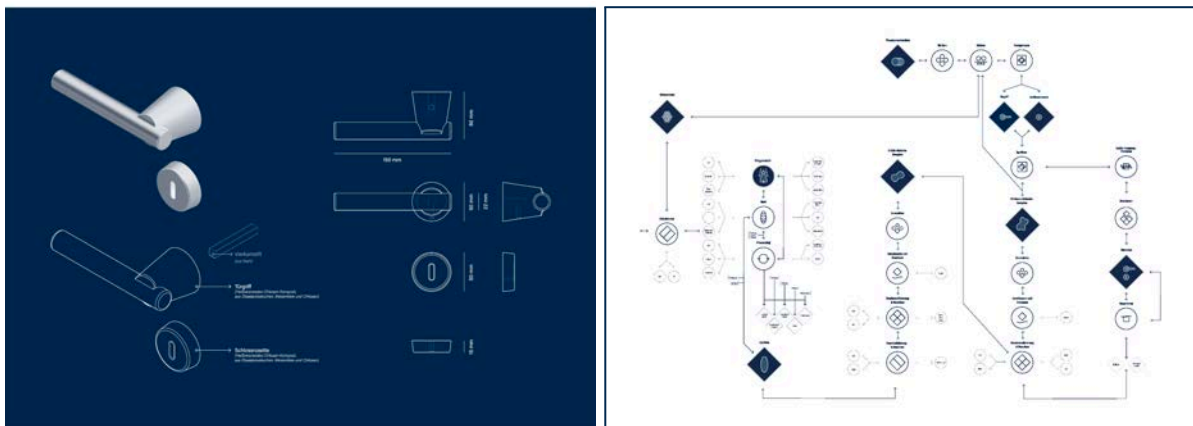


Abb. 21-22 Türklinke: Formaler Entwurf und Kreislaufkonzept

Die konzipierte Verarbeitung kombiniert bestehende Verfahren neu und ermöglicht so eine ressourcenschonende, dezentral organisierte Produktionsweise. Die zugrundeliegende Kreislaufhypothese versteht das Produkt nicht als linearen Konsumartikel, sondern als Beitrag zu einer regional verankerten, flexiblen Produktions- und Verwertungsgemeinschaft. Dieses Prinzip gilt auch für das zweite Konzept.

Produkt-, Nutzungs- und Kreislaufkonzept 2: Mietlicht

Design	<p>Die mobile Tischleuchte ist für den Einsatz in der Außengastronomie als Mietmodell konzipiert, welches den Produktlebenszyklus verlängert und gleichzeitig einen Serviceprozess ermöglicht, bei dem elektronische Komponenten mehrfach verwendet und nicht-elektronische Teile recycelt werden. Das Konzept reagiert auf die aktuelle Produktkultur, die von schnelllebigen, ressourcen- intensiven Trendartikeln geprägt ist. Der Entwurf verbindet eine funktionale, modulare Konstruktion mit dem Anspruch, die Produktkomponenten im Kreislauf zu führen. Das Produkt gliedert sich in drei Bauteile: Leuchtschirm, Leuchtenfuß und zentralen Leuchteneinsatz, der die Elektronik enthält. An Letzteren wird ein zugekauftes LED-Modul zur Lichtversorgung, das in eine spritzgegossene Halterung aus dem Biokunststoff PLA gefasst ist, auf eine Klemme aufgesteckt. Der Lithium-Ionen-Akku zur Energieversorgung wird mittig in den Leuchteneinsatz eingesteckt. Gestalterisch folgt die Leuchte dem Prinzip der prozessgerechten Formfindung. Entformungsschrägen gewähren die Entnahme aus den Pressformen, Kerbungen und gezielte Aussteifungen erhöhen die strukturelle Stabilität der papierbasierten Gehäuseteile. Durch den modularen Aufbau ist eine klare Trennung von kurzlebigen und langlebigen Komponenten gewährleistet – ein zentrales Kriterium für den Einsatz im Mietsystem und die Wiederaufbereitung im Servicemodell (Abb. 23).</p>
Material	<p>Die Leuchte wird aus einem Faserverbundwerkstoff gefertigt. Dafür wirken fünf Komponenten zusammen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Konventionelle Altpapierfasern des Papierrecyclings bzw. der Papierherstellung (Sekundär-Zellulosefasern i.d.R. aus Holz) machen den mengenmäßig größten Anteil im Komposit aus. Sie bringen eine Faserlänge von 0,6 – 1,2 mm ins Material ein und sorgen für die nötige Festigkeit. 2) Faserreste der schnell wachsenden Energiepflanze Durchwachsene Silphie (<i>Silphium perfoliatum</i>) aus regionalem und schonendem Anbau reduzieren den Bedarf an Holzzellstoff. Mit einer Faserlänge von ca. 2 mm sind die mittleren bis langen Fasern vergleichbar mit Weichholzfäsern. 3) Insektenbasiertes Chitosan (<i>BioLog Heppes GmbH</i>) dient mit seiner hohen Klebefähigkeit als Polymer-Verstärkung des Faserverbunds. Dadurch kommen kürzere Faserlängen in Frage und Recyclingfasern können weitaus länger zirkulieren: In konventionellen Papierprodukten sind nach etwa 5–7 Recyclingzyklen die Sekundärfasern so stark verkürzt, dass sie nicht mehr zur Papierherstellung geeignet sind. Mit dem Einbringen von Chitosan kann dem entgegengewirkt werden. Hierfür eignet sich der gelöste Chitosan-Melanin-Komplex aus Exuvien. Anders als in Anwendungen oder Verarbeitungsprozessen mit hohen Anforderungen an Reinheit oder Farbgebung (vgl. Fasererspinning am <i>ITM</i>) können die Rückstände in diesem Fall dem Füllstoffanteil zugeschrieben werden. 4) Phytinsäure, ein Extrakt aus Weizenkleie oder Ölsaaten, besitzt brandhemmende Eigenschaften und wirkt insbesondere in Kombination mit Chitosan als natürliches Flammenschutzmittel. Nach dem Layer-by-Layer-Prinzip werden abwechselnd anionische (Phytinsäure) und kationische (Chitosan) Schichten durch elektrostatische Kräfte gebunden und auf das Faserverbundmaterial appliziert. Beim Erhitzen wirkt die so aufgebaute Struktur intumeszierend und dient als gezielte funktionale Oberflächenmodifikation, ist biobasiert und halogenfrei. Für ausgewählte Komponenten kommt hierfür filtriertes, gelöstes Kokon-Chitosan (<i>BioLog Heppes GmbH</i>). Die Extraktion der Phytinsäure könnte perspektivisch gleichermaßen beim Chemieunternehmen erfolgen. 5) Zur Farbgebung werden Pigmente (z.B. "Gardenia black" der <i>NIG</i>) eingesetzt. Gardenia Black Pigment ist ein löslicher Farbstoff, der aus den Früchten der Gardenie (<i>Gardenia jasminoides</i>) gewonnen wird. Die Hauptbestandteile sind Crocin und Crocetin, die für die Farbgebung verantwortlich sind. Das Pigment ist hitze- und lichtstabil und zeigt eine gute Farbstabilität im pH-Bereich von 4 bis 8. Das Pigment dient als stellvertretendes Färbemittel. Perspektivisch ist hier das erforschte, insektenbasierte Melanin (<i>NIG</i>) vorgesehen.
Herstellung	<p>Die Fertigung der Gehäuseteile erfolgt im Fasergussverfahren. Nach dem Zerfasern werden die Faserstoffe in einer Chitosanlösung (unfiltrierter Chitosan-Melanin-Komplex aus Exuvien) zu einer homogenen Pulpe vermengt. Diese wird im formgebenden Siebwerkzeug unter Vakuum abgeschöpft. Entformungsschrägen und strukturelle Verstärkungen wie Kerbungen sind werkzeugseitig integriert. Nach dem Entwässern erfolgt die funktionale Veredelung über eine Sprühbeschichtung mit filtriertem Chitosan-Melanin-Komplex aus Kokons. Der Leuchteneinsatz, der in direktem Kontakt mit den elektronischen Bauteilen steht, wird zusätzlich mit einer flammhemmenden Barriere versehen: einer mehrschichtigen Beschichtung aus Phytinsäure und Chitosan, im Wechsel appliziert. Nachverpressung und Trocknung erfolgen in einem kombinierten Schritt mittels Radiofrequenztechnologie. Dieses Verfahren ermöglicht eine gleichmäßige Durchtrocknung, verhindert Formverzug und senkt den Energieeinsatz signifikant. Abschließend erfolgt die Montage der Leuchte durch das Ineinanderstecken der elektronischen Komponenten und der fasergegossenen Bauteile.</p>
Nutzung	<p>Im Rahmen eines Mietmodells werden die Leuchten bedarfsorientiert für gastronomische Betriebe im Innen- und Außenbereich bereitgestellt. Der Service erlaubt eine kurzfristige und flexible Anpassung an saisonale Schwankungen, wie sie insbesondere in der Außengastronomie auftreten. Die Leuchte ist auf temporäre Nutzung unter wechselnden Bedingungen ausgelegt und erfüllt die Anforderungen an Robustheit, intuitive Handhabung und funktionale Zuverlässigkeit. Lichtleistung und Akkulaufzeit entsprechen marktüblichen Vergleichsprodukten. Nutzende profitieren von einem produktbegleitenden Service, der Bereitstellung, Wartung und Ersatz abdeckt – ohne logistischen Mehraufwand auf ihrer Seite. Die Möglichkeit variabler Form- und Farbvarianten eröffnet individuelle Anpassungsspielräume, ohne Eingriffe in den Produktzyklus.</p>

End of Life	Nach jeder Nutzungseinheit wird die Leuchte vollständig an den Anbieter zurückgeführt und in ihre Einzelkomponenten zerlegt. Langlebige Bauteile – insbesondere LED-Modul, Akku und Schalteinheit – werden geprüft und, sofern uneingeschränkt funktionsfähig, erneut in den Nutzungskreislauf integriert. Kurzlebige Gehäuseteile, die Verschleißerscheinungen aufweisen, werden dem werkstofflichen Recycling zugeführt. Der papierbasierte Faserverbund ist für eine Wiederaufbereitung im Fasergussprozess ausgelegt: Durch Wiederaufschlammung kann das Material erneut verarbeitet werden, ohne Störstoffe zu erzeugen. Die Rückführung sämtlicher Komponenten ist fester Bestandteil des Produkt- und Servicemodells. Ergänzt wird dieser Prozess durch eine transparente, auch digital zugängliche Dokumentation der Materialherkunft und Verwertung – ein Beitrag zur Nachvollziehbarkeit der Kreislaufführung und zur Stärkung der materiellen wie ideellen Identifikation mit dem Produkt. (Abb. 24)
-------------	---

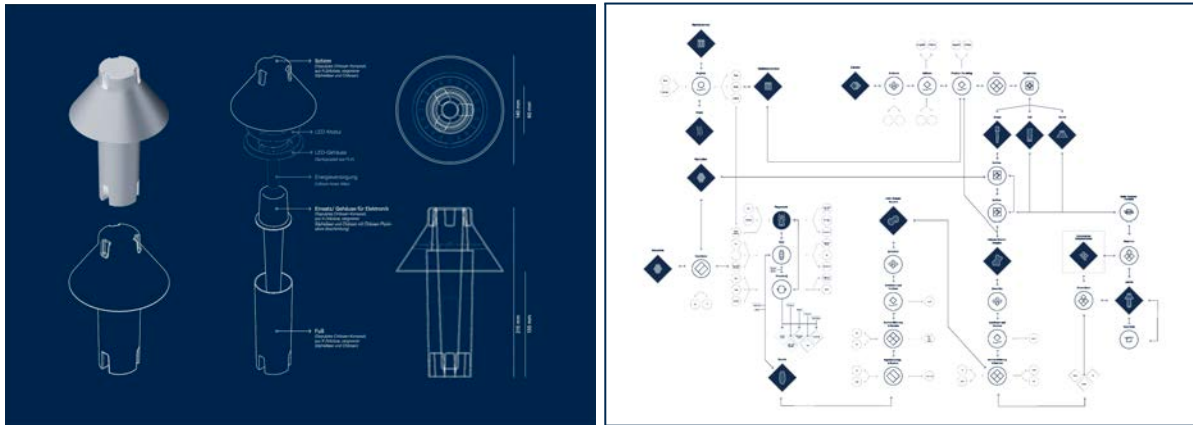


Abb. 23-24 Mietlicht: Formaler Entwurf und Kreislaufkonzept

Die Verwendung chitinhaltiger Nebenprodukte der regionalen Insektenzucht kann nicht nur den Transportaufwand reduzieren, sondern überblickbare Lieferketten sowie lokal verankerte, sozial und ökologisch verantwortbare Materialkreisläufe gewährleisten. Die Innovation des Konzepts liegt im Aufbau einer Produktions- und Verwertungsgemeinschaft (Abb. 25), in der regionale Reststoffe, verteilte Infrastrukturen und gestalterische Praxis systemisch miteinander verknüpft sind. Die Prozesse entstehen nicht sequenziell, sondern in Abstimmung: Herstellung, Nutzung und Rückführung sind so konzipiert, dass Material- und Informationsflüsse zirkulieren können. Recycling wird nicht als nachgelagerter Schritt gedacht, sondern ist in die Produktion integriert. Diese funktionale Integration reduziert Verluste, spart Energie und schafft flexible Übergänge zwischen linearer Herstellung und zirkulärer Logik. Das System ist modular, regional anpassbar und durch kooperative Organisation tragfähig. Gestaltung wird so zum Bindeglied einer ökologisch, sozial und infrastrukturell zukunftsfähigen Produktionskultur.

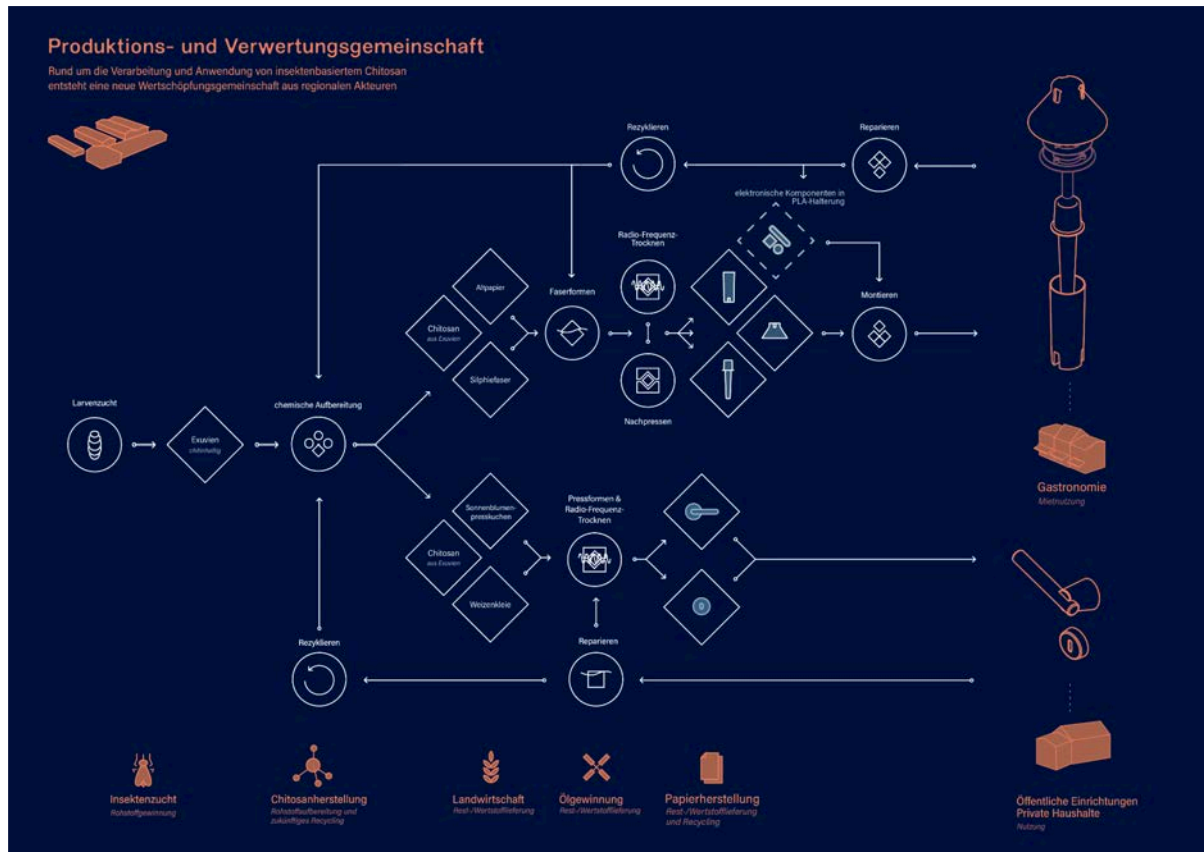


Abb. 25 Zirkuläre Produktkonzepte und zugehörige Produktions- und Verwertungsgemeinschaft (kondensierte Prozessübersicht)

8.3 Zielgruppenanalyse und Prototypenentwicklung

Die in AP 8.2 entwickelten Produktkonzepte wurden darüber hinaus hinsichtlich ihrer gestalterischen Reife, technologischen Umsetzbarkeit, Kreislauffähigkeit und Zielgruppenrelevanz systematisch bewertet. Die Analyse erfolgte entlang intern abgestimmter Kriterien, welche sowohl funktionale als auch symbolische und infrastrukturelle Aspekte einbezog. Die Zielgruppenanalyse erfolgte in enger Verbindung zur konzeptionellen Ausarbeitung der beiden Produktansätze. Für die Türklinke konnten insbesondere kommunale Einrichtungen, öffentliche Träger und Bildungsinstitutionen als relevante Zielgruppen identifiziert werden – Nutzungsumfelder, in denen Langlebigkeit, Reparierbarkeit und materialetische Aspekte zunehmend an Bedeutung gewinnen. Das Mietlicht richtet sich an gastronomische Betriebe mit saisonal schwankendem Bedarf und betontem Außenbereich, die von einem flexiblen, wartungsarmen Leihsystem profitieren. In beiden Fällen wurde die Produktentwicklung eng mit den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Nutzungskontexte rückgekoppelt und hinsichtlich Akzeptanzpotenzial und Kreislaufverträglichkeit reflektiert. Als Ergebnis dieser Bewertung wurden beide Konzepte zur Erstellung eines ersten Prototyps ausgewählt. Anknüpfend an die Versuchsreihen aus AP 7.6 und AP 7.7 wurden die Designs von Türklinke und Leuchte in der entsprechenden Material-Technologie-Kombination ausgeführt. Dazu erfolgte die Konstruktion entwurfsspezifischer Formen für MTK *Radio Form* und *Pulp Form* (Abb. 26-27). Produktionsprozesse, die nicht durch die hochschulinterne Infrastruktur abgedeckt werden

konnten – etwa das Fräsen der PTFE-Formen oder die radiofrequenzbasierte Trocknung – wurden durch externe Partner realisiert, darunter der Einsatz des „Wave Former C“ bei der Kurtz Holding GmbH & Co. Beteiligungs KG (Abb. 28-29).

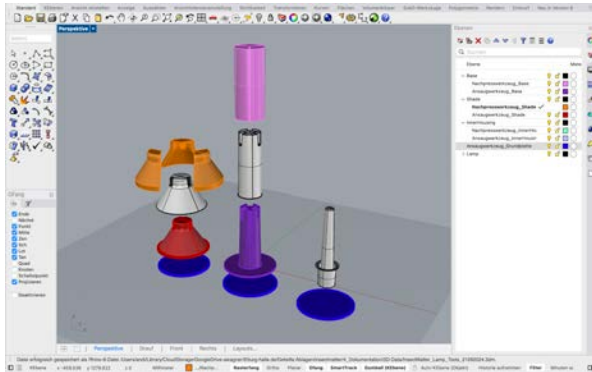


Abb. 26-27 Konstruktion der Faserguss-Form für Leuchtschirm, -halterung und -fuß und erste Samples des Leuchtschirms

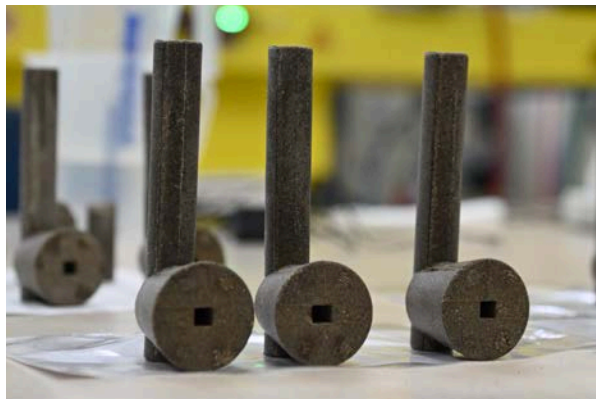
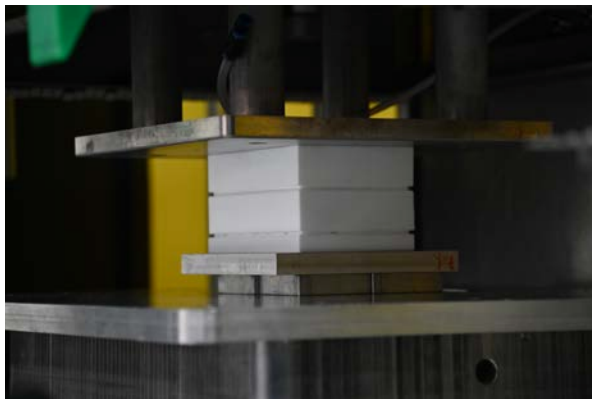


Abb. 28-29 Radio Form auf der Anlage „Wave Former C“ bei Kurtz ersa samt Ergebnissen.



Abb. 30-31 Türklinke und Mietlicht Prototypen im Studiokontext (Fotos: Matthias Ritzmann)

Die entwickelten Prototypen haben den Konzeptstatus verlassen und wurden als greifbare Objekte umgesetzt. Ihre fotografische Dokumentation zeigt sie im realen Nutzungskontext – und macht das zugrunde liegende Material- und Gestaltungskonzept anschaulich erfahrbar (Abb. 30-33). Die homogene Materialbeschaffenheit und die matt schwarze Farbgebung orientieren sich bewusst am Erscheinungsbild petrochemischer Kunststoffe – ein gezielter Bruch mit dem stereotypen Bild vermeintlich „nachhaltiger“ Materialien. Ziel ist es, eine stärkere Verbundenheit der Nutzenden zu fördern: durch den alltäglichen Gebrauch heimischer Werkstoffe, durch Wissen um ihre regionale Herkunft und durch die Einbettung in eine lokal verankerte Produktions- und Verwertungsgemeinschaft. Ihre Anschlussfähigkeit an bestehende Recyclingströme und die Eignung für dezentrale Kleinserienfertigung stärken nicht nur die praktische Umsetzbarkeit, sondern eröffnen auch neue Perspektiven für zukunftsfähige Materialkulturen.



Abb. 32-33 Türklinke und Mietlicht Prototypen im Anwendungskontext (Fotos: Matthias Ritzmann)

AP 9 Bewertung der Kreislauffähigkeit der im Prozess entstandenen Halbzeuge und Produkte

9.5 Bewertung der Kreislauffähigkeit der Produktideen und des prototypischen Produkts

Zur Bewertung der Kreislauffähigkeit der entworfenen Produktkonzepte wurde das *Circularity Assessment Tool (CAT V.4)* des *CIRCit Nord* Projekts der *Technischen Universität Dänemark* herangezogen. Während die in AP 5 verwendete *Vereinfachte Umweltbewertung (VERUM)* des *Umweltbundesamtes* die Gesamtumweltwirkung eines Produkts bewertet und sich gut für eine breitere Einschätzung und Ermittlung der Hotspots eignet, ist das *Circularity Assessment Tool* auf die Bewertung der Kreislauffähigkeit von Produktkonzepten ausgelegt. Das Microsoft Excel-basierte Instrument berücksichtigt anhand von 28 Kriterien wie Materialeffizienz, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit den gesamten Lebenszyklus und Serviceumfang eines Produkts. Die vorgegebenen Kriterien wurden um fünf weitere, bisher unbeleuchtete Aspekte ergänzt:

Kriterien des Circularity Assessment Tool (CAT V.4)

1.	Functional performance	Focus mainly on functionality and quality performance
2.	Operational support	Think about activity supports in the operational stage
3.	Value creation	Focus to fulfill the customer's requirements and value creation
4.	Digital integration	Try to use digitalization, ICT and IoT solutions
5.	Maintenance accessibility	Make it easy to inspect the product and components
6.	Cleanability	Make it easy to clean the product and components
7.	Repairability	Make exchanging of faulty components easily accessible
8.	Disassembly and End-of-life	Make it easy to dismantle the product nondestructively
9.	System boundary	Think about boundary management
10.	System configuration	Think about incumbent configuration
11.	Complementary capabilities	Think about complementary capabilities
12.	Renewable materials	Design using renewable materials
13.	Recyclable or recycled materials	Design using recyclable and secondary (recycled) materials
14.	Material health and safety	Consider toxicity and other environmental aspects of materials
15.	Cleaner production	Favor cleaner production, processes, machines and equipment
16.	Production waste	Treat production (pre-consumer) wastes appropriately
17.	Energy efficiency, Renewable energy	Design for reduced energy consumption and usage of renewable energy
18.	Standardization of components	Design standardized components across different products and models
19.	Standardization of tools	Design standardized tools required across different products and models
20.	Durability	Use durable and robust components and materials
21.	Modularity	Design in modular construction
22.	Documentation, User information	Provide manuals and documentation
23.	Availability of spare parts	Make spare parts and exchanging components easily available
24.	Longevity, Emotional attachment	Consider timeless design, emotional attachment and compatibility
25.	Regulatory compliance	Investigate current and upcoming laws and regulations
26.	Reversible joining methods	Use joints and connectors that can be easily opened and closed multiple times
27.	Material uniformity	Minimize the number of different incompatible or dissimilar materials
28.	Material identification	Make it easy to identify the materials and relevant information
<i>Erweiterung des Kriterienkatalogs</i>		
29.	Intended functionality	Assess how well the product fulfills its primary and potentially secondary functions
30.	Associated Costs	Assess the costs associated with design, production, and the entire product lifecycle
31.	Customer acceptance	Assess how likely the product is to be accepted by the target users and the market
32.	Technological requirement fulfillment	Assess whether the product meets existing or emerging technological requirements
33.	Ease of implementation	Assess how easily the design and production concept can be practically implemented

Die textlich beschriebene qualitative Bewertung der einzelnen Kriterien wird anschließend durch einen numerischen Faktor ausgedrückt, der sich wie folgt zusammensetzt (*Abb. 34*):

Nach der Feststellung der Relevanz des Kriteriums für die Analyse des Konzeptes, in einer Abstufung von “Really important (3)”, “Moderately important (2)”, “Slightly important (1)” bis “Not important (0)”, wird der Erfüllungsgrad eingestuft: “(1) yes, the guideline has been completely fulfilled by this concept”, “(3) somehow fulfilled but can be improved” und “(5) no, the guideline has not been fulfilled by this concept”. Die “Circularity Potential Scores” errechnen sich aus der Multiplikation der beiden vorangegangenen Faktoren. Dabei werden die erreichten Scores wie folgt eingestuft: “(15) Vital and imperative”, “(9-10) Improvements are necessary”, “(5-6) Potential circularity improvements”, “(1-3) No change required” und “(0) Not a concern”. Folglich gilt: Je niedriger der Score, desto höher die Kreislauffähigkeit des Produktkonzeptes.

Neben der Bewertung der Kreislauffähigkeit war auch die Grobkalkulation der produktspezifischen CO₂-Emissionen und eine Abschätzung potenzieller Einsparungen ein übergeordnetes Projektziel. Zur methodischen Umsetzung wurde hierfür *ecockpit* eingesetzt. Die Webanwendung ist eine Entwicklung der *Effizienz-Agentur NRW* im Auftrag des *Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen*. Sie greift auf anerkannte Datenquellen wie der *ProBas*-Datenbank des *Umweltbundesamtes*, den Angaben des *EEW (Energieeffizienzbericht Wirtschaft 2022)* sowie der *GEMIS*-Datenbank (Version 5.1) zurück und wird als praxisnahes Bilanzierungsinstrument genutzt. Das Tool eignet sich besonders für die frühe Entwicklungsphase, in der belastbare Näherungen erforderlich sind. Relevante Energie- und Materialströme der Produktkonzepte Türklinke und Mietlicht konnten damit systematisch erfasst und hinsichtlich ihrer Emissionswirkung eingeordnet werden.

Die Grobkalkulation der Türklinke erfolgte auf Basis einer „Cradle-to-Cradle“-Systemgrenze. Berücksichtigt wurden sämtliche Ressourcenaufwände der Materialkomponenten sowie die emissionsrelevanten Prozessschritte innerhalb der geplanten Produktions- und Verwertungsgemeinschaft, einschließlich Logistik. Nicht einbezogen wurden die graue Energie von Infrastruktur und Maschinen. Als funktionelle Einheit dienten 100 Türklinken. Ein direkter Vergleich mit marktüblichen Türklinken ist aufgrund fehlender vollumfänglicher Produkt-LCAs nicht möglich. Um dennoch eine grobe Einordnung zu ermöglichen, wurde ein Richtwertvergleich auf Basis der Materialbereitstellung (Scope 3) und der verfahrensspezifischen Energieaufwände (Scope 1) vorgenommen. Die entwickelte Türklinke bewegt sich damit am oberen Ende konventioneller Kunststoffprodukte. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die entwickelte Lösung in biobasierte Reststoffe, regionale Herstellung, Langlebigkeit sowie Reparatur gezielt adressiert und darüber hinaus die Rücknahme und das Recycling in der Produktions- und Verwertungsgemeinschaft gewährleistet. Dieses erweiterte Nachhaltigkeitspotenzial kann in reinen Emissionskennzahlen nicht abgebildet werden.

Auch für das Konzept des Mietlichts wurde die produktbezogene Emissionseinordnung erstellt. Als funktionelle Einheit sind hier zehn Leuchten über jeweils zehn Mietzyklen à vier Monate, entsprechend einer Betriebszeit von 576 Stunden pro Leuchte und Zyklus bewertet. Die Bilanz erfolgte auf Grundlage einer Cradle-to-Cradle-Systemgrenze, unter Einbezug sämtlicher Material-, Energie- und Logistikflüsse sowie der Rückführung zur Wiederverwendung. Die Infrastruktur und Maschinen wurden wie im Fall der Türklinke nicht erfasst. Die Emissionen wurden entsprechend der Lebensdaueranteile auf die einzelnen Komponenten aufgeteilt: langlebige Bauteile wie Akku, LED-Modul und Halterung wurden über ihre jeweilige Nutzungszeit verteilt, kurzlebige Elemente wie das faserbasierte Gehäuse oder Beschichtung vollständig einem Zyklus zugerechnet. Auch Akkuladungen während der Nutzung und Reparaturaufwände wurden berücksichtigt. Die entwickelte Leuchte ist so konzipiert, dass sie nach Gebrauch vollständig zurückgenommen und dem zirkulären Verwertungssystem rückgeführt werden kann. Auch ist hier zu berücksichtigen, dass das vorliegende Konzept durch Rücknahme, Reparierbarkeit und Wiederverwendung auf eine signifikante Verlängerung der Produktlebensdauer ausgelegt ist. In Kombination mit der Nutzung biogener Reststoffe für Gehäusematerialien ergibt sich eine zirkuläre Alternative mit einem erweiterten Nachhaltigkeitspotenzial, das sich nicht allein über CO₂-Werte abbilden lässt, sondern systemisch gedacht ist.

2.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse, Planungen für die nähere Zukunft

Die im Rahmen des Teilvorhabens entwickelten Konzepte zeigen exemplarisch auf, wie biobasierte Materialien und regionale Reststoffe in produktive, alltagsnahe Anwendungen überführt werden können. Ihre Entwicklung stellt einen anregenden Beitrag zur Etablierung nachhaltiger Produktionskulturen in Mitteldeutschland dar. Ableitungen der Ergebnisse sind sowohl unmittelbar als auch langfristig relevant:

- *Ökologisch:* Der Einsatz nachwachsender Reststoffe und energieeffizienter Verfahren kann ein Hebel sein, um Umweltbelastungen signifikant zu reduzieren.
- *Ökonomisch:* Die Aufbereitung bislang ungenutzter Nebenprodukte wie insektenbasiertes Chitin schafft neue Wertschöpfungspotenziale für regionale Akteure.
- *Sozial:* Die Kooperationsmodelle stärken regionale Netzwerke und binden verschiedene Akteursgruppen aktiv in zirkuläre Produktionsprozesse ein.

Die Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle forscht und lehrt fachübergreifend an den Schnittstellen Material-Technologie, Nachhaltigkeit, Gesellschaft und Wirtschaft. Die Ergebnisse können hier gleichermaßen als Forschungsgegenstand in SustainLab und BioLab verankert werden, als auch in der Lehre genutzt werden.

2.4. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Institutionen

Im Projektzeitraum sind uns keine Kenntnisse über Ergebnisse Dritter bekannt geworden, welche für die Durchführung des Vorhabens relevant waren.

2.5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Neben den Präsentationen von Teil- und Endergebnissen im Konsortialverbund erfolgten bzw. erfolgen folgende Veröffentlichungen:

- Präsentation der zentralen Ergebnisse des Gesamtvorhabens in der Ausstellung **„ZUKÜNFTE – Material und Design von Morgen“** vom **21. November 2024 bis 24. August 2025** im GRASSI Museum für Angewandte Kunst in Leipzig mit zugehörigem Ausstellungskatalog (Abb. 34)
- Nominierung der Ergebnisse des Teilvorhabens für den **Bundespreis Ecodesign 2025** in der Kategorie “Konzept” (ausgelobt durch Bundesumweltministerium, Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit dem Internationalen Design Zentrum Berlin)



Abb. 34 insectmatter in der Ausstellung „ZUKÜNFTE – Material und Design von Morgen“ im GRASSI Museum für Angewandte Kunst in Leipzig (Fotos: Matthias Ritzmann)

3. Quellen

Aicher, O., & Kuhn, R. (1987). *Greifen und Griffe: über das Begreifen von Dingen durch Gebrauchen*. Verlag Hermann Schmidt, Mainz.

BioLog Heppe GmbH. (2024). *Produktinformationen zu Chitosan, Chitin-Melanin-Komplex und verwandten Derivaten* [interne Dokumentation].

CIRCit Nordic / Technische Universität Dänemark (DTU). (2021). *Circularity Assessment Tool – CAT V.4: A Circular Economy Evaluation Tool*. Zugriff unter: <https://circuitnord.com>

Effizienz-Agentur NRW (Hg.) (2022): *ecocockpit – CO₂-Bilanzierung für Unternehmen*. Online verfügbar unter: <https://www.ecocockpit.de>

Förster, E. (2020). *Fibre Blow – Prozessbeschreibung zur Herstellung von Faserverbundmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen*. Fiber Engineering GmbH, Karlsruhe [interne Dokumentation].

Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2003). *Industrial Ecology*. 2. Auflage. Pearson Education, New Jersey.

Huyland GmbH. (2023). *Produktdatenblatt Sonnenblumenkernpresskuchen – Zusammensetzung und Eignung für biogene Werkstoffe* [interne Dokumentation].

Interstarch GmbH. (2023). *Produktdatenblatt Weizenkleie – Reststoffprofil und Stärkeanteile* [interne Dokumentation].

Kurtz Ersa GmbH. (2022). *Wave Former C – Technisches Datenblatt zur Radiofrequenztechnologie*. Kreuzwertheim: Kurtz Holding GmbH & Co. Beteiligungs KG.

NIG Nahrungsingenieurtechnik GmbH. (2023). *Produktdatenblatt „Gardenia Black“ – Biobasierter Naturfarbstoff aus Gardenia jasminoides*. Magdeburg.

Probas / Umweltbundesamt. (2022). *Prozess- und Stoffbilanzdatenbank: Umweltwirkungsdaten für Produkte und Verfahren*. Zugriff unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/probas>

Sykam, K., Försth, M., Sas, G., Restas, Á., & Das, O. (2021). *Phytic acid: A bio-based flame retardant for cotton and wool fabrics*. *Industrial Crops and Products*, 164, 113349. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113349>

Umweltbundesamt (UBA). (2020). *VERUM – Vereinfachte Umweltbewertung von Produkten*. Berlin: Umweltbundesamt. Zugriff unter: <https://www.umweltbundesamt.de>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2013): *Lebenswegorientierte Ressourcenbewertung – Grund- und Prozessdaten*. VDI ZRE-Arbeitsmittel. Verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/3_Werkzeuge/c_Loesungsentwicklung/Lebenswegorientierte_Ressourcenbewertung/Grund-_und_Prozessdaten_CI.pdf