

PAPALOTA

PRINZIPIEN DER BIONIK FÜR NEUE LÖSUNGEN IN DER MIKROMOBILITÄT

DBU-Aktenzeichen 35410/01-21/0

Laufzeit: 02. Juni 2020 bis 01. September 2021

ABSCHLUSSBERICHT

Prof. Dr.-Ing. Eckehard F. Moritz, Director

Lisa Knoche, Projektmanagerin

Dominik Wedber, Projektmanager

Innovationsmanufaktur GmbH, September 2021

EXECUTIVE SUMMARY

Wie können bionische Prinzipien zur Zukunft von Kleinstfahrzeugen beitragen? Aufbauend auf Erkenntnissen aus dem Vorgängerprojekt „Mariposa“ (Methodische Entwicklung innovativer Konzepte für Kleinstfahrzeuge durch Nutzung neuer Prinzipien des Leicht- und Kleinbaus, DBU-Projekt 33766/01) wurde im hier vorliegenden Projekt „Papalota“ der Fokus auf *bionische* Prinzipien für neue Lösungen in der Mikromobilität gelegt. Im Ergebnis entstanden ein interaktiver Innovationskatalog („Papalota“) inkl. 31 bionischer Prinzipien als Inspiration für die Konstruktion innovativer Mikromobilitätslösungen, drei Konzeptentwürfe für konkrete bionisch-inspirierte Anwendungsmöglichkeiten (Die Ant-Bot-Kolonie, 2Fold, Hummelfahrt) sowie ein bionisch inspirierter fahrbarer Prototyp (Schlab-E). Abgerundet wurde das Projekt durch einen breiten Einbezug von Innovationspartnern und Stakeholdern aus Industrie und Forschung.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	3
1 Ausgangssituation und Projektablauf	4
1.1 Kreativer Einstieg: Papa & Lotta – Eine kurze Fabel	4
1.2 Formaler Einstieg: Vom Mariposa zum Papalota	4
1.3 Einsatzmöglichkeiten von Kleinstfahrzeugen	6
1.4 Ziel, Methoden, beteiligte Innovationspartner, und Ablauf	7
1.4.1 Das Ziel: Bionisch inspiriert zu Mikromobilitätslösungen	7
1.4.2 Die Methodik: Mit Holistischer Innovation zu bionischen Prinzipien	8
1.4.3 Das Projektteam der Innovationsmanufaktur GmbH	9
1.4.4 Beteiligte externe Innovationspartner	10
1.4.5 Das Projekt im zeitlichen Verlauf	10
2 Fahrzeugfunktionen mit Bionikpotenzial	11
3 Zentrale Projektergebnisse	12
3.1 Drei Bionik-Konzepte in der Einzelbetrachtung	12
3.1.1 Konzept 1: Die Ant-Bot-Kolonie – Koordinierter Lastentransport	12
3.1.2 Konzept 2: 2FOLD – Formveränderung von Lastenrädern durch Faltung	14
3.1.3 Konzept 3: Hummelfahrt – Naturinspirierte Audiosignale für Elektrokleinstfahrzeuge	15
3.2 Entwicklung eines fahrbaren Prototyps: Der „Schlabb-E“	19
3.2.1 Überblick	19
3.2.2 Anforderungsbeschreibung für den Schlabb-E	19
3.2.3 Inspiration für die Konstruktion durch bionische Prinzipien	19
3.2.3.1 Mit Wabenstruktur zur Leichtbau-Grundplatte	19
3.2.3.2 Mit Skelettstruktur zu Leichtbau-Hinterachse	20
3.2.4 Der fahrbare Schlabb-E	23
3.2.4.1 Die technischen Daten des Schlabb-E	23
3.2.4.2 Fotocollage – Bilder sagen mehr als Worte	23
3.3 Vom Konstruktions- zum Innovationskatalog	25
4 Roadmap	26
4.1 Weiterentwicklung des Prototyps „Schlabb-E“	26
4.1.1 Überblick und Resümee zum Prototyps Schlabb-E	26
4.1.2 Technisches Weiterentwicklungspotenzial des Schlabb-E	26
4.1.3 Potenzielle Innovationspartner für die Weiterentwicklung des Schlabb-E	27
4.2 Verbreitung des Innovationskatalogs	27
5 Anhang	29
5.1 Anhang 1: Papalota – Der interaktive Innovationskatalog	29
5.2 Anhang 2: Dokumentation des Abschlussevents vom 17.08.2021	29

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Papa und Lotta, zwei Schmetterlinge wundern sich.....	4
Abbildung 2: Kontextsystem „Letzte Meile“	5
Abbildung 3: Kernfunktionen eines „Letzte Meile“ Fahrzeugs aus Nutzerperspektive	6
Abbildung 4: Übersicht und Abgrenzung von Kleinstfahrzeugen innerhalb der Mikromobilität.	7
Abbildung 5 Funktionsbild – Fahrzeugfunktionen mit Bionikpotenzial	11
Abbildung 6 Erste Versuchsträger für den „Ameisenhaufen“	13
Abbildung 7 Erste Versuchsträger für den „Spurwechsel“	14
Abbildung 8: 2FOLD Designstudie als gerendertes CAD-Modell.....	15
Abbildung 9: 2FOLD Designstudie als 3D-gedrucktes Modell im Maßstab 1:6.	15
Abbildung 10: Übersicht der Funktionen und der naturinspirierten Soundbeispielen	17
Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Kurzfilm „Hummelfahrt“	18
Abbildung 12: Bionisches Grundplattenkonzept bestehend aus einer Leichtbau- Wabenstruktur.....	20
Abbildung 13: Der Herstellungsprozess der aus Carbonfaser gewickelten Wabenstruktur. Material bereitgestellt und hergestellt an den DITF in Denkendorf.	20
Abbildung 14: Wickelplan für die Leichtbau-Hinterachse aus Carbonfasern.	22
Abbildung 15: Der Wickelplan wurde experimentell mittels einfacher Materialien entwickelt und anschließend mit Carbonfasern umgesetzt.	22
Abbildung 16: Die mit Carbonfasern gewickelte Hinterachse im endmontierten Zustand.	22
Abbildung 17: Der Schlabb-E als Gesamtsystem bestehend aus zwei Rollschuhen, davon einer elektrisch angetrieben, einem externen Akku mit Klipp für den Hosensbund und Fernbedienung zur Ansteuerung der Antriebsachse.	23
Abbildung 18: Systemkomponenten des Schlabb-E im Detail.	24
Abbildung 19: Der Schlabb-E lässt sich platzsparend zusammenstecken.....	24
Abbildung 20: Der Schlabb-E im Testeinsatz	25

1 AUSGANGSSITUATION UND PROJEKTABLAUF

1.1 KREATIVER EINSTIEG: PAPA & LOTTA – EINE KURZE FABEL



Lotta: Papa, warum steigen die Menschen immer in diese stinkenden Kisten?

Papa: Die armen Menschen sind nicht wie wir, Lotta. Sie können nicht fliegen. Die meisten können nicht einmal mehr richtig gehen. Sie brauchen Fahrzeuge, um sich irgendwo hinzubewegen.

Lotta: Aber diese Riesendinger sind doch schwer. Das muss doch anstrengend sein. Ich könnte nicht fliegen mit so einem Gewicht.

Papa: Da hast du recht. Einige Menschen sind ein bisschen schlauer und benutzen inzwischen kleinere und leichtere Fahrzeuge.

Lotta: So klein und leicht wie Schmetterlinge?

Papa: Ha, das hätten sie gerne. Die Menschen versuchen, sich Tricks aus der Natur abzuschauen. Das nennen sie dann Bionik. Manchmal klappt das sogar ganz gut.

Lotta: Aber wir fliegen trotzdem besser!

Abbildung 1: Papa und Lotta, zwei Schmetterlinge wundern sich.

1.2 FORMALER EINSTIEG: VOM MARIPOSA ZUM PAPALOTA

Wie können bionische Prinzipien zur Zukunft von Kleinstfahrzeugen beitragen? Diese Frage stand im Mittelpunkt des Projekts Papalota, denn Kleinstfahrzeuge bieten umweltfreundliche Alternativen zu Individualmobilität und Lieferverkehr mit konventionellen Antrieben. Dank Elektrounterstützung müssen Nutzerinnen und Nutzer von Kleinstfahrzeugen keine oder zumindest wenige Abstriche der persönlichen Flexibilität in Kauf nehmen. Die Fragestellung des Projekts entstand aus dem Vorgängerprojekt Mariposa (Methodische Entwicklung innovativer Konzepte für Kleinstfahrzeuge durch Nutzung neuer Prinzipien des Leicht- und Kleinbaus, DBU-Projekt 33766/01), auf dessen Vorarbeiten Papalota maßgeblich aufbaut.

Im Vorgängerprojekt Mariposa wurden aus Perspektive des Kleinbaus Anregungen für die Neuentwicklung von Kleinstfahrzeugen gegeben. Vier innovative Ansätze wurden im Detail untersucht:

- Kleinbau durch Nutzung innovativer falt- und klappstechniken
- Leicht- und Kleinbau durch Nutzung des State-of-the-Art bei Technologien für aufblasbare Strukturen
- Leichtbau durch Optimierung der Integration von Energiespeichern in Fahrzeugelemente
- Klein- und Leichtbau durch Funktionsvereinigung im Rad („All-in-One Rad“)

Im Laufe der Analysen dieser Ansätze wurde Bionik als ein weiterer vielversprechender Ansatz zur Optimierung von Kleinstfahrzeugen ermittelt. Die Einsatzmöglichkeiten bionischer Prinzipien gehen jedoch über den Kleinst- und Leichtbau hinaus und konnten im Rahmen von Mariposa nicht verfolgt werden: Das Projekt Papalota war geboren und wurde in Anlehnung an das Schwesterprojekt Mariposa (span. Schmetterling, als Sinnbild für Leichtbau und Falten) Papalota (mexikan. Falter und Papierdrache, als Sinnbild für Bionik) getauft.

Zu Beginn des Projekts Mariposa wurde der Referenzrahmen für Entwicklungen von Kleinstfahrzeugen analysiert. Rahmenbedingungen, Innovationsermöglicher, Schnittstellen, Barrieren, Trends, Nutzungsszenarien und Stakeholder bilden das Kontextsystem „Letzte Meile“ (Abbildung 2).

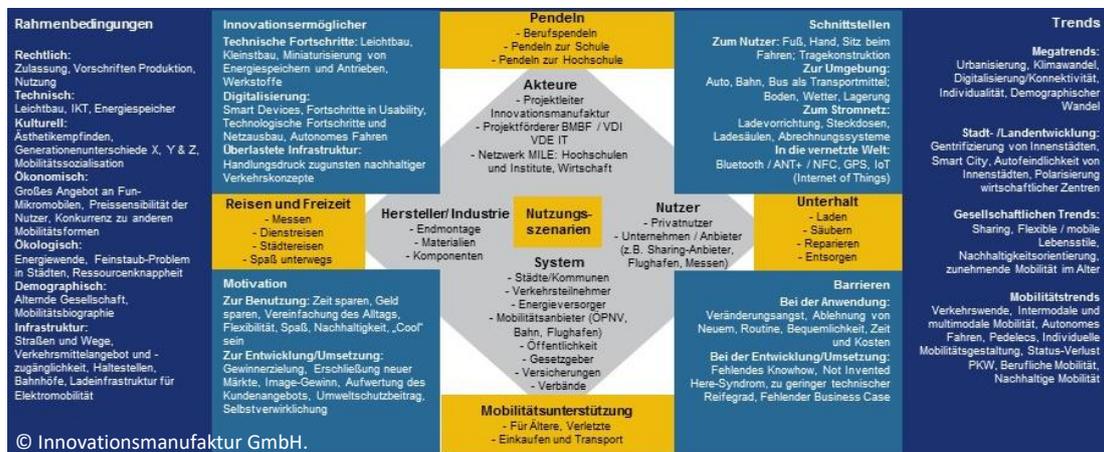


Abbildung 2: Kontextsystem „Letzte Meile“

Die Kernfunktionen eines „Letzte Meile“ Fahrzeugs umfassen die Dimensionen Fahren, Transport, Mitnehmen und Nichtnutzen sowie die Zustandswechsel zwischen diesen Dimensionen (Abbildung 3). Papalota baut auf diesen Vorarbeiten auf, berücksichtigt jedoch die gesamte Bandbreite der Mikromobilität bis hin zu Cargo-Bikes.

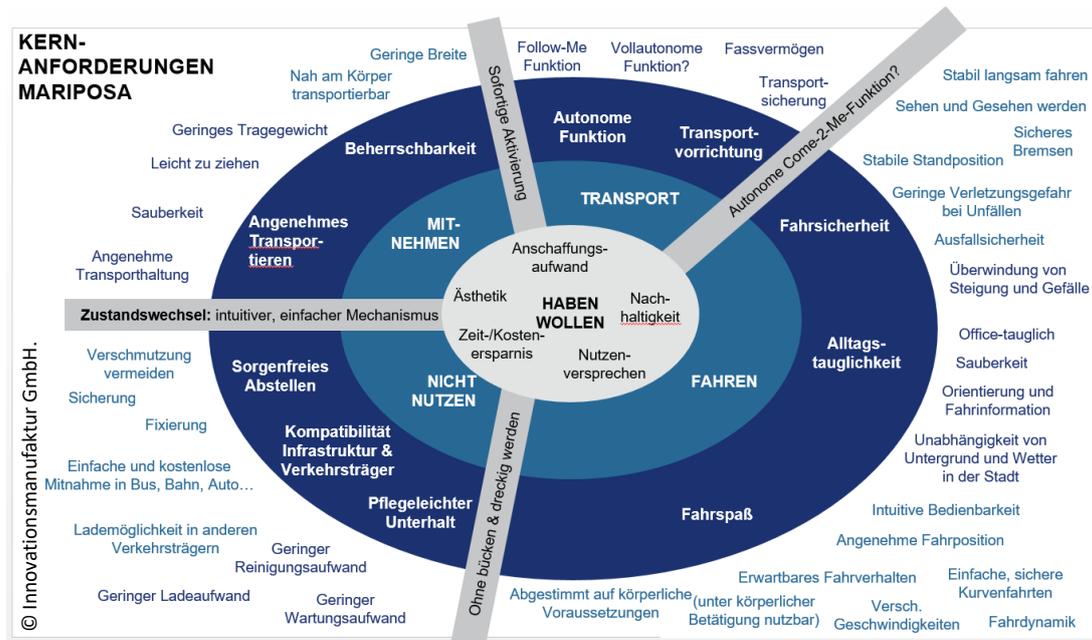


Abbildung 3: Kernfunktionen eines „Letzte Meile“ Fahrzeugs aus Nutzerperspektive

1.3 EINSATZMÖGLICHKEITEN VON KLEINSTFAHRZEUGEN

Die Mikromobilitätpalette beginnt auf der einen Seite mit reduzierten, miniaturisierten Fahrzeugen, die sich auf wesentliche Aspekte der Fortbewegungsunterstützung fokussieren: elektrifizierte Rollschuhe, Skateboards, Hoverboards und elektrische Einräder (vgl. Abb. 4). Diese Produktgruppe ist aktuell größtenteils eher als Spielzeuge denn als Fahrzeug nutzbar und wird entsprechend in der Gesellschaft wahrgenommen. Im Gegensatz dazu etablieren sich E-Tretroller und ähnliche Fahrzeugmodelle langsam als ernstzunehmende Mobilitätsalternative im urbanen Raum. Seit Verabschiedung der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) im Sommer 2019 dürfen diese Modelle unter Erfüllung eines gewissen Standards in Deutschland am Straßenverkehr teilnehmen und wurden durch Sharing-Anbieter beinahe über Nacht einer großen Nutzergruppe zugänglich gemacht. Aufgrund des hohen Innovationsgrades konzentrierte das Projekt Mariposa diese beiden Fahrzeugkategorien, „Mini-Fahrzeuge“ wie Rollschuhe und Elektrokleinstfahrzeuge wie E-Tretroller in unsere Überlegungen im Projekt Papalota schließen wir zusätzlich Fahrräder und Pedelecs, Lastenräder sowie Mini-Cargo-Fahrzeuge ein, so dass die gesamte Palette der Mikromobilität abgedeckt ist. Dementsprechend wurden auch unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten und Zielgruppen berücksichtigt. Im Vordergrund standen drei Einsatzfälle, die in den Ergebnissen an verschiedenen Stellen aufgegriffen wurden:

- Individualverkehr im Mobilitätsmix: Schlabb-E (Kap. 3.2), Hummelfahrt (Kap. 3.1.3)
- Systemlogistik auf der letzten Meile: Die Ant-Bot-Kolonie (Kap. 3.1.1)
- Privater Lastentransport im urbanen Raum: 2FOLD (Kap. 3.1.2)



Abbildung 4: Übersicht und Abgrenzung von Kleinstfahrzeugen innerhalb der Mikromobilität.

1.4 ZIEL, METHODEN, BETEILIGTE INNOVATIONSPARTNER, UND ABLAUF

1.4.1 DAS ZIEL: BIONISCH INSPIRIERT ZU MIKROMOBILITÄTSLÖSUNGEN

Ziel des Projekts Papalota war, die Möglichkeiten der Nutzung von Prinzipien der Bionik zu eruieren, in Versuchsträgern zu testen und Anregungen in einem Konstruktionskatalog/ Inspirationskatalog zusammenzufassen und zugänglich zu machen.

Bionik verbindet in interdisziplinärer Zusammenarbeit Biologie und Technik mit dem Ziel, durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung von Erkenntnissen, die an biologischen Vorbildern gewonnen werden, technische Fragestellungen zu lösen (siehe auch Richtlinie VDI 6220). Biologische Vorbilder im Sinne dieser Definition sind biologische Prozesse, Materialien, Strukturen, Funktionen, Organismen und Erfolgsprinzipien sowie der Prozess der Evolution. Die Bionik erschließt das große Reservoir an biologischen Strukturen, Prozessen und oft überraschenden funktionalen Lösungen, die in Milliarden Jahren evolutionärer Entwicklung erprobt und optimiert wurden. Sie liefert Ideen für nachhaltige und vor allem oft unerwartete innovative Anwendungen, die Sprunginnovationen möglich machen. Als interdisziplinäre Wissenschaft zielt Bionik auf ein durch die Natur angeregtes "Neuerfinden", nicht aber auf reine Kopien natürlicher Vorbilder. Spannend ist dabei, dass die Bionik für nahezu jede konkrete technische Fragestellung aus Vorbildern der Natur Antworten und Lösungsvorschläge liefern kann.

Das Innovationspotenzial der Bionik wurde im Projekt Papalota genutzt, um in folgenden drei Problembereichen des Einsatzes von Mikrofahrzeugen neue Ansätze zur Lösungsoptimierung zu entwickeln:

- Optimierung von Klein- und Leichtbau, Sicherheit und Nutzerfreundlichkeit bei Elektrokleinstfahrzeugen für eine attraktive Verbindung von individuellem und öffentlichem Verkehr durch Mikromobile: Mit diesen Lösungen sollen insbesondere Pendler, Berufstätige und Vielfahrer des öffentlichen Fernverkehrs angesprochen werden. Da der Weg zur Arbeit den Großteil individueller Mobilität ausmacht, er meistens individuell zurückgelegt wird und Gepäck, welches transportiert werden muss, sich in der Regel auf einen Rucksack oder eine Handtasche beschränkt, ist diese Zielgruppe hochrelevant.
- Optimierung von Gesamtgewicht, Handling und Zusatzfunktionen bei E-Bikes, Pedelecs und Leichtelektrofahrzeugen: Durch verbesserte Lösungen sollen neue

Nutzergruppen angesprochen werden, die bestehende Produkte in diesem Bereich nicht attraktiv genug finden. Hiermit werden sowohl private Nutzer und Halter als auch Anbieter von Leih- oder Sharingkonzepten angesprochen.

- Optimierung, Skalierung und Modularisierung von Leicht-Transportfahrzeugen für eine effiziente urbane Logistik durch Leicht-Transportfahrzeuge: Nutzer dieser Fahrzeuge sind Dienstleister aus der Logistikbranche sowie Großunternehmen aus anderen Bereichen, die eine eigene Fahrzeugflotte zum Transport von Waren oder auch Materialien oder anderen Gütern bereithalten.

Als zentrale Ergebnisse sollte, neben dem Konstruktionskatalog, ein fahrbarer Prototyp entstehen, in den sowohl die neuen Erkenntnisse aus der Bionik als auch die Vorarbeiten aus dem Projekt Mariposa einfließen.

1.4.2 DIE METHODIK: MIT HOLISTISCHER INNOVATION ZU BIONISCHEN PRINZIPIEN

Das Vorgehen orientierte sich an der Methode der Holistischen Innovation (Moritz, E.F. (2009) Holistische Innovation - Konzept, Methodik und Beispiele; Springer Verlag, Heidelberg). Der ursprünglich strikt sequenziell geplante Ablauf der drei Arbeitspakete stellte sich im Projektverlauf zu unflexibel heraus, um die unterschiedlichen Innovationsaspekte der Bionik abzubilden. Außerdem erschwerte die Corona-Pandemie die Möglichkeit für Innovationsworkshops und Labor- bzw. Werkstatttermine in Präsenz. Aus diesen Gründen wurden die Arbeitspakete teilweise parallel bearbeitet, iterativ gekoppelt, und das Projekt um drei Monate kostenneutral verlängert:

- Das Projekt begann mit einer Recherche nach geeigneten bionischen Prinzipien, die punktuell durch Experteninputs ergänzt wurde, und der Zusammenstellung und Aufbereitung der Informationen.
- Parallel wurde die Sammlung an Kernfunktionen aus dem Vorgängerprojekt erweitert und ein Funktionsbild entwickelt, das die Fahrzeugfunktionen der Mikromobilität übersichtlich darstellt (Abbildung 5).
- Auf Basis der Informationssammlung wurden in internen und externen Kreativworkshops Ideen für die Optimierung der Fahrzeugfunktionen durch die bionischen Prinzipien entwickelt.
- Für bestimmte Funktionen wurde gezielt nach Vorbildern aus der Natur gesucht und es wurden neue Bionik-Prinzipien abgeleitet.
- Für die drei vielversprechendsten Prinzipien (Koordinierter Lastentransport; Formveränderung durch Faltung; Audiosignale) wurden Lösungskonzepte im Detail ausgearbeitet und Versuchsträger entwickelt (Die Ant-Bot-Kolonie; 2Fold; Hummelfahrt).
- Die Informationssammlung machte deutlich, dass nicht ein Prototyp die vielen unterschiedlichen, auf Teillösungen abzielenden Optimierungsansätze vereinen kann. Stattdessen wurde ein Fahrzeugtyp mit dem höchsten Optimierungspotenzial ausgewählt und unter Einsatz des Vorwissens und der Lösungsimpulse aus der Bionikbetrachtung als Prototyp ausgearbeitet. Hierzu wurde ein Praxisprojekt mit einem fünfköpfigen studentischen Team der Hochschule Reutlingen im Rahmen des Studienprogramms „Interdisziplinäre Produktentwicklung“ durchgeführt.
- Die am Ende 43 Bionik-Prinzipien umfassende Informations- und Lösungssammlung wurde aus der Perspektive eines potenziellen Anwenders in der Konstruktion, Produkt- oder Materialentwicklung konsolidiert und in einen interaktiven Innovationskatalog überführt (vgl. Kap. 3.3).
- Die Versuchsträger der drei Prinzipien sowie der Prototyp wurden explorativen Tests durch Projektmitarbeiter und externe Experten unterzogen und in Folge verbessert.

- Die nächsten Schritte zur Realisierung des Prototyps und der weiteren Verbreitung des Konstruktionskatalogs wurden abschließend in einer Roadmap zusammengefasst.

1.4.3 DAS PROJEKTTEAM DER INNOVATIONSMANUFAKTUR GMBH

Prof. Dr.-Ing. Eckehard F. Moritz, Director – Projektleitung & Methodenexperte

Fozzy ist der Kopf der Innovationsmanufaktur, Chefvisionär und geistiger Vater der „Innovatorik“, der Methodik für Holistische Innovation. Er befasst sich bereits seit Anfang der neunziger Jahre mit Innovationsstrategie und Innovationsmethoden, dem Vorausdenken der Zukunft und dem Aufbau und der Moderation von Netzwerken. Neben der Projektleitung übernahm er in diesem Projekt die Workshopkonzeption, Moderation und Methodenentwicklung und beriet die Konzeptentwicklung.



B.A. Dominik Wedber, Projektmanager – Koordination Konzept- und Prototypentwicklung

Dominik ist als studierter Philosoph, Ökonom und Sozialwissenschaftler spezialisiert auf das Management und die Moderation interdisziplinärer Innovationsprojekte. Seine Arbeitsschwerpunkte in der Innovationsmanufaktur liegen in der nachhaltigen Mikromobilität, der Mensch-zentrierten Digitalisierung und Responsible Innovation. Im Projekt übernahm Dominik zu Jahresbeginn 2021 die Koordination der Konzept- und Prototypentwicklung und der Erstellung des Innovationskatalogs.



M.Sc. Lisa Knoche, Projektmanagerin – Koordination Informationssammlung

Lisa ist in der Innovationsmanufaktur verantwortlich für kaufmännische Angelegenheiten und den Bereich Mobilität. Die Betriebswirtin mit umfassender Erfahrung im Bereich der nachhaltigen Entwicklung koordiniert das Innovationsnetzwerk Mikromobilität (MILE) und ist in den daraus resultierenden Projekten aktiv. Im Projekt leitete sie die Informationssammlung, betreute die Ideenentwicklungsphase und wirkte am Innovationskatalog mit.



B.Sc. Florian Gnauck, Industriedesigner – Entwicklung von Modellen und Prototypen

Florian ist Designer und in der Innovationsmanufaktur für die Planung und den Aufbau von Modellen und Prototypen sowie für die grafische Visualisierung verantwortlich. Er wirkte bereits in mehreren Projekten im Bereich Mikromobilität mit. In diesem Projekt übernahm er die Entwicklung und Umsetzung von Demonstratoren und Funktionsmodellen sowie die grafische Visualisierung von Ergebnissen.



1.4.4 BETEILIGTE EXTERNE INNOVATIONSPARTNER

Der Innovationsprozess war von Anfang an offen gestaltet, um durch die Zusammenarbeit mit externen Experten und Innovatoren eine hohe Perspektivenvielfalt sicherzustellen und das Kreativitätspotenzial der Bionik voll auszuschöpfen. Insbesondere folgende Partner trugen in unterschiedlichen Rollen maßgeblich zum Projekterfolg bei:

- Die Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) mit Prof. Dr.-Ing. Markus Milwich als Impulsgeber in Bezug auf Textil- und Faserverbundlösungen.
- Fakultät für Textil & Design, Hochschule Reutlingen mit dem Entwicklungsteam „Schlabb-E“ bestehend aus Leyla Djanklich, Maximilian Czopiak, Denis Grätz, Dennis Klehr, Michael Jaschik aus dem Masterstudiengang „Interdisziplinäre Produktentwicklung“ unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Meier.
- Plant Biomechanics Group der Universität Freiburg unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Speck für die wissenschaftliche Begleitung und Ergänzung von bionischen Prinzipien für ausgewählte Funktionen von Mikromobilitätslösungen.
- Dr.-Ing. Helmut Naber für die Entwicklung des Konstruktionskatalogs aus der Perspektive eines technischen Anwenders sowie für die Beratung zum Prototypenkonzept „Schlabb-E“.
- Christian Menzel und Katrin Lachmund für die frühe Ideenentwicklung und deren praktische Erprobung in den Räumlichkeiten der Akademie Reuschberg.
- Dirk Ott von BE-Power GmbH – Battery and Energy Modules aus Fernwald bei der Bereitstellung des Hochleistungsakkus für den Prototyp Schlabb-E.
- Günther Breitschaft von e-go-drive aus München für Entwicklungsberatung und Test des Prototyps „Schlabb-E“.
- phoenix GmbH & Co. KG beim Bau des Versuchsträgers / Bionikkonzepts „2FOLD“ auf der Basis von 3D-Druck.

1.4.5 DAS PROJEKT IM ZEITLICHEN VERLAUF

Im Laufe des Projekts konnten trotz der erschwerten Bedingungen durch die Auflagen der Corona-Pandemie verschiedene Treffen und Workshops mit diesen und weiteren externen Innovationspartnern und Experten durchgeführt werden, eine kurze Chronologie:

- 02. Juni 2020: Projektstart.
- 05. August 2020 in Denkendorf: Brainstorming mit Prof. Markus Milwich von den Deutschen Instituten für Textil- und Faserforschung (DITF) Denkendorf
- 23. – 25. September 2020 im Spessart: Kreativwerkstatt Bionik in der Akademie Reuschberg
- 03. November 2020 (online / dezentral): Digitaler Workshop mit den Bionik-Experten der Plant Biomechanics Group der Universität Freiburg
- 16.-17. Dezember 2020 im Spessart: Kreativer Austausch zur Prototypentwicklung mit Christian Menzel und Katrin Lachmund
- 16. Februar 2021 in München: Workshop mit Dr.-Ing. Helmut Naber zur Entwicklung des Konstruktionskatalogs

- 25. Februar 2021 in München: Workshop zur Prototypentwicklung mit Dr.-Ing. Helmut Naber. Dabei Zusammenführung von bionischen Prinzipien und technischen Funktionen mit anschließender Überführung in eine Anforderungsbeschreibung für ein konsistentes Prototypenkonzept.
- 11. März 2021 (online / dezentral): Digitaler Kickoff des Praxisprojekts in Kooperation mit einem fünfköpfigen studentischen Entwicklungsteams im Rahmen des Masterprogramms „Interdisziplinäre Produktentwicklung“ an der Hochschule Reutlingen.
- 06. Mai 2021 in München: Workshop zur Prototypentwicklung mit Dr.-Ing. Helmut Naber und stud. Team, dabei vor allem Test, Auswahl und Weiterentwicklung von Teilkomponenten des Gesamtsystems.
- 30. Juni 2021 (online / dezentral): Digitaler Workshop zur Prototypentwicklung inkl. Teilnahme von ausgewählten Mitgliedern des Netzwerks MILE zur Beratung und Finalisierung des Gesamtsystems.
- 29. Juli 2021 in Denkendorf: Vorstellung und Test des fertigen Prototyps „Schlabb-E“ an den DITF.
- 17. August 2021 in München: Ergebnispräsentation (inkl. Praxistest des Prototyps) des Gesamtprojekts „Papalota“ unter dem Thema „Natur trifft Technik trifft Freude – Zukunft der Mikromobilität“.
- 01. September 2021: Projektende.

2 FAHRZEUGFUNKTIONEN MIT BIONIKPOTENZIAL

Als Grundlage für die Entwicklung innovativer Lösungsideen für Mikromobilität mussten notwendige, für bionische Optimierung geeignete Fahrzeugfunktionen identifiziert werden. Dabei wurden fünf Phasen der Nutzung – einschließlich Nicht- und Noch-Nicht-Nutzung („Haben wollen“) – unterschieden. Optimierungsideen für die Funktionen setzen entweder am Fahrzeug oder an Schnittstellen zur Person und / oder zur Umgebung an. Beispielsweise kann die Sichtbarkeit sowohl durch Maßnahmen am Fahrer als auch am Fahrzeug verbessert werden. Die Umweltinteraktion läuft an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug, Person und Umgebung ab und kann durch Maßnahmen an allen drei Ansatzpunkten optimiert werden. Abbildung 5 zeigt das Funktionsbild.

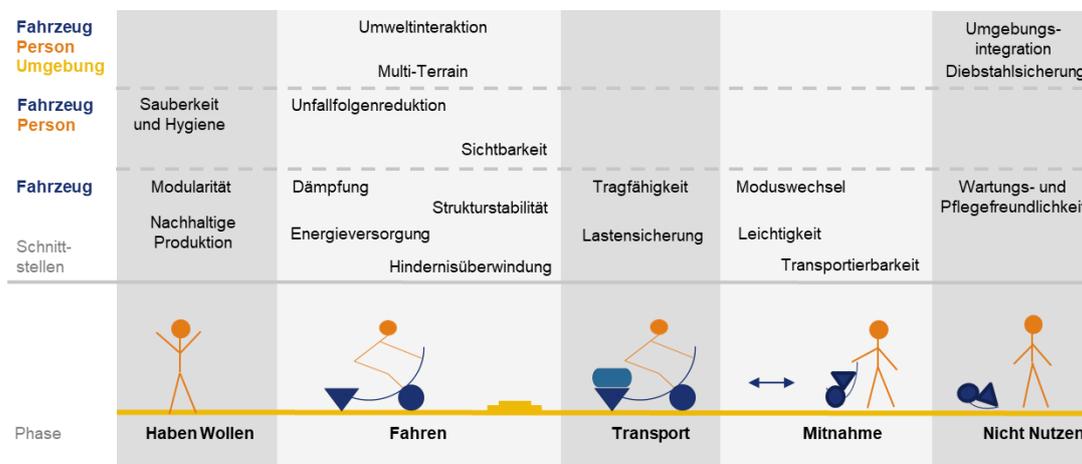


Abbildung 5 Funktionsbild – Fahrzeugfunktionen mit Bionikpotenzial

- Phase „Haben wollen“: In dieser ersten Phase werden potenzielle Nutzerinnen und Nutzer auf ein innovatives Kleinfahrzeug aufmerksam und beginnen sich dafür zu interessieren. Gleichzeitig gehen damit aus Nutzersicht auch konkrete Anforderungen an die Innovation einher, damit das Interesse und in der Folge der Wunsch nach Nutzung und Anschaffung gesteigert werden. Anforderungen mit Bionikpotenzial in dieser Phase betreffen die Modularität und damit vielseitige Nutzbarkeit des Fahrzeugs und eine nachhaltige Produktion. Außerdem sind Sauberkeit und Hygiene in allen Nutzungsphasen Schlüsselfaktor für die Nutzungsentscheidung.
- Phase „Fahren“: Während der Fahrt gilt es die Energieversorgung sicherzustellen, Strukturstabilität zu gewährleisten, verschiedene Terrains zu meistern, Hindernisse zu überwinden und dabei durch Dämpfung eine angenehme Position zu ermöglichen. Fahrzeug und Fahrer müssen außerdem gut sichtbar sein. Außerdem müssen Fahrzeug und Fahrer mit der Umwelt interagieren, um Unfälle zu vermeiden. Falls es zu Unfällen kommt, sollten durch Schutzmechanismen die Unfallfolgen so gering wie möglich ausfallen.
- Phase „Transport“: Wird das Fahrzeug zum Transport von Gütern genutzt, muss eine hohe Tragfähigkeit erreicht werden und die Lasten müssen angemessen gesichert werden.
- Phase „Mitnahme“: Die Mitnahme innovativer Kleinstfahrzeuge soll für Nutzer so angenehm wie möglich sein, insbesondere auch bei der Mitführung in unterschiedlichen Verkehrsmitteln, in Menschenmengen oder auch auf (Roll-) Treppen. Um vom Fahrer- oder Transport- in den Mitnahmemodus und zurück zu wechseln, ist ein zunächst einfacher, intuitiver Mechanismus zum Moduswechsel notwendig. Grundlegende Anforderungen sind außerdem ein geringes Gewicht sowie die Transportierbarkeit aufgrund kompakter Maße und geeigneten Greifvorrichtungen.
- Phase „Nicht Nutzen“: Ist ein Mikromobil nicht in Gebrauch, soll es sicher vor Diebstahl abgestellt werden können. Dabei spielt auch die Kompatibilität mit der Umgebung, insbesondere der (Verkehrs-) Infrastruktur, eine Rolle. Es sollte möglichst wenig Aufwand für Wartung und Pflege anfallen.

3 ZENTRALE PROJEKTERGEBNISSE

3.1 DREI BIONIK-KONZEPTE IN DER EINZELBETRACHTUNG

Um aus der großen Sammlung an Bionik-Prinzipien und Lösungsideen drei Prinzipien für eine tiefere Ausarbeitung zu wählen, wurden Innovationspotenzial, Mehrwert und Umsetzbarkeit der Prinzipien bewertet. Die drei vielversprechendsten Prinzipien wurden zu Konzepten ausgearbeitet, die drei unterschiedliche Funktionsbereiche der Mikromobilität abdecken.

3.1.1 KONZEPT 1: DIE ANT-BOT-KOLONIE – KOORDINierter LASTENTRANSPORT

Biologisches Vorbild für den ersten Konzeptentwurf „Ameisenhaufen“ ist der koordinierte Lastentransport bei Ameisen. Ameisen sind als Individuen zwar bereits erstaunlich leistungsfähig. Beim gemeinsamen Transport eines Gegenstands verhilft ihnen aber ihr kollektives Verhalten zu außerordentlicher Leistung. Die Koordinierung läuft hierbei nicht allein über Duftstoffe oder Geräusche. Die Ameise nimmt Stärke und Richtung der Kraft am Kontaktpunkt zur Last wahr und erkennt damit den von ihr geforderten Einsatz. Einzelne Tiere geben dabei den Impuls für die Richtung (Feinermann, O. et al, 2018, The physics of cooperative transport in groups of ants, nature physics, 14, 683-693). Nach dem Vorbild bei Ameisen erlaubt auch kollaborativer Lastentransport mit mehreren leichten autonomen Fahrzeugeinheiten die Handhabung größerer Lasten. Industrie und Forschung arbeiten

daran die Arbeit von mehreren Robotern oder Fahrzeugen automatisch zu koordinieren. Ein weiterer Ansatz könnte die Kopplung verschiedener Mikro-Transportfahrzeuge zu kollaborativen Transportplattformen sein.

Auf Basis dessen entstand in der eigens für das Projekt aufgesetzten Kreativwerkstatt Bionik in der Akademie Reuschberg die Idee des „Ameisenhaufens“ als ein modulares, elektrisch angetriebenes Anhängerkonzept. Ein Anhängerelement folgt einzeln oder im Verbund mit anderen Anhängerelementen einem beliebigen Zugfahrzeug, zum Beispiel einem Fahrrad oder sogar Fußgänger. Jedes Anhängerelement ist elektrisch angetrieben. Durch die Kopplung der Anhängerelemente kann die Transportkapazität beliebig skaliert werden, so dass selbst große und schwere Teile hinter einem schwach oder gar nicht motorisierten Zugfahrzeug transportiert werden könnten. Perspektivisch können sich die Elemente auch vollautonom bewegen.

Die Idee wurde während der Kreativwerkstatt bereits im Miniaturformat mit einrädigen Anhängerelementen umgesetzt (Abbildung 6). Ein Rollschuh repräsentiert das Zugfahrzeug. Ein Anhängerelement besteht aus einem mittig unter einer Platte befestigten Rad. Die Elemente wurden über Kabelbinder und Klettverschluss in verschiedenen Konstellationen gekoppelt. Dieser einfache Versuchsträger bestand den ersten Plausibilitätstest, so dass das Konzept anschließend weiter ausgearbeitet wurde.

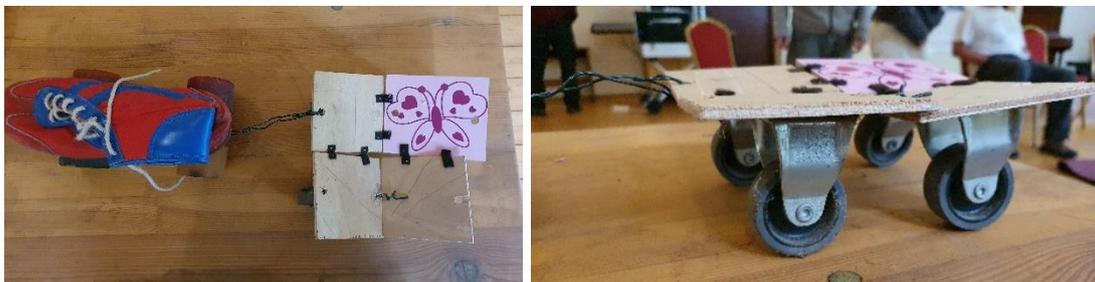


Abbildung 6 Erste Versuchsträger für den „Ameisenhaufen“

Die Ausarbeitung und Weiterentwicklung des Konzepts zur Logistikvision „Die Ant-Bot-Kolonie“ erfolgte in Form eines 2-minütigen Animationsfilms. In diesem Film sind kleine Transportgefährte dargestellt, welche sich autonom bewegen und organisieren. Sie tragen den Namen „Ant-Bot“ (engl. für Ameisenroboter) und sind stark an die Optik einer Ameise angelehnt.

Die Handlung im Film im Detail: Zunächst werden die beiden Protagonisten, der Ant-Bot „Alpha“ und die Kundin Petra, vorgestellt. Petra beauftragt die „Ant-Bot-Kolonie“ mit dem Transport eines großen Pakets. Per App verschickt sie den Auftrag. Der Auftrag wird direkt an den nächsten verfügbaren Ant-Bot „Alpha“ weitergeleitet. Dieser beginnt sofort mit der Bearbeitung. Nachdem er alle Daten empfangen hat, berechnet er die Route zum Abholort und macht sich auf den Weg. Am Abholort angekommen erkennt Ant-Bot, dass das zu transportierende Objekt für ihn allein zu schwer ist. In einem vollautomatisierten Prozessablauf benachrichtigt der Ant-Bot „Alpha“ einen weiteren Ant-Bot „Omega“, welcher ihm zur Hilfe eilt, um die Ware zu transportieren.

Omega trifft nach wenigen Minuten am Abholort ein, nun laden die beiden Ant-Bots das Paket selbstständig auf, denn zu zweit sind sie jetzt stark genug, um es transportieren zu können. Alpha berechnet die Route zum Zielort und übernimmt die Führung. Am Zielort angekommen laden sie die Ware ab. Petra kann ihr Paket entgegennehmen und bedankt sich für den guten Service. Abschließend begeben sich die Ant-Bots zu einem dezentralen Stand-by-Punkt. Dort warten sie auf den nächsten Auftrag.

An der Handlung des Filmes soll demonstriert werden, wie autonome bzw. vollautomatisierte Prozessabläufe von koordinierten Lastentransportsystemen in Zukunft aussehen könnten.

Der Animationsfilm wurde u.a. auf Youtube unter dem folgenden Link veröffentlicht:
https://www.youtube.com/watch?v=VU_VEAXDvxk

3.1.2 KONZEPT 2: 2FOLD – FORMVERÄNDERUNG VON LASTENRÄDERN DURCH FALTUNG

Bionische Inspiration für die Idee des „Spurwechsel“ sind verschiedene Faltmechanismen aus der Natur. „Spurwechsel“ beschreibt ein Fahrzeugelement, das zum Beispiel den vorderen Gepäckausleger eines Lastenfahrrads betrifft. Ein stabiles Lastenfahrrad hat drei Spuren. Mithilfe eines Fächer-/Scherenprinzips kann die Spurbreite verkleinert werden. Durch die Spurverengung kann das Fahrrad agiler gefahren werden, solange keine Gegenstände transportiert werden müssen. Außerdem nimmt es weniger Platz auf der Straße oder beim Parken ein. Für den Transport werden die beiden Vorderreifen auseinandergezogen und die Transportfläche erscheint. Die Idee wurde während der Kreativwerkstatt an der Akademie Reuschberg entwickelt und in einem ersten einfachen Versuchsträger (Abbildung 7) getestet. Auf dieser Basis wurde das Konzept ausgearbeitet.



Abbildung 7 Erste Versuchsträger für den „Spurwechsel“

Das Konzept wurde weiterentwickelt und als Designstudie umgesetzt. Dabei entstand ein in Länge und Breite variierbares Modell eines Lastenfahrrads mit dem Namen „2FOLD“. 2FOLD kann nicht nur seine Spur verkleinern oder verbreitern, sondern auch den Achsabstand verlängern oder verkürzen. Eine sehr dehnbare Hochleistungsmembran ergibt die Ladefläche. Die Membran besteht dabei noch als rein theoretische Überlegung und soll die Fähigkeit haben, sich an die Größenveränderung flexibel anzupassen und dabei die Eigenspannung zu halten. So kann in jedem Zustand Fracht transportiert werden. Als weitere zentrale Eigenschaft, könnte die Membran „erkennen“, wenn ein Objekt auf sie geladen wird und dieses automatisch umschließen. Im Idealfall wäre damit direkt die Lastensicherung gewährleistet und die Nutzer könnten auf umständliches Verzurren verzichten. Während die Membran inspiriert war von neuen Erkenntnissen aus der Erforschung von Textil- und Fasertechnik, so ist die Idee für den Greif-/Befestigungsmechanismus aus den gesammelten bionischen Prinzipien heraus entstanden: Hier wäre eine Kombination von Erkenntnissen aus Faltungen in der Natur (zum Beispiel Blütenknospen), Mechanismen ohne Gelenk (Strelitzie) und Wölbungswechsel (Venusfliegenfalle) denkbar.

Für die Designstudie wurde zunächst ein CAD-gestütztes 3D-Modell erstellt (Abbildung 8), welches anschließend im Maßstab von 1:6 über ein Laser-Sinterverfahren 3D-gedruckt wurde (Abbildung 9). Da schon in der Konzeptphase die Komplexität dieses Ansatzes deutlich wurde, orientierte sich das Design an 3D-druckbaren Komponenten. Die Umsetzung von reinen Faltprinzipien, wie sie bspw. bei Insektenflügeln oder Blättern in der Natur existieren, stellte sich dabei auf Basis von aktueller 3D-Drucktechnik als schwer bis nicht-umsetzbar heraus. Eine Membran wie erdacht und beschrieben müsste in einem weiteren Forschungsprojekt entwickelt werden. Außerdem stellen sich in der Praxis technische Herausforderungen v.a. beim Lenk- und Bremssystem, sofern diese nicht rein elektrisch umgesetzt werden sollen.

Im 3D-gedruckten Modell wurde aus diesen Gründen auf verfügbare Technologie, wie den Scherenmechanismus und eine Kombination aus Gummibändern und dehnbarem Stoff, wie er aktuell zum Beispiel in Spandexsorthosen eingesetzt wird, zurückgegriffen. Das Modell dient dabei als Inspirationsobjekt für weitere technische Entwicklungen. Der zuvor beschriebene Konzeptansatz verspricht ein sehr hohes Innovationspotenzial.



Abbildung 8: 2FOLD Designstudie als gerendertes CAD-Modell.

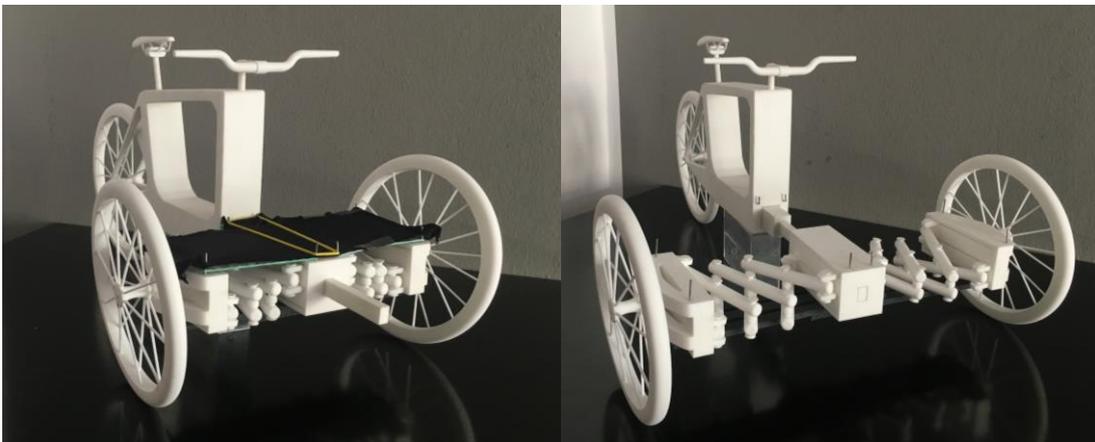


Abbildung 9: 2FOLD Designstudie als 3D-gedrucktes Modell im Maßstab 1:6.

3.1.3 KONZEPT 3: HUMMELFAHRT – NATURINSPIRIERTE AUDIOSIGNALE FÜR ELEKTROKLEINSTFAHRZEUGE

Als Motivation für die „Hummelfahrt“ diente die Entwicklung von artifiziellen Geräuschen bei Kraftfahrzeugen. Sounddesigner entwickeln für das Automobil seit jeher mit großem Aufwand eine zielgruppenspezifische Geräuschkulisse, die zum Beispiel beim charakteristischen Motorengeräusch eines Sportwagens einem „röhrenden Elch“ nachempfunden ist. Auch bei allen neu zugelassenen E-Kraftfahrzeugen gehört Sounddesign dazu: Gerade weil der Elektromotor nahezu geräuschlos funktioniert, müssen für die Hörbarkeit und den Fußgängerschutz künstlich Geräusche erzeugt werden. Oft sind diese Sounds eher generisch und erinnern an Science-Fiction. Hierbei stellten wir uns die Frage, ob man nicht Geräusche aus der Natur verwenden könnte, um etwa in Gefahrensituationen, beim Abbiegen oder während des Fahrens auf sich aufmerksam machen zu können – auch wenn es um kleine Fahrzeuge geht. Kaum etwas veränderte flächendeckend das öffentliche Stadtbild der letzten zwei Jahre mehr als E-Scooter. Der E-Scooter polarisiert. Touristen lieben ihn, Radfahrer und Fußgänger konkurrieren mit ihm um den ohnehin knappen Platz im öffentlichen Raum. An Kritik mangelt es nicht. Auch

Funktionen	Konkrete Verwendung	Benötigter Sound	Inspiration aus der Natur	Audiolink (vorläufig / Bsp.)	Audiolink final	Audiolizenzen
(A) Sicherheit/Signalisierung	A1. Gefährliche Situation	Deutlich erkennbarer Alarmton, auf den z. B. Fußgänger sofort achten. Dieser Ton kann laut sein, vielleicht sogar ein wenig störend.	A1.1 Schreiende Falken	https://www.youtube.com/watch?v=33DWqRyAAUw	https://freesound.org/people/kvgarlic/sounds/377759/	CC0
			A1.2 Pfau		https://freesound.org/people/Sound_Of_Around/sounds/495114/	
	A2. Richtungswechsel / Abbiegen (bei E-Scootern bisher schwierig zu signalisieren)		A2.1 Tremolo eines Eistauchers	https://www.youtube.com/watch?v=4UrCRcZ8Pas	https://freesound.org/people/nicStage/sounds/432605/	Attribution
		A2.2 Ochsenfroschruf (als Blinker in Verbindung mit Licht)		https://freesound.org/people/LucasDuff/sounds/515909/	CC0	
				https://freesound.org/people/nuncaconoci/sounds/472842/	CC0	
	A3. (Vor dem Überholen)		A3.1 Singender Papagei (anstelle einer Klingel)	https://www.youtube.com/watch?v=JkvRP-WMU9o	https://freesound.org/people/Jay_You/sounds/460415/	Attribution
			A3.2 Maultier / Esel		https://freesound.org/people/castle81/sounds/187928/	CC0
					https://freesound.org/people/felix.blume/sounds/246406/	CC0
(B) Aufmerksamkeit	B1. Beschleunigen, Bremsen und ständig in nur eine Richtung bewegen	Nicht so laut und alarmierend wie bei "Sicherheit", aber auch nicht so entspannend wie bei "Joyification".	B1. Bienenvolk (Variationen abhängig von der Geschwindigkeit) => nächster Schritt: Hummelflug (Rimski-Korsakow)	https://www.youtube.com/watch?v=d3ABrrlklS	https://freesound.org/people/PianoFarm/sounds/494499/	CC0

	B2. Diebstahlschutz		B2. Brüllender Löwe (erschreckende Alarmanlage)	https://www.youtube.com/watch?v=8StgowT8hME	https://freesound.org/people/Animadierer/sounds/565309/	CC0
	B3. Unachtsames Parken, z. B. auf der Seite liegen		B3.1 Lachender Delphin (nervig genug, um Anreiz zu schaffen, den Roller wieder aufzuheben) B3.2 Grille	https://flypaper.soundfly.com/discover/5-unique-ways-animals-communicate-through-sound/	https://freesound.org/people/jfournier18/sounds/456151/ https://freesound.org/people/GB01/sounds/530477/	CC0 CC0
(C) Joyfication / Unterhaltung	C1. Stillstand	Vermittelt ein Gefühl von Natur.	C1. Wald	https://sounds.bl.uk/Environment/Water/022M-W1CDR0001961-0500V0	https://freesound.org/people/INNORECORDS/sounds/469009/	CC0
	C2. Während des Fahrens (z.B. werden lauter je schneller)	Entspannend, absolut nicht störend, besonders in städtischen Gebieten oder nachts zur Reduzierung der Lärmbelästigung.	C2. Wasserstrom	https://sounds.bl.uk/Environment/British-wildlife-recordings/022M-W1CDR0001471-1200V0	https://freesound.org/people/GirlWithSoundRecorder/sounds/520605/	CC0

Abbildung 10: Übersicht der Funktionen und der naturinspirierten Soundbeispielen

Blindenverbände schlagen Alarm: Auf dem Gehweg liegende E-Scooter sind für Sehende ein Ärgernis, für Blinde sogar eine Gefahr, in jedem Fall eine Barriere.

Hier setzt die Idee der naturinspirierten Audiosignale an, die am Beispiel des E-Scooters in einen eigens produzierten Kurzfilm überführt wurde. In einem ersten Schritt wurden in einer Arbeitsgruppe beim ISPO Makeathon 2021 im Januar plausible Nutzungsszenarien gesammelt und eingegrenzt. Die zentrale Fragestellung lautete dabei: In welchen Szenarien wäre es denkbar, dass die sonst sehr leisen E-Scooter Geräusche von sich geben (Abbildung 11). Diese Nutzungsszenarien wurden in drei übergeordnete Funktionen gegliedert: (A) Sicherheit/Signalisierung, (B) Aufmerksamkeit, und (C) Joyification / Unterhaltung. So wurde nicht nur die Wirkung von naturinspirierten Sounds auf den Sicherheitsaspekt, sondern auch auf Freude an der Nutzung von Kleinstfahrzeugen getestet.

Die Idee der naturinspirierten Audiosignale wurde im Rahmen eines audiovisuellen Demonstrators realisiert (Link siehe unten sowie Abbildung 10). Hierzu wurden verschiedene Geräusche aus der Natur (CC0-lizenzierte Audioaufnahmen) mit selbst produziertem Videomaterial verbunden und in einen Kurzfilm überführt. Damit konnte anschaulich verdeutlicht werden, wie E-Scooter mit Geräuschen aus der Natur klingen könnten. Ob ein lautes Delfin-Geräusch beim Falschparken, Bienensummen während des Fahrens oder die Laute eines Esels, um den Überholvorgang anzukündigen - der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt. Tierreich und Natur bieten Geräusche, die in unzähligen Situationen im Straßenverkehr genutzt werden können, um das Fahren sicherer und unterhaltsamer zu machen.

Der Kurzfilm wurde u.a. auf Youtube unter dem folgenden Link veröffentlicht: <https://www.youtube.com/watch?v=1xtb1kZxvl8>.



Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Kurzfilm „Hummelfahrt“

3.2 ENTWICKLUNG EINES FAHRBAREN PROTOTYPS: DER „SCHLABB-E“

3.2.1 ÜBERBLICK

Wie bereits in Kap. 1.4 erläutert, wurde die Umsetzung eines fahrbaren Prototyps gemeinsam mit einem fünfköpfigen Team bestehend aus Masterstudenten des Programms „Interdisziplinäre Produktentwicklung“ an der Hochschule Reutlingen und den Deutschen Instituten für Textil und Faserforschung (DITF) sowie Innovationspartnern aus dem von der Innovationsmanufaktur betriebenen Innovationsnetzwerk Mikromobilität MILE durchgeführt. Start dieser Kooperation war der 11. März 2021. Der fertige Prototyp konnte am 29. Juli 2021 an den DITF in Denkendorf präsentiert und getestet werden. Zum Projektabschluss am 17. August 2021 wurde der Prototyp unter Einbindung von weiteren Experten und Fachverbandsvertretern bei der Innovationsmanufaktur in München vorgestellt und es wurden Perspektiven für die Weiterentwicklung gesammelt. Der Electric Empire - Bundesverband Elektrokleinfahrzeuge e.V. berichtete vom Projektabschluss mit besonderer Würdigung des Prototyps: <https://electricempire.de/zu-gast-bei-duesentriebs/>

3.2.2 ANFORDERUNGSBESCHREIBUNG FÜR DEN SCHLABB-E

Auf Basis von bionischen Prinzipien soll ein ultraleichter elektrisch angetriebener Rollschuh entwickelt werden. Dieser Rollschuh zielt auf eine breite Altersgruppe von 18- bis 65-jährigen Nutzern ab und soll auf eine Zielgeschwindigkeit von ca. 20km/h ausgelegt werden. Die maximale Gewichtsbelastung soll insgesamt 120 kg umfassen. Bei Elektromotor, Batterie, Antriebsstrang und Steuerungstechnik wird auf Zukaufteile gesetzt. Die Geschwindigkeitsregulierung erfolgt über eine Fernbedienung. Um Stabilität im Fahrverhalten zu ermöglichen, sollen unterschiedliche Räderauslegungen sowie deren Abmessungen überprüft werden. In diesem Zusammenhang sollen unterschiedliche Lenkungssysteme ermittelt und ebenfalls geprüft werden, um eine vorhersehbare, kontrollierte und adäquate Fahrtrichtungsänderung durch Gewichtsverlagerung auf den Rollschuhen zu gewährleisten. Als Gerüstmaterial sollen mittels bionischer Prinzipien vordergründig Faserverbundwerkstoffe eingesetzt werden, um Stabilität in Verbindung mit minimalem Gewicht zu vereinbaren. Der Schlabb-E soll seinem Namen gerecht werden, in dem ein schnelles An- und Ausziehen der Rollschuhe möglich ist. Dafür soll eine durch ihre biomechanischen und biometrischen Eigenschaften ausgezeichnete benutzerfreundliche sowie individuelle Fixierungsmöglichkeit erarbeitet und erprobt werden, in der das Hineinschlüpfen mit Schuhen für Schuhgrößen ca. EU 36-48 mit minimalem Aufwand möglich ist.

3.2.3 INSPIRATION FÜR DIE KONSTRUKTION DURCH BIONISCHE PRINZIPIEN

3.2.3.1 MIT WABENSTRUKTUR ZUR LEICHTBAU-GRUNDPLATTE

Bienenwaben sind ein bekanntes, da sehr gutes Beispiel für Leichtbau. Die Wissenschaft ist sich noch nicht einig, warum sich beim Bau im Bienenkorb eine sechseckige Wabe bildet; ob die Biene das macht, oder Eigenschaften des Wachses zur Bildung des Sechsecks führen. Tatsächlich nutzen auch andere Tiere die Sechseck-Struktur. Wabenstrukturen bieten bionische Lösungen an vielen Stellen, vom Karton bis zum Leichtbau für Luft- und Raumfahrt. Sie bieten sich auch für stabile Chassiselemente von Mikrofahrzeugen oder für Trittbretter und Anbauteile an. Insbesondere bei Transportaufgaben können Wabenstrukturen für Boxen oder Klappstrukturen genutzt werden. Die Vorteile für den Schlabb-E im Überblick:

- Leichtbau
- Gute Stabilität
- Gute Biegeelastizität (durch Deckschicht)
- Gute Kräfteverteilung
- Gutes Volumen-Gewichts-Verhältnis

Daher wurde mittels gewickelten Carbonfasern eine Grundplatte für den Schlabb-E an den DITF in Denkendorf entwickelt (Abbildungen 12 und 13).

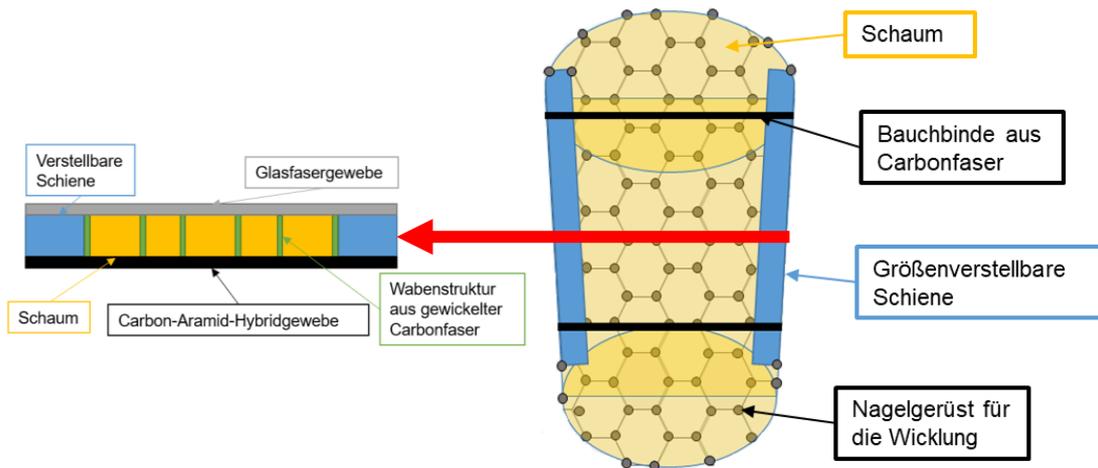


Abbildung 12: Bionisches Grundplattenkonzept bestehend aus einer Leichtbau-Wabenstruktur.



Abbildung 13: Der Herstellungsprozess der aus Carbonfaser gewickelten Wabenstruktur. Material bereitgestellt und hergestellt an den DITF in Denkendorf.

3.2.3.2 MIT SKELETTSTRUKTUR ZUR LEICHTBAU-HINTERACHSE

Die Hinterachse war von zwei bionischen Prinzipien inspiriert, die eine inhaltliche Schnittmenge für Leichtbaukonstruktionen aufweisen. Einerseits von (Vogel-) Knochenstrukturen, andererseits von Skelettstrukturen wie beispielsweise bei Kieselalgen. Die beiden Prinzipien im Detail:

Topologieoptimierung mit Soft-Kill-Option (SKO-Methode):

In der Natur bedeutet jedes zusätzliche Gramm, welches ein Organismus bewegen muss, auch ein Mehr an Energiebedarf. Knochenstrukturen können sich stetig anpassen, um möglichst leicht und energieeffizient zu sein. Dabei sorgen Fresszellen, die sogenannten Osteoclasten, dafür, dass die Knochen ständig optimiert werden. Dort wo keine Belastung mehr auftritt, kann ein Stück Knochensubstanz weggefressen werden. Andersherum kann sich auch wieder neue Knochensubstanz bilden, wenn sich die Belastung verändert.

Für die Entwicklung eines technischen Objekts muss sich der Entwickler genau überlegen, welche Aufgaben erledigt werden müssen, oder welche Kräfte auftreten. Jedes Material und Teil wird dann darauf geprüft, ob es zur Erreichung des Zieles beiträgt oder nicht. Wenn nicht, wird es gelöscht („soft kill“). Mit neuen CAD-Systemen, die auf diesem Prinzip basieren, wurden inzwischen erstaunlich leistungsfähige Lösungen entwickelt. Für Mikrofahrzeuge spielt zum Beispiel ein geringes Gewicht eine wichtige Rolle.

Leichtbau-Skelettstruktur:

Kieselalgen kommen aus dem Meer. Sie sind klein, nur bis zu 2 mm groß, und belastbar. Es gibt sie in vielen tausend Arten und sie liefern ein Viertel der Biomasseproduktion unserer Erde. Kieselalgen sind in ihrer Struktur hoch komplex, in der Gesamtform regelmäßig und ästhetisch ansprechend, und ein wichtiges Element in der Bionik. Ihre Schale ist die wesentliche Komponente für den Schutz gegen Fressfeinde. Die Schalen der Kieselalgen liefern Inspiration für hochfeste und superleichte Elemente. Ihr Vorbild kann bei der Entwicklung von Autofelgen, leichten Fahrrädern, orthopädischen Schienen und vielem mehr helfen. Die Ergebnisse sind filigrane Strukturen mit Verstrebungen, Rippen und Aussparungen, die aber mit konventionellen Fertigungsmethoden kaum oder nicht hergestellt werden können.

Praktische Umsetzung der Leichtbau-Hinterachse:

Anforderung an das Gesamtsystem Schlabb-E war, so leicht wie möglich zu sein und gleichzeitig eine 120 Kilogramm schwere Person tragen zu können. Verschränkt man nun die beiden dargestellten Prinzipien (SKO und Skelettstrukturen) und reduziert sie auf den Kern ihrer Idee, nämlich mit möglichst wenig Material eine definierte Last unter Krafteinwirkung zu tragen, so ist es sinnvoll, anstatt konventioneller auf neue Materialien und Fertigungsverfahren zu setzen. Im hier vorliegenden Fall der Schlabb-E Hinterachse wurden gewickelte Carbonfaser eingesetzt. Dafür wurde zunächst experimentell ein Wickelplan mit einfachen Bändern erstellt, der anschließend mit Carbonfasern umgesetzt wurde (Abbildungen 14 bis 16). Für Material und detailliertes Wissen um die Fertigungstechnik standen die DITF in Denkendorf Pate.

Im Rückbezug zu den eingangs erwähnten bionischen Prinzipien ließen sich die Achsen auch als CAD-Modell aufbauen und für eine breite industrielle Produktion optimieren. So ließe sich an Stelle der teuren Carbonfasern auch ein günstigeres Aluminiumgerüst modellieren, welches sich mittels SKO / Topologieoptimierung dem Prototyp aus Carbonfaser annähern könnte. Ein Vergleich der beiden Material- und Fertigungsoptionen (Carbonfaser vs. Aluminium) war im Rahmen dieses Projekts nicht möglich. In jedem Fall lässt sich aber festhalten, dass gewickelte Carbonfasern ein im höchsten Maße zufriedenstellendes Ergebnis sowohl in der Gewichtseinsparung als auch in der Stabilität liefert und damit eine vielversprechende Kombination aus hochwertigem Material und innovativer Fertigungstechnik darstellt. Die Kombination von Wickeltechnik und Carbonfasern ist somit sehr geeignet, um inhärent bionische Leichtbauprinzipien umzusetzen.

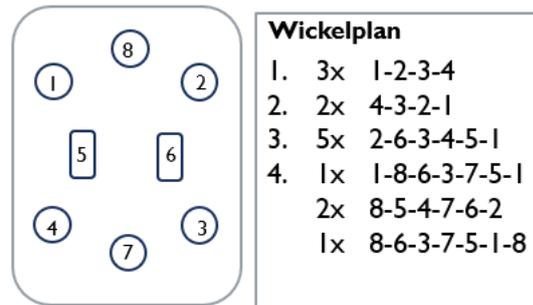


Abbildung 14: Wickelplan für die Leichtbau-Hinterachse aus Carbonfasern.

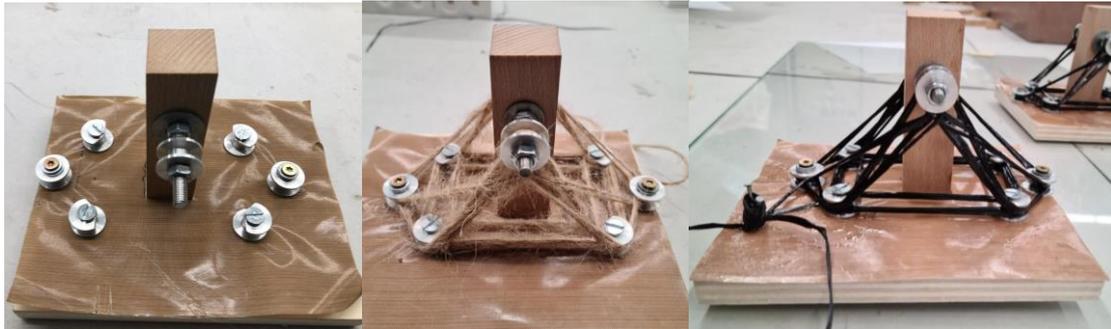


Abbildung 15: Der Wickelplan wurde experimentell mittels einfacher Materialien entwickelt und anschließend mit Carbonfasern umgesetzt.



Abbildung 16: Die mit Carbonfasern gewickelte Hinterachse im endmontierten Zustand.

3.2.4 DER FAHRBARE SCHLABB-E

3.2.4.1 DIE TECHNISCHEN DATEN DES SCHLABB-E

Gesamtgewicht (inkl. Akku)	5225 Gramm
Max. Traglast	120 Kilogramm
Motorleistung	1000 Watt
Schuhgrößen	EU 36 bis EU 46
Akkuleistung	38 Volt, 20-25 Ampère
Akkugewicht	807 Gramm

3.2.4.2 FOTOCOLLAGE – BILDER SAGEN MEHR ALS WORTE



Abbildung 17: Der Schlabb-E als Gesamtsystem bestehend aus zwei Rollschuhen, davon einer elektrisch angetrieben, einem externen Akku mit Klipp für den Hosenbund und Fernbedienung zur Ansteuerung der Antriebsachse.

© Entwicklungsteam „Schlabb-E“



Abbildung 18: Systemkomponenten des Schlabb-E im Detail.

© Entwicklungsteam „Schlabb-E“

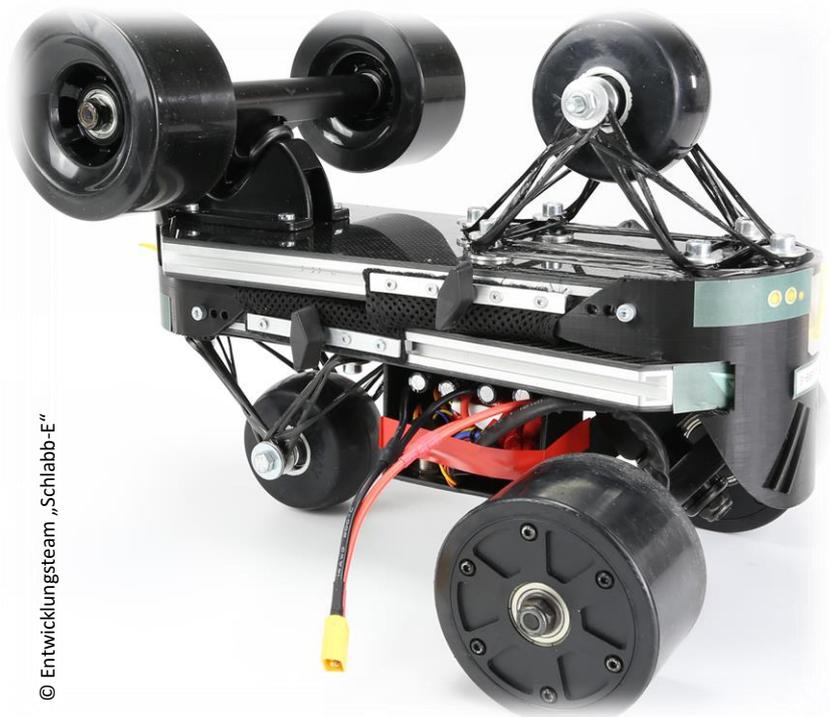


Abbildung 19: Der Schlabb-E lässt sich platzsparend zusammenstecken.



Abbildung 20: Der Schlabbe-E im Testeinsatz

3.3 VOM KONSTRUKTIONS- ZUM INNOVATIONSKATALOG

Im Laufe der Recherche bionischer Prinzipien in Arbeitspaket 1 stellte sich heraus, dass die Stärke der Bionik weniger in einfach anwendbaren Lösungsansätzen liegt als vielmehr in der Inspiration bei der Suche nach innovativen Lösungswegen. Diesem Potenzial der Bionik könnte eine Erweiterung des im Vorgängerprojekt Mariposa entstandenen Konstruktionskatalogs, der konkrete Lösungsansätze zu verschiedenen neuen Kleinst- und Leichtbauprinzipien sammelt und strukturiert anbietet, nicht gerecht werden. Vor diesem Hintergrund entstand das Konzept des interaktiven Innovationskatalogs (Anhang 1). Der Innovationskatalog schlägt einerseits konkrete Verbesserungsansätze auf Basis bionischer Prinzipien vor und lässt andererseits ausreichend Raum für Inspiration, die Natur als Quelle unermesslichen Ideenreichtums zu nutzen. Der Innovationskatalog wurde als interaktives leicht zugängliches und einfach zu verbreitendes PDF-Dokument aufbereitet. Er enthält 31 bionische Prinzipien mit Nutzungspotenzial für Mikromobilität aus der Recherche des Arbeitspakets 1. Wirkweise und technisches Anwendungspotenzial jedes Prinzips werden mit Texten und Bildern interaktiv verknüpft und erläutert. Außerdem wird eine „Do it yourself“ Anleitung angeboten, wie Bionik methodisch bei der Suche nach neuen Lösungen genutzt werden kann. Der Innovationskatalog richtet sich an professionelle Fahrzeug-Entwickler:innen, findige Bastler:innen, leidenschaftliche Innovator:innen und Mobilitätsbegeisterte.

4 ROADMAP

4.1 WEITERENTWICKLUNG DES PROTOTYPS „SCHLABB-E“

4.1.1 ÜBERBLICK UND RESÜMEE ZUM PROTOTYPS SCHLABB-E

Das Potenzial des Schlabb-E hängt mit Blick auf eine mögliche Weiterentwicklung bis hin zur Marktreife von verschiedenen Faktoren ab. Allen voran bleibt abzuwarten, ob der Gesetzgeber neben dem E-Scooter auch weitere elektrisch angetriebene Kleinstfahrzeuge auf öffentlichen Wegen zulässt, noch dazu ohne Lenkstange. Mindestens als Spielzeug kann der Schlabb-E aber schon jetzt überzeugen. Dies wurde auch während unserer Testfahrten in öffentlich zugänglichen Arealen deutlich. Der Schlabb-E sorgte für Aufmerksamkeit und Interesse beim unbeteiligten Publikum. Ein Expertenkreis bestehend aus Ingenieuren, Designern, Sozialwissenschaftlern, und Versuchspersonen analysierte das Weiterentwicklungspotenzial und definierte mögliche Entwicklungspartner. Nach dem Projekt erfolgt eine Prüfung zur Anmeldung des Schlabb-E als Gebrauchsmuster beim Deutschen Patent- und Markenamt. Außerdem werden weitere Kooperationen mit den in Kap. 4.1.3 genannten Innovationspartnern angestrebt. Hierfür wird eine Folgefinanzierung gesucht, evtl. auch über Risikokapitalgeber.

4.1.2 TECHNISCHES WEITERENTWICKLUNGSPOTENZIAL DES SCHLABB-E

Für die technische Weiterentwicklung des Schlabb-E wurden vor allem die Verbindung von Schuh mit dem Kleinstfahrzeug, die Optimierung von Fahrgestell, Reifen und Rädern, sowie das Gesamtsystem diskutiert. Im Einzelnen:

Eine gute **Verbindung vom Schuh mit Schlabb-E** wurde bei den ersten Läufen mit dem Prototyp als wichtige Eigenschaft erkannt. Entwicklungsmöglichkeiten könnten wie folgt aussehen:

- Halbschuh zum Aufpumpen,
- physikalische Haftung: Memoryschaum unter dem Fuß, alternativ: Gerichtete Haftkissen (biologisches Vorbild: Geckofüße),
- Form: Grundfläche schmaler bzw. ergonomischer.

Das **Fahrgestell**, sowie **Reifen und Räder** ließen sich wie folgt weiterentwickeln:

- Beide Rollschuhe beschleunigen (nicht nur einen),
- Leistung <500W pro Rollschuh,
- „unkaputtbare“ PU-Reifen statt luftgefüllten Reifen,
- Elastizitätsprinzip: dynamisches Fahren ermöglichen,
- die bionisch-inspirierte Leichtbau-Hinterachse ist besonders vielversprechend, Übertragung des bionischen Leichtbaukonzepts auch auf die Vorderachse,
- Alternativen zu zweispuriger Vorderachse: schräge Räder (eine Achse), oder: Raupe statt Rad.

Das Potenzial für das **Gesamtkonzept** besteht vor allem in folgenden Punkten:

- Akku in den Schlabb-E integrieren,
- Steuerung über Sensoren im Rollschuh statt mit der Hand,
- Version mit zwei Stöcken für Lenkung,
- weitere Gewichtsreduktion wünschenswert,
- Beweglichkeit fördern und nutzen: Muskelkraft und Gewichtsverlagerung stärker integrieren.

Als **sonstiger Punkt** wurde das gezielte Lobbying beim Gesetzgeber angeregt:

- Vorstellen des Schlabb-E beim Gesetzgeber / der Polizei über Branchenverband
- Entstehung neuer Fahrzeugkategorien wünschenswert

4.1.3 POTENZIELLE INNOVATIONSPARTNER FÜR DIE WEITERENTWICKLUNG DES SCHLABB-E

*(Kontakt bereits hergestellt)

*BE-Power GmbH – Battery and Energy Modules
Ruhberg 8
D-35463 Fernwald-Steinbach
<https://be-power.de/>

*Electric Empire – Bundesverband Elektrokleinstfahrzeuge e.V.
Fischerhüttenstrasse 65A
14163 Berlin
<https://electricempire.de/>

*Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf
Körschtalstraße 26
73770 Denkendorf
<https://www.ditf.de/de/>

*JayKay GmbH
Heidachstraße 70/2
88079 Kressbronn, Germany
<https://www.jaykay-sport.de/>

UrmO-Gründerteam
<https://my-urmo.com/>
<https://www.kickstarter.com/projects/urmo/urmo-your-ultra-light-foldable-urban-electric-vehi>

4.2 VERBREITUNG DES INNOVATIONSKATALOGS

Der Innovationskatalog soll einer möglichst breiten Gruppe an Fahrzeug-Entwickler:innen, Bionik-Fans, Bastler:innen und Mobilitätsbegeisterten zugänglich gemacht werden. Er ist als interaktives PDF-Dokument konzipiert, das zum einen per Email verschickt werden kann und zum anderen zum Download auf der Homepage der Innovationsmanufaktur bereitstehen soll. Link und Dokument können breit über verschiedene soziale Medien und Netzwerke verteilt werden. Die Innovationsmanufaktur wird das Dokument zum einen im Innovationsnetzwerks Mikromobilität MILE anbieten, das wiederum Multiplikatoren aus dem Mobilitätsbereich wie zum Beispiel Bayern Innovativ und Electric Empire Bundesverband Elektrokleinstfahrzeuge e.V. umfasst. Auch das an die DBU angegliederte Bionik-Kompetenznetzwerk Biokon hat Interesse und Unterstützung bei der Verbreitung zugesichert und erreicht über seine Kanäle den Bionik-Fachzirkel in Deutschland. Die Veröffentlichung und Verbreitung des Dokuments ist für Oktober 2021 geplant.

Neben der Verbreitung an eine interessierte Zielgruppe mit Bezug zu Mikromobilität ist eine Nutzung des Innovationskatalogs in der Hochschullehre wünschenswert, um Bionik als Methodik schon in der Ausbildung zu etablieren. Je früher das Bewusstsein geschaffen wird, dass das Potenzial der Bionik vor allem in der Inspiration für neue Lösungen liegt, desto leichter ist eine spätere Anwendung. Der Innovationskatalog soll zunächst durch die am Projekt beteiligte Hochschule Reutlingen genutzt werden und soll auch an der Hochschule Esslingen in der Grundlagen-Vorlesung zu Konstruktion ab Wintersemester 2021 eingesetzt werden. In Abhängigkeit der Erfahrungen dieser Hochschulen mit dem Einsatz des Innovationskatalogs ist eine weitere aktive Verbreitung denkbar. Wunschvorstellung ist eine breite horizontale Integration von Bionik in Vorlesungen und Seminare naturwissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen für Produktentwicklung.

KONTAKT

DOMINIK WEDBER
Projektmanager

Innovationsmanufaktur GmbH
Hohenzollernstr. 26
80801 München

Fon: +49-89-18 91 719 0
Fax: +49-89-18 91 719 20

dw@innovationsmanufaktur.com
www.innovationsmanufaktur.com

5 ANHANG

5.1 ANHANG 1: PAPALOTA – DER INTERAKTIVE INNOVATIONSKATALOG

5.2 ANHANG 2: DOKUMENTATION DES ABSCHLUSSEVENTS VOM 17.08.2021