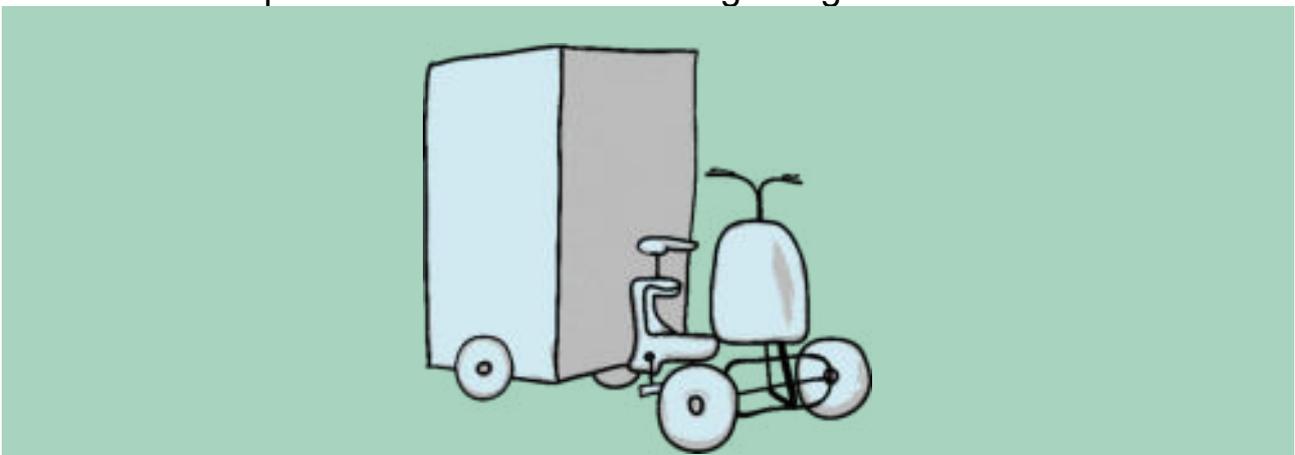


Vorläufiger Abschlussbericht der Forschungsprojekte LEV@KEP & VALUE@SERVICE

LEV@KEP: Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle für eine Nachhaltige Stadtlogistik & VALUE@SERVICE: Nachhaltige logistische Mehrwertdienste für den stationären Einzelhandel & für Apotheken durch kooperative Ressourcennutzung in logistischen Netzwerken



Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski & Team

09.09.2020

Gefördert von:



Partner:



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
1 Kurzfassung	5
1.1 LEV@KEP	5
1.2 VALUE@SERVICE	7
2 Einleitung	9
3 Das Teilprojekt 1: LEV@KEP	11
3.1 Vorgehensweise und Projektplan	11
3.2 Anforderungsanalyse und Entwicklung eines LEV-Lastenhefts	14
3.3 Umsetzung/Testlauf zur Konkretisierung der Anforderungen	17
3.3.1 Rechtliche Herausforderungen	19
3.3.2 Verschiebung der Tests mit Praxispartnern	20
3.3.3 Entwicklung eines Standard-Testlaufs für Lastenräder	21
3.4 Anpassung des Produkts	26
3.4.1 Allgemeine Feststellungen zum Stand der Lastenrad-Technik	26
3.4.2 Anbindung des LEVs an die digitale Plattform	27
3.5 Fazit	27
4 Das Teilprojekt 2: VALUE@SERVICE	29
4.1 Handlungsfelder & Arbeitspakete für logistische Mehrwertdienste	33
4.2 Arbeitspaket 1: Mikro-Depot-Sharing	36
4.3 Arbeitspaket 2: Apothekenbelieferung mit Lastenrädern	42
4.3.1 Testfahrten	43
4.3.2 Anforderungen zur Lastenheft-Entwicklung „Spezialaufbau Pharma“	51
4.4 Projekterweiterung: Aufbauten und digitale Anwendungen	55
4.5 Arbeitspaket 3: Lokale Radlogistik und Mehrwertdienste für den Einzelhandel	59
4.5.1 Lokale Fahrradlogistik	60
4.5.2 Örtliche Potentialanalyse im Nürnberger Einzelhandel	63
4.5.3 Mehrwertdienste für den Einzelhandel	64
4.6 Arbeitspaket 4: Mikro-Depot-Konzept für die Stadt Erlangen (07/17 –12/19)	67

Abkürzungsverzeichnis	78
Literaturverzeichnis	79
A – Anhang	- 0 -
A 1.1) Besprechungsprotokoll zu Workshop vom 13.09.2017	- 0 -
A 1.2) Besprechungsprotokoll 10.10.2017	- 3 -
A 1.3) Lastenheft LEV	- 5 -
A 1.3.1) Allgemeine Anforderungen	- 9 -
A 1.3.2) Anforderungsanalyse Experteninterviews/-aussagen	- 11 -
A 1.3.3) Anforderungen an den Fahrerbereich	- 13 -
A 1.3.4) Anforderungen an den Ladungsbereich	- 18 -
A 1.3.5) Anforderungen an den Fahrwerks- & Antriebsbereich	- 22 -
A 1.3.6) Erwartete Leistungen	- 28 -
A 1.3.7) Bisherige Erfahrungen mit Lastenrädern	- 36 -
A 1.3.8) Schlussfolgerung	- 43 -
A 1.4) Anleitung zur Bedienung und Betrieb des Prototyps	- 44 -
A 1.5) Lastenheft „Spezial-Transportbox Pharma“	- 46 -
A 1.5.1) Grundmaße und Standardausstattung	- 46 -
A 1.5.2) Mindestanforderungen: Maße, Gewicht und weitere Merkmale	- 46 -
A 1.5.3) Türöffnung/Türverriegelung	- 46 -
A 1.5.4) Innenraumgestaltung und Ladungssicherung	- 47 -
A 1.5.5) Verkleidung	- 48 -
A 1.5.6) Optionen	- 48 -
A 1.6) Nachweise zu Tests mit Pharmabox	- 50 -
A 1.6.1) Versuchsaufbauten winterlicher, kalter Umgebung	- 50 -
A 1.7) Ergebnisse Temperaturgeführte Tests	- 63 -
A 1.7.1) Temperaturgeführte Tests unter hochsommerlichen Bedingungen	- 63 -
A 1.7.2) Temperaturgeführte Tests unter winterlichen Bedingungen	- 64 -

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Kennzahlen Lastenräder (63 Stopps, 22 km)</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 2: Sanacorp-Touren – Kfz und Lastenrad im Vergleich.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 3: Übersicht zu den temperaturkritischen Touren.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 4: Geeignete Warenkategorie und Händler/Dienstleistung für Lastenrad-Nutzung</i>	<i>66</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise zur Entwicklung des LEV	12
Abbildung 2: Zeitrahmen und Meilensteine für die Leistungserbringung	13
Abbildung 3: Übersicht der Ideensammlung während Workshop vom 13.09.2017	14
Abbildung 4: Zeitplan zum Lastenheft	16
Abbildung 5: Schulungsunterlagen zur Bedienung des Lastenrads (siehe Anhang A4).....	17
Abbildung 6: Rückmeldebögen für die Fahrer zur Bewertung des Lastenrads.....	18
Abbildung 7: Testversuchsaufbau am TH-Lastenrad zur Prüfung der Geräte zur Fahrtendokumentation.....	19
Abbildung 8: Beispielhafte Sensorwerte der Lastenrad-Dashcam.....	22
Abbildung 9: Zugeladene Paketmasse bei der „simulierten“ Tour	23
Abbildung 10: Angebotene Same-Day-Delivery in Deutschland 2016.....	29
Abbildung 11: Bedeutung der Liefergeschwindigkeit und Planungen von Händlern	30
Abbildung 12: Vor- und nachgelagerte Mehrwertdienste eines Mikro-Depots XXL	31
Abbildung 13: Zeitplan für das Projekt VALUE@SERVICE	34
Abbildung 14: Chancen und Probleme der ursprünglich definierten Handlungsfelder	35
Abbildung 15: Umsetzung der Handlungsfelder VALUE@SERVICE in Arbeitspaketen 1 bis 4.....	35
Abbildung 16: Schematische Darstellung des Mikro-Depot-Sharings zwischen DPD und Sanacorp.....	37
Abbildung 17: Anfahsstrecke und Auslieferungsgebiet Oberasbach und Zirndorf	39
Abbildung 18: Simulierte Touren ab potenziellem Ausgangsdepot Sanacorp als Mikro-Depot für DPD	41
Abbildung 19: Überprüfung der Touren auf Tauglichkeit mit Lastenrad (Punkt 2)	43
Abbildung 20: Testlastenrad „Radkutsche Musketier“, Beladung mit Sanacorp-Transportwannen.....	44
Abbildung 21: Verteilung der Temperaturlogger im Aufbau	47
Abbildung 22: Exemplarischer Temperaturverlauf einer Testfahrt (Details siehe Anhang)	48
Abbildung 23: Lastenrad im Kühlanhänger	49
Abbildung 24: Exemplarischer Temperaturverlauf aller Kältetests	50
Abbildung 25: Maße Transportbehälter Arzneimittel/Pharma	53
Abbildung 26: Zusammengefasst Testergebnisse der Pharma-Testfahrten.....	55
Abbildung 27: Erste Skizzen des Aufbaus von b&p engineering mobility.....	57
Abbildung 28: Handlungsfelder der Fahrradlogistik in Kombination B2B und B2C	60
Abbildung 29: T-Systems mit Software PaketChef als Kommunikationspartner.....	61
Abbildung 30: Vorteile der Software PaketChef für den Zusteller per Lastenrad (PaketChef)	62
Abbildung 31: Einladung zur Infoveranstaltung Same-Day-Delivery	64
Abbildung 32: Digitale Plattform als Basis für logistische Mehrwertdienste.....	65
Abbildung 33: Sendungen eines ausgewählten Durchschnittstages von DPD im Erlanger Stadtgebiet.....	72
Abbildung 34: Punktdichteanalyse der LFF-Stopps im Erlanger Stadtgebiet	74
Abbildung 35: Ermittelte Auslieferungszuschnitte für die Lastenradlogistik in Erlangen.....	76

1 Kurzfassung

Die in diesem Bericht behandelten Projekte LEV@KEP und VALUE@SERVICE haben gezeigt, dass nachhaltige, intelligente Stadtlogistikkonzepte mit dem Einsatz von logistikgerechten Lastenrädern wirtschaftlich möglich sind, auch über die Kurier-Express-Paket-(KEP)-Branche hinaus.

1.1 LEV@KEP

Ziel des Projekts „LEV@KEP – Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle für eine Nachhaltige Stadtlogistik“ (07/2017 bis 12/2019)“ war es, ein Schwerlastenrad bzw. Light Electric Vehicle zu entwickeln, das für den gewerblichen und den KEP-Einsatz geeignet ist. Das qualitativ hochwertige und zuverlässige neue Lastenfahrzeug soll das erfolgreiche Mikro-Depot-Konzept unterstützen und bereits vorhandene Lastenräder ersetzen. Durch das neue Fahrzeug wird die Zustellung von Paketen und auch der Transport anderer Güter verbessert werden.

Im Vorgängerprojekt „Pilotprojekt zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste mit dem Mikro-Depot-Konzept auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg“ wurden Pakete durch Pedelec-Lastenräder durch die KEP-Unternehmen DPD und GLS emissionsfrei und kostengünstig zugestellt. Jedoch stellte sich bereits in den ersten Projektphasen heraus, dass auf dem Markt keine geeigneten Lastenräder zur Verfügung stehen. Im hier vorgestellten Folgeprojekt sollte deshalb gemeinsam mit dem Projektpartner b&p engineering mobility GmbH ein Schwerlast-Lastenrad entwickelt werden, das unter anderem den Anforderungen der KEP-Branche entspricht.

Die Anforderungen für den Einsatz im Mikro-Depot-Konzept werden von gängigen Lastenrädern nur teilweise erfüllt. Vor allem für die Zulieferung von Pharmaerzeugnissen und Lebensmitteln muss die Temperatur in den Ladeboxen kontrollierbar sein. Aber auch eine Zentralverriegelung und der Anschluss für die Stromversorgung des von KEP-Diensten genutzten Handscanners sind notwendig, damit die Lastenräder in der Paketzustellung eingesetzt werden können. Bislang mussten die beteiligten KEP-Unternehmen Kompromisse bei den Fahrzeugen eingehen, die die Effizienz und Qualität der Zustellung beeinträchtigten.

Um ein Lastenrad zu entwickeln, das den oben genannten Anforderungen entspricht, wurde zunächst eine Anforderungsanalyse durchgeführt, die dann zu einem umfassenden Lastenheft weiterentwickelt wurde. Auf Basis dieses Lastenhefts wurde ein Prototyp hergestellt, der im Rahmen des Mikro-Depot-Konzepts bereits erste Tests durchlief. Durch die Feldversuche können Mängel entdeckt und das Produkt dementsprechend angepasst werden.

Allerdings konnte seitens der Projektpartner innerhalb der geplanten Projektlaufzeit aufgrund von Verzögerungen noch kein serienreifes Fahrzeug umgesetzt werden. Bei den Versuchen mit den ersten Lastenrad-Prototypen (des A-N.T. Cargo 4) bemerkte das Projektteam mit seinen KEP-Part-

Kurzfassung

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

nen noch Optimierungspotential hinsichtlich mechanischer Zuverlässigkeit, sowohl seitens der verbauten Zuliefererteile als auch der entwickelten Komponenten des Fahrzeugbauers. Die abschließende Testphase wurde auf Beschluss des Projektleitungskreises ins Jahr 2020 verlängert.

Weiterhin konnte aus verschiedenen Gründen keine IT-Schnittstelle aus der Bordelektronik des Lastenrades an digitale Logistikanwendungen bereitgestellt werden. Die Themen dynamische Live-Tourenplanung, verbunden mit der digitalen Plattform von T-Systems, wurden daher fahrzeugunabhängig behandelt und in das Teilprojekt VALUE@SERVICE verschoben. Auch nach dem Ende des Projektes LEV@KEP begleitet das Projektteam die Fahrzeugentwicklung des Projektpartners b&p mobility und weiterer Hersteller von Lastenrädern, welche das Potential im Projekt LEV@KEP erkannten, weiter mit Feldversuchen und liefert den Herstellern durch Einbeziehen der Kommunen und Logistiker Rückmeldung über die Akzeptanz und Zuverlässigkeit der Fahrzeuge. Im Projekt LEV@KEP wurde für Schwerlastenräder ein universeller Testschema entwickelt, das die im Projekt als relevant erkannten Fahrzeugeigenschaften überprüft und vergleichbar macht. Es dient neben den Erfahrungen der Praxispartner zur Einschätzung der Usability und Sicherheit von Lastenrädern und deren Weiterentwicklung.

Im Projekt konnten neben dem eigentlichen LEV-Entwicklungsprojekt zahlreiche Kontakte zu Lastenradherstellern aufgebaut werden, welche derzeit mit unterschiedlichsten Konzepten versuchen, auf den Markt zu drängen. Das Projektteam erkannte einen Trend zur uneinheitlichen Ausprägung der Fahrzeugdimensionen und ihrer Logistikschnittstellen und die Problematik die bezüglich der öffentlichen Radverkehrsinfrastruktur damit einhergeht. So haben einige schwere Lastenräder bereits Dimensionen von motorisierten Kraftfahrzeugen. Dies sollte weder das Ziel noch die Notwendigkeit einer intelligenten Stadtlogistik sein und läuft dem Ziel einer minimalen Verkehrsraumbeanspruchung bei maximaler Verkehrssicherheit zuwider. Auf zahlreichen Konferenzen und durch Veröffentlichungen empfahl und forderte das Projektteam deshalb Normungsprozesse und rechtliche Rahmenbedingungen sowie Infrastrukturmaßnahmen für schwere Lastenräder. Diese Empfehlungen wurden im Ergebnispapier des Dialogforums „Nationaler Radverkehrsplan 3.0“ im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Kapitel „Urbaner Lastenverkehr wird Radverkehr“ zum größten Teil übernommen¹.

Das Projektteam ist davon überzeugt, dass der Erfolg der Lastenräder, welche in einem nachhaltigen intelligenten Logistikkonzept eingesetzt werden, nur durch Einhaltung des Dreiklangs der Nachhaltigkeit aus sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Zielsetzungen gelingen kann. Deshalb ist es wichtig, dass auch die Fahrzeugentwicklung weiter unter diesen Zielsetzungen vorangetrieben wird. Auch wurde im Projekt ersichtlich, dass ein komplett universell nutzbares LEV wohl nicht zu

¹ Vgl. <https://zukunft-radverkehr.bmvi.de/bmvi/de/home/info/id/20>

realisieren sein wird, da sich das Fahrzeug nach dem jeweiligen Logistikkonzept richten muss. Stattdessen ist ein durch Zubehör anpassbares Basis-LEV sinnvoll, analog zu einem Lkw mit Aufbauten.

1.2 VALUE@SERVICE

Im Teilprojekt „VALUE@SERVICE – Nachhaltige Logistische Mehrwertdienste für den stationären Einzelhandel und für Apotheken durch kooperative Ressourcennutzung in logistischen Netzwerken“ (07/2017–12/2019) wurde die Realisierungschance von logistischen Mehrwertdiensten durch gewerbliche Lastenradlogistik mit dem Mikro-Depot-Konzept geprüft. Das Projekt sollte das Mikro-Depot-Konzept um Same-Day-Delivery für den Einzelhandel und Apotheken, Next-Day-Delivery vom Einzelhandel zu überregionalen Kunden und Retourenabwicklung im Onlinehandel erweitern. Ziel waren abgestimmte Nutzungskonzepte, mithilfe derer die Unternehmen DPD, Tiramizoo und Sanacorp zur optimalen Nutzung vorhandener Netzwerkressourcen. So sollte der Lieferverkehr durch getaktete Versandzeiten, gemeinsam genutzte Depots und zusammengelegte Auslieferungen effizienter werden. Um diese Anwendung zu realisieren, wurden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den logistischen Anforderungen und Sendestrukturen geprüft.

Diese Prüfung beinhaltete:

1. Im Arbeitspaket 1 „Mikro-Depot-Sharing“: Untersuchungen hinsichtlich einer kooperativen Mikro-Depot-Standortnutzung zwischen KEP-Unternehmen und Pharmagroßhandel.
2. Im Arbeitspaket 2: „Apothekenbelieferung mit Lastenrädern“:
Die testweise Umstellung auf Lastenradlogistik.
3. Im Arbeitspaket 3 „Lokale Radlogistik und Mehrwertdienste für den Einzelhandel“: Die Einbindung des Einzelhandels in eine lokale Same-Day Logistik mit dem Mikro-Depot-Konzept.
4. Im Arbeitspaket 4 „Mikro-Depot-Konzept für die Stadt Erlangen“:
Datenanalysen zur Etablierung eines weiteren KEP-Mikro-Depot-Konzepts in Erlangen.

Zu 1) Die Belieferung der Apotheken mit Medikamenten durch Sanacorp beinhaltete sowohl die technische Prüfung auf Eignung der Lastenräder hinsichtlich GDP-Richtlinien² und Betäubungsmittel(BtM)-Gesetz, als auch der Umsetzbarkeit einer Bündelung der Touren mit KEP-Sendungen von einem gemeinsamen Mikro-Depot. Dabei wurde im Verlauf des Projektes festgestellt, dass die Anforderungen der jeweiligen Akteure zum Teil diametral zueinander stehen. Dadurch erscheint eine gemeinsame Auslieferung mit Lastenrädern zwar ausgeschlossen, die gemeinsame Mikro-Depot-Lösung in getrennten Räumlichkeiten aber durchaus möglich. Der Projektpartner Sanacorp erklärte sich dazu bereit, seinen Logistikstandort als gemeinsames Mikro-Depot zu teilen. Jedoch ergab die Analyse der gemeinsamen Sendungsstruktur, dass aufgrund der Lagemissgunst des Depots ein wirtschaftlicher Betrieb für KEP von dort aus nicht möglich wäre. Vice versa wäre es für Sanacorp

² Die „Good Distribution Practice of Medicinal Products for Human Use“ / „gute Vertriebspraxis von Humanarzneimitteln“ sind Leitlinien der europäischen Kommission & seit 7. September 2013 in Kraft

Kurzfassung

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

(aufgrund der Medikamentenanforderungen) wirtschaftlich nicht möglich, von einem KEP-Mikro-Depot oder von einem weiteren Mikro-Depot aus zu beliefern.

Zu 2) Die Lieferung von Medikamenten mittels separater Lastenrad-Touren vom betreffenden Sanacorp-Standort erwies sich jedoch als logistisch und wirtschaftlich sinnvoll. Umfangreiche Datenanalysen und Tourensimulationen führten letztlich zu erfolgreichen Testfahrten mit pharmazeutischen Dummy-Verpackungseinheiten. Um reale Lieferfahrten unter Einhaltung der GDP-Thermofenster durchführen zu können, wurde parallel zu LEV@KEP die Entwicklung einer thermoisolierten Transportbox beauftragt, welche aber aufgrund der Verzögerung in der Fahrzeugentwicklung nicht mehr im Projektzeitraum fertiggestellt und getestet werden konnte. Die abschließende Testphase wurde wie beim entwickelten LEV auf Beschluss des Projektlenkungskreises ins Jahr 2020 verschoben. Dennoch konnten mit der an der TH vorhandenen, unisolierten Box und den entsprechenden Dummy-Medikamentenbehältnissen teilweise bereits positive Ergebnisse hinsichtlich der Einhaltung des vorgegebenen Temperaturfensters erzielt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen ist anzunehmen, dass eine isolierte Box die Transportvorgaben erfüllen wird.

Zu 3) In diesem Teilprojekt bestand die Möglichkeit einer praktischen Umsetzung, da sowohl eine Softwarelösung seitens T-Systems vorhanden war, als auch die Bereitschaft des Mikro-Depot-betreibenden Subunternehmers, das Konzept in eine Pilotphase zu überführen. Über erste Interessensbekundungen hinaus zeigten sich lokale Einzelhändler allerdings nicht bereit, sich praktisch am Projekt zu beteiligen und Abläufe für ein versandorientiertes Geschäft aufzubauen. In Anbetracht von Krisen wie der Corona-Pandemie im Jahr 2020 ist eine Etablierung mehrgleisiger Verkaufsmodele durchaus geschäftssichernd und die Bereitschaft zur Umsetzung vielleicht nun eine andere.

Zu 4) Ziel war es zu prüfen, ob das Mikro-Depot-Konzept auch in einer anderen Stadt anwendbar ist. Dazu wurden umfassende geographische sowie Sendungsstrukturen-Analysen von Erlangen durchgeführt und für die Praxisphase ein Mikro-Depot-Standort von der Stadt Erlangen zur Verfügung gestellt. Aufgrund der Datenlage wäre eine praktische Umsetzung möglich gewesen, diese scheiterte jedoch an der Suche nach einem testwilligen KEP-Subunternehmer.

2 Einleitung

Der innerstädtische Wettbewerb um die Nutzung vorhandener Flächen unterliegt verschiedenen Interessen und wird von den Faktoren Bebauungslayout³, zukünftige Planung und äußere Bedingungen beeinflusst. Ebenso wirken gute Mobilitätsangebote und Dienstleistungen unmittelbar auf die Lebensqualität der Bewohner. Eine hohe Lebensqualität wurde begünstigt durch die zurückliegenden gesellschaftlichen Megatrends: Zunahme an Dienstleistungen, Chancen durch IuK/Innovationen sowie stabile globale (Wirtschafts-)Beziehungen. Die Logistik als drittgrößte Wirtschaftsbranche Deutschlands mit 279 Mrd. Euro Gesamtumsatz (2019)⁴ profitierte enorm davon, da sie die Bereitstellung und Übergabe der Waren und Güter ermöglicht. Entsprechend hat sich auch die Anzahl der Sendungen der Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP) in Deutschland seit dem Jahr 2000 von 1,69 Mio. auf 3,52 Mio. in 2018 mehr als verdoppelt. Die Tendenz ist weiterhin steigend, jedoch begleitet von zunehmenden Schwierigkeiten durch Verkehrsbehinderungen während der Auslieferungen.⁵ Es ist also ein dringendes Anliegen mit diesem Forschungsprojekt konzeptionelle Ansätze vorzustellen, die die Stakeholder von Städten und Kommunen zu umsetzbaren, wirtschaftlichen Lösungen führen.

„Verkehr, nachhaltige Mobilität und Luftreinhaltung“ ist ein thematischer Schwerpunkt des Deutschen Städtetages. Insbesondere die nachhaltige Mobilität wird als zentrale Zukunftsaufgabe hervorgehoben.⁶ Diese bezieht neben intelligenten Verkehrskonzepten – u. a. Sharing-Modelle, attraktiver ÖPNV, E-Mobilität, gute Radwegeinfrastruktur – ebenso den gewerblichen Nutzer ein, der für die nachhaltige Mobilität gewonnen werden soll. Abgeleitet davon ergeben sich für die Unternehmen neue Potenziale, das bisherige Produktsortiment und Dienstleistungen zu erweitern. Neben technischen Lösungen liegt im Forschungsprojekt der Fokus auf der Gesamtkonzeption: robuste Fahrzeugtechnik, Ergonomie, leistungsfähige Software, Informationstechnologie, Layout-Simulation, Anpassungsfähigkeit und der Nachweis der Wirtschaftlichkeit. Diese Parameter werden unter Gesichtspunkten des Praxiseinsatzes nachgewiesen.

In der Metropolregion Nürnberg sind leistungsfähige und wirtschaftsstarke Unternehmen aus der Automobilbranche angesiedelt, die über erhebliche Kompetenzen in der Entwicklung von Fahrzeugkomponenten verfügen. Aufgrund der Tatsache, dass mit dem aktuellen Mikro-Depot-Projekt auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg ein ideales Stadtlabor zur Erprobung von Konzepten der Nachhaltigen Stadtlogistik entstanden ist, ergeben sich interessante Möglichkeiten der Zusammenarbeit von Technologieunternehmen und potenziellen Anwendern aus der Logistikbranche. Für die Zukunft könnten damit attraktive Märkte für eine neuartige, nachhaltige Fahrzeugkategorie erschlossen und ein Beitrag zur Stärkung des Wirtschaftsstandortes Bayern erreicht werden.

³ Vgl. Tank, Hannes (1987); S. 32.

⁴ BVL (2020).

⁵ Vgl. Statista (KEP-Sendungen von 2000 bis 2023).

⁶ Vgl. Deutscher Städtetag (2020).

Einleitung

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

In Zusammenarbeit von der Zweirad-Einkaufs-Genossenschaft eG (ZEG), deren Entwicklungsingenieurbüro b&p engineering mobility GmbH (b&p mobility) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (TH Nürnberg) sollte in den Jahren 2018 und 2019 in einem Forschungsprojekt ein Light Electric Vehicle (LEV) als Prototyp entwickelt sowie ausführlich im Praxiseinsatz getestet werden. Das Fahrzeug sollte speziell auf die Anforderungen der KEP-Branche zugeschnitten sein (Teilprojekt 1: LEV@KEP). Das Basisfahrzeug soll aber generell durch modulare Aufbauten auch für andere gewerbliche Nutzungen geeignet sein.

Auf Basis dieser Erkenntnisse und einer Anforderungsanalyse aus der KEP-Branche wurde ein Lastenheft erstellt und dem Ingenieurbüro b&p mobility für die Serienentwicklung des LEV zur Verfügung gestellt. Die Projektpartner aus der KEP-Branche sehen ein erhebliches Nachhaltigkeits-Potenzial im Mikro-Depot-Konzept und sind sehr an der Entwicklung einer Branchenlösung, basierend auf einer LEV-Technologie, interessiert. Der Bundesverband Paket & Expresslogistik e. V. (BIEK) und seine Mitgliedsunternehmen unterstützen diese Initiative.

In Kooperation mit der Firma Sanacorp Pharmahandel GmbH (Pharmagroßhandel) wurde in der Anforderungsanalyse ein weiterer potentieller Anwendungsbereich des LEV für die Distribution von Pharmaerzeugnissen zu Apotheken und Patienten untersucht. Die Firma DPD erklärte sich bereit, im Rahmen der bereits laufenden Mikro-Depot-Aktivitäten einen Feldtest der neu entwickelten LEV unter realen Bedingungen durchzuführen. Das KEP-Unternehmen General Logistics Systems Germany GmbH & Co. OHG (GLS) war ein weiterer Testpartner in der Pilotphase.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes sollte das Fahrzeugkonzept deshalb entsprechend den Anforderungen der KEP-Branche und des Pharmagroßhandels entwickelt und im anschließenden Praxistest unter Realbedingungen im „Stadtlabor Nürnberg“ erprobt und umgesetzt werden. Weitere Mehrwertdienste (Value Added Services – VAS) sollen im 2. Teilprojekt: „VALUE@SERVICE“ vorgestellt und auf Umsetzbarkeit überprüft werden.

3 Das Teilprojekt 1: LEV@KEP

Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle für eine Nachhaltige Stadtlogistik (07/2017 bis 12/2019)

3.1 Vorgehensweise und Projektplan

Die Entwicklung des LEVs erfolgte in mehreren Stufen und orientierte sich dabei am V-Modell in Abbildung 1. Basierend auf einer Anforderungsanalyse war ein Lastenheft zu formulieren, das die Ansprüche aller Stakeholder zusammenfasst. Dabei wurden sowohl qualitative als auch quantitative Methoden verwendet, die sich gegenseitig ergänzen und validieren. Die qualitative Erhebung der Anforderungen erfolgte durch sowohl persönliche Interviews, Fragebögen oder Telefoninterviews mit den beteiligten Unternehmen als auch deren Subunternehmern. Mit Unterstützung des Bundesverbands Paket & Expresslogistik e.V. (BIEK) wurden zusätzlich auch KEP-Dienstleister involviert, die nicht explizit am Feldversuch teilnehmen konnten. So wurde sichergestellt, dass die zukünftige Lösung die Belange aller KEP-Unternehmen inkludiert, sodass eine Branchenlösung für die Zustellung im Kontext des Mikro-Depot-Konzepts (MDK) etabliert werden kann. Während der Anforderungsanalyse wurden bereits Vorlauftests mit verfügbaren handelsüblichen Lastenrädern durchgeführt. Technische Erkenntnisse zum Produkt sowie zu Prozessen konnten somit frühzeitig in die Produktentstehung einfließen. Alle Anforderungen der Stakeholder floßen frühzeitig während der Festlegung von Eigenschaften und Merkmalen des Produktes sowie der Prozesse mit ein.

Die quantitative Analyse erfolgte durch eine praktische Anforderungsentwicklung, welche vorsah, die Daten der sich damals im Einsatz befindenden Lastenrädern zu erfassen und auszuwerten. Dabei wurden die Lastenräder durch GPS-Sender getrackt und deren real gefahrene Streckenlängen ermittelt, sodass weitere Erkenntnisse bezüglich der Ausstattung des neuen LEVs gezogen werden konnten. Das Forschungsprojekt sollte neben der zulassungsfreien Variante des Fahrzeugs auch eine zulassungspflichtige Variante hervorbringen (45 km/h; straßenverkehrsrechtlich ähnlich Moped), welche sich für weitere Bereiche einer Nachhaltigen Stadtlogistik eignet.

Ziel war es, aufgrund des modularen Charakters des Fahrzeugs auch für andere Anforderungsfälle spezielle Lösungen mit in die Konzeption einzubringen, wie bspw. GDP-Vorgaben für die Distribution von Pharmaerzeugnissen. Weiterhin sollte die für den Pharma-Bereich entwickelte Transportlösung auch auf weitere Branchen übertragen werden, wie z. B. Food-Delivery. Die Notwendigkeit einer zulassungspflichtigen Variante lag hierbei darin begründet, dass die Lagerstandorte des Pharmagroßhandels weiter außerhalb der Stadt liegen und deshalb längere Strecken zurückgelegt werden müssen. Zudem ist der logistische Prozess nicht mit dem der KEP-Dienste zu vergleichen und stellt andere Anforderungen an das LEV. Auch bei der Lieferung von frischen Lebensmitteln, ob im Same-Day- oder Next-Day-Sektor, sind weitere Regelungen zu beachten, die andere Anforderungen zur Folge haben. Auf Grundlage des ausgearbeiteten Lastenhefts sollte ein Pflichtenheft von b&p

mobility erstellt werden. Zu diesem Zeitpunkt wurde auch prozessual darüber entschieden, ob es einen einzelnen oder mehrere Fahrzeugtypen geben würde (Unterscheidung zwischen zulassungsfrei und zulassungspflichtig) oder ob ein „Grundfahrzeug“ erstellt werden sollte, in welches sich ähnlich wie in der Automobilbranche entsprechend unterschiedliche Fahrzeugkomponenten integrieren lassen würden. Das fertige Pflichtenheft bildete die Grundlage für Konstruktion, Ausarbeiten von Zeichnungen, Realisierung, Design-Freeze und Fertigung eines Prototyps. Basierend auf dem Lasten- und Pflichtenheft erfolgte ein erster Produktentwurf, welcher mit dem Projektteam und potentiellen Akteuren der Branche abgestimmt wurde.

In der Testphase in Zusammenarbeit mit den KEP- bzw. Logistikunternehmen musste das Fahrzeug iterativ in einer Vorversion erprobt werden, um weitere Optimierungen durchzuführen und Entwicklungsfehler zu beseitigen. Dabei war klar, dass erst durch den Iterationsvorgang aus theoretischer Entwicklung und praktischen Feldtests ein LEV entwickelt werden kann, welches den logistischen Anforderungen gerecht wird.

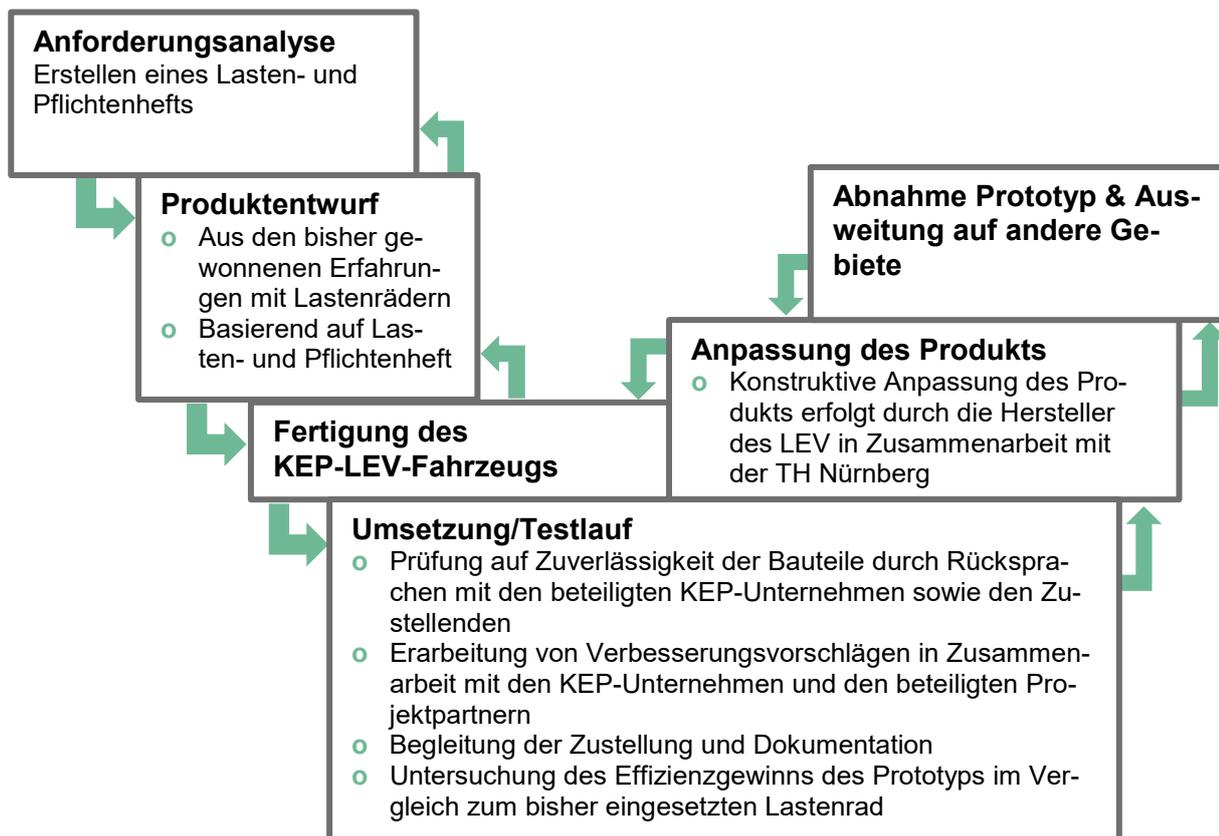


Abbildung 1: Vorgehensweise zur Entwicklung des LEV

Der fertige Prototyp sollte nach Fertigstellung unter Realbedingungen in den Testfeldern des Stadtlabors Nürnberg zum Einsatz kommen. Dies bedeutete, dass sowohl die zulassungsfreie als auch zulassungspflichtige Variante auf Basis der Fahrzeugplattform LEV in den laufenden Betrieb der beteiligten Unternehmen eingegliedert werden sollten. Im zulassungsfreien Bereich kann das LEV auf Basis des MDK als zusätzliches Fahrzeug eingesetzt werden und den operativen Betrieb ergänzen. Im Testzeitraum sollten auch die Paketzustellenden über die Handhabe des Fahrzeugs befragt

werden, um so innerhalb eines konstruktiven Austausches etwaige Änderungen bezüglich der Fahrzeugarchitektur (z. B. Ergonomie, Absperrsystem, Aufteilung der Box o. ä.) vorzunehmen. So sollten sowohl praktische als auch unternehmerische Erkenntnisse für die Verbesserung des Prototyps sorgen, der sich schlussendlich durch diese Testphase zu einem perfekt auf die Branche zugeschnittenen Lieferfahrzeug entwickeln sollte. Der gesamte Zeitraum der Erprobungsphase sollte so auch für konstruktive Veränderungen des Prototyps genutzt werden, welche durch ein umgehendes Feedback der Datenanalyse und dem Austausch aller beteiligten Partner stets kreuzvalidiert werden konnte. Abbildung 2 zeigt den mit b&p mobility vereinbarten Leistungserbringungsraum:

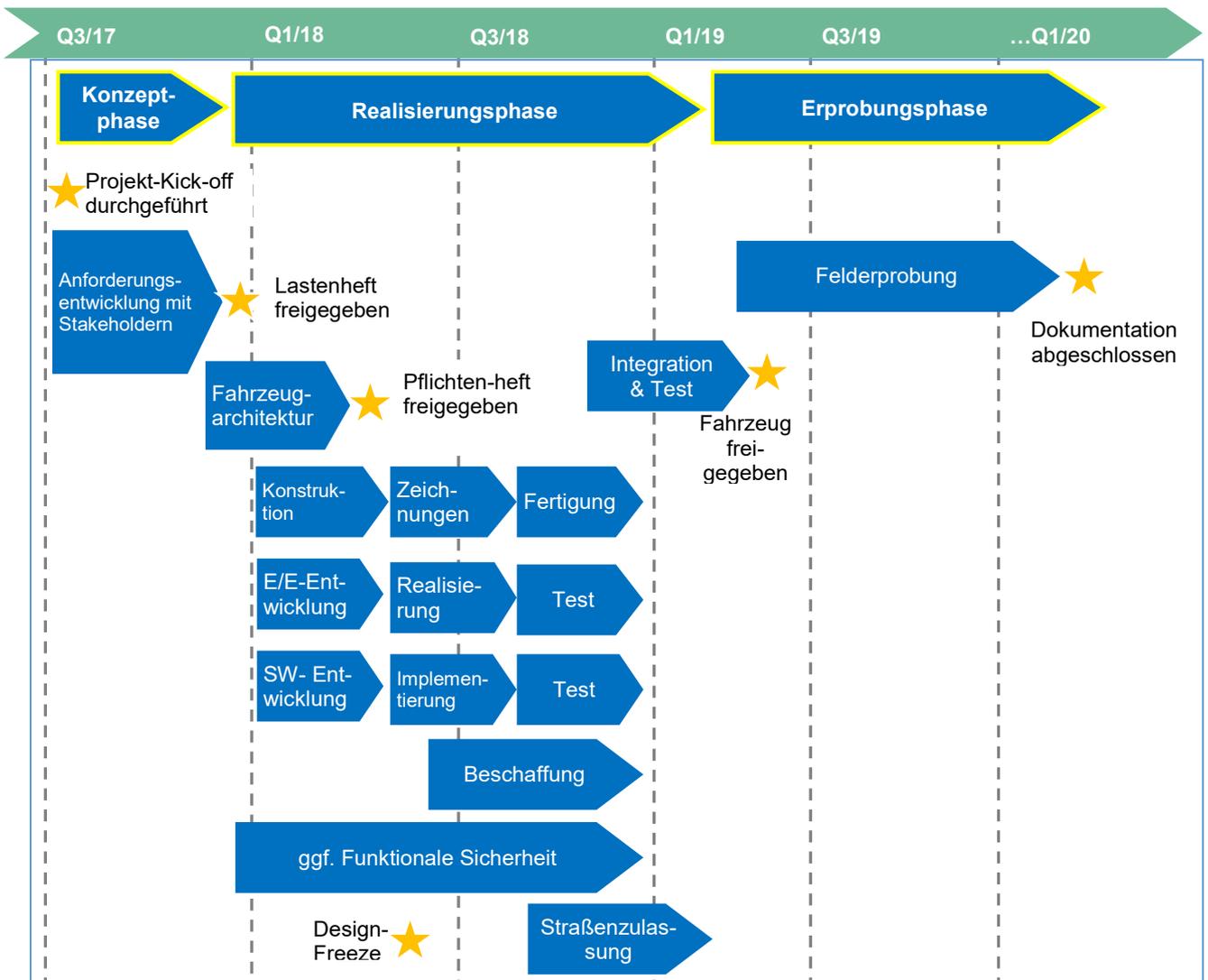


Abbildung 2: Zeitrahmen und Meilensteine für die Leistungserbringung

3.2 Anforderungsanalyse und Entwicklung eines LEV-Lastenhefts

Für die Definition der Anforderungen an ein logistikgerechtes LEV dürfen nicht nur die reinen logistischen Prozesse berücksichtigt werden, sondern es muss auch das urbane Umfeld, indem sich das Fahrzeug bewegt, miteinbezogen werden. Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden, zwischen der maximal möglichen Ladekapazität des Fahrzeugs und der Beanspruchung bzw. der gegebenen infrastrukturellen Möglichkeiten des öffentlichen Raums. Dieser Kompromiss zwischen dem minimalinvasiven Eingriff in den öffentlichen Raum und der maximal möglichen Ladekapazität kann nur erreicht werden, wenn das Fahrzeug allen drei Säulen der Nachhaltigkeit, welche aus ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielsetzungen bestehen, gerecht wird.

In mehreren Workshops mit Praxispartnern wurden Ideen und Anforderungen formuliert und für eine spätere Umsetzung dokumentiert (siehe Abbildung 3). Klar war, dass das Fahrzeug aufgrund der e. g. Zielsetzungen nicht 1:1 in die vorhandenen, Transporter-basierenden logistischen Prozesse integriert werden kann.



Abbildung 3: Übersicht der Ideensammlung während Workshop vom 13.09.2017

Sowohl der Ladekapazitäts- als auch der Geschwindigkeitsvorteil des Transporters würden jegliche ökonomische Betrachtung bei einer 1:1 Umstellung ad absurdum führen. Deshalb muss der Anwendungsbereich des LEV auf Grundlage eines logistischen, intelligenten Konzeptes aufgebaut werden, welches das Fundament für weitere logistische Lösungen im urbanen Umfeld bildet. Im Sinne des Projekts kommt als Konzept das Mikro-Depot-Konzept sowohl in der ursprünglichen als auch in einer erweiterten Version in Frage (Haltestellenkonzept⁷). Müssen andere logistische Konzepte ange-

⁷ Siehe Bogdanski 2019.

wandt werden (weil sich die logistischen Bedingungen im urbanen Umfeld ändern, z. B. bei Lebensmittellieferungen in einem eher mittelstädtisch geprägten Umfeld), so sind die Anforderungen an das LEV anzupassen.

Hieraus wird ersichtlich, dass ein universell nutzbares LEV-Fahrzeug wohl nicht zu realisieren sein wird. Für die dem MDK ähnlichen logistischen Konzepte kann dagegen ein Basis-LEV, welches im speziellen durch Zubehör angepasst wird, definiert werden. Für die frühzeitige Einbindung der elementaren User-Interessen bestanden vielfältige Mitteilungsoptionen, bspw. durch Beantwortung von Fragebögen sowie Experteninterviews (siehe Abbildung 4, Phase Q1/2018).

Die Erfahrungen, welche in die Entwicklung eines Lastenhefts für ein Basis-LEV einfließen, basieren auf dem MDK-Pilotprojekt bzw. den Versuchsbegleitungen während der Erprobung des MDK. Das Lastenheft wurde dabei möglichst technologieoffen definiert, damit die Unternehmen, welche ein LEV bauen, spezialisierte Lösungen einsetzen können. So kann jedes Unternehmen anhand des Lastenhefts frei entscheiden, ob es für die Realisierung eines anforderungsgerechten LEV z. B. einen Radnabenmotor bzw. Tretlagermotor bevorzugt oder ein 4-Rad bzw. 3-Rad Konzept etc.

Für eine flexible Kommunikation mit Auftraggebern und Empfängern besonders im KEP-Bereich war die Anbindung des LEVs an eine digitale Plattform vorzusehen. Dazu sollte das Fahrzeug mit entsprechender Sensorik und markenunabhängiger Kommunikationstechnologie ausgestattet werden und die Möglichkeit bestehen, fahrzeugspezifische Daten (Ortungssystem, Bremsbeläge- und Scheibenverschleiß, Restreichweite, Tourlänge, Reifendruck etc.) zu übermitteln. Die Implementierung einer aktiven dynamischen Tourenplanung sollte damit ermöglicht werden. Weiterhin ermöglicht durch entsprechende Sensorik das rechtzeitige Erkennen von Ausfällen oder Wartungsbedarfen des Fahrzeugs und über die digitale Plattform können entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Dies schafft Planungssicherheit im Ablauf der Prozesse, sodass Ausfallkosten entsprechend vermieden oder reduziert werden können. Für die Sensorik und die digitale Plattform eignete sich der Projektpartner Tiramizoo mit innovativen Lösungen und auch T-Systems mit der Software PaketChef konnte im laufenden Projekt gewonnen werden. Entsprechende Veränderungen in Organisationsablauf und Testablauf können den späteren Kapiteln entnommen werden.

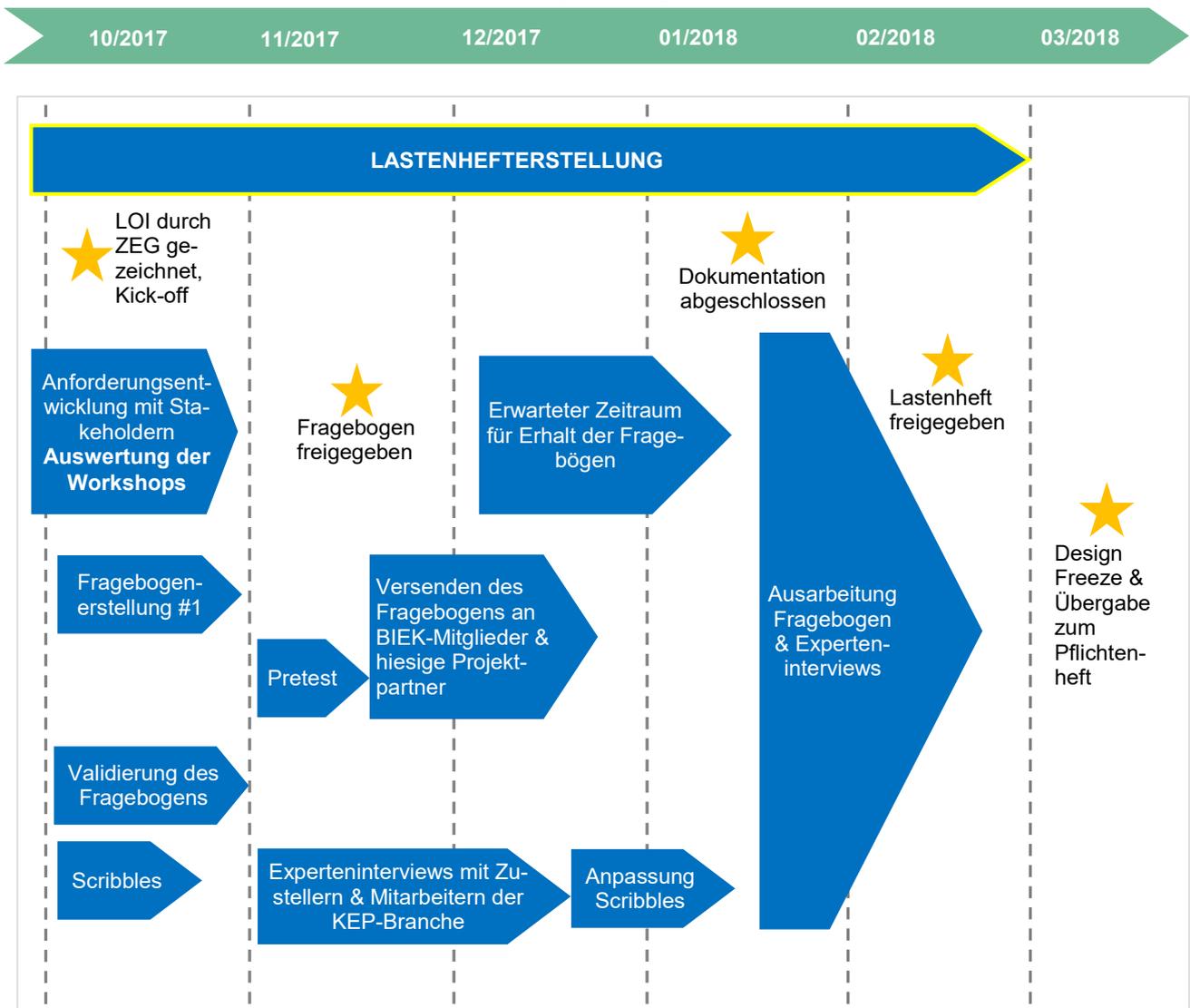


Abbildung 4: Zeitplan zum Lastenheft

Nachdem alle Erwartungen der beteiligten Projektpartner bei der Neuentwicklung eines LEV beachtet werden sollten, wurden in Vorlauftests verfügbare Lastenräder in Praxistests eingesetzt. Diese Erkenntnisse sind im folgenden Kapitel beschrieben.

Das umfangreiche und detaillierte Lastenheft für ein logistikgerechtes Lastenrad (LEV) ist als relevantes Forschungsergebnis im Anhang 3 vollständig dokumentiert.

3.3 Umsetzung/Testlauf zur Konkretisierung der Anforderungen

Zunächst fanden im Rahmen der Anforderungsanalyse bzw. der Erstellung des Lastenhefts gemeinsam mit den Praxis-Projektpartnern erste Testfahrten mit handelsüblichen Lastenrädern statt. Sowohl die Erfahrungen aus den Testfahrten, als auch die des Praxisalltags legten den Grundstein für die weitere Entwicklungsarbeit. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde deutlich, dass es durchaus für die Entwicklung förderlich ist, wenn weitere Lastenräder (neben dem zu entwickelnden Prototypen) in die Testphasen integriert werden. Auch die Hersteller dieser bereits verfügbaren Lastenräder bekamen dadurch differenzierte Rückmeldungen über ihre Produkte. Dieses Vorgehen führt dazu, dass neben dem Entwicklungsdruck durch den Wettbewerb auch die Zulieferindustrie der Lastenradhersteller eine bessere Rückmeldung von mehreren Fahrzeugbauern bekommt, was letztendlich für die gesamte Lastenradindustrie förderlich ist.

Besonders bei der Einbindung des neuen Prototyps oder neuer Test-Fahrzeuge in den regulären KEP-Zustellbetrieb bedarf ausreichender Vorlaufzeit sowohl von der Planung seitens der TH als auch seitens der Projektpartner. Die Fahrer der Projektpartner wurden bezüglich der Bedienung des Prototyps geschult und im Umgang mit diesem sensibilisiert. Hierzu erstellte das Projektteam der TH Nürnberg Bedienungsanleitungen (siehe Abbildung 5), veranstaltete Schulungen und erstellte Antwortbögen für die Fahrer zur Zwischenbewertung des Prototyps (siehe Abbildung 6).

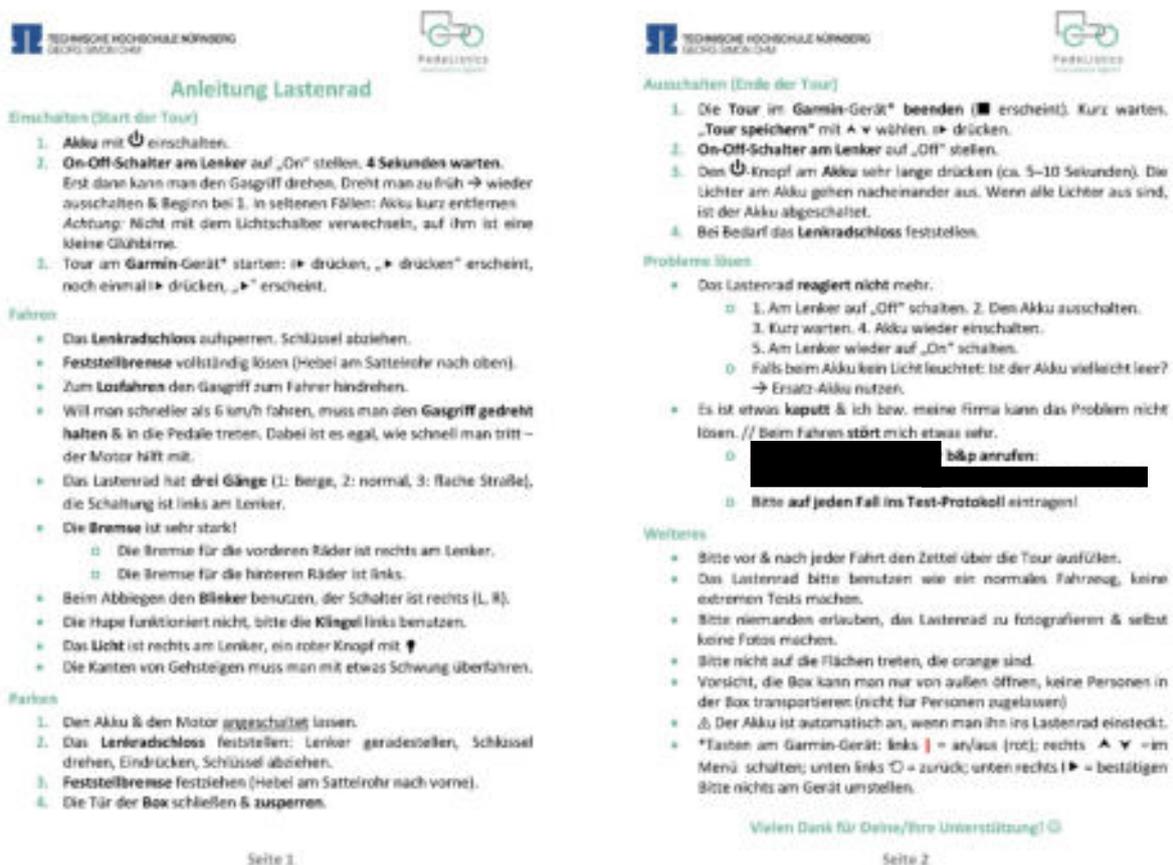


Abbildung 5: Schulungsunterlagen zur Bedienung des Lastenrads (siehe Anhang A4)

Fragen zum Lastenrad-Test		Datum	____.____.2019		
Name Fahrer/in: 	<input style="width: 95%;" type="text"/>	1. Vor der Tour			
Unternehmen: 	<input style="width: 95%;" type="text"/>				
Anzahl Stopps: 	<input style="width: 50%;" type="text"/>			Anzahl Pakete: 	<input style="width: 50%;" type="text"/>
Gewicht: 	<input style="width: 50%;" type="text"/> kg				
Belieferungsgebiet (Postleitzahl)	<input style="width: 95%;" type="text"/>				
Startzeit der Tour 	<input style="width: 50%;" type="text"/> : <input style="width: 50%;" type="text"/> Uhr			Akku (vor Tour, z.B. 5)	<input style="width: 50%;" type="text"/>
Ende der Tour 	<input style="width: 50%;" type="text"/> : <input style="width: 50%;" type="text"/> Uhr	Akku (nach Tour, z.B. 2)	<input style="width: 50%;" type="text"/>		
Anzahl Kilometer 	<input style="width: 95%;" type="text"/> km				
Besondere Ereignisse 	<input style="width: 95%; height: 100%;" type="text"/>				
		Ja	Nein, Beschreibung	Weitere Beschreibung bitte auf Rückseite!	
Sind alle Schalter/Hebel/Knöpfe... am Lastenrad gut benutzbar?					
Hilft der Motor ausreichend beim Fahren?					
		<input style="width: 95%; height: 100%;" type="text"/>			

Abbildung 6: Rückmeldebögen für die Fahrer zur Bewertung des Lastenrads

Parallel zu den qualitativen Rückmeldebögen für die Fahrer sollten verschiedene quantitative Größen erfasst werden. Dazu zählten unter anderem:

- Laufleistung
- Tägliche Routenaufzeichnungen
- Topografie
- Geschwindigkeit
- Tourdauer und Betriebsstunden des Fahrzeugs

Zusätzlich zu den genannten Punkten sollte es die Möglichkeit zur Ursachenermittlung für einen potentiellen Ausfall von Fahrzeugstrukturen/Bauteilen geben. Diese erfordert eine Aufzeichnung mittels Bild-/Videomaterial der Straßenverhältnisse, in Kombination mit einer Erschütterungsmessung (siehe Abbildung 7). Für die Aufzeichnung der Werte wurden zusätzliche GPS-Fahrradcomputer vom Typ Garmin Edge 130, Wahoo Element Bolt und eine Dashcam (iTracker mini0806-S), welche G-Kräfte aufzeichnet und den Boden vor dem Fahrzeug filmt, verwendet.

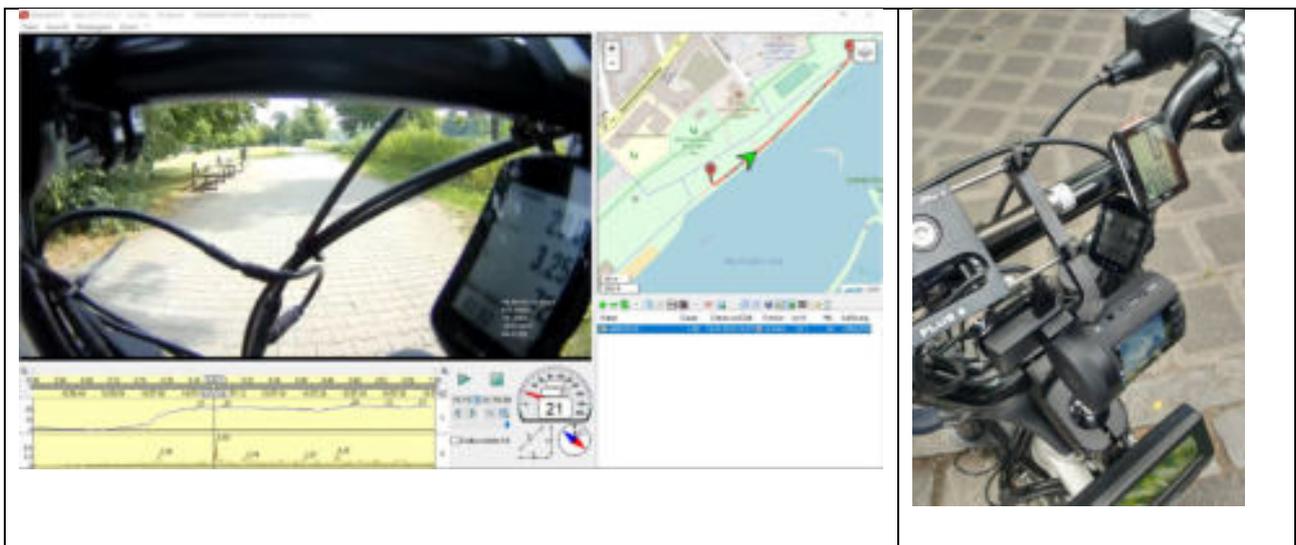


Abbildung 7: Testversuchsaufbau am TH-Lastenrad zur Prüfung der Geräte zur Fahrtendokumentation

3.3.1 Rechtliche Herausforderungen

Rechtlich abgesicherte, pauschale Videoaufnahmen, besonders von Personen, sind im öffentlichen Raum schwierig beziehungsweise seit der Gültigkeit der Datenschutz-Grundverordnung⁸ nahezu unmöglich. Ein solches Vorhaben hätte voraussichtlich mehrfache Rücksprache mit den Rechtsabteilungen der Partnerunternehmen erfordert und ggf. ein komplettes Verbot der Aufnahmen herbeigeführt. Grund dafür sind nicht einzuschätzende mögliche Rechtsfolgen, da sich unweigerlich Personen im öffentlichen Straßenraum befinden. Deshalb hat sich das Projektteam für ein eingeschränktes Filmen mit Fokus nach unten entschieden, da dieses nur die Straßenlage und das Fahrverhalten des Lastenrads dokumentiert, z. B. bei hohen Randsteinen.

⁸ Seit 25.05.2018 gilt die europaweite Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO).

Weiterhin hat sich im vorangegangenen Forschungsprojekt (Mikro-Depot-Konzept) gezeigt, dass eine Vor-Ort-Versuchsbegleitung durch das Projektteam unabdingbar ist, inklusive zusätzlicher, punktueller Aufnahmen von dokumentationswürdigen Situationen mit einer Actionkamera – besonders während der frühen Phase einer Felderprobung. Hierdurch können Ausfälle am Fahrzeug oder Bedienschwierigkeiten der Fahrer im weiteren Projektverlauf verhindert werden. Ein direkter Notfallkontakt zum Fahrzeughersteller in Verbindung mit einem Ersatzfahrzeug ist dabei unerlässlich, um bei einem unvorhergesehenen Komplettausfall des Fahrzeugs den regulären Zustellbetrieb weiter aufrechtzuerhalten und den jeweiligen Unternehmer vor unverhältnismäßigen Zusatzkosten und Aufwänden zu schützen. Nach diesen Vorbereitungen konnte der erste Test gestartet werden.

3.3.2 Verschiebung der Tests mit Praxispartnern

Die für die ersten Tests verwendete Transportbox war ein leicht gebautes Provisorium, das b& engineering zu Testzwecken zur Verfügung gestellt hatte. Die finale Boxvariante befand sich noch in Konstruktion bei einem beauftragten Unternehmen. Das Hauptaugenmerk der Testfahrten sollte daher auf die Dämpfung des Fahrwerks und die Lenkübersetzung gelegt werden. Nach planmäßiger Abholung des ersten LEV-Prototypen am 05.08.2019 durch den Projektpartner DPD wurden die ersten Versuche in Verbindung mit einer Lastenrad-Schulung am 09.08.2019 durchgeführt. Das zu liefernde Sendungsvolumen umfasste 100 Pakete bei 96 Stopps mit einem Gesamtpaketgewicht von 110 kg. Das Auslieferungsgebiet beschränkt sich auf den Bereich um die Nürnberger Gartenstadt und Langwasser. Während der Testfahrten stellte sich heraus, dass die provisorische Transportbox den schweren mechanischen Belastungen eines KEP-Einsatzes noch nicht gewachsen war.

Die Motorunterstützung und die Anfahrhilfe waren darüber hinaus noch nicht ausreichend ausgelegt. Im Vergleich zum bisher eingesetzten Lastenradmodell (Radkutsche, Modell Musketier) zeigte sich beim Test noch Optimierungsbedarf bei Höchstgeschwindigkeit, der Überwindung von Steigungen (z. B. bei Brückenunterführungen) und dem Überfahren von Hindernissen (z. B. Auffahrten, Rampen).

Bedingt durch diese noch zu klärenden technischen Fragen wurde der Testlauf mit Praxispartnern vorerst hintenangestellt. Stattdessen konzentrierte sich die TH auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse auf die Entwicklung eines eigenen, aussagekräftigen Lastenrad-Testschemas, das jedes Lastenrad vor Übergabe an Praxispartner durchlaufen wird.

3.3.3 Entwicklung eines Standard-Testlaufs für Lastenräder

Basierend auf den Erfahrungen der laufenden und vergangenen Projekte hat die TH Nürnberg ein Testschema für Schwerlastenräder bzw. gewerbliche Lastenräder entwickelt. Damit werden allgemeine sowie KEP-spezifische Kriterien geprüft.

3.3.3.1 Relevante Vergleichswerte im KEP-Bereich

Die je Tour variierenden Parameter Strecke, Stoppanzahl, Haltepunktabstand und Sendungsgewicht geben das Anforderungsprofil an das Lastenrad während einer KEP-Nutzung wieder und sollten für jede Testtour ermittelt werden. Anhand von DPD Sendungsdaten und dem theoretischen Streckenmodell des durch das Projektteam entwickelten Analyse-Algorithmus betrug die Tourstrecke im ersten Test beispielsweise ca. 31 km (ab erstem Stopp) bzw. ca. 40 km ab Hauptdepot mit 107 Stopps. Der durchschnittliche Haltepunktabstand ab dem ersten Stopp betrug laut TH-Algorithmus 400 m.

3.3.3.2 Konkrete Streckenwerte

Die Auswertung mit der montierten Dashcam dokumentiert die tatsächlich gefahrene Streckenlänge und die Durchschnittsgeschwindigkeit (inklusive Stopps) unabhängig vom konkreten Lastenrad-Einsatz. Die Dashcam nimmt mehrere Größen auf (siehe Abbildung 8). Diese können in der unten abgebildeten Darstellung von oben nach unten wie folgt abgelesen werden: Geschwindigkeit (blau), Gesamtbeschleunigung (braun), Querbeschleunigung (rot), Vertikalbeschleunigung (grün) und Längsbeschleunigung (rosa). Die Maximalwerte für die Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h im Beispielverlauf sind aufgrund von GPS-Ungenauigkeiten entstanden, welche z. B. beim Durchfahren von Brückenunterführungen auftreten. Die genaueren Geschwindigkeitswerte lieferte hier der Fahrradcomputer. Die besten Ergebnisse zum Streckenverlauf und dessen Einfluss auf das Fahrzeug lassen sich also durch die Kombination von Dashcam und Fahrradcomputer erzielen.

Die Dashcam wurde nach unten gerichtet montiert und nahm somit den überfahrenen Untergrund auf, sodass dieser mit den Sensorwerten verglichen werden kann. Daraus wurden Rückschlüsse auf die Wegebeschaffenheit im Praxiseinsatz gezogen. Wie im Testverlauf auf den Dashcam-Videos des zu sehen war, wurden die maximalen Beschleunigungswerte nicht nur durch das Überfahren von hohen Bordsteinkanten erreicht. Grund waren sowohl schlechte Straßenverhältnisse auf den Radwegen, wie z. B. Baumwurzeln, Schlaglöcher, eingesenkte Kanalschachtdeckel, als auch das Überfahren von abgesenkten Bordsteinen an Kreuzungspunkten (oder die Kombination aus den e. g. Straßenverhältnissen).

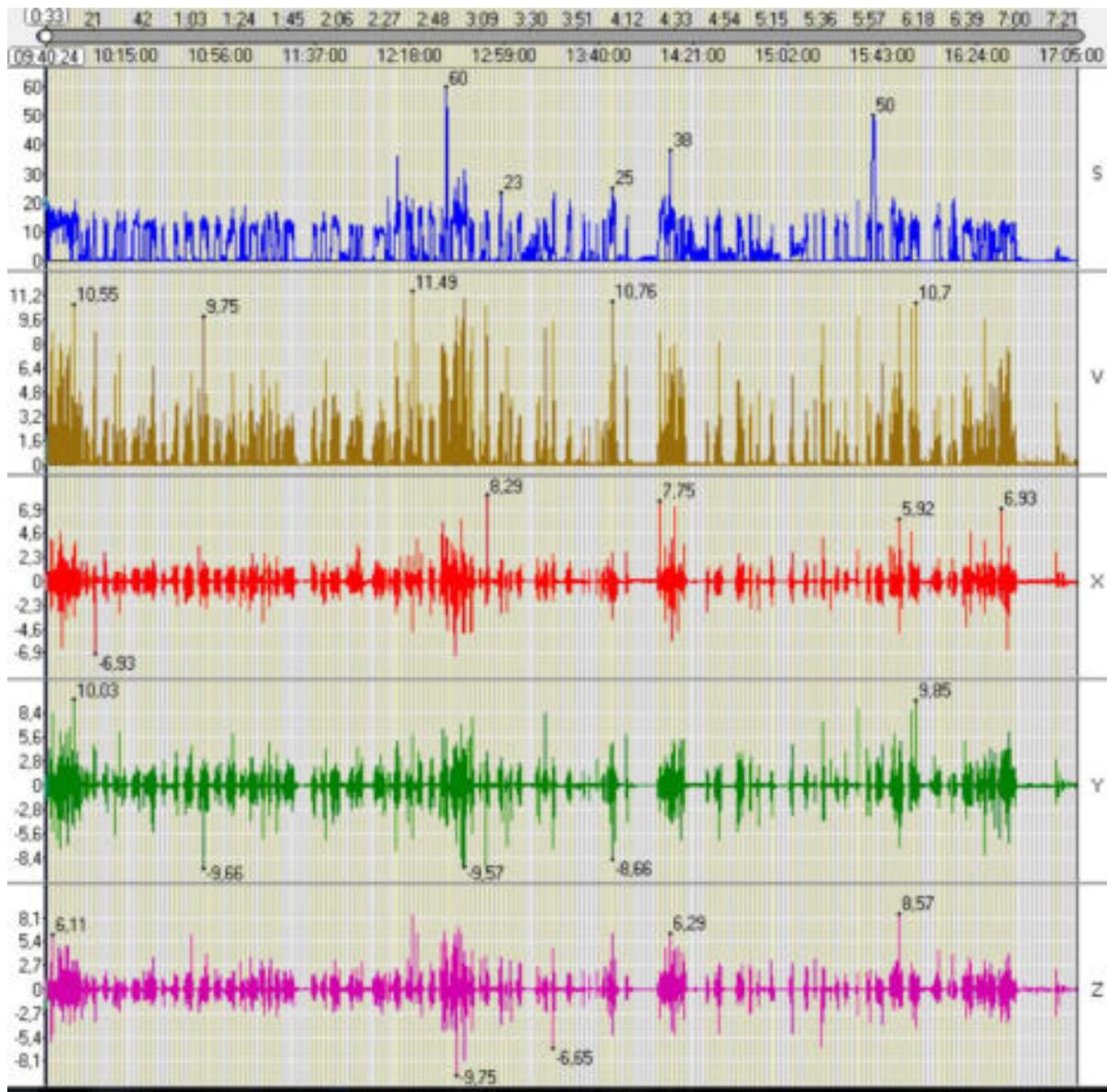


Abbildung 8: Beispielhafte Sensorwerte der Lastenrad-Dashcam

3.3.3.3 Entwicklung einer einheitlichen KEP-Teststrecke

Um die Versuchsreihen TH-intern fortzusetzen erstellte das Projektteam auf Basis realer Adressdaten eine theoretische Lastenradtour. Diese „simulierte“ Tour (Stoppes ohne Zustellungen) umfasst 30 km Länge, bedient das Gebiet der Nürnberger Südstadt und hat 100 Stopps, wobei der Streckenverlauf einem tatsächlich durchgeführten Distributionsprozess eines KEP-Dienstleisters entspricht. Diese Referenztour dient der objektiven Vergleichbarkeit. Nach Möglichkeit sollten Beladung und Fahrer/innengewicht bei allen Touren ähnlich sein, um eine Vergleichbarkeit zu garantieren.

Das Versuchsteam für die Referenzstrecke besteht regulär aus zwei Personen, dem Fahrzeugführer des Prototyps bzw. Lastenrads und einem Navigator, welcher den Versuch auf einem separaten Fahrzeug (Fahrrad oder Pedelec) begleitet und die Dokumentation des Versuchs übernimmt. Der Navigator besitzt entsprechende Ortskenntnis und hat die Strecke bereits im Vorfeld erkundet und abgefahren. Der Faktor „Ortskenntnis des Fahrers“ kann somit als Konstante definiert werden und

die Versuchsergebnisse sind größtenteils reproduzierbar (infrastrukturelle Einflüsse können aufgrund der Praxisnähe nie vollkommen ausgeschlossen werden).



Abbildung 9: Zugeladene Paketmasse bei der „simulierten“ Tour

3.3.3.4 Messung Energieeffizienz

Im Verlauf der Versuchsreihen hat sich ergeben, dass die Bewertung der Energieeffizienz des Fahrzeugs sowohl kostentechnisch (Verschleiß des Akkumulators) als auch ergonomisch (Ermüdung des Fahrers/der FahrerIn) von Interesse ist.

Wichtige Werte für die Fahrerbelastung sind die zurückgelegte Strecke, Höhendifferenz, Zuladung, Trittfrequenz (Kadenz) und das Drehmoment. Es wurden mithilfe einer Fitnessuhr auch die körperlichen Belastungen gemessen, beispielsweise die Veränderungen des Pulses. Weniger wichtig waren hierbei die absoluten, fitnessabhängigen Werte. Im Vergleich zueinander ermöglichen es diese Interpretationen, die subjektive Belastung desselben Fahrers bei der Nutzung unterschiedlicher Lastenräder zu vergleichen.

Es ist hinsichtlich der körperlichen Belastung ebenfalls relevant, ob bei sinkender bzw. geringer Kadenz die Unterstützung des Motors abnimmt. Ein Anfahren am Berg oder das Bewältigen von Steigungen kann sich infolgedessen als schwierig gestalten. Denn durch geringere Unterstützung muss für die Bewältigung von Steigungen die Kadenz unter allen Umständen hoch gehalten werden, was für untrainierte Personen aufgrund der hohen physischen Belastung schwer möglich ist. Weiterhin ist bei verringerter Unterstützung der Motorleistung aufgrund sinkender Kadenz vom Fahrer ein hohes Drehmoment aufzubringen, um wieder in einem Bereich höherer Kadenz und Motorunterstützung zu gelangen.

Essenzielle Größen für die Energieeffizienz des Fahrzeugs sind der Luftwiderstandsbeiwert c_w und der Reibwiderstandsbeiwert c_R . Der c_w -Wert wird mit Hilfe eines konstanten Gefälles ermittelt. Rollt

das Lastenrad mit Fahrer ohne Antrieb ein Gefälle herab, so stellt sich nach einer gewissen Zeit ein Kräftegleichgewicht ein und das Fahrzeug beschleunigt nicht mehr ($v=\text{konst.}$). Dabei wirkt die Hangabtriebskraft beschleunigend, während die Roll- und Luftreibung bremsend wirken. Der Versuch sollte bei Windstille durchgeführt werden. Die Masse g entspricht dabei der Gesamtmasse des betrachteten Systems (Lastenrad + Fahrer).

Es gelten folgende Zusammenhänge:

Luftwiderstand:
$$F_{LW} = \frac{\rho_L}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

Rollreibung:
$$F_{Roll} = c_R \cdot F_N = c_R \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

Hangabtriebskraft:
$$F_{Hang} = m \cdot g \cdot \sin\alpha$$

Bei Kräftegleichgewicht gilt:
$$F_{Hang} = F_{Roll} + F_{LW}$$

Hieraus ergibt sich:

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha = c_R \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2$$

$$c_w = \frac{m \cdot g \cdot \sin\alpha - c_R \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha}{\frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2}$$

$$c_w = \frac{m \cdot g \cdot (\sin\alpha - c_R \cdot \cos\alpha)}{\frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2}$$

Die benötigte Kenngrößen für die **Luftdichte** ρ_L wird mithilfe der Temperatur und Höhe beim Zeitpunkt der Messung ermittelt.

Die **Frontfläche** A kann mittels Fotoauswertung ermittelt werden (Anzahl Pixel entspricht einer bestimmten Fläche mit Vergleich zu Referenzmaß).

Der **maximale mittlere Beschleunigungswert** wird über den Fahrradcomputer (Strecke, Zeit und erreichte Geschwindigkeit ermittelt).

Der **Reibungswiderstand** c_R wird durch Messung des Zugkraftbedarfs des Fahrzeugs in der Ebene ermittelt:

$$F_{Roll} = c_R \cdot F_N = c_R \cdot m \cdot g$$

$$c_R = \frac{F_{Roll}}{m \cdot g}$$

Hierzu wird das Gewicht des Versuchsfahrzeugs über die jeweiligen Radlasten mittels Personenwaage und die Kraft F_{Roll} mit Hilfe einer Federwaage LTZ-10 ($Q_{\max}=100$ N Genauigkeitsklasse 2, Toleranz bei ± 2 % Q_{\max}) ermittelt. Für die Ermittlung von F_{Roll} wird das Fahrzeug zunächst in Bewegung versetzt und anschließend die Federkraft gemessen, welche benötigt wird, um das Fahrzeug

auf konstanter Geschwindigkeit zu halten. Der Energiebedarf wird in zukünftigen Fahrzeugtests vertieft berücksichtigt. Bei zukünftigen Tests soll ein Energieverbrauchsmessgerät, welches am Ende der Tour vor das Ladegerät geschaltet wird, die aus dem Akkusystem entnommene Energiemenge ermitteln und so die Akkubehanspruchung erfassen.

3.3.3.5 Vergleichstests

Um den technischen Stand und den Fortschritt des Prototyps im Vergleich zu marktverfügbaren Lastenrädern darzustellen, sind auf Basis der letzten simulierten Versuchstour mit dem A-N.T. Cargo 4 auch Tests mit Lastenrädern der Hersteller Radkutsche und BAYK AG durchgeführt worden. Tests mit weiteren marktverfügbaren Lastenrädern zur Erweiterung der Performance-Daten der Lastenräder sind angedacht (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kennzahlen Lastenräder (63 Stopps, 22 km)

	Radkutsche	BAYK
	Modell Musketier	Modell Bring S
Versuchsstrecke TH-1		
Versuchsstrecke TH-1 [km]	21,96	22,34
Anzahl Stopps TH-1	63	63
Zuladung/Paketmasse [kg]	176	50
Fahrgewicht [kg]	70	70
Fahrzeit [h]:[min]:[s] ohne Haltezeit	1:25:25	1:12:30
Ø -Geschwindigkeit [km/h] in Bewegung	15,4	18,5
Max. Geschwindigkeit [km/h]	31	33,7
Ø -Herzfrequenz des Fahrers [bpm]	99	89
Max. Herzfrequenz [bpm]	141	127
Kalorienverbrauch [kcal]	747	550
Allgemeine Werte		
Maße Lastenrad inkl. Box LxBxH [m]	2,8x1,1x1,75	2,8x1,1x2,04
Leergewicht Lastenrad [kg]	115,1	242 (zwei Akkus)
Rollwiderstand [N]	10	30 – 40

3.4 Anpassung des Produkts

Die Anpassung des Produktes erfolgte im iterativen Vorgang mit den Ergebnissen von TH-internen Versuchsfahrten. Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Tests stellen hierbei eine Momentaufnahme dar, sodass der getestete Prototyp auf Grundlage der Ergebnisse weiterentwickelt und in weiteren Testläufen erprobt werden kann.

3.4.1 Allgemeine Feststellungen zum Stand der Lastenrad-Technik

Während des Projekts kamen mehrere Herausforderungen zum Vorschein, welche in der Entwicklungsphase nicht abzusehen waren. Besonders die Verknüpfung der vorgesehenen robusteren Motorradkomponenten mit den für die zulassungsfreie Verwendung in der Fahrzeugkategorie „Fahrrad“ vorgegebenen Fahrradkomponenten (z. B. Pedelec-Motor, Getriebe) erwies sich als herausfordernd. So waren bei den üblichen Zulieferbetrieben Bauteile zur Integration der Fahrrad- mit den Motorradkomponenten kaum zu finden. Das führte allgemein dazu, dass Sonderkonstruktionen und damit auch die entsprechenden Fertigungsmaschinen vonnöten sind, welche hohe Anforderungen an Fertigungstoleranzen stellen. Bei den bisherigen Tests wurde auch festgestellt, dass die für den Consumer-Bereich entwickelten Pedelec-Motoren für den gewerblichen Einsatzzweck nicht ausgelegt sind (da diese auf die Last einer Person mit maximal mit etwas Gepäck ausgelegt sind, nicht aber auf hohe Zuladungen). Die Motoren überhitzten und regelten die Unterstützungsleistung auf ein Minimum herunter.

Aufgrund einer fehlenden Normung für den Anschluss des Motors entwickelt jeder Hersteller sein eigenes System, was dazu führte, dass in Verbindung mit den bereits verbauten Motorradkomponenten neue Anschlüsselemente entwickelt werden mussten bzw. müssen. Nach sorgfältiger Recherche seitens des Entwicklungsbüros b&p engineering mobility verblieb deutschlandweit weniger als eine Handvoll Zulieferer, welche versprachen, den Lastenheft-Anforderungen gewachsen zu sein. Auch beim Getriebe baut jeder Hersteller sein eigenes System. In Folge werden nur bestimmte Motor-Getriebe-Kombinationen angeboten (z. B. EMGR, Oechsler). Auch zur Implementierung eines Rückwärtsganges hatten die von b&p mobility angefragten Getriebehersteller noch keine compatible Lösung. Dies führte zu Verzögerungen bei der Entwicklung des LEV, was dessen Abschluss zum Ende der Projektlaufzeit verhinderte.

3.4.2 Anbindung des LEVs an die digitale Plattform

Die Einbindung der Bordelektronik des LEVs an eine digitale Plattform wird von allen Seiten als notwendig erachtet, jedoch erreichte der LEV-Prototyp während des Projektlaufzeit nicht den Reifegrad, um die von T-Systems entwickelte Software direkt zu integrieren. Dadurch konnte bis zum Ende der Projektlaufzeit von keinem Projektpartner eine Sensorik zur Datenerfassung bereitgestellt werden. Um die vorhandene Softwarelösung zur dynamischen Tourenplanung von Lastenrädern dennoch weiterzuentwickeln, wechselte T-Systems vom Projekt LEV@KEP stattdessen zum Projekt VALUE@SERVICE. Mit handelsüblichen Devices kann die digitale Plattform an allen Lastenrädern eingesetzt werden. So konnte das Thema Tourenplanung fahrzeugunabhängig betrachtet werden.

3.5 Fazit

Die Verzögerungen bei der Entwicklung des LEV-Prototyps führten dazu, dass mit den bis zum Projektende 31.12.2019 durchgeführten Tests nicht die Einsetzbarkeit des Prototyps für den realen KEP-Einsatz anhand des Lastenhefts geprüft wurde. Die durch die TH durchgeführten Testfahrten unterstützten den Entwickler allerdings in der technischen Produktentwicklung: Insbesondere wurde die Hinterachse komplett überarbeitet, ein neues Motorenkonzept mit neuen Lieferanten nebst erforderlichem Getriebe entwickelt, sowie neue Lieferanten für robuste Transportboxen einbezogen. Erst im Sommer 2020 kann mit Fahrzeugen gerechnet werden, die für einen Praxistest im Realbetrieb geeignet sind. So war es bisher nicht möglich, die einzelnen Anforderungspunkte des Lastenhefts sorgfältig zu prüfen. Allerdings waren die ersten Versuche mit dem Prototyp 2 des A-N.T.-Cargo 4 im Jahr 2020 hinsichtlich Fahrwerk und Bremsen zufriedenstellend. Die Themen Antrieb, Antriebsstrang, Batteriemanagement und Akkuleistung erforderten beim getesteten Fahrzeug noch Entwicklungsarbeit seitens b&p mobility bzw. der Zulieferindustrie.

Bei der Zulieferindustrie konnte beobachtet werden, dass es nur wenige bis keine KomponentenhHersteller gibt, welche die Anforderungen für die im Projekt angestrebte, zu entwickelnde Fahrzeugkategorie „schweres Lastenrad“ erfüllen. Das Knowhow in diesem Bereich ist von den Zulieferern zu erarbeiten. Diesen Prozess erschwert allerdings die zurückhaltende Nachfrage der dieser Fahrzeugkategorie „Schwerlastenrad“ aufgrund mangelnder Zuverlässigkeit der Standardkomponenten und fehlender Serviceinfrastruktur.

In der Projektlenkungskreis-Sitzung vom 16.10.2019 wurde aufgrund der Verzögerungen eine Verlängerung der Testphase je nach Verfügbarkeit der Prototypen in das Jahr 2020 beschlossen, so dass die erichteten Testergebnisse lediglich einen Zwischenstand zur Veranschaulichung der Testmethodik wiedergeben.

Weiterhin hat sich im Verlauf des Projektes gezeigt, **dass die weitergehende Entwicklung des LEV zu einer zulassungspflichtigen Variante nicht zielführend ist.** Diese zulassungspflichtige Variante würde, genauso wie ein vergleichbarer Transporter oder ein BEV, die reguläre, auf Kfz

basierende Infrastruktur nutzen und dadurch die Vorteile eines Fahrrads verlieren. Es würden dadurch keine logistischen Vorteile im Vergleich zu einem regulären Transporter oder einem BEV entstehen. Besonders von den Vertretern der KEP-Unternehmen kamen Rückmeldungen, dass die Benutzung der Radwege essentiell für ein „fahrradbasiertes“ Fahrzeug mit (im Vergleich zu einem regulären Nutzfahrzeug) reduzierten logistischen Nutzvolumen ist. Auch das – in Nürnberg durch die Stadt erteilte Ausnahmegenehmigungen – „Überfahren von Bordsteinen“ oder das (unter bestimmten Restriktionen genehmigte) Abstellen auf Gehsteigen und die dadurch entstehenden reduzierten (auch fußläufigen) Verkehrswege gehören zu einem großen Vorteil eines LEVs.

Aus diesen Gründen wurde die Entwicklung der zulassungspflichtigen Variante zurückgestellt.

4 Das Teilprojekt 2: VALUE@SERVICE

Zur Erhöhung des wirtschaftlichen und nachhaltigen Potenzials des Mikro-Depot-Konzepts können, aufbauend auf der vorhandenen, stationären Struktur, weitere Geschäftsmodelle, sogenannte VAS, integriert werden. Allgemein zählen hierzu folgende logistischen Dienste: Aktualisierte Sendungsverfolgung, „Same-Day-Delivery“, „Next-Day-Delivery“, Lieferung mit Lieferfenster und die Rückführung von Retouren. Zu Projektbeginn wurde das Potenzial der Verfügbarkeit von Same-Day-Delivery für den Endkunden (B2C) bis Ende 2016 lediglich in Ballungsräumen genutzt (siehe Abbildung 10). Diese Situation resultiert aus der Konzentration auf Städte, wegen der dort höheren Lieferdichte. Die Vorreiterrolle eines amerikanischen Onlinehändlers bei den zeitnahen Belieferungen – begünstigt durch zusätzliche Premium-Angebote – zeigt die Notwendigkeit, das auch andere Anbieter auf höhere Servicelevel mit kurzen Lieferzeiten, verlässlichen Lieferzeitfenstern und Flexibilität achten. Mit geeigneten Konzepten ist es möglich, die Verfügbarkeit von logistischen Mehrwertdiensten für die Endverbraucher zu erhöhen und logistische Wettbewerbsvorteile für den Handel zu generieren. Das MDK entwickelt sich dann entsprechend zum MDK-XXL bzw. μ -XXL, je nachdem, welche Zusatzleistungen beansprucht werden.

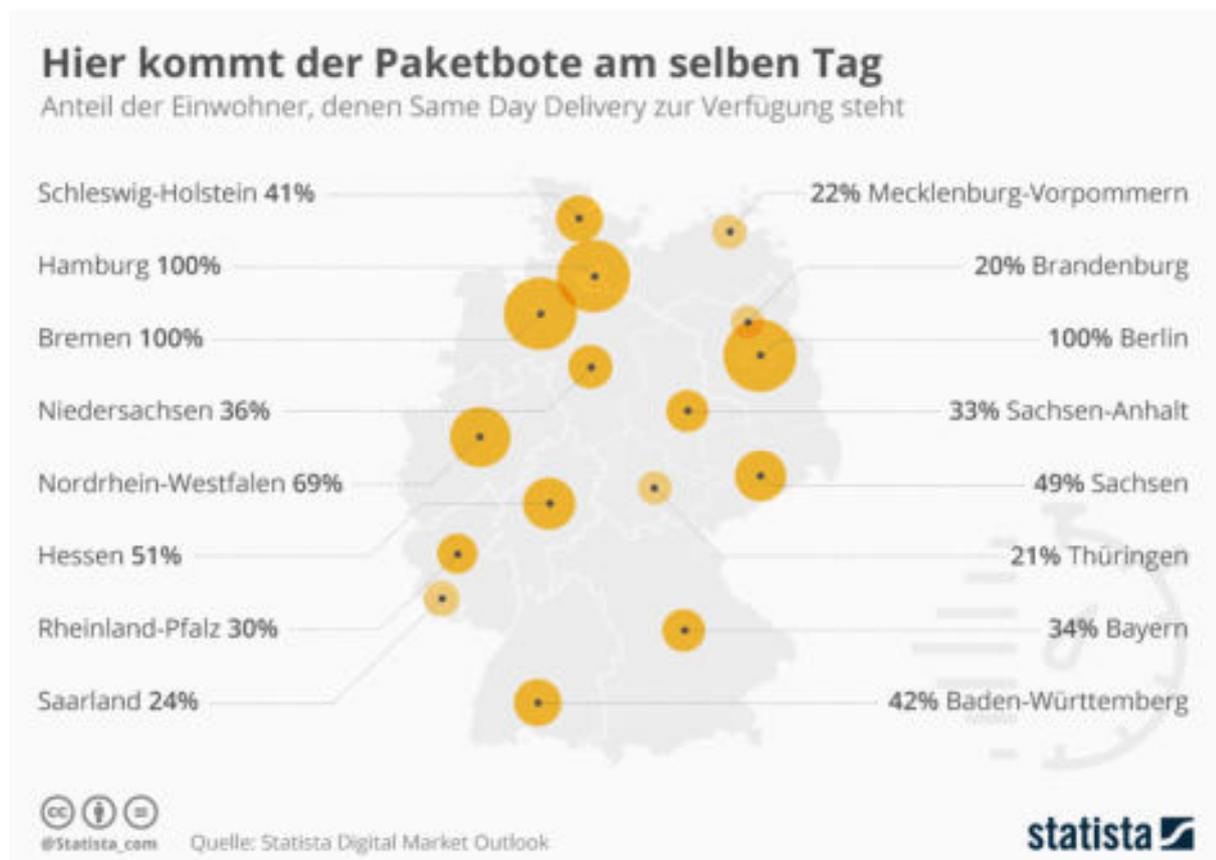


Abbildung 10: Angebotene Same-Day-Delivery in Deutschland 2016

Lediglich 13 % der Online-Käufer nutzten gemäß einer Umfrage im April 2016 ein Same-Day-Delivery-Angebot.⁹ Erhebungen von Daten des Einzelhandels bestätigen den Trend zur Ausweitung

⁹ <https://de.statista.com/infografik/4740/das-spricht-gegen-same-day-delivery/> (Zugriff am 06.02.2020).

logistischer Mehrwertdienste. Im Jahr 2019 planten 38 % der befragten Händler eine Ausweitung der Lieferangebote (siehe Abbildung 11), wobei nicht zwischen stationärem- und Onlinehandel unterschieden wurde. Geschwindigkeit und Planbarkeit der Lieferungen scheinen wichtige Argumente für Käufer zu sein.

Im Projekt VALUE@SERVICE bestanden zwischen den beteiligten Partnern, der DPD Deutschland GmbH und dem 4PL-Dienstleister¹⁰ Tiramizoo, gemeinsame Schnittstellen. Diese sollen die Auslastung des stationären Depots erhöhen. Tiramizoo bietet softwarebasierte, flächendeckende sowie taggleiche Lieferungen innerhalb eines bestimmten Gebietes an und kann diese innerhalb eines vom Kunden ausgewählten Zeitfensters am selben oder am nächsten Tag zustellen.



Abbildung 11: Bedeutung der Liefergeschwindigkeit und Planungen von Händlern¹¹

Hierzu nutzt der Anbieter als 4PL-Unternehmer keine eigene Logistikhardware und greift stattdessen auf lokal agierende Kurierdienste zurück. Durch dieses Vorgehen wird es möglich, Auftragsabwicklungen von Same-Day-Lieferungen des stationären Einzelhandels zum regionalen B2C-Kunden anzubieten, was die Attraktivität des stationären Einzelhandels insgesamt erhöht.

Der konzeptionelle Ansatz einer KEP-Lastenradlogistik mittels Mikro-Depot-Konzept und mit einer Schnittstelle zur Integration des Angebots aus dem Einzelhandel (inklusive mit einer Same-Day-Lieferung oder Next-Day-Lieferung) erhöht insgesamt die Auslastung des Mikro-Depots und führt somit zu einer höheren Wirtschaftlichkeit für die Partner.

¹⁰ 4PL: Fourth-Party Logistics Provider / Viert-Partei Logistikdienstleister.

¹¹ <https://www.handelsdaten.de/liefersgeschwindigkeiten-nach-hause> (Zugriff am 06.02.2020).

Der Wettbewerb um zügige Paketauslieferungen durch logistische Dienste führt insbesondere in Innenstädten zu Herausforderungen, da gewerbliche Flächen sehr kostenintensiv sind und nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen. Durch eine hohe Wirtschaftlichkeit können solche Investitionen jedoch begründet werden. Um diese zu erreichen, müssen eine hohe Umschlagshäufigkeit und zuverlässige Mehrwertdienste (siehe Abbildung 12) angestrebt werden.



Abbildung 12: Vor- und nachgelagerte Mehrwertdienste eines Mikro-Depots XXL

Vorgelagerte Mehrwertdienste durch das Mikro-Depot setzen eine höhere Anpassungsfähigkeit und Flexibilität der Fahrer und Fahrerinnen, KEP-Dienstleister und deren IT- und Kommunikationsinfrastruktur voraus. Wenn Paketboten auf ihren Touren bereits in der Nähe sind oder im Idealfall bereits „vor der Tür“ stehen, wäre es eine Win-win-Situation, neben ausgelieferter Ware Pakete des Handels kurzfristig direkt aufzunehmen und zu transportieren. Die Einzelhändler könnten somit flexibler auf die Bedarfe der Endkunden reagieren und Ware, die im Laden bereits bezahlt wurde, ggf. noch taggleich (in den Abendstunden) zustellen lassen. Besonderes Augenmerk wird auf eine dynamische Tourenoptimierung in Echtzeit gelegt, die es ermöglicht, Same- bzw. Next-Day-Pakete direkt über das Mikro-Depot abzuwickeln. Der Fahrer oder die Fahrerin erkennt dadurch in Echtzeit, bei welchem Händler gerade ein Expressauftrag anfällt und kann diesen mit Hilfe der dynamischen Tourenplanung direkt in die reguläre Zustelltour integrieren. Durch die Bündelung der regulären mit der Expresslieferung können Same- bzw. Next-Day-Angebote kostengünstiger angeboten werden und einen echten Mehrwert für die Kunden und den Einzelhandel bieten. Hierzu benötigen die Fahrerinnen entsprechende Möglichkeiten zur Kommunikation mit dem Handel und der Kundschaft.

Weitere Möglichkeiten zur kooperativen Nutzung des Mikro-Depot-Konzepts ergeben sich aus der kooperativen Ressourcennutzung mit dem Pharmahandel. Hier konnte die Sanacorp Pharmahandel GmbH als Großhändler für Pharmaerzeugnisse als zusätzlicher Projektpartner gewonnen werden. So verfügt Sanacorp auch über ein eigenes logistisches Netzwerk mit stationären Depots (jedoch keinen Mikro-Depots) und eigenen Fahrzeugen, die die städtischen Apotheken mehrmals am Tag

Das Teilprojekt 2: VALUE@SERVICE

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

mit bestellten Medikamenten beliefern. Die Möglichkeiten für konsolidierte Touren und Wege mit den KEP-Dienstleistern und Apothekenbelieferungen wurden geprüft. Auch die Anforderungen für eine gemeinsame Nutzung eines Mikro-Depots wurden ermittelt.

Ein bereits bestehender Kontakt zu T-Systems-International wurde ausgebaut und das Unternehmen trat während des Projekts als Partner bei. Neben fahrzeugspezifischen Anbindungsmöglichkeiten zur Erweiterung der Sensorik im Projekt LEV@KEP hatte T-Systems die Möglichkeit, eine unternehmensübergreifende Fahrradroutingplattform (Last Mile Routing Plattform) zur Verfügung zu stellen. Diese ermöglicht eine dynamische Abwicklung von Retouren abhängig vom Beladungszustand des Fahrzeugs. Zudem erlaubt sie eine automatische Disposition, ein LEV-optimiertes, dynamisches Routing, sowie eine Navigation für den Fahrer bis hin zu einer Kommunikation mit dem Empfänger. Als Basis für die Last-Mile-Routing-Plattform war die bereits im Rahmen von PaketChef verwendete Routingplattform vorgesehen, welche in ihrer gegenwärtigen Form für die Steuerung der Kfz-basierten Zustellung für Unternehmen der KEP-Branche verwendet wird. Auch die Überwachung der Anforderungen bzgl. GDP-Richtlinien für die Pharmabranche oder eine Erschütterungsmessung stellen mögliche Erweiterungen dar. Zu einer Umsetzung kam es jedoch mangels Fertigstellung des Lastenrads im Projekt LEV@KEP nicht, ein Testlauf ließ sich im geplanten Zeitraum während der Projektlaufzeit nicht realisieren.

4.1 Handlungsfelder & Arbeitspakete für logistische Mehrwertdienste

Nach Absprache mit den Projektpartnern DPD, Tiramizoo und Sanacorp wurden für das Projekt VALUE@SERVICE zunächst drei Handlungsfelder für den Zeitraum 07/2017 bis 12/2019 definiert:

Handlungsfeld 1, Same-Day-Delivery:

- GDP-Vorgaben für die Distribution von Pharmaerzeugnissen (Apotheken) und Same-Day-Food-Delivery (Einzelhandel) führen zu speziellen Anforderungen an LEV@KEP und vergrößern die Marktchancen des LEV
- Distribution von Pharmaerzeugnissen und Konsumgütern über längere Entfernungen führt zu speziellen Anforderungen an die LEV-Plattform im zulassungspflichtigen Bereich und vergrößern die Marktchancen des LEV
- Effizienzsteigerung durch Konsolidierungsprozesse und Kosteneinsparungen durch kooperative Nutzung von DPD-Mikro-Depots durch tiramizoo; Prüfung der zusätzlichen Nutzung von Sanacorp-Depots als Mikro-Depots; Erhöhung des Nutzungsgrads der Immobilien und Kostenteilung
- Unter Nutzung der 4PL-IT-Logistikdienstleistungen von tiramizoo können unter Beachtung der GDP-Vorgaben Pharmaerzeugnisse und Konsumgüter mit LEV noch am selben Tag ausgeliefert werden; Auftragsabwicklung Same-Day-Delivery vom stationären Einzelhandel zum regionalen B2C-Kunden sowie von Sanacorp-Depots zu Apotheken bzw. von Apotheken zum Kunden mit dem Mikro-Depot-Konzept, damit Vermeidung konventioneller Verkehre

Handlungsfeld 2, Next-Day-Delivery

- Synergieeffekte durch gemeinsame Nutzung der bestehenden DPD-Netzwerke
- Einspeisung von tiramizoo-Aufträgen in das DPD-Netzwerk über die Mikro-Depots
- Stärkung des stationären Einzelhandels durch das erweiterte Lieferangebot der Projektpartner, bspw. können sich Touristen Waren zu einem Wunschtage zu ihrer Unterkunft zustellen lassen

Handlungsfeld 3, Retourenabwicklung:

- Synergieeffekte durch gemeinsame Nutzung der bestehenden DPD-Netzwerke
- Tiramizoo-Retourenabwicklung durch Implementierung der Abholung auf den Mikro-Depot-Zustelltouren; Vermeidung zusätzlicher Verkehre

Der Zeitplan und die Arbeitspakete für die Handlungsfelder sind in Abbildung 13 zu sehen.

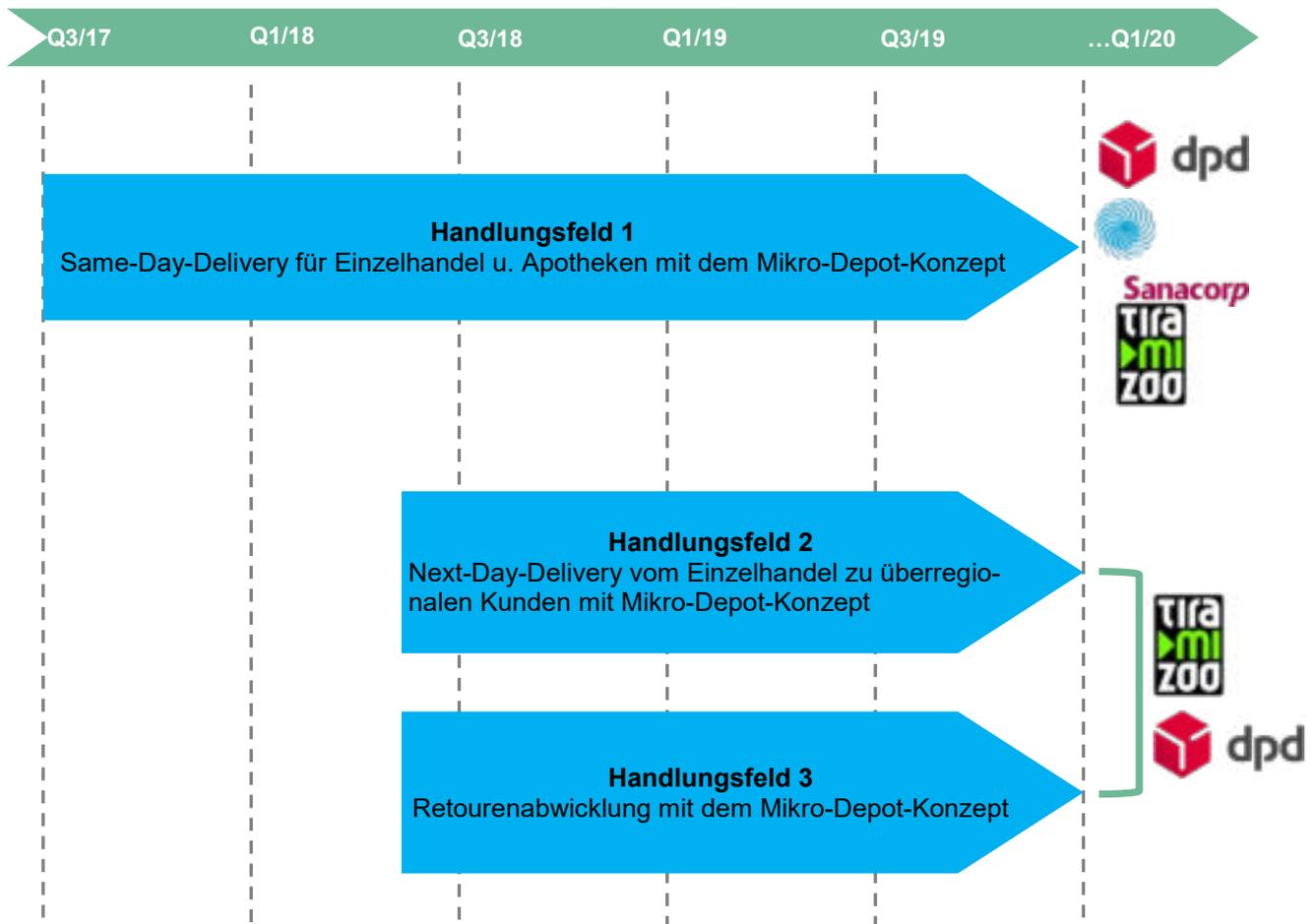


Abbildung 13: Zeitplan für das Projekt VALUE@SERVICE

Erste Workshops, welche die Möglichkeiten zur Umsetzung der Handlungsfelder diskutierten, ergaben größere Umsetzungsschwierigkeiten bei den beteiligten Partnern.

Die wesentlichen Hinderungsgründe für eine kooperative Depot-Nutzung waren:

- die hohen GDP-Anforderungen im Pharmabereich
- die Uneinigkeit bezüglich dem Auftreten bei Kunden (neutrales oder einseitiges oder auch kombiniertes Labelling der Zustellfahrzeuge/Zustellenden)
- eine fehlende digitale Erfassung der Fahrzeugauslastung während der Tour, um Retouren oder Same-Day, Next-Day mitanzubieten zu können
- die kooperative Nutzung des Mikro-Depots erschien dem Projektpartner DPD aufgrund der hohen Auslastung des bereits etablierten Mikro-Depots in den Stoßzeiten für nicht umsetzbar
- direkter Kundenkontakt von Sanacorp zu den Apotheken (B2B) essentiell
- Sanacorp beurteilt Fähigkeiten und Willen zur eigenständigen Umsetzung eines Mikro-Depots als einfacher umsetzbar

Dies führte dazu, dass die in Abbildung 14 definierten Handlungsfelder neu strukturiert werden mussten. Insgesamt wurden vier Arbeitspakete neu definiert, welche die strukturellen und technischen Probleme der Projektpartner berücksichtigten und die während der Projektphase dazugekommenen Partner miteinbinden.

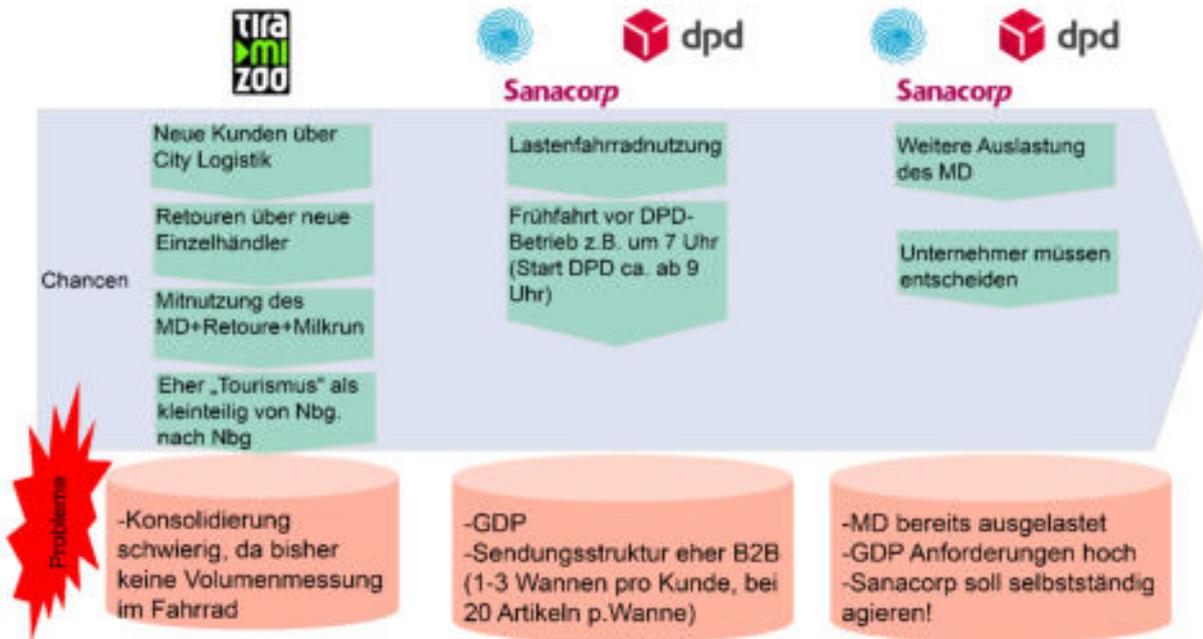


Abbildung 14: Chancen und Probleme der ursprünglich definierten Handlungsfelder

Die grundsätzliche Zielrichtung wird durch die Handlungsfelder verdeutlicht. Für eine Umsetzung mit den Projektpartnern wurden Arbeitspakete zur Erreichung von Zwischenzielen erstellt.

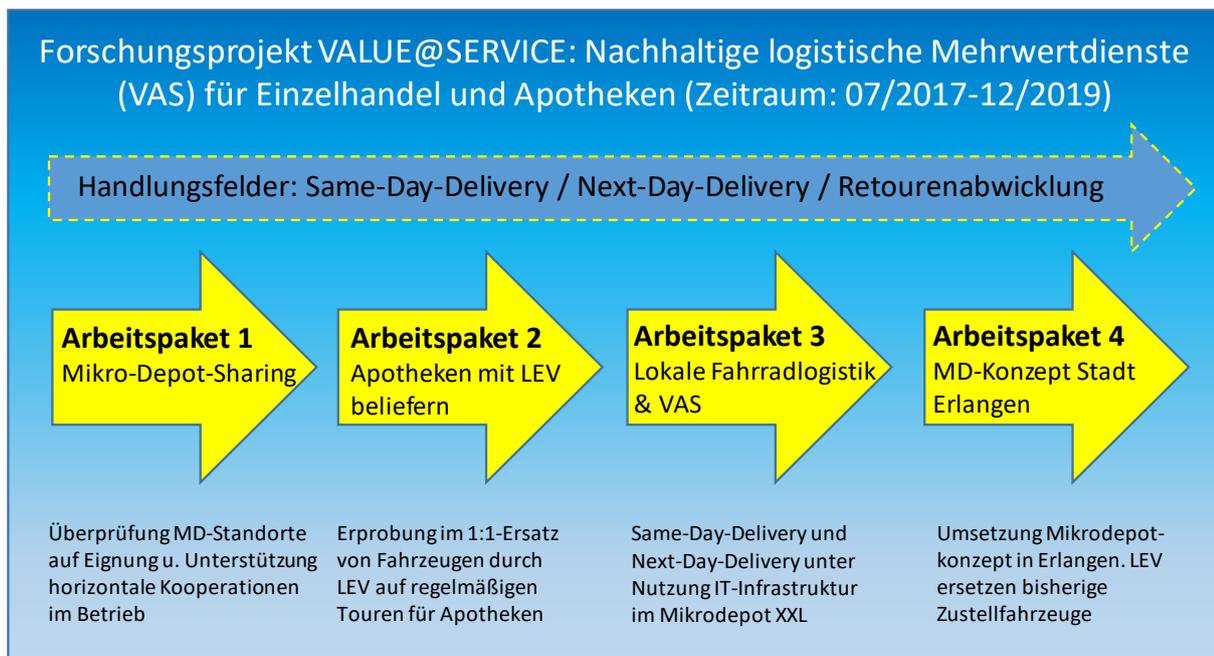


Abbildung 15: Umsetzung der Handlungsfelder VALUE@SERVICE in Arbeitspaketen 1 bis 4

4.2 Arbeitspaket 1: Mikro-Depot-Sharing

Ziele im Arbeitspaket 1 (Juli 2017 – Dezember 2019)

- Analyse der theoretischen Eignung bestimmter Flächen, um eine horizontale Nutzung eines Depotstandorts zu realisieren
- Nachweis der ökologischen und ökonomischen Mehrwerte durch die Zustellung mit dem Mikro-Depot-Konzept
- Simulation der neuen logistischen Prozesse beim Sharing anhand erhobener Daten
- Anmelden der Nutzung der neuen Lastenräder und Einholen eventueller Sondergenehmigungen bei der Stadt Nürnberg (SÖR¹²) und anderen beteiligten Kommunen
- Ausweitung Nicht-GDP-Medikamente aufs Mikro-Depot – Ausfahren von Medikamenten

Ziel des Arbeitspakets 1 war es, bereits bestehende Warendepots zukünftig gemeinschaftlich für unterschiedliche Nutzer nutzbar zu machen. Hierbei konnten auch unterschiedliche Branchen die Möglichkeit des Mikro-Depot-Sharings erwägen. Bei Nutzern aus unterschiedlichen Branchen ist möglicherweise sogar ein noch größeres Potenzial vorhanden, da diese die Kapazität des Mikro-Depots zu unterschiedlichen Tageszeiten belasten. Konkret bestand seitens der Paketdienstleister beispielsweise die Möglichkeit für Same-Day-Delivery-Dienste in den Abendstunden, da abends die während des Tages stattfindenden Zustelltouren der KEP-Dienste bereits keine Lagerkapazität im Depot mehr beanspruchen. Ähnlich verhält es sich beispielsweise in der Pharmabranche, die schon sehr früh am Morgen die erste Belieferung von Apotheken vornimmt. Zu dieser Zeit konsolidiert die KEP-Branche noch die Pakete im Hauptdepot, teilt sie auf die unterschiedlichen Touren auf und sortiert, was zur Folge hat, dass die Pakete sich noch nicht im Mikro-Depot befinden.

Des Weiteren lassen sich durch eine gemeinschaftliche Nutzung auch neue Mikro-Depot-Standorte etablieren, da sich die Kosten sich auf mehrere Nutzer verteilen. Da die Mietkosten des Mikro-Depots einen großen Anteil an der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems Mikro-Depot-Konzept haben, sind sie bezüglich der Entscheidung ein Mikro-Depot zu etablieren, was die Folge eines weiteren Umschlags der Waren hat. Wenn durch das Mikro-Depot-Sharing Kosten eingespart werden können, sinkt auch die Eintrittsbarriere hin zu einer Lastenradlogistik ein Stück weit.

Im Zuge der genannten Vorteile, sollte im Arbeitspakets 1 von VALUE@SERVICE konkret überprüft werden, ob unter den Projektpartnern DPD und Sanacorp eine horizontale Kooperation umgesetzt werden kann. Seitens Sanacorp wurde versucht, Flächen innerhalb der bestehenden Depots für DPD freizugeben, sodass die Räumlichkeiten bestmöglich genutzt werden können (räumlich und

¹² Service Öffentlicher Raum

zeitlich). Im Gegenzug sollte beispielsweise versucht werden das Mikro-Depot von DPD für die Belange von Sanacorp zu nutzen. Diese Möglichkeit auszuschöpfen ist aber generell schwieriger, da die Pharmabranche den sog. GDP-Richtlinien unterliegt. So ist die Branche gerade bei der Kühlung von Medikamenten und der dadurch verbundenen Einhaltung der Kühlkette sowie dem Umgang mit dem Betäubungsmittelgesetz besonderen Regelungen unterworfen, die durch die Logistikimmobilie „Mikro-Depot“ nicht zwangsläufig eingehalten werden können.

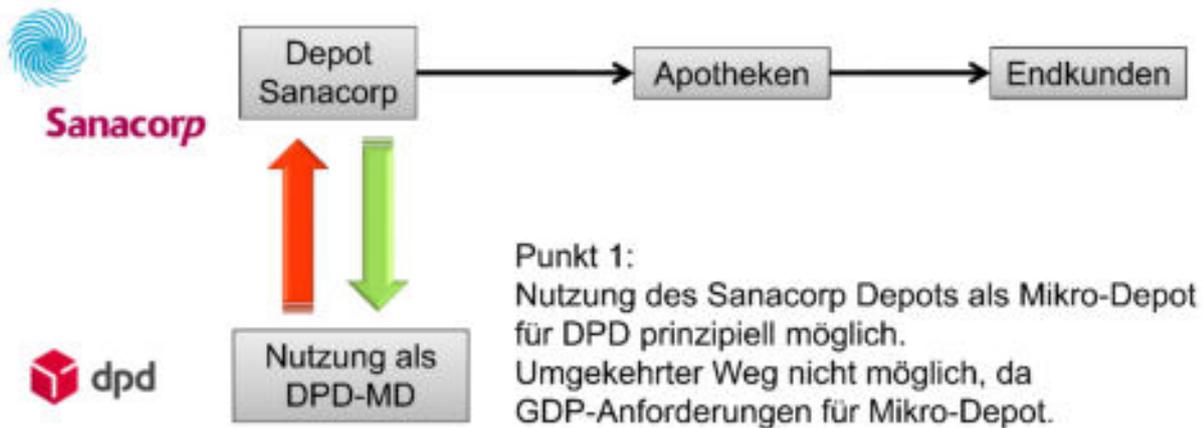


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Mikro-Depot-Sharings zwischen DPD und Sanacorp

Um die horizontale Kooperation so zu gestalten, dass dabei ein Mehrwert für alle Beteiligten entsteht, wurde die übliche Untersuchung für den Einsatz von Lastenrädern via Mikro-Depots am bereitgestellten Standort überprüft. Das Konzept wird generell nur bei Effizienzgewinnen und einer gegebenen Wirtschaftlichkeit durchgeführt. Die Untersuchung zieht stets eine Gebietsanalyse auf mikro- und makroskopischer Ebene nach sich, da ansonsten die Ziele der konzeptionellen Anpassung nicht erreicht werden können. Diese Analyse erfolgt sowohl vor der Umsetzung als auch im Laufe des betreffenden Projekts; dabei werden die logistischen Prozesse anhand der erhobenen Daten simuliert, mit dem Realbetrieb verglichen und zugleich optimiert.

Ob und inwieweit sich der Standort des Sanacorp-Depots für die Umsetzung eines Mikro-Depot-Standorts eignet, war Gegenstand einer umfassenden Datenanalyse. Dabei wurden die angrenzenden Gebiete, die in Reichweite liegen, analysiert.

Dabei kommt die LFF-Methodik¹³ zur Anwendung, bei der nach einem durch die TH Nürnberg entwickelten Algorithmus Adressen, die für eine Lastenradzustellung wirtschaftlich sind, ausgewählt werden können. Pakete, die dort zugestellt werden, werden als LFF-Pakete bezeichnet, alle anderen als NLFF. Allein die Anzahl der LFF-Stopps besitzt noch keine hinreichende Aussagekraft bezüglich

¹³ LFF= lastenradfähig, bzw. lastenradfähige Sendung; NLFF = nicht lastenradfähig bzw. nicht lastenradfähige Sendung. Siehe Abschlussbericht Mikro-Depot-Konzept; https://www.c-na.de/fileadmin/templates/global/media/Pedelistics/Download/Abschlussbericht_Mikro-Depot-Konzept_Nuernberg.pdf

einer wirtschaftlichen Umsetzung. Stets muss die Methodik auch mit einer geographischen Analyse verknüpft werden. Da sich das Sanacorp-Depot in einem Gewerbegebiet in Stadtrandlage befindet, ist die Anfahrt in die von LFF-Stopps geprägten, anliegenden Gebiete relativ weit und trägt nicht zu einer wirtschaftlichen Umsetzung bei. Um diese Gebiete mit Lastenrädern zu beliefern, müsste immer eine sehr lange Strecke zurückgelegt werden, wodurch die Touren unwirtschaftlich werden würden. Auch aus technischer Sicht könnten bei bestimmten Lastenradmodellen Reichweiteprobleme aufgrund der begrenzten Akkukapazitäten auftreten, sodass diese Möglichkeit nicht weiter betrachtet wurde.

Anmerkung: Neuere Lastenradmodelle verfügen über größere Reichweiten und könnten diese Strecke vielleicht abbilden, jedoch wären hier weitere Untersuchungen notwendig, da es darauf ankommt, ob die Anfahrtstecke zum ersten Stopp dennoch so viel Zeit in Anspruch nimmt, dass die gesamte Tour nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann.

In vielen Städten wie z. B. in Erlangen (vgl. S. 72) und in Fürth gibt es ein Problem bei einer Analyse auf Basis von Postleitzahlengebieten, da sie beispielsweise im Verhältnis zu Nürnberg eine große Ausdehnung besitzen. Dies liegt an der im Gegensatz zu Nürnberg, wo das Mikro-Depot-Konzept schon erprobt und die positiven Auswirkungen bestätigt werden konnten, verhältnismäßig geringen Einwohnerzahl von 127.748 Personen (Stand 31.12.2018, Nürnberg: 515.201 Personen) und der damit grundsätzlich geringeren Einwohnerdichte. Das gesamte Stadtgebiet ist in nur fünf Postleitzahlengebiete gegliedert, was im Sinne einer Kennwertanalyse zu einer Pauschalisierungsproblematik führt. Ein Wert wie beispielsweise LFF pro km² ist dadurch im Verhältnis zu anderen Städten nicht vergleichbar. Generell ist es schwierig, auf diesem Wege Städte miteinander zu vergleichen, da auch die Größe des Stadtgebiets in keiner Relation zu den Einwohnern steht. Hat Erlangen eine Ausdehnung von 76,95 km² und knapp über 100.000 Einwohner, so hat Nürnberg bei einer Ausdehnung von 186,5 km² über 500.000 Einwohner, was eine höhere Einwohnerdichte vermuten lässt. Jedoch werden auch Flächen der Landwirtschaft, die sich vor dem bebauten städtischen Gebiet befinden, zur gesamten städtischen Ausdehnung dazugerechnet, was einen Vergleich weiter erschwert. Würden demnach auf Basis dieses Kennwertes Städte miteinander verglichen, würde viel Potenzial unerkannt bleiben, da die Kennwerte im Verhältnis zu großen Großstädten wie Nürnberg sehr klein ausfallen würden.

Um den Fehler zu minimieren bzw. auszuschließen, dürfen demnach nur Teilgebiete innerhalb der Postleitzahlen betrachtet werden. Ansonsten kann es sein, dass das gesamte Postleitzahlengebiet durch Wälder oder landwirtschaftliche Flächen geprägt ist, welche den Quotienten im Kennwert LFF pro km² beeinflussen. Dieses Phänomen tritt vor allem in kleineren Städten auf, da in Großstädten die Postleitzahlen eine viel kleinere räumliche Ausdehnung besitzen. Demzufolge wäre eine Kennzahlenanalyse nicht zielführend, da Gebiete, die durch diese Herangehensweise augenscheinlich

nicht profitabel wirken, viel zu schnell ausgeschlossen werden würden, obwohl ihnen bei kleinräumiger Betrachtung ein viel größeres Potenzial innewohnt.

Die Analyse um den Sanacorp-Standort in Fürth bestätigte außerdem nochmals, dass die Analyse auf Adressebene durchgeführt werden muss, da die Straßenebene problematisch ist, wenn gewerbliche Anbieter auf das gesamte Stadtgebiet verteilt sind. Dies hat nämlich zur Folge, dass der LFF-Algorithmus viele Straßen ausschließt, von denen große Teile trotz Ausschluss mit dem Lastenrad bedient werden könnten.¹⁴

Ähnlich schwierig ist deswegen auch die Belieferung der Zielgebiete Oberasbach bzw. Zirndorf. Hinzu kommen auch hier zeitliche Verluste durch die Lagemissgunst des Sanacorp-Standorts in Bezug auf den Kanal und die Südwesttangente. Die gegebene Infrastruktur lässt keinen direkten Weg in das Zielgebiet zu, sodass Umwege gefahren werden müssten (vgl. Abbildung 17). Dies hat bei der Belieferung durch das Lastenrad größere Auswirkungen als mit der konventionellen Zustellmethode, da die Transporter bei längeren Entfernungen und Anfahrtswegen ins Auslieferungsgebiet klare Vorteile haben.

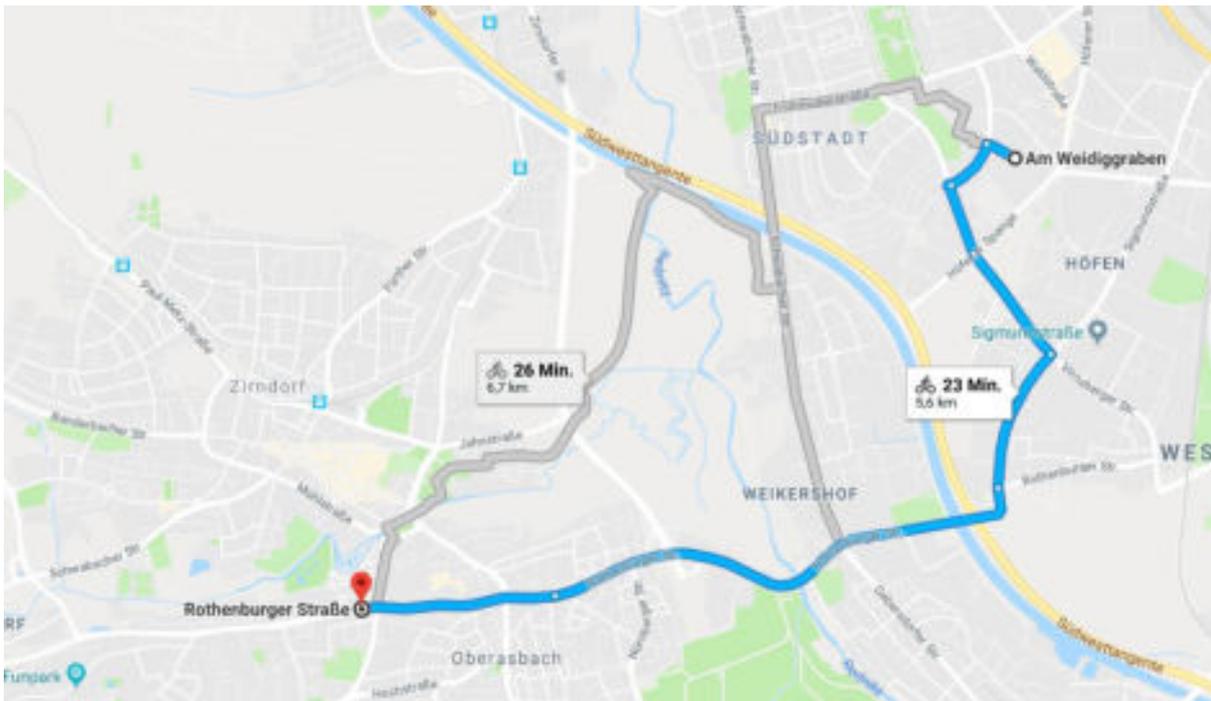


Abbildung 17: Anfahrtsstrecke und Auslieferungsgebiet Oberasbach und Zirndorf

Die Anfahrt nach Oberasbach dauert mit dem Fahrrad knapp über 20 min (durch Elektrounterstützung etwas schneller), was insgesamt eine sehr lange Anfahrtsstrecke für Lastenräder ist, da in dieser Zeit keine Pakete zugestellt werden können.

¹⁴ Zur Funktionsweise des Algorithmus auf Adressebene vgl. Abschlussbericht zur Nachhaltigen Stadtlogistik

Alles in allem konnte ein Mikro-Depot-Standort am Sanacorp-Depot aufgrund der Einschränkungen bei den Zustellzeiten durch die weiten Anfahrtswege nicht empfohlen werden. Technisch wären die Touren in die Innenstadt und nach Oberasbach/ Zirndorf möglich, müssten aber durch reale Testfahrten validiert werden, da der Zeitverlust auch je nach Zustellfahrer unterschiedlich hoch ausfällt. Tests durch eine Tourenplanungssoftware wurden durchgeführt und ergaben teilweise Streckenlänge von über 50 km (vgl. Abbildung 18). Ungeachtet der Länge könnten in der Theorie fünf Lastenräder für nahezu jeweils 8 h eingesetzt werden. Allerdings wären diese nicht vollständig ausgelastet und könnten nicht die laut Konzept erwünschten 100 Stopps pro Tour leisten, da die Zeit, die durch die Anfahrt verloren wurde, nicht für die Zustellung von Sendungen verwendet werden könnte. Das würde zur Überschreitung der Höchstarbeitszeit von 8 h führen. Die verlorene Zeit bewirkt nach den ersten Untersuchungen somit zu hohe wirtschaftliche Einbußen, sodass, wie beschrieben, der Standort für ein Mikro-Depot-Konzept nicht empfohlen werden konnte.

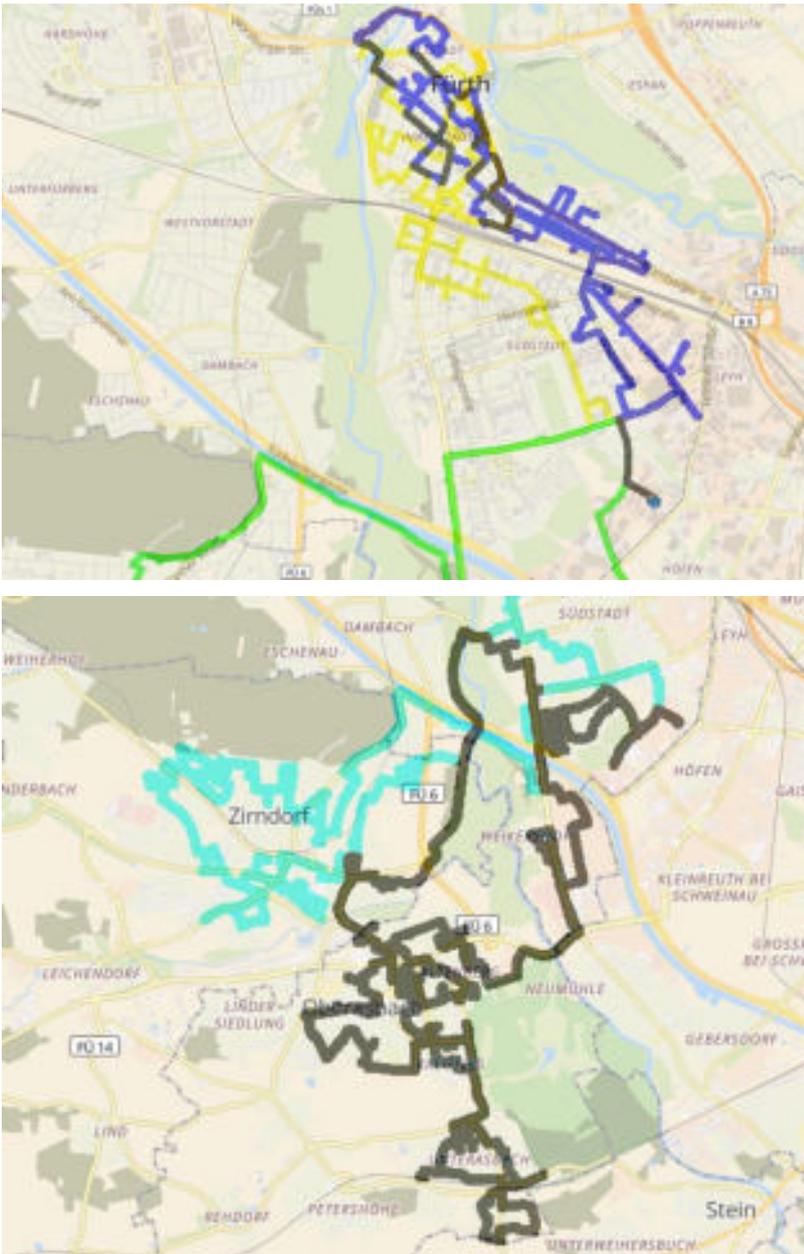


Abbildung 18: Simulierte Touren ab potenziellem Ausgangsdepot Sanacorp als Mikro-Depot für DPD

4.3 Arbeitspaket 2: Apothekenbelieferung mit Lastenrädern

Ziele im Arbeitspaket 2 (Juli 2017 – Dezember 2019)

- Analyse der von Sanacorp bereitgestellten Daten
- Visualisierung der Fürther Sanacorp-Niederlassung und aller von Sanacorp belieferten Apotheken
- Herausarbeiten der durch eine Lastenradzustellung zu ersetzenden Touren
- Prüfen der Vereinbarkeit des neuen Konzepts mit bestehenden Verträgen der Sanacorp mit den belieferten Apotheken zu vertraglich geregelter Zeitfenstern, Lieferzeiten etc.
- Analyse der bestehenden Touren und Nachweis der Möglichkeit eines 1:1 Ersatzes eines bisherigen Fahrzeugs durch ein Lastenrad (Masse, Volumen, Zeitfenster etc.)
- Weitere Analysen, praktische Tests und Simulation der neuen Touren
- Begleitung des neuen Auslieferungsprozesses und Auswertung der neuen Touren

4.3.1 Testfahrten



Um die Lastenradbelieferung durch Sanacorp umzusetzen, wurden im Zuge des Projektes u. a. die Daten der zu beliefernden Apotheken sowie Zeitfenster der Zustellung, bestehende Touren, Volumina und Gewicht der Sendungen analysiert (wie im vorherigen Kapitel beschrieben).

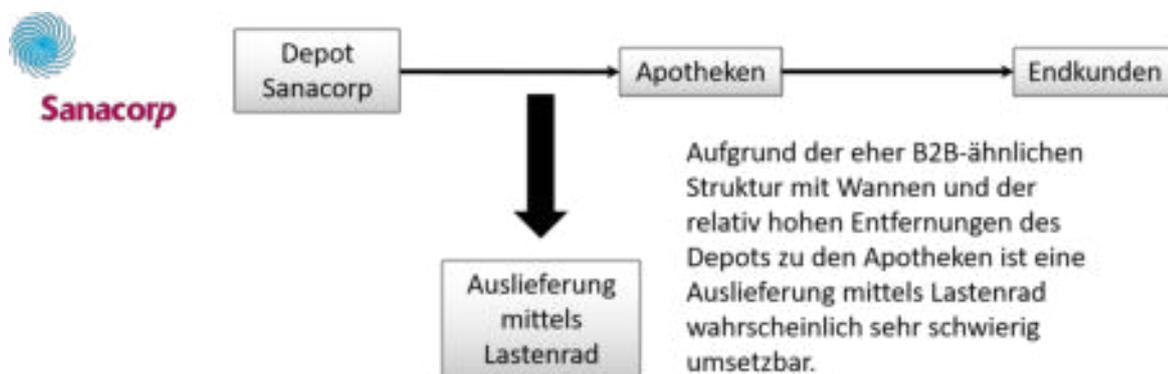


Abbildung 19: Überprüfung der Touren auf Tauglichkeit mit Lastenrad (Punkt 2)

Dabei sollte überprüft werden, welche der bestehenden Touren durch Lastenräder ersetzt werden können, um so zu Beginn des Projekts die möglichen Touren einzuschränken. Anders als in der KEP-Branche, die tagtäglich unterschiedliche Touren fahren muss, hat die Pharmabranche bestehende Verträge mit den zu beliefernden Apotheken. Diese sind beispielsweise zeitlich restringiert und intern bereits in Rahmentouren eingebettet. Anders als in der KEP-Branche sollten die Touren 1:1 durch Lastenräder ersetzt werden. Dabei musste auch geprüft werden, ob die vertraglich geregelten Belieferungszeiten und die Häufigkeit der Anlieferung bzw. die Reihenfolge der Tour auch

weiterhin genauso realisiert werden können. Um diese strikten Pharma-Vorgaben einzuhalten, sollten die Simulationen durch reale Testfahrten und weitere praktische Tests überprüft und anschließend umgesetzt werden. Dabei sollte der neue Auslieferungsprozess wissenschaftlich begleitet werden, indem beispielsweise die neuen Touren ausgewertet werden, wodurch neue Erkenntnisse in Bezug auf das Mikro-Depot-Konzept errungen werden können (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Testlastenrad „Radkutsche Musketier“, Beladung mit Sanacorp-Transportwannen

4.3.1.1 Reale Touren

Um die Umsetzbarkeit der Tourstopp-Zeitvorgaben mit einem Lastenrad zu überprüfen, wurde im Rahmen einer Masterarbeit eine reale Sanacorp-Tour mit dem Lastenrad nachgefahren. Dazu wurden zwei Touren gefahren, eine mit Lastenrad und Kfz (Tour 1 in Tabelle 2) und eine nur mit dem Lastenrad (Tour 2), unter Verwendung der Haltezeiten aus Tour 1. An jedem Stopp sollte zwei Minuten für Be- und Entladen gehalten werden. Dieses Zeitfenster ergab sich aus dem vorherigen Abfahren der realen Tour mit einem Sanacorp-Fahrzeug. Das Ergebnis bestätigte, dass der Pedelec-Lastenradfahrer die zeitlichen Vorgaben der Kfz-Tour einhalten kann (Gaubitz, 2018).

Tabelle 2: Sanacorp-Touren – Kfz und Lastenrad im Vergleich

Tour 1 Kfz						
Haltepunkt	Fahrzeit [min]	Dauer Ent-/Beladen [min]	Summierte Fahrzeit [min]	Ankunft [soll]	Ankunft [ist] + Ent-/Beladen	Abweichung
Sanacorp Fürth				Abfahrt 10:05	Abfahrt 10:03	-2
Apotheke 1	5	2	5	10:20	10:08	-12
Apotheke 2	2	2	7	10:25	10:12	-13
Apotheke 3	3	3	10	10:30	10:17	-13
Apotheke 4	11	3	21	10:35	10:32	-3
Apotheke 5	1	2	22	10:50	10:35	-15
Sanacorp Fürth	10		32		10:47	
Tour 1 Lastenrad						
Haltepunkt	Fahrzeit [min]		Summierte Fahrzeit [min]	Ankunft [soll]	Ankunft [ist] + 2 min Ent-/Beladen	Abweichung
Sanacorp Fürth				Abfahrt 10:05	Abfahrt 10:05	
Apotheke 1	7		7	10:20	10:12	-8
Apotheke 2	3		10	10:25	10:17	-8
Apotheke 3	5		15	10:30	10:24	-6
Apotheke 4	5		21	10:35	10:31	-4
Apotheke 5	2		23	10:50	10:34	-16
Sanacorp Fürth	12		35		10:46	
Tour 2 Lastenrad						
Haltepunkt	Fahrzeit [min]		Summierte Fahrzeit [min]	Ankunft [soll]	Ankunft [ist] + 2 min Ent-/Beladen	Abweichung
Sanacorp Fürth				Abfahrt 11:40	Abfahrt 11:40	
Apotheke 1	4		4	11:45	11:44	-1
Apotheke 2	7		11	11:50	11:53	+3
Apotheke 3	9		20	12:02	12:02	0
Apotheke 4	2		22	12:15	12:04	-11
Apotheke 5	3		25	12:20	12:07	-13
Apotheke 6	2		27	12:25	12:09	-16
Sanacorp Fürth	12		39		12:21	

4.3.1.2 Temperaturgeführte Fahrten

Das Team hat temperaturgeführte Testfahrten in zwei Belastungskategorien durchgeführt: Sommerliche Hitzebedingungen und winterliche Kälte, jeweils orientiert an den deutschen Durchschnittsbedingungen des Wetters.

Dabei stellten sich jeweils folgende **Forschungsfragen**:

- Ist der Aufbau des Lastenrads bei Hitze bzw. Kälte geeignet, um Medikamente innerhalb des gewünschten Temperaturbereichs zu transportieren? (Temperatur-Messung)
- Wird die Ware beim Transport beschädigt? (Erschütterungs-Bewertung)
- Wie lange dauern die Fahrten? (Zeit-Messung)

Tabelle 3: Übersicht zu den temperaturkritischen Touren

Anforderungen

Wert	Zielbereich	Toleranzbereich
<i>Temperatur</i>	Temperaturbereich „Kühlkette“: 2 bis 8 °C	30 min über/unter Grenzwert
	Temperaturbereich „ambient“: 15 bis 25 °C	30 min über/unter Grenzwert
<i>Erschütterung</i>	Keine Beeinträchtigung der Ware	–
<i>Fahrtzeiten</i>	<= Fahrzeit konventionelles Fahrzeug	–

Datenerfassung

Wert	
<i>Temperatur</i>	Datenlogger (8 in der Box, 1 außen)
	Messintervall: 5 min
	Messdauer: 2 Wochen
	Temperaturlogger (in Wannen/Kühlboxen))
<i>Fahrtzeiten</i>	Von Hand in Tourenliste

Der Verteilung der Datenlogger, welche die Lufttemperatur in voreingestellten Intervallen erfassten, sah wie folgt aus. Durch die Verteilung oben, unten, vorne und hinten sollte der Einfluss der Nähe zur Tür und der Lagerungshöhe im Aufbau erfasst werden.

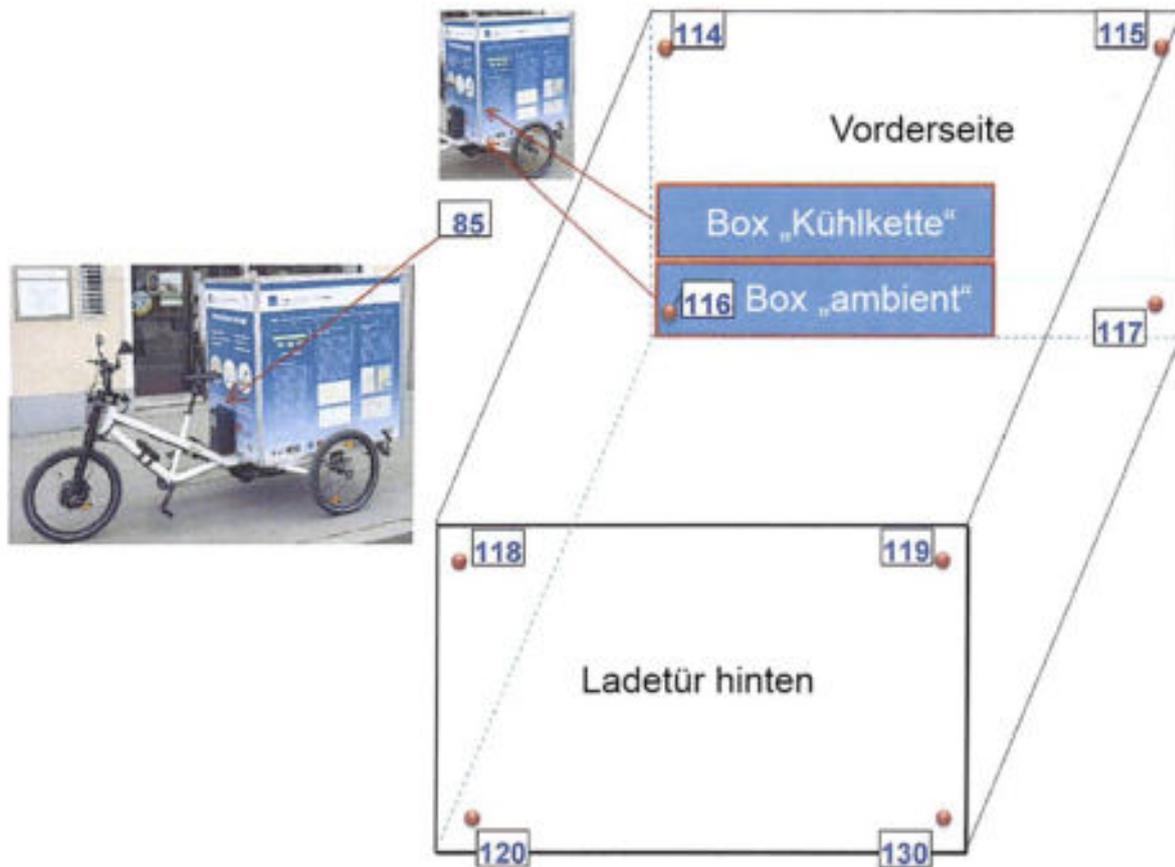


Abbildung 21: Verteilung der Temperaturlogger im Aufbau

4.3.1.3 Sommerliche Bedingungen

Vom 18. bis 31. Juli 2018 führte das Team neun Lastenradtests einschließlich Temperaturmessungen (Transportbox ohne Isolierung zur Ermittlung von Basiswerten beim Wärmeübergang) durch. Darunter waren sieben reale Touren mit kurzen Apothekenstopps, eine Messung der Dauerbestrahlung bei direkter Sonneneinstrahlung und eine Langstreckenfahrt mit vielen Stopps (alle zehn Minuten). Bei Stopps hat das Team jeweils die Tür der Transportbox geöffnet und geschlossen und zwei bis drei Minuten gewartet, um eine Auslieferung zu simulieren. Dabei konnte auch heiße Außenluft in die Box strömen.

Die durchschnittlichen Außentemperaturen der Fahrten lagen zwischen 24,5 °C und 35,5 °C (laut Deutscher Wetterdienst/DWD).

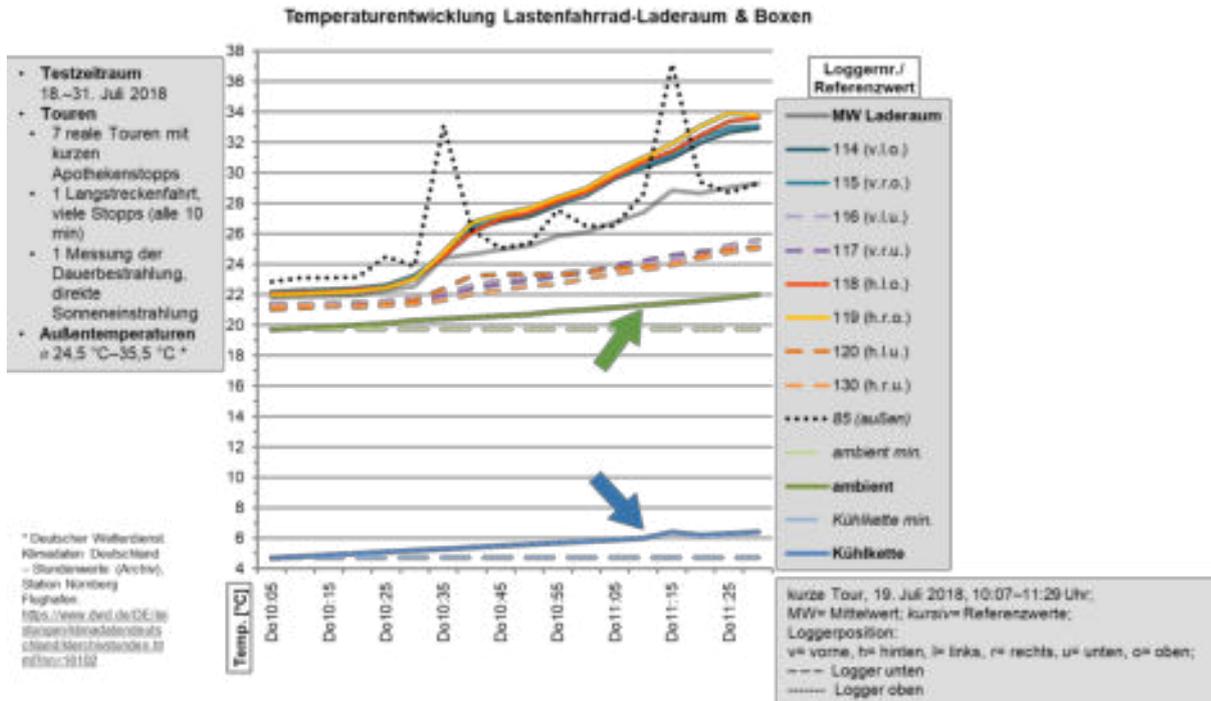
Zwischenergebnis der Hitzetests:

- Ist der Aufbau des Lastenrads bei Hitze geeignet, um Medikamente innerhalb des gewünschten Temperaturbereichs zu transportieren? (Temperatur-Messung)

Diese Forschungsfrage kann mit „Ja“ beantwortet werden. Selbst bei konstanter Bestrahlung der Transportbox durch die Mittagssonne (11:00–15:00 Uhr) blieben die Temperaturen knapp unter den

erlaubten Werten. Die aktuelle Isolationswirkung der Box reicht also aus, eine zusätzliche Isolierschicht würde sie aber noch verbessern. Die exakten Versuchsaufbauten und Einzelergebnisse sind in Anhang A 6) dargestellt, einen exemplarischen Verlauf zeigt Abbildung 22.

Abbildung 22: Exemplarischer Temperaturverlauf einer Testfahrt (Details siehe Anhang)



- Wird die Ware beim Transport beschädigt? (Erschütterungs-Messung)

Die Umverpackungen der Ware (auch Glasgefäße) haben in der Testphase keine äußerlichen Schäden genommen.

- Wie lange dauern die Fahrten? (Zeit-Messung)

Je nach Tour wurden die Soll-Fahrtzeiten für die Lieferfahrzeuge über- oder unterschritten. Die Hauptgründe für Überschreitungen waren mangelnde Ortskenntnis des Testteams (besonders in Fürth), ungünstige Ampelschaltungen (sogenannte „rote Welle“, da Lastenrad langsamer ist als Kfz) und von vornherein knappe Fahrtzeitvorgaben für die Strecken im Tourenplan.

Handlungsempfehlungen

- Transportwannen, die spät in der Tour kommen, unten lagern (für Handling + zusätzliche Kühlung, da es oben in der Box am wärmsten ist)
- „Nette Toilette“ für Fahrer und Fahrerinnen: Möglichkeit, Sanitäranlagen bestimmter Restaurants/Bars etc. zu nutzen
- Lastenrad:
 - Halterung Smartphone/Navigationsgerät/Handheld
 - Halterung Getränk
 - In Box: kleine Ablage für
 - Gegenstände des Ausliefernden (z. B. Regenjacke, weiteres Getränk)
 - Ggf. Klemmbrett, Stift
 - Verbesserte Bremse
- Box muss abschließbar sein, evtl. mit Transponder für schnelles Öffnen und Schließen
- Einweisung + Übungsfahrt für Fahrerinnen und Fahrer vor realer Lieferung mit Lastenrad

Aus den temperaturüberwachten Testfahrten unter sommerlichen Bedingungen konnte insgesamt ein positives Fazit gezogen werden. Die beiden Temperaturbereiche der Kühlkette wurden bei den zu kühlenden Arzneimitteln eingehalten. Aus diesen Ergebnissen ergaben sich folgende zusätzliche Vorbereitungen für die Wintertests:

- Zusätzliche Isolierung in Transportbox verbauen
- Organisation einer Prüfumgebung mit konstanten Temperaturen

4.3.1.4 Winterliche Bedingungen



Abbildung 23: Lastenrad im Kühlanhänger

Anstelle tatsächlicher Fahrten wurde zur Untersuchung des Aufbauverhaltens unter winterlichen Bedingungen ein Kühlanhänger gemietet. Das TH-eigene Lastenrad (Radkutsche Musketier) wurde im Ganzen in den Anhänger geladen und auf fünf verschiedene Temperaturen heruntergekühlt (siehe Abbildung 24). Diese Temperaturbereiche wurden von Sanacorp vorgegeben und entsprechen den Erwartungen des Unternehmens an einen deutschen Winter. Aufgrund des stationären Versuchs

entfielen die Erschütterungs- und Tourzeitmessung, die Ergebnisse der sommerlichen Messungen sind aber als vergleichbar anzunehmen. Da im Winter die solare Strahlung schwächer ausfällt ist der Einfluss eines Wechsels zwischen starker und schwacher Sonnenbestrahlung, wie sie bei einer Fahrt auftritt, wenig relevant und wurde somit nicht bemessen.

Zwischenergebnis der Kältetests:

- Ist der Aufbau des Lastenrads bei Kälte geeignet, um Medikamente innerhalb des gewünschten Temperaturbereichs zu transportieren? (Temperatur-Messung)

Die für den Transport von Pharmaprodukten laut GDP vorgegebenen Temperaturbereiche konnten innerhalb der geschlossenen Transportbehälter nur sehr kurz eingehalten werden. Die Temperatur des Laderaums fiel bei allen Tests kontinuierlich und unterschritt die vorgegebenen Gunstbereiche nach spätestens 60 min. Die Logger direkt im Laderaum erfuhren eine noch stärkere Abkühlung. Zusammengefasst wären unter winterlichen Bedingungen mit dem aktuellen Aufbau also nur kurze Touren möglich, die sogenannte Hybrid-Akkus zum Konstanthalten der Temperatur verwenden. Es handelt sich dabei um Sancorp-eigene Aggregate, die sowohl erwärmt als auch abgekühlt werden können und die Temperatur innerhalb der Transportwannen dadurch stabilisieren (für den Temperaturverlauf: siehe exemplarisch Abbildung 24 oder Anhang A 6.2.2)).

Handlungsempfehlungen

Für winterliche Bedingungen ist eine Verbesserung der Dämmung notwendig. Die Transportwannen sollten auf jeden Fall vortemperiert eingeladen werden, sodass sie zum Erhalt der Wunschtemperatur beitragen können.

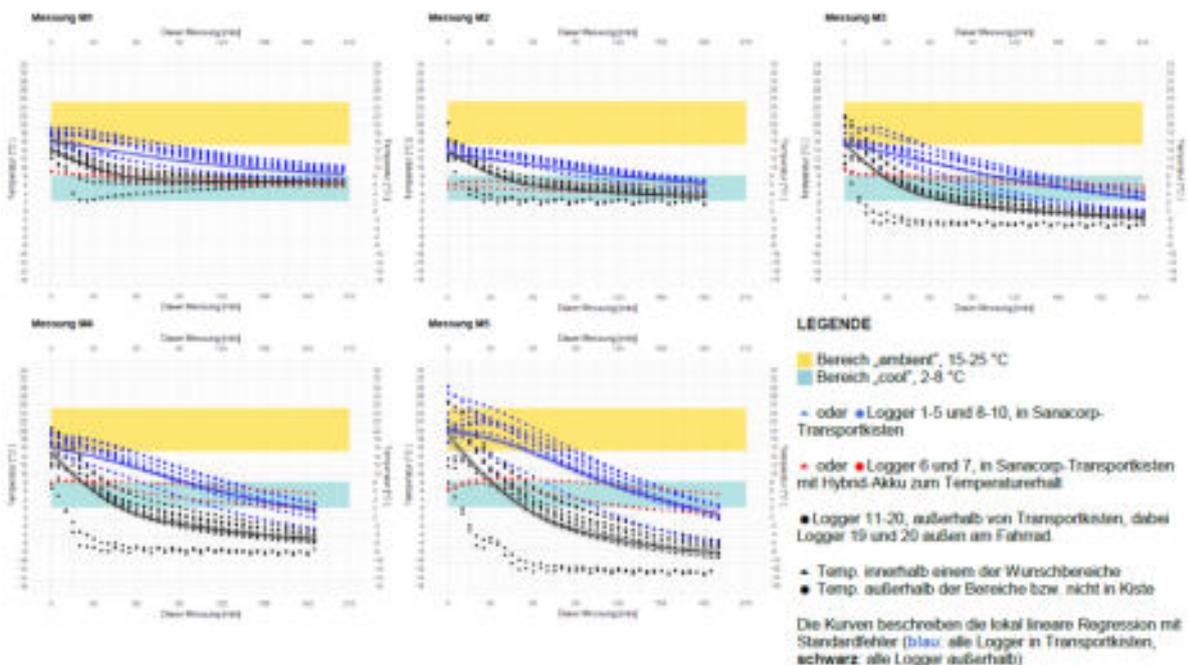


Abbildung 24: Exemplarischer Temperaturverlauf aller Kältetests

4.3.2 Anforderungen zur Lastenheft-Entwicklung „Spezialaufbau Pharma“

Die Temperaturversuche mit der Transportbox des Modell Musketier haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, Medikamente mit dem Lastenrad zu transportieren. Besonders bei extremen Außentemperaturen ergab sich jedoch, dass die Reichweite stark eingeschränkt wird. Dafür verantwortlich sind die Temperaturrestriktionen der Waren, die fehlende Isolierung bzw. unregelmäßige Temperaturführung, wodurch bei Hitze mit der Zeit die Box immer stärker aufheizte. Aus diesem Grund soll in Anlehnung an die Aufbau-Standardausstattung aus dem Lastenheft „Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle“ (im folgenden „Lastenheft LEV“ genannt) ein zusätzlicher, isolierter Aufbau entwickelt werden. Da die Entwicklung des Fahrzeugs und der Spezialbox eng miteinander verbunden sind, wird hierzu auch der Hersteller b&p engineering mobility mit dem konstruktiven Aufbau beauftragt. Die TH Nürnberg unterstützt b&p mobility bei der Suche nach geeigneten Zulieferern und erstellt das entsprechende Lastenheft mit den nötigen Anforderungen an die Spezialbox.

Die Spezialbox soll sich am Grundaufbau an der Standardbox orientieren und eine erweiterte Version von dieser darstellen. Dabei sollen die minimalen Innenmaße von $1,2 \times 0,8$ m und die maximale Außenbreite des Fahrzeugs von einem Meter eingehalten werden. Wie bei der Standardbox soll es eine Kommunikationsschnittstelle zur Übertragung von Daten (z. B. Temperatur, Zentralverriegelung) geben. Diese informiert den Fahrer oder die Fahrerin über ein angebrachtes Display am Fahrzeug über den Temperaturwert im Fahrzeug und warnt, falls der voreingestellte Temperaturgrenzwert überschritten wird. Idealerweise informiert eine intelligente Tourenplanung über die verbleibende Zeit, bis der eingestellte Temperaturwert voraussichtlich überschritten wird und die geplante Restzeit der Tour.

Die Standardausstattung orientiert sich an Vorgaben des Lastenheft-LEV, besonders dem Abschnitt „Anforderungen an den Ladungsbereich“. Das Lastenheft für die Spezialbox dient zur formellen Ergänzung des Lastenhefts LEV um Fahrzeug und Aufbau zueinander kompatibel zu halten und ersetzt dieses nicht. Es gelten daher weiterhin die Anforderungen des Lastenhefts LEV:

- Minimale Innenmaße: $1,2 \times 0,8$ m (Maß Europalette)
- Maximale Breite von 1,0 m einschl. Außenverkleidung
- Maximale Zuladung: 250 kg
- Volumen des Hauptstauraumes $1,5 \text{ m}^3$
- Abweisend gegen Wasser und Staub (wetterfest)
- Leichtbauweise, Gewicht trägt Lastenrad (kein zusätzlicher Boden nötig)

Türverriegelung: Bei der Türöffnung bzw. Türverriegelung ist darauf zu achten, dass diese mit einer Hand bedient werden kann. Die Verriegelung soll sich an der Funktionsweise eines Automobils orientieren. Das bedeutet, dass das Schloss über eine Funkfernbedienung verriegelt wird. Es soll eine Kommunikationsschnittstelle zwischen LEV bzw. Schwerlastenrad und Ladungsträger vorhanden

sein. Die Box soll unabhängig vom Fahrrad verriegelt werden können. Darüber hinaus soll durch das Abschließen der Box auch das Fahrzeug abgesperrt werden. Über die Kommunikationsschnittstelle soll unter anderem eine Zentralverriegelung (ähnlich wie die Funktionsweise beim Kfz) realisiert werden. Das Verriegelungssignal soll vom Fahrzeug oder einer externen Versorgungseinheit ausgehen. Das Signal an die Box ist mit dem Fahrzeughersteller abzusprechen.

Weiterhin werden für den Pharma-Aufbau aufgrund der Sendungsstruktur reduzierte Anforderungen im Vergleich zu denen im Lastenheft LEV definiert:

Das Schloss und die dazugehörige Mechanik der Türöffnungen sollen darauf ausgelegt sein, dass diese 50–60 Türöffnungen am Tag, bei einer 6-Tage-Woche, standhalten. Die Nutzungsdauer der Box sollte mindestens 7 Jahre betragen. Die Öffnung der Box erfolgt von der hinteren Stirnseite. Die Türen sind zweigeteilt und lassen sich um 270° öffnen. Sie müssen in ihrer Endlage gehalten werden und dürfen durch äußere Einflüsse (z. B. Wind) nicht gelöst werden.

Auf der rechten, langen Seitenfläche der Box sollte sich ebenfalls eine Möglichkeit zum Öffnen befinden, um an hinten liegende Ware zu gelangen.

Ladungssicherung: Komponenten der Box, welche bauartbedingt eine hohe Masse aufweisen, sollen aufgrund einer besseren Gewichtsverteilung im unteren Bereich der Box angebracht werden. Das Fahrverhalten des Fahrzeugs mit der Box darf sich hier nicht merklich negativ (hinsichtlich des Kippverhaltens) verändern, deshalb soll der Schwerpunkt der Box möglichst in der Nähe des Fahrzeugbodens liegen.

Es sollen Möglichkeiten geschaffen werden, Rücksendungen gegebenenfalls getrennt von den auszuliefernden Paketen zu transportieren. Dazu könnte innerhalb der Box im hinteren oberen Bereich ein Netz angebracht werden (Zugänglichkeit über die seitliche Öffnung). Über ein Netz könnte auch die Ladungssicherung im Allgemein erfolgen. Dabei muss die Ausführung der Ladungssicherung jedoch zeiteffizient erfolgen (z. B. über einen Seilzug, der das Netz über das Ladegut spannt).

Das Anbringen einer Beleuchtung ist erforderlich. Für diese Schnittstelle ist b&p engineering mobility zuständig. Bei der Entwicklung der Box sind Kabelschächte zu berücksichtigen, welche die Kabel vom Akku (Eingang in die Box, vermutlich vorne unten) bis zum Dach (Beleuchtung) und zur Tür (Schloss) verkleiden (siehe LEV Lastenheft Punkt 4.2.1.2).

Verkleidung: Es wird angestrebt die Transportbox mit Tiefziehteilen zu verkleiden. Der Grundaufbau der Box muss daher selbsttragend sein und Anbindungsmöglichkeiten für die Verkleidungsteile aufweisen. Die Außenkanten der beiden Räder und der Transportbox liegen in der Breite beide auf 1,0 m. Die Box muss also an den Positionen der Räder ausgespart sein. Die Verkleidung soll so gestaltet sein, dass Radkästen entstehen.

Innenraum: Es wird ein unterteilter Innenraum angestrebt, um die Ware logisch sortieren und ausliefern zu können. Dabei werden Lösungen einer einfachen Entnahme und Zuladung der Transportbehälter favorisiert. Die Transportbehälter unterscheiden sich durch große Transportboxen (siehe Abbildung 25) sowie kleine Transportboxen.

	Außenmaß mit Deckel			Innenmaß			Gewicht o. Deckel	Anz. Akkus	Abbildung
	l	b	h	l	b	h			
Wanne									
Standard	500	300	210	420	240	185	1190		
klein	500	310	135	440	260	85	940		
Deckel							705		

Abbildung 25: Maße Transportbehälter Arzneimittel/Pharma

Die Innenraumtemperatur der Box soll gegen äußere Temperatureinflüsse abgeschirmt werden. Hierzu werden zwei Varianten angestrebt: Die Standardvariante beinhaltet eine Isolation der Box. Die erweiterte Variante soll folgende Punkte umfassen:

Temperaturführung: Neben der Isolierung soll die Innenraumtemperatur der Box durch aktives Kühlen oder Aufwärmen in einem bestimmten Temperaturfenster gehalten werden können. Für den Pharmabereich beträgt dieser 15 °C bis 25 °C. Dieses Temperaturfenster darf bei einer Außentemperatur von 40 °C und der üblichen solaren Einstrahlung im Sommer von ca. 1000 W/m² und für den winterlichen Betrieb von bis zu -20 °C für mindestens 2 Stunden weder über- noch unterschritten werden. Dies kann entweder durch eine aktive temperaturgesteuerte Kältemaschine und/oder durch passive Elemente, wie z. B. Kühlakkus, erzwungene Konvektion etc. erfolgen. Durch eine Signalübertragung (Umsetzbarkeit mit Fahrzeughersteller abzusprechen) an das Schwerlastenrad soll eine Meldung verschickt werden, wenn die Temperatur im Innenraum die vorgegebenen Temperaturen über- oder unterschreitet. Ein Display zur Temperaturanzeige ist sinnvoll.

Stromversorgung: Wenn die Box nicht auf dem Fahrzeug befestigt ist, soll diese an eine Art Dockingstation angeschlossen werden. Die Dockingstation soll das Fahrzeug simulieren, damit die Box auch ohne Lastenrad alle Funktionen erfüllt, die sie auf dem Lastenrad hätte. Beispielsweise soll die Box abgesperrt werden können, wozu ggf. die Dockingstation das Signal des Schlüssels an sie weitergeben können muss. Die Stromversorgung der Box erfolgt über eine Steckdose. So kann die

Ware in der Box bei konstanter Temperatur gelagert werden. Ebenso kann die Box für das Beladen temperiert werden, im Sommer also vorgekühlt und im Winter vorgewärmt.

Zwischenboden: Zur Regelung der optimalen Gewichtsverteilung ist ein höhenverstellbarer Zwischenboden vorgesehen. Dieser erleichtert gleichzeitig die Verladung des Transportguts von Sprinter/Lkw zu Lastenrad, da die Höhe des Bodens an die jeweilige Ladefläche angepasst werden kann.

Anhang A 5) Lastenheft „Spezial-Transportbox Pharma“ enthält das komplette Lastenheft für den Spezialaufbau Pharma.

4.4 Projekterweiterung: Aufbauten und digitale Anwendungen

– Konzeption und Prototypenbau von speziellen LEV-Aufbauten für den Warentransport sowie digitale LEV-Anwendungen

In diesem Teilprojekt sollte ein Spezialaufbau für das Lastenrad entwickelt werden, geeignet für die Anforderungen der GDP-Vorgaben für Pharmalieferungen und für Food-Delivery (u. a. Temperaturführung und -überwachung) sowie Kurierfahrten im zulassungspflichtigen Bereich. Die Notwendigkeit der Entwicklung eines solchen Aufbaus hatte sich während der ersten Tests mit Sanacorp ergeben, da die Pharma- und Food-Anforderungen schnell die eines simplen Kofferaufbaus überschreiten. Das lässt sich an den zusammengefassten Ergebnissen der Testfahrten ablesen:

Wärme

- vorgegebene Temperaturbereiche innerhalb der geschlossenen Transportbehälter
 - auf kurzen Touren eingehalten ✓
- Temperatur des Laderaums
 - stieg bei allen Tests kontinuierlich ↗
 - übersteigt vorgegebene Bereiche nach ca. 60 min ☐
 - obere Logger: starke Erwärmung !
- Einsatz von LEV für urbane Pharmalogistik
 - kurze Touren (max. 60 min Fahrtzeit) ✓✓

Lösungen:

- Dämmung
- Frischluftzufuhr
- Luftventilator
- Vordämmung

Kälte

- vorgegebene Temperaturbereiche innerhalb der geschlossenen Transportbehälter
 - nur sehr kurz eingehalten !
- Temperatur des Laderaums
 - fiel bei allen Tests kontinuierlich ↘
 - unterschreitet vorgegebene Bereiche nach spätestens 60 min ☐
 - Logger im Laderaum: starke Abkühlung !
- Einsatz von LEV für urbane Pharmalogistik
 - Auch kurze Touren nur mit Hybrid-Akku !

Lösungen:

- Dämmung
- Vorwärmung

Abbildung 26: Zusammengefasst Testergebnisse der Pharma-Testfahrten

Ziel war die Entwicklung von Fest- und Wechselaufbauten für KEP-, Pharma- und Lebensmittellieferungen und darüber hinaus die Entwicklung digitaler Schnittstellen und einer Sensorik für die Prototypen zur Auswertung bei der logistischen Anwendung durch T-Systems. Die Projekterweiterung sollte parallel zum Projekt LEV@KEP laufen, da in diesem das passende LEV für den Aufbau in Entwicklung war. Auftraggeber waren die IHK Nürnberg für Mittelfranken und die Stadt Nürnberg. Außerdem wurde die Erweiterung durch den Förderpreis der Nürnberger N-ERGIE AG teilfinanziert (N-ERGIE Aktiengesellschaft, 2017).

Für die Testfahrten des Aufbaus sollte das TH-Lastenrades mit den in Nürnberg vorhandenen Fahrzeugen der Projektpartner DPD und GLS verkehrsrechtlich gleichgestellt werden, also ebenfalls die Sondergenehmigungen der Stadt Nürnberg erhalten. Dies wurde im Projektlenkungskreis mit der Stadt Nürnberg festgelegt. Die Ausnahmegenehmigungen beinhalteten u. a. das Überfahren von Bordsteinen und das Abstellen auf Gehwegen

Die Anforderungen an den Aufbau wurden nach den Testerfahrungen (siehe Kapitel 4.3.1) in einem Lastenheft festgehalten (siehe Anhang A 5)).

Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

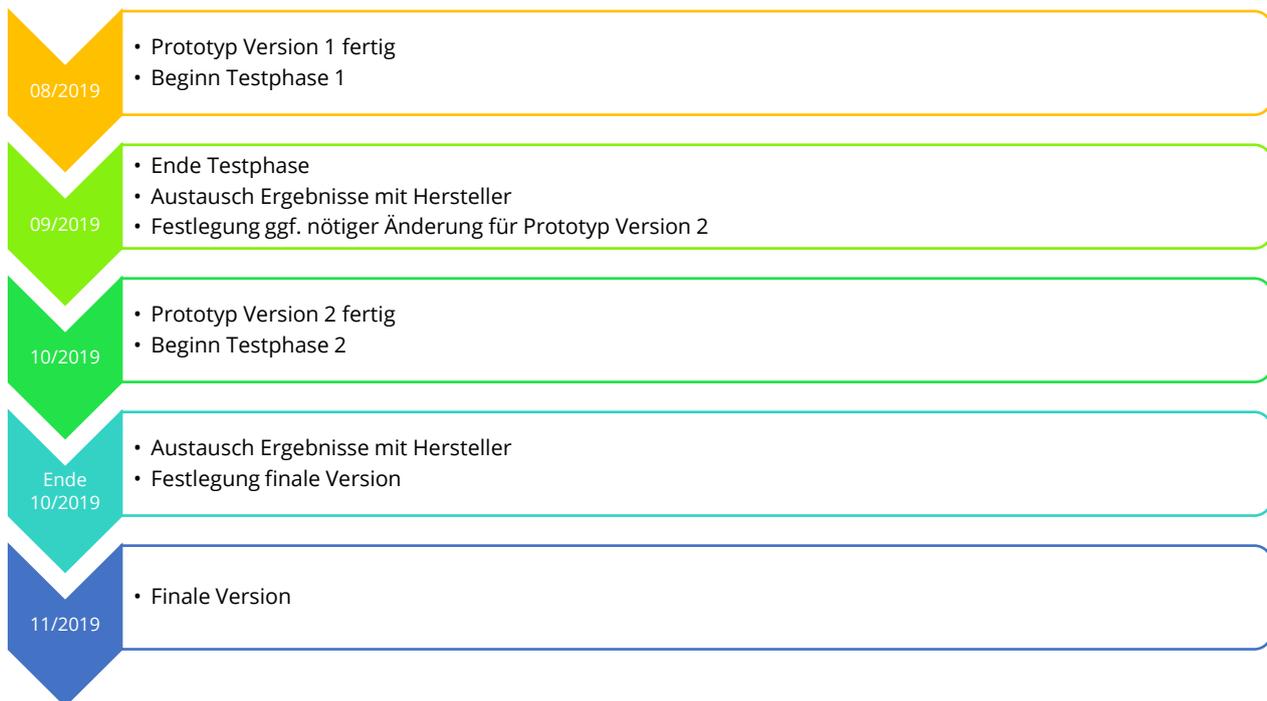
- Grundaufbau
 - Maße wie Standardaufbau
 - Abweisend gegen Wasser & Staub
 - Leichtbauweise, Gewicht wird vom Lastenrad getragen (kein zusätzlicher Boden nötig)
- Türöffnung/Türverriegelung
 - wie Standardaufbau
 - Ggf. weniger Stabilität möglich (geringere Belastung als im KEP-Bereich)
- Innenraumgestaltung und Ladungssicherung
 - Unterteilung für einfache Entnahme/Zuladung möglich
 - Zwischenboden
 - Höhenverstellbar zur Regelung der Gewichtsverteilung
 - Erleichtert auch Transportgut-Verladung Sprinter/Lkw → Lastenrad (Anpassung Ladefläche)
 - Ladungssicherung mit Standardmethoden
- Mit Verkleidung
- Temperatur
 - Ggf. aktive Kühlung/Beheizung
 - Warnung an Fahrer/in bei Abweichung
- Stromversorgung
 - Akku abnehmbar
 - Beleuchtung Standard!





Abbildung 27: Erste Skizzen des Aufbaus von b&p engineering mobility

Für die Entwicklung wurde folgender Zeitplan erarbeitet:



Fazit/Zusammenfassung

Bis zum Ende der Projektlaufzeit konnte seitens des Projektpartners b&p engineering mobility kein Spezialaufbau vorgestellt und entwickelt werden, denn ein unterbeauftragter Fertigungs- und Entwicklungspartner konnte die Lieferzeiten und Entwicklungsanforderungen letztendlich nicht halten. Dies veranlasste b&p dazu, den Entwicklungspartner zu wechseln, woraufhin sich der Entwicklungs-

Das Teilprojekt 2: VALUE@SERVICE

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

prozess des Spezialaufbaus weiter verzögerte. Auch diese Tests wurden auf der Projektlenkungs-
kreissitzung vom 16.10.2019 je nach Verfügbarkeit des Spezialaufbaus in das Jahr 2020 verschoben
(zusammen mit dem verschobenen Test des LEV). Zum Abschluss des Berichts lag der TH ein erster
Prototyp vor, die Tests der Box finden im August 2020 statt.

4.5 Arbeitspaket 3: Lokale Radlogistik und Mehrwertdienste für den Einzelhandel

Ziel des Arbeitspakets 3 war es, die Unterschiede zwischen lokaler Lastenradlogistik und Lastenradlogistik mit Schnittstelle zum KEP-Mikro-Depot herauszuarbeiten sowie mögliche Mehrwerte und Anwendungsmöglichkeiten zu evaluieren. Dabei soll herausgestellt werden, welche zusätzlichen Funktionen und Ausprägungen ein Mikro-Depot XXL bzw. μ -XXL erfordert.

- Lokale Fahrradlogistik:
 - Mehrwert für den lokalen Einzelhandel durch die Möglichkeit einer taggleichen Zustellung von Waren via Lastenrad durch die Fahrradkurierunternehmen o. ä. innerhalb des Stadtgebietes, außerhalb des DPD-Netzwerks
 - Analyse der Wirtschaftlichkeit des Systems sowohl für den Einzelhandel als auch für die Logistik, z. B. Fahrradkurierdienste
 - Einsatz von IT-Technologie für Auftragsabwicklung und Tourenplanung
- Mehrwertdienste für den Einzelhandel:
 - Abgrenzung und Unterscheidung der Begrifflichkeiten wie „Mikro-Depot“ oder „Mikro-Depot XXL“ und den damit verbundenen zusätzlichen Funktionen eines Mikro-Depots, wie Auftragsabwicklung mit Einspeisung ins DPD-Netzwerk, Bestandsführung für den Einzelhandel, Paketshop u. v. m.
 - Evaluation der Auswirkungen einer Next-Day-Delivery durch Einspeisung von Sendungen über das Mikro-Depot in das DPD-Netzwerk auf die Mehrwerte für den Einzelhandel
 - Schaffung eines modellhaften, auf andere Städte übertragbaren Anforderungskatalogs für die jeweilige funktionsabhängige Ausführung eines Mikro-Depot XXL und die dazu erforderliche Digitalplattform

Die Unterscheidung zwischen lokaler Lastenradlogistik und Lastenradlogistik mit Schnittstelle zum KEP-Mikro-Depot begründet sich nicht nur in der Art der logistischen Durchführung, sondern zieht auch weitreichende Veränderungen, bspw. am Mikro-Depot-Standort, nach sich.

Ziel der **lokalen Lastenradlogistik** war es, dass lokale Einzelhändler die Möglichkeit bekommen, Waren durch Lastenrad-Unternehmer taggleich an Kunden innerhalb eines eng begrenzten Stadtgebietes zustellen zu lassen. Diese zusätzlichen Sendungen sollten während des Auslieferungsprozesses über eine digitale Schnittstelle zum Zusteller in bestehende KEP-Tagestour integriert oder im zeitlichen Anschluss an die KEP-Touren separat abgewickelt werden. Dabei sollte der Händler direkt mit dem Zusteller außerhalb des KEP-Netzwerks interagieren, sodass möglichst einfach zusätzliche Waren ausgeliefert werden könnten. So würde neben dem Fahrradkurierdienst, der eine zusätzliche Einnahmequelle für seine vorhandene Ressource Lastenrad generieren könnte, auch der stationäre Einzelhandel profitieren, der durch das zusätzliche Angebot der lokalen Heimlieferung sein Serviceangebot erhöhen könnte. Hierzu ist eine flexible IT-Komponente für Auftragsabwicklung

und Lastenrad-Tourenplanung erforderlich. Mikro-Depot und KEP-Netzwerk sind zur Umsetzung nicht vonnöten.

Bei der **Lastenradlogistik mit Schnittstelle zum KEP-Mikro-Depot** sollte, anders als bei der lokalen Lastenradlogistik, die Einbindung eines KEP-Unternehmens wie DPD eine entscheidende Rolle spielen und essenziell notwendig sein, damit diese Art der Mehrwertdienste erfolgreich durchführbar ist. Da die zu versendenden Pakete vom Einzelhandel abzuholen und über das Mikro-Depot in das DPD-Netzwerk einzuspeisen sind, muss die Möglichkeit bestehen, die Waren temporär im Mikro-Depot zu lagern. Des Weiteren könnte das Mikro-Depot auch zur Bestandsführung von Schnelldrehern (Konsumgüter mit hoher Warenrotation) des Einzelhandels genutzt werden, um aus dem Mikro-Depot taggleiche Zustellungen über das DPD-Netzwerk mit dem Lastenrad im Stadtgebiet zu ermöglichen. Auch die Integration von DPD-Paketshop-Funktionen in Mikro-Depots sollten evaluiert werden. Aus definitorischen Gründen muss der Begriff „Mikro-Depot XXL“ klar von dem des einfachen Mikro-Depots abgegrenzt werden.

4.5.1 Lokale Lastenradlogistik

Für eine schnelle Dienstleistung auf der letzten Meile im Same-Day-Verfahren ist eine optimale Routenführung des Kuriers notwendig, da andernfalls wertvolle Zeit verloren ginge.

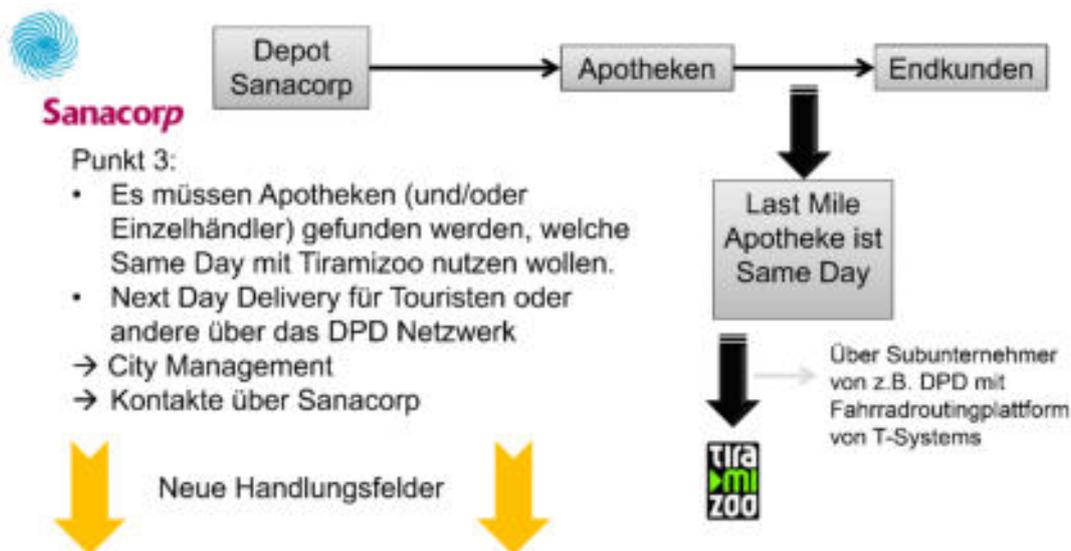


Abbildung 28: Handlungsfelder der Fahrradlogistik in Kombination B2B und B2C

Durch eine höhere Bekanntheit neuer Dienstleistungsangebote des lokalen Einzelhandels sollte die Förderung einer kundennahen Lastenradlogistik erreicht werden, basierend auf einer Bedarfsanalyse der Erwartungen der Endkunden gegenüber dem Einzelhandel. Zusätzlich sollte die Möglichkeit einer Same-Day und Next-Day-Zustellung von Waren via Lastenrad durch Lastenradkuriere innerhalb eines definierten Stadtgebietes und außerhalb des KEP-Netzwerkes geprüft werden. Diese Prüfung beinhaltet auch die Analyse der Wirtschaftlichkeit und des Einsatzes von IT-Technologie zur Auftragsabwicklung und Tourenplanung. Den ursprünglichen Umsetzungsplan zeigt Abbildung 28.

Doch der Projektpartner Tiramizoo zog sich im März 2018 aufgrund interner Umstrukturierungen und Veränderung der unternehmerischen Ausrichtung aus der aktiven Teilnahme am Projekt zurück. Die dadurch im Projekt fehlende Softwareunterstützung seitens Tiramizoo konnte der Projektpartner T-Systems (aufgrund seiner anbieterübergreifenden, neutralen Softwarelösung) auffangen und die IT-Technologie bereitstellen. Die ursprünglich geplante Weiterentwicklung der digitalen Plattform im Teilbereich LEV@KEP wurde auf das Teilprojekt VALUE@SERVICE verlagert. Diese ermöglicht es den Einzelhändlern, Apotheken und Sanacorp, Lieferungen in der digitalen Plattform bereitzustellen und zu planen, welche über lokale Lastenradkuriere und dem Mikro-Depot (außerhalb des KEP-Netzwerkes) abgewickelt werden können (siehe Abbildung 29).



Abbildung 29: T-Systems mit Software PaketChef als Kommunikationspartner

Die Softwarelösung zur aktiven Tourenplanung von Lastenradrouten konnte im Projektzeitraum getestet werden. Die neuen Touren ergaben insgesamt eine Kilometerersparnis von 10 % und die Zeiten blieben gleich oder verbesserten sich sogar geringfügig. Die Vorteile und Einsatzmöglichkeiten der Softwarelösung von T-Systems zeigt Abbildung 30. Wichtig ist der Gewinn an Flexibilität für den Zusteller durch eine dynamische Auftragsannahme. Während der Zusteller bzw. Kurier bereits auf seiner geplanten Tour unterwegs ist und zusätzliche Stopps berücksichtigen kann, erhöhen sich Service und Wirtschaftlichkeit. Händler können dadurch kurzfristige Abholungen und Zustellungen für Kundschaft organisieren und regional taggleich liefern. Da der Kurierdienst bereits in der Nähe ist, besteht eine Win-win-Verhältnis für Kurierdienst, Handel und Kunden. Dienstleistungen zu Grenzkosten steigern die Verdienstmöglichkeiten der KEP-Dienstleister und können dennoch nach einer Pauschale je nach Umsatzhöhe und Entfernung zu niedrigen Preisen angeboten werden. Die Lastenradkuriere profitieren durch höhere Auslastungen während der Touren und somit besseren Verdienstmöglichkeiten. Die Einzelhändler und Apotheken können einen höheren Service gegenüber den Endkunden anbieten. Interessant sind ebenso die Belieferungen von Kunden, welche die Ware bereits bezahlt haben, wo kein direkter Kontakt zwischen Händlern und Endkunden aber dennoch eine Zustellung benötigt wird.

FEATURES

Dynamische Auftragssteuerung

- Kurierdienste können je nach Wetterlage auch in bereits bestehenden Touren umstellen
- Kunden können Zeit und Ort für die Auslieferung und Abholung auch kurzfristig ändern
- PaketChef berechnet die optimale Tour nach verschiedenen Parametern und stellt die Kommunikation zwischen Kunden und Kurierdienstleister

Senken Kosteng

- PaketChef ermöglicht ungenutzte Freigabe von Fahrzeugen wie Verengungen oder Tourenlücken, sowie auch Paketen/Touren – immer mit der Möglichkeit der gerufenen Zeit zu ändern
- Algorithmen helfen dabei, das Paket, das zu einem bestimmten Zeitpunkt verschickt werden soll, auch die besten Möglichkeiten zu identifizieren und zu übertragen

Kundenschnittstelle

- Über die App wird das gesamte Paketmanagement, von der Tour auf dem Markt für den Auftrag
- Das System unterstützt den Kurier in Echtzeit bei Abhol- und Durchfahren der Auslieferung
- PaketChef unterstützt die Kurierfahrer zu besonderen Zeiten, wie z.B. Paketstapel

DYNAMIC ROUTING LAST MILE

Kunden erwarten ein zeit- und ortsgesteuertes Versenden und Abholen ihrer Pakete. Dies gilt auch für bereits begonnene Auslieferungen oder Abholungen. Orts- und Zeitangaben sind in Echtzeit anzupassen. Logistikler und Kundenteams auf der „Letzten Meile“ stehen daher vor neuen Herausforderungen. Touren sind effizient zu organisieren und Leer- oder Fehlfahrten unbedingt zu vermeiden. PaketChef unterstützt mit dem Feature „Dynamic Routing Last Mile“ Kunden und Kurierdienste. Basierend auf Erfahrungen über Wegstrecken, Verkehrsaufkommen, usw. werden in Echtzeit Tourenplanungen durchgeführt. Auch neue und ortstrennde Fahrer können so Auslieferungen „in situ“ sicherstellen.



PaketChef nimmt Aufträge zur Auslieferung und Abholung entgegen, verteilt sie auf Fahrer und errechnet individuell die optimale Route. Dem Endkunden wird das errechnete Zeitfenster in Echtzeit per App angezeigt. Über Änderungen in Ort oder Zeit informiert PaketChef alle Beteiligten: Kurierdienst/Fahrer, Versender/E-Commerce Händler und Endkunden.

EMPFÄNGER-APP

Der Endkunde wählt die gespeicherten Orts- und Zeitangaben der Auslieferung oder Abholung seiner Sendung über die Empfänger-APP aus.



PaketChef berechnet für die Abholung oder Zustellung eine geeignete Tour. Damit wird eine genaue Abholzeit errechnet und dem Endkunden angezeigt.

FAHRER-APP

Mit der Fahrer-APP scannt der Kurier / Fahrer alle vorhandenen Pakete. Damit erhält er vor seiner Tour eine Ladeliste und einen individuellen Routenplan.



Nach dem Beladen erhält der Fahrer seine individuelle Route im Überblick:



Das Navigationssystem leitet ihn zum jeweils nächsten Haltepunkt. Der Fahrer kann jeden erfolgreichen Auftrag bestätigen und eigene Notizen ergänzen, wie spezifische Ortsangaben. Treffen neue Kundenwünsche ein oder verzögert sich die Fahrt durch einen Stau, kann sich der Fahrer in Echtzeit eine neue optimale Route berechnen lassen.

Abbildung 30: Vorteile der Software PaketChef für den Zusteller per Lastenrad (PaketChef)

Voraussetzung für die Nutzung einer Same-Day- und Next-Day-Delivery ist die Verfügbarkeit der Dienstleistung auf technisch validen Systemen und einem akzeptierten Vergütungsmodell sowie die Eignung der zu transportierenden Waren und Güter. Diesbezüglich wurde der Kontakt zum Einzelhandel speziell im Stadtteil Maxfeld in Nürnberg hergestellt, um dessen Aufmerksamkeit für eine gemeinsame Erprobung zu gewinnen. In Nürnberg-Maxfeld bestehen günstige Voraussetzungen für Lastenradeinsätze bzgl. Topographie, Einwohnerdichte und Durchdringung durch den stationären Einzelhandel. Das folgende Kapitel beschreibt die in diesem Stadtteil durchgeführten Informationskampagnen.

4.5.2 Örtliche Potentialanalyse im Nürnberger Einzelhandel

Nachdem die konzeptionellen sowie technischen Voraussetzungen hergestellt und verbessert werden konnten, galt es im nächsten Schritt, den Einzelhandel in Nürnberg für die neuen Dienste zu sensibilisieren. Es sollten erste Erfahrungen zur Kommunikation und dem bei Endkunden akzeptierten Mehrwert erforscht werden. Hierbei sollten die Chancen, die insbesondere logistische Mehrwertdienste bieten, auch online-/digitalaffinen Händlern offeriert werden, denn der Versand an Kunden bedingt stets geringfügige Anpassungen am bestehenden Geschäftsabwicklungsprozess. Mit logistischen Zusatzleistungen steigt die Attraktivität gegenüber den Kunden und erleichtert Anpassungen im Geschäftsabwicklungsprozess.

Ausgehend von den verfügbaren Logistikangeboten der KEP-Dienstleistungsbranche und den Preistabellen für das Endkundengeschäft stellte sich die Frage, wie sich die Zusatzkosten der logistischen Mehrwertdienste auf den Einzelhandel und die Endkunden verteilen werden. Um die Bedürfnisse von Einzelhändlern in Nürnberg genauer beschreiben zu können, wurden Partner – einzelne Händler, Interessensgruppen wie Stadtteilverein, Vereine – im Stadtteil Maxfeld gewonnen. Im Stadtteil Nürnberg Maxfeld wurden Einzelhandelsunternehmen unter Nutzung der vorhandenen Kontakte persönlich vor Ort angesprochen.

Der Stadtteil Nürnberg-Maxfeld (PLZ 90409) mit einer Bevölkerungsdichte von ca. 12.500 Einwohnern/km² ist nach verschiedenen Kriterien gut geeignet für eine Lastenradbelieferung. Ziel des Arbeitspakets war es, Händler zu gewinnen, die bereit wären, neue logistische Mehrwertdienste mit Endkunden zu testen. Hierzu wurden speziell zum Thema „Same-Day-Delivery“ Informationsabende angeboten (siehe Abbildung 31), auch um die Dringlichkeit des Themas für den Handel zu ermitteln. Leider nahmen trotz vorheriger persönlicher Ansprache und E-Mailversand keine Einzelhändler an den Informationsveranstaltungen teil.

Das Teilprojekt 2: VALUE@SERVICE

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

Same-Day-Delivery des Einzelhandels innerhalb des Nürnberger Stadtgebiets

Abholung & Belieferung durch Dienstleister mittels umweltfreundlicher Lastenfahrräder.

Informationen zum Projekt der TH Nürnberg Georg Simon Ohm und weiterer Projektpartner.



Einladung zur kostenfreien Informationsveranstaltung an der TH Nürnberg Fakultät BW:

Dienstag 22.05.18 ab 19:30-20:30 Uhr (BL.101) oder

Mittwoch 30.05.18 ab 19:30-20:30 Uhr (BL.101)

Kontakt/Veranstaltungsort: Marc Reed - Bahnhofstr. 87/90402 Nürnberg - Tel: 0911/5880 2785 - marc.reed@th-nuernberg.de

Lageplan: <https://www.th-nuernberg.de/wie-erreichen-sie-uns/anfahrt/b-standort-bahnhofstrasse/>

Bitte um kurze Rückmeldung zur Teilnahme an angegebene Emailadresse.

Abbildung 31: Einladung zur Infoveranstaltung Same-Day-Delivery

Um erfolgreich zu sein, müssen die neuen logistischen Angebote grundsätzliche persönliche Interessen der Einzelhändler erfüllen. Da die Schritte zur Durchführung einer Same-Day-Delivery auf Prozessebene bereits etliche Teilprozesse einer Versandhandelslogistik beinhalten, wurde der Fokus auf die bisherige Erfahrung der Händler und die Hemmnisse zum internetbasierten Onlinehandel gelegt. Die Vermutung liegt nahe, dass wenn signifikante Umsatzanteile erwirtschaftet werden, auch die Bereitschaft für innovative Dienste höher wird, da auch die Fähigkeit zum Versenden von Waren durch den Einzelhändler bereits eine gewisse Standardisierung durchlaufen hätte. Sehr gut für die kurzfristige Versendung von Waren und Gütern eignen sich alle Güter, die bereits für den Onlinehandel angeboten werden. Darüber hinaus eignen sich auch regelmäßige Ersatzbeschaffungen, die durch die engere persönliche Bindung von den Händlern vor Ort erbracht werden können. In Tabelle 4 sind die Erfahrungen aus dem Stadtteil Nürnberg-Maxfeld dokumentiert. Es wird hierbei die Eignung der Produkte nach Größe und Art der Transportierbarkeit unterschieden. Unabhängig davon sind die Bezahlvorgänge/Rechnungsstellung, ähnlich dem Onlinehandel, durch professionelle Finanzinstitute umsetzbar.

4.5.3 Mehrwertdienste für den Einzelhandel

Dieser Unterpunkt beschäftigte sich mit der Erweiterung des Mikro-Depot-Ansatzes für die KEP-Dienstleister. Zu den bisherigen Nutzungsmöglichkeiten eines Mikro-Depots bestehen grundsätzlich Möglichkeiten zur Erweiterung der Dienste hin zu einem Mikro-Depot XXL. Zusätzliche Funktionen wären beispielsweise die Auftragsabwicklung (Up- und Downstream) über das KEP-Netzwerk, Bestandsführung für den Einzelhandel, Beauftragung lokaler Lastenradkuriere und die Lieferung an Paketshops. Für diese Zusatzfunktionen ist die Schaffung einer Digitalplattform notwendig, welche u. a. eine direkte Abwicklung von Sendungen über das Mikro-Depot und somit die Abgrenzung zwischen lokaler Lastenradlogistik und lokaler Lastenradlogistik mit Schnittstelle zum KEP-Mikro-Depot

ermöglicht. Dienstleister wie DPD und Großhändler mit eigener Logistikkapazität, bspw. Apotheken, benötigen Plattformen für die Kommunikation um den Auftragsbearbeitungsprozess anpassen zu können. PaketChef von T-Systems bietet hierzu eine Softwarelösung an (siehe Abbildung 32).



Abbildung 32: Digitale Plattform als Basis für logistische Mehrwertdienste

Folgende Händlerkategorien (ohne namentliche Nennung) und Geschäftsfilialen wurden angesprochen: Apotheken, Fachhändler für Orthopädiebedarfe, Hörgeräteakustiker, Augenoptikergeschäfte, Sportgeschäfte, Juweliere, Änderungsschneidereien, Kosmetikstudios, Secondhand-Boutiquen, Buchhandlungen, Tabakwaren/Zeitschriften-Händler, Haarpflegestudios, Naturkostläden, Bio-Fachgeschäfte, Stempel- u. Schildergeschäfte, Händler für exklusive Geschenke, Fahrradwerkstätten, Nagelstudios, Bekleidungsfachgeschäfte, Cafeterien, Bäckereien, Outdoor-Sportgeschäfte, Schlüsseldienste, Weingroßhändler sowie ein Seniorenzentrum. Händler mit zielgruppenspezifischen oder thematischem Sortiment wie Stempel- und Schilderverkauf oder exklusiven Angeboten sind in der Kategorie „Boutiquen“ zusammengefasst.

Über die Versorgung der Kunden per Lastenrad können ebenso auch von den Händlern selbst benötigte Waren beschafft werden. In regionalen Kreisen besteht die Möglichkeit, auf Basis der Total-Cost-of-Ownership (TCO) die Prozesskosten zu senken, sodass die Verfügbarkeit von regelmäßig verbrauchten Artikeln erhöht und das Geschäftspersonal selbst bei der Beschaffung entlastet wird.

Wichtig waren für Händler und Lastenradkuriere die Voraussetzungen gegenseitiger Kommunikation und ein Modus für die Inanspruchnahme eines flexiblen Dienstes. Ist der Tarif für den Dienst zwischen den Partnern bekannt, können die Händler entsprechend der eigenen Strategie gegenüber Endkunden die Mehrwertdienste anbieten. Den notwendigen Kosten logistischer Mehrwertdienste für den Handel stehen hierbei positive Argumente gegenüber: höherer Absatz gegenüber dem Onlinehandel, regionale Kundenbindung, Ausweitung des Sortiments (weniger Ware im Laden, da Belieferung bis abends auch aus anderem Lager erfolgen kann), zusätzlicher Service oder gar neue Zielgruppen, zum Beispiel in Wohnheimen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Geeignete Warenkategorie und Händler/Dienstleistung für Lastenrad-Nutzung

Kategorie	Händler	Artikel / Dienstleistung	Eignung (-/0/+)
Apotheken	Apotheken	Rezeptfreie und -pflichtige Ware (GDP-Schulung der Fahrer)	+
	Drogerien	Hygiene- u. Gesundheitsartikel	+
Dienstleistungen	Orthopäden	Maßanfertigung, Ersatzbedarf	+
	Optiker	Maßanfertigung, Ersatzbedarf	+
	Hörgeräteakustiker	Maßanfertigung, Ersatzbedarf	+
	Juweliere	Maßanfertigung, Ersatzbedarf	+
	Friseure	Ersatzbedarfe Zusatzware	0
	Barbiere	Ersatzbedarfe Zusatzware	0
	Fahrradwerkstätten	Ersatzbedarfe, Verbrauchsmaterial durch Fahrradnutzung	+
	Seniorenwohnheime	Bedarfe der Heimbewohner	+
Lebensmittelhandel	Bioläden/Versorger	Frischware/Grüne Kiste, Bauern	+
	Supermärkte	Frischware	+
	Getränkemärkte	Getränke, Lieferservice	+
Büroartikel	Schreibwarenhändler, Lotto/Toto, Tabakhändler	Abhängig von Sortiment	0
Buchhandel	Buchhändler	Ideale Größe der Versandeinheit	+
	Verlage	Werbematerial, Prospekte	+
Textilhandel	Boutiquen	Abhängig von Sortiment	0
	Schneidereien	Auftragsarbeit mit Endabnahme	-
	Secondhandläden	Persönliche Prüfung der Ware durch den Kunden notwendig	-
Sportartikelhandel	Sportgeschäfte	Abhängig von Sortiment	0

4.6 Arbeitspaket 4: Mikro-Depot-Konzept für die Stadt Erlangen (07/17 – 12/19)

Ziel des Arbeitspakets 4 war es, das Mikro-Depot-Konzept in der Stadt Erlangen umzusetzen. Dabei wurde angestrebt, gerade in der Innenstadt konventionelle Lieferfahrzeuge durch Lastenräder zu ersetzen. Als zentraler Faktor für eine dauerhafte Umsetzung des Mikro-Depot-Konzepts spielte dabei die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. Das Paket beinhaltete folgende Aufgaben:

- Bewertung und Analyse des für das Mikro-Depot-Konzept vorgesehenen Gebiets
- Ermittlung von Sendungsstrukturen sowie der Volumina im gesamten Stadtgebiet
- Identifizierung und Geocodierung des Sendungsaufkommens
- Ökonomische Bewertung der Sollkonzepte
- Einholung erforderlicher Genehmigungen
- Schulung des Personals
- Test und Inbetriebnahme der Mikro-Depots
- Implementierung der neuen Geschäftsprozesse in den Unternehmen
- Erhebung von Ist-Daten
- Nachweisführung der logistischen und ökonomischen Effizienz

Ein weiterer Teilaspekt des Forschungsprojekts VALUE@SERVICE war die Übertragung des erfolgreichen Mikro-Depot-Konzepts des Vorgängerprojekts „Pilotprojekt zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg“ auf andere Städte und/ oder Regionen. Dabei erschien Erlangen in den Augen des Projektpartners DPD geeignet, sowohl da dieses Zustellgebiet über die Niederlassung in Nürnberg bedient wird, als auch, da Erlangen als Mitglied der Arbeitsgemeinschaft fahrradfreundliche Kommunen in Bayern e.V. (AGFK Bayern) prädestiniert für die Zustellung via Lastenrad sei. Die vorherrschende Infrastruktur (viele ausgebaute Fahrradwege) und eine Stadtplanung, die durchaus einen Fokus auf die weitere Ertüchtigung der Fahrradinfrastruktur legt, bietet eine ideale Voraussetzung zur Implementierung von Fahrradlogistik. Des Weiteren war auch der erklärte politische Wille in den Gremien und Stadtratssitzungen vorhanden, die Fahrradlogistik voranzutreiben. Die städtische Politik unterstütze das Unterfangen. Deshalb stellte die Stadt Erlangen dem Projektpartner DPD einen kostenfreien, innerstädtischen Standort zur Verfügung, auf dem provisorisch eine Wechselbrücke abgestellt hätte werden können. Die zeitliche Verfügbarkeit dieses Standorts war zwar befristet, sollte aber die ersten Hürden für eine MDK-Umsetzung überwinden, sodass zeitnah begonnen werden könnte. Durch die städtische Unterstützung wurde der Druck für DPD, eine kostengünstige Variante für die Errichtung eines Mikro-Depot-Standortes in Innenstadtnähe zu finden, in die Zukunft geschoben.

Ein wichtiger Parameter für die Durchführung von logistischen Vorhaben, die mit einer Umstellung logistischer Prozesse verbunden sind, ist Planungssicherheit für zukünftige Prozessabläufe, da diese in der ersten Phase sehr zeit- und kostenintensiv sind. Eine zeitlich befristete Immobilie ist

demnach aus logistischer Sicht nicht ideal, bietet jedoch auch die Möglichkeit, die neuen nachhaltigen Logistikkonzepte im operativen Betrieb zu testen und dabei die Potenziale, die sich ergeben, tagtäglich abzurufen.

Dem steht das Risiko gegenüber, dass wenn binnen der befristeten Verfügbarkeit kein adäquater Ersatz für den zur Verfügung gestellten Mikro-Depot-Standort gefunden wird, dies aus ökonomischer Sicht, trotz der Einsparungen im ersten Jahr, erhebliche negative Auswirkungen in den Folgejahren haben kann. So können die Investitionskosten, die für die Lastenräder getätigt werden sowie die Prozesskosten, die durch die Umstellung der Zustellmethodik entstehen, ohne eine langfristig nutzbare Immobilie nicht wieder erwirtschaftet werden.

Dennoch bildet das Ausgangsszenario „Vorläufige Logistikfläche der Stadt“ in der Zusammenarbeit zwischen Kommune und KEP-Dienstleister ein sehr gutes Fundament, da auch privatwirtschaftliche Lösungen – in Form einer angemieteten Immobilie – nicht zwingend eine dauerhafte Planungssicherheit bieten. Die von der Stadt zur Verfügung gestellte Fläche war ein Teilstück eines zur Projektlaufzeit betriebenen öffentlichen Parkplatzes, welcher sich direkt im innerstädtischen Umfeld und in unmittelbarer Nähe des Einkaufszentrums „Erlangen Arcaden“ befindet (Güterbahnhofstraße 4, 91052 Erlangen). Weiterhin sollte die zur Verfügung gestellte Fläche mit einem Stromanschluss versehen werden, sodass Lastenräder über Nacht geladen werden könnten. Weitere Notwendigkeiten wie ein Internetanschluss und die genaue Ausgestaltung des Raums bezüglich Diebstahlschutz, Zäunen, Internetverbindung o.ä. wären bei einer weiteren Konkretisierung diskutiert worden.

Ob sich die Fläche, die die Stadt zur Verfügung stellte, allerdings für die Umsetzung des Mikro-Depot-Konzepts eignet, wurde dabei noch nicht betrachtet, wenngleich diese Bereitstellung einen weiteren positiven Effekt nach sich zieht: Die laufenden Kosten für die Umsetzung des Mikro-Depot-Konzepts sind nicht durch Mietkosten für das Mikro-Depot betroffen. Diese Kosten müssen demnach bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung, wie sie mit der von der TH entwickelten, übertragbaren Methodik durchgeführt werden kann, nicht mit in Betracht gezogen werden. Das hat wiederum sehr positive ökonomische Auswirkungen, da die Mietkosten häufig einen großen Teil der gesamten Fixkosten für das Mikro-Depot-Konzept ausmachen.

Um die Eignung des ausgewählten Gebietes zu untersuchen, wurde eine Datenanalyse in Form der Sendungsanalyse und geographischen Stadtuntersuchung durchgeführt. Dabei spielen neben der Adressverteilung und der Identifizierung von LFF- und Nicht-LFF-Adressen¹⁵ auch Gewicht und Volumina der Pakete eine entscheidende Rolle. Dazu mussten die bereitgestellten Daten in die entsprechende Datenstruktur gebracht und danach geokodiert werden, sodass eine Grundlage für die Analyse geschaffen werden konnte.

¹⁵ Vgl. Abschlussbericht zur Nachhaltigen Stadtlogistik und 4.2

Um gewisse Effekte des saisonalen und wochentags-spezifischen Aufkommens an Sendungen zu berücksichtigen, wurde bei der Untersuchung darauf geachtet, dass nicht nur Daten zwischen Montag bis Samstag analysiert wurden, sondern auch die maximalen und minimalen Sendungsaufkommen über den kalendarischen Verlauf. Bevor die Sendungsdaten analysiert werden konnten, mussten diese in eine einheitliche Datenstruktur gebracht werden. Ein Problem bei der Sendungsdatenanalyse präsentiert die oftmals nicht hinreichende Qualität der von den KEP-Unternehmen vorliegenden Daten. Grundsätzlich sind die Daten nicht mit Geokoordinaten verknüpft, sodass jede einzelne Adresse geokodiert werden muss, da diese ansonsten nicht in einem Geoinformationssystem oder einer Tourenplanungssoftware weiterverarbeitet werden kann. Doch selbst wenn zu den „echten“ Straßen Geokoordinaten vorlägen, folgen weitere Herausforderungen:

- **Straßennamen:** Eine Vielzahl an Straßennamen ist falsch oder nicht einheitlich geschrieben. Beispielsweise ist bei einem Datensatz das Namenssuffix ausgeschrieben oder abgekürzt, sodass keine einheitlichen Daten als Grundlage für eine Analyse bereitstehen.
- **Ortsnamen:** Das gleiche Problem tritt bei Ortsnamen auf. Gerade bei Ortszusätzen wie beispielsweise „an der Pegnitz“ gibt es den Datensatz sowohl ausgeschrieben als auch abgekürzt, wobei wiederum uneinheitliche Abkürzungen weitere Varianten schaffen.
- **Datenunreinheit:** Teilweise sind die Daten auch vollkommen verunreinigt, da die Zusteller vor Ort häufig eine eigene Schreibweise für bestimmte Orte verwenden.
- **Rechtschreibfehler:** Zusätzlich variiert die Schreibweise bei Umlauten, bei der Wahl zwischen „ß“ oder „ss“ oder durch andere Rechtschreibfehler stark, sodass es teilweise einer längeren Recherche bedarf, um die exakte Adresse auszumachen.
- **Postleitzahlen:** Auch Postleitzahlprobleme treten auf, die sich dahingehend bemerkbar machen, dass die entsprechende Straßen-Postleitzahl-Kombination nicht stimmt. Straßen, die eigentlich in anderen Postleitzahlengebieten liegen, sind mit einer falschen Postleitzahl verknüpft.

Unter diesen Voraussetzungen wäre die Analyse so gestört, dass es de facto nicht möglich ist, die Daten weiterzuverarbeiten. Entsprechend war es notwendig, einen Datenkorrekturalgorithmus zu programmieren, der diese Fehler behebt. Durch den Einsatz dieses Werkzeugs können bis zu 98 % aller Adresssätze korrigiert und die oben beschriebenen Fehler bereinigt werden. Dieses Tool ist somit in der Lage, alle Datensätze ohne Fehler zu schreiben, also die Straßen- und Ortsnamen einheitlich und korrekt und den Straßen die richtigen Postleitzahlen zuzuordnen. Auf Basis der Geokodierung aller Daten in Kombination mit dem Korrekturalgorithmus wurde neue Datenbank geschaffen, in der die Straßen mit den richtigen Geokoordinaten verknüpft sind. So können für zukünftige Untersuchungen in den gleichen Regionen die entsprechenden korrekten Daten abgerufen werden.

Schlussendlich lagen für die Analyse Sendungen über einen Zeitraum von rund 10 Wochen vor (59 Arbeitstage), die sich über den August, Dezember und Januar erstreckten. Würde man versuchen, diese Daten von Hand zu korrigieren, wäre der Arbeitsaufwand überaus groß. Durch die Analyse eines umfassenden Datensatzes wird sichergestellt, dass das Sendungsaufkommen nicht nur in Spitzenzeiten eine entsprechende Menge an Sendungen enthält, sondern durchgängig sodass es im gesamten Jahres- oder auch Wochenrhythmus zu keinen ökonomischen Einbußen aufgrund fehlenden Sendungsaufkommens kommt. Hierbei wurden die Entfernungen voneinander bzw. die Lage der LFF-Stopps zueinander oder das tägliche Auftreten der LFF-Pakete noch nicht berücksichtigt, jedoch kann diese erste Auswertung schon einen Beitrag zur Bewertung der Gesamtregion leisten. Liegen die Stopps jedoch zu weit voneinander entfernt, so kann der LFF-Kennwert allein nicht für eine Bewertung der Lastenradfähigkeit herangezogen werden. Dies bestätigt die Hypothese aus vorherigen Analysen, dass die Analyse allein auf der Ebene der Sendungsdaten zwar einen Anhaltspunkt bietet, nicht aber eine Eignung für Lastenradlogistik vorhersagen kann.

Im Weiteren wurde jeder einzelne Tag nach dem genauen Aufkommen an Paketen und Stopps ausgewertet und untersucht. Für die weitere Simulation und Analysen wurde sowohl ein Median-Tag als auch ein Mittlerer-Tag ausgewählt, um die gängigsten Szenarien abzubilden. Der minimale Tag dient der Untersuchung hinsichtlich der Ermittlung der Anzahl der einzusetzenden nachhaltigen Fahrzeuge. So sollte die Anzahl der LFF-Sendungen bestenfalls eine nicht allzu große Differenz zwischen Mediantag und Minimum-Tag aufweisen, da ansonsten die Investitionen für Lastenräder nicht täglich abgerufen werden können, was die Umsetzung in Gänze teurer macht. Dennoch ist diese Erkenntnis eher eine zusätzliche Information als ein Entscheidungskriterium für das gesamte Unterfangen, da der Medianwert eine statistische Kenngröße darstellt, die lediglich die mittlere Zahl einer Zahlenreihe – in diesem Fall des Sendungsaufkommens – beschreibt.

Eine weitere Kennzahl, die sich unmittelbar an die Frage der Eignung eines Gebiets anschließt, ist das Verhältnis von LFF- zu NLFF-Sendungen, da dieses einen Indikator für die allgemeine Sendungsstruktur darstellt. Geht das Verhältnis eher in die Richtung von NLFF-Paketen, so ist davon auszugehen, dass im Gebiet ein hoher Prozentsatz an gewerblichen Partnern vorzufinden ist, da diese, meist große Sendungen oder viele Sendungen auf einmal erhalten. Geht das Verhältnis jedoch eher in die Richtung eines hohen LFF-Anteils, ist in dem untersuchten Gebiet eher eine B2C-Tendenz vorhanden, die für den Einsatz von Lastenrädern spricht. In der Folge wurden die LFF- und NLFF-Verhältnisse innerhalb der untersuchten Postleitzahlengebiete von Erlangen mit denen aus Nürnberg verglichen, in welchen mit dem Mikro-Depot-Konzept sehr positive Erfahrungen gemacht wurden. So wurde sichergestellt, dass ähnliche Sendungsstrukturen vorherrschen, die zusätzliche Anhaltspunkte für eine Eignungsprognose bieten konnten.

Generell geht auch aus den Erkenntnissen des „Pilotprojekts zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste mit dem Mikro-Depot-Konzept auf dem Stadtgebiet Nürnberg“, dass die Aussagekraft

höher ist, wenn bei der Bewertung der Eignung der Gebiete nicht die Anzahl der jeweiligen Pakete aus den beiden Kategorien, sondern deren Verhältnis betrachtet wird.

Beachtlicher Weise lag in ganz (!) Erlangen eine ähnliche LFF-Konstellation vor wie in den für das Vorgängerprojekt ausgewählten Postleitzahlengebieten in Nürnberg. Über den gesamten Beobachtungszeitraum konnten 50 % oder mehr LFF-Stopps nachgewiesen werden. Insgesamt gab es am Spitzentag mehr LFF-Stopps in Erlangen als in den ausgewählten Postleitzahlenregionen in Nürnberg. Um darüber genauere Aussagen zu machen, musste noch untersucht werden, welche geographische Lage die LFF-Stopps zueinander haben. Wenn die Ausdehnung des Erlanger Stadtgebiets oder die Abstände zwischen den LFF-Stopps zu groß wären, würde dies den Einsatz von Lastenrädern dennoch unrentabel machen.

Ein weiterer Aspekt, der für eine erfolgreiche Umsetzung entscheidend ist, ist die Abschätzung des Gesamtvolumens aller LFF-Pakete, welches durch Lastenräder transportiert werden kann. Hier ergab die Analyse und Auswertung der Summe der Volumina an jedem Tag, dass nie ein solch hohes Volumen durch Lastenräder geliefert werden müsste, dass diese auf Basis der Anzahl der ausgewiesenen LFF-Pakete des Projektpartners dazu nicht in der Lage gewesen wären. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass aus rein technisch-logistischer Sicht keine Probleme bei einer Umsetzung einer Lastenradlogistik in Erlangen entstünden.

Diese Punkte verdeutlichen nochmals anschaulich, warum allein die Betrachtung der Anzahl der Sendungen bzw. Stopps nicht ausreichend ist, um eine belastbare Aussage über das Potenzial eines Mikro-Depot-Konzepts und den damit verbundenen Einsatz von Lastenrädern zu treffen. Die Pakete/Stopps müssen aus geographischer Sicht betrachtet werden und somit neben der mikroskopischen Analyse auf Sendungsniveau auch makroskopisch in einen Gesamtzusammenhang gebracht werden.

In der weiteren Analyse wurden schließlich die räumlichen Gegebenheiten miteinbezogen und die Daten untersucht. Die Auswertung Erlangens bestätigte die Annahme, dass Postleitzahlengebiete nicht immer die beste Methode zur Abgrenzung der Zustellgebiete darstellen. Folgende Abbildung zeigt einen ausgewählten Beispieldurchschnittstag für das gesamte Erlanger Stadtgebiet (vgl. Abbildung 33).

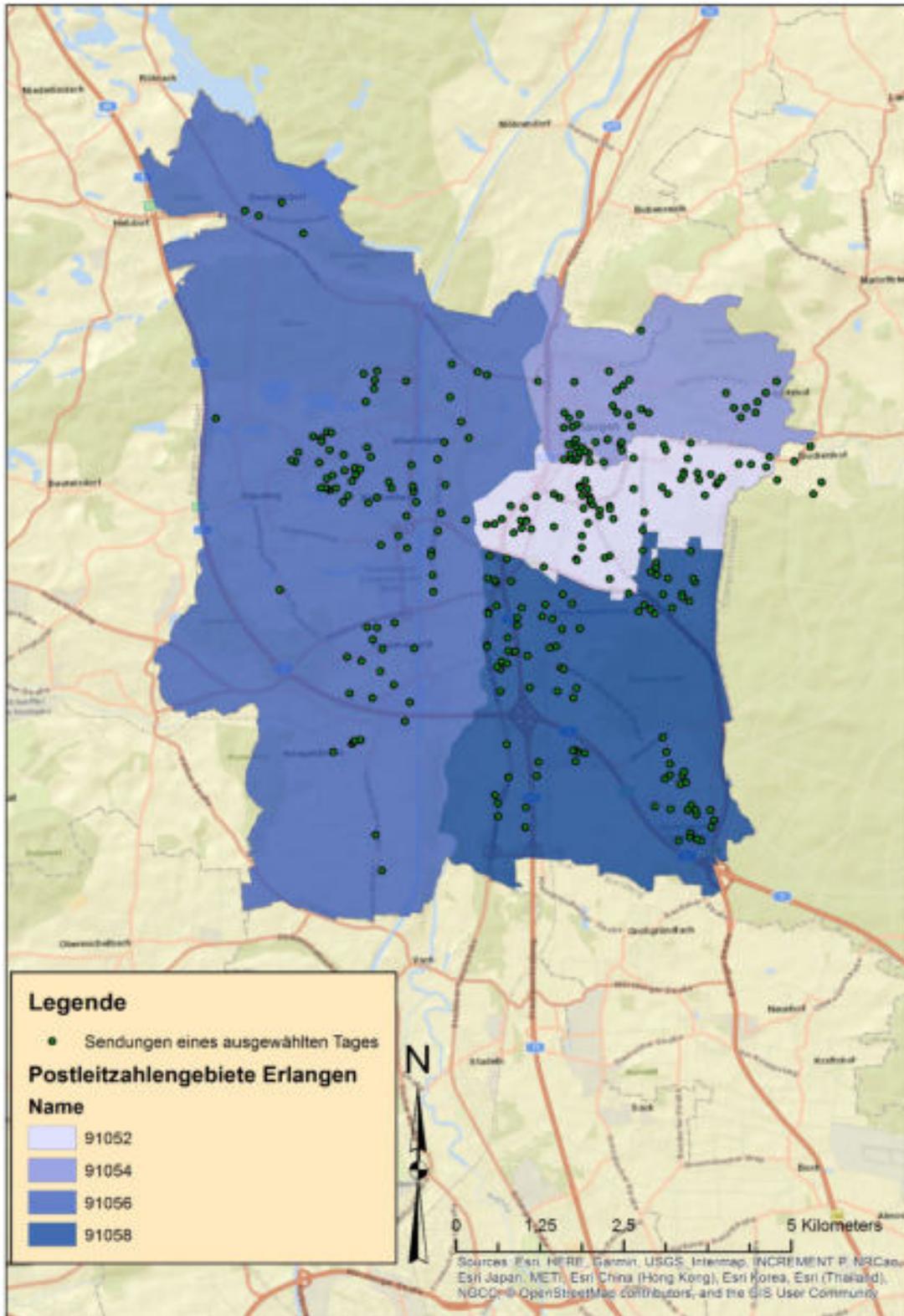


Abbildung 33: Sendungen eines ausgewählten Durchschnittes von DPD im Erlanger Stadtgebiet

Da das Erlanger Stadtgebiet insgesamt zu groß für eine Auslieferung aller LFF-Pakete durch Lastenräder ist, wurden geographische Dichteanalysen durchgeführt, um die attraktivsten Räume zu identifizieren. Dazu sollte eine Testphase die theoretischen Untersuchungen praktisch untermauern und abseits des Nürnberger Stadtgebietes erneut bestätigen.

Da der Mikro-Depot-Standort bereits vorgegeben war, da wie oben beschrieben die Stadt Erlangen öffentliche Flächen bereitgestellt hätte, war der Startpunkt der Lastenradfahrten ohne geographische Analyse bereits vorab geklärt. Dies stellt in diesem speziellen Fall keinen Nachteil dar, da der Standort nahe der Innenstadt gelegen war. Die Innenstadt ist zwar nicht zwangsläufig der beste Ort für eine Zustellung per Lastenrad, in Erlangen war der Standort für die Belieferung innenstadtferner (Wohn)gebiete aber auch geeignet.

Abbildung 33 zeigt, dass im Zentrum der LFF-Stopps eine Postleitzahlengrenze verläuft (zwischen 91052 und 91054), was für die Eignungsprüfung ein Hindernis darstellt. Demnach wurde unabhängig von den bereits vorhandenen Gebietszuschnitten eine Punktdichteanalyse auf Datengrundlage der LFF-Stopps durchgeführt, was zur Sendungsverteilung in Abbildung 34 führte. Betrachtet man nun den vorab bereitgestellten Mikro-Depot-Standort, wird deutlich, dass sich dieser genau in dem Gebiet befindet, in dem die Dichtefunktion das höchste Sendungsaufkommen zeigt, welches in der Grafik durch die höchste Farbstufe dargestellt wird. Somit liegt er im Bereich von über 71,32 % der Unterbrechungswerte – bezogen auf alle Stopps im gesamten Untersuchungszeitraum. Dieser Umstand macht die Voraussetzungen aus logistischer Sicht ideal. Organisatorische Unwägbarkeiten wie oben beschrieben (Planungssicherheit für KEP-Dienste, Finden einer privatwirtschaftlichen Immobilie, etc.) blieben in der Bewertung unberücksichtigt.

Neben der Erlanger Innenstadt und den unmittelbar anschließenden Gebieten wurde als zweite Region auch der Bereich westlich der Regnitz (in den Stadtteilen Alterlangen und Büchenbach) darauf untersucht, ob die Entfernung zum Mikro-Depot gering genug ist und die Gebiete geeignete Sendungsaufkommen für einen wirtschaftlichen Lastenrad-Einsatz aufweisen.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass sich die Einteilung und Analyse von Städten auf Postleitzahlenebene als schwierig erweist. Vor allem in kleineren Städten sind die Postleitzahlengebiete aufgrund der geringeren Einwohnerdichte in der Fläche verhältnismäßig größer. Dies kann soweit führen, dass eine kleine Stadt von insgesamt nur einer einzigen Postleitzahl abgedeckt wird. Bei deren Betrachtung können keine kleinteiligen Unterschiede in der Gebietsstruktur festgestellt werden, ebenso wenig wie darüber Aussagen zu einer wirtschaftlichen Lastenradnutzung getroffen werden können. Dies hat zur Folge, dass man zur Untersuchung eigene Gebietseinteilungen vornehmen muss, um die Analyse durchzuführen. Diese Einteilung erfolgt nicht wahllos, sondern wird auf Basis der Datenanalyse vorgenommen.

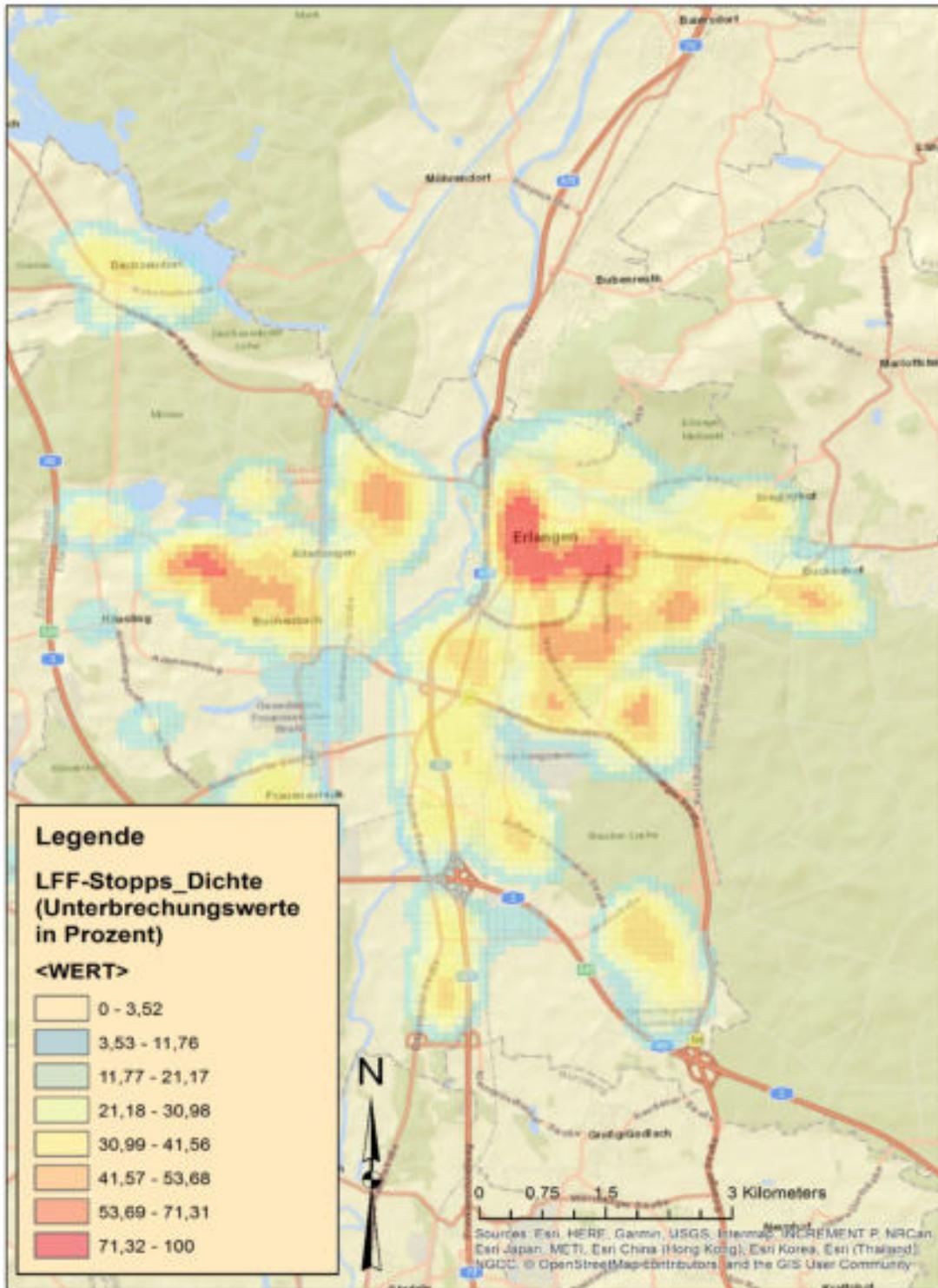


Abbildung 34: Punktdichteanalyse der LFF-Stops im Erlanger Stadtgebiet

Die Struktur der Postleitzahlengebiete ist historisch gewachsen und unterliegt keinen Kenngrößen wie Einwohnerdichte o. ä. Dies führt dazu, dass Postleitzahlengebiete immer unterschiedlich strukturiert sind. Dies zeigt der Vergleich zwischen Erlangen, wo 111.962 Einwohnern (Stand 31.12.2018)

auf einer Fläche von 76,95 km² auf vier Postleitzahlengebieten verteilt sind, mit den drei Postleitzahlen, die für Nürnberg zur Belieferung durch das Lastenrad ausgewählt wurden und rund 75.000 Einwohner auf einer Fläche von 7 km² umfassen.

Ebenso darf nicht aus der Logik der Skalierung vorschnell ein Gebiet ausgeschlossen werden, denn bei der Betrachtung der Verhältnisse der beiden beschriebenen Gebiete wirkt es auf den ersten Blick so, als ob in Erlangen ein zu großes Gebiet für zu wenige Einwohner vorliegt, um das wirtschaftlich Lastenrad einzusetzen. Doch auch dieser Schein trügt: die ausgewählten Nürnberger Postleitzahlen decken nur bebautes Gebiet ab (aufgrund der beschriebenen Problematik der räumlichen Ausdehnung der Postleitzahlen). In Erlangen dagegen enthält das gesamte Gebiet auch Waldfläche wie Teile des Tennenloher Forstes und des Regnitztals sowie landwirtschaftlichen Flächen im Süden der Stadt, wodurch das bebauten Gebiet um ein Vielfaches kleiner ist. Dies rückt das Verhältnis bebauten Gebiet/ Einwohner wieder in ein anderes Licht. Dass sich in Städten, die insgesamt mehr Einwohner haben, Lastenradlogistik leichter umsetzen lässt liegt auf der Hand, da die höhere Anzahl von Sendungen eine Kostendegression hervorruft. Die gleiche Logik gilt aber auch bei der konventionellen Belieferung durch Transporter, sodass die Kosten stets im Verhältnis zu den Kosten im Ist-Szenario abgewogen werden müssen.

Die durch die Dichtefunktion ermittelten, potenziellen Gebiete wurden weiter analysiert und entsprechend zugeschnitten, sodass sich dauerhaft genügend LFF-Sendungen innerhalb des Gebiets befinden und dieses gleichzeitig nicht zu groß ist. So wird sichergestellt, dass die Machbarkeit weder durch die begrenzte Reichweite des Lastenrad-Akkus noch die gesamtzulässige Arbeitszeit pro Tag Einschränkungen unterliegt.

Beide nun in ihrer Ausdehnung neu definierten Gebiete (Gebiet A: Arcaden; Gebiet B: Alterlangen-Büchenbach) wurden wie bereits bestehende Postleitzahlengebiete behandelt und unter den oben beschriebenen Gesichtspunkten analysiert. Dabei wurden sowohl das Volumen, als auch die Minimal-, Median- und Maximal-Tage ermittelt und untersucht. Die Analyse ergab, dass beide Gebiete ideal durch eine Lastenradlogistik bedient werden können. Die geographische Verortung der beiden Gebiete kann den nachfolgenden Karten entnommen werden.

die Nürnberger Gebiete erreichen, in denen der wirtschaftliche Einsatz von Lastenrädern nachgewiesen werden konnte¹⁶. Demnach erfüllen die Untersuchungen die Erwartungen, dass auch in kleineren Städten bzw. Städten ab 100.000 Einwohner grundsätzlich genug Potenzial für KEP-Dienste vorhanden ist, Lastenräder einzusetzen

Zwar ist das Potenzial nicht ganz so hoch wie in Nürnberg, doch entfallen im Erlanger Beispiel für ein Jahr die Mietkosten für die Mikro-Depot-Immobilie, sodass eine genauere Kostenrechnung durchgeführt werden kann, die ähnliche wirtschaftliche Ergebnisse liefern könnte wie in Nürnberg. Somit bietet Erlangen durch das relativ hohe Potenzial, die durch die Stadt bereitgestellte Fläche für das Mikro-Depot und die gute Verkehrsinfrastruktur für Fahrräder im Allgemeinen sehr günstige Voraussetzungen für eine Lastenradlogistik. Um diese Ergebnisse weiter zu validieren und zu verfestigen, könnten Testfahrten unter realen Bedingungen innerhalb der ausgewählten Auslieferungszuschnitte durchgeführt werden. Dabei kann die Theorie durch die Praxis bestätigt werden, um so noch stichhaltigere Aussagen als Grundlage für die endgültige Umsetzung im Betrachtungsgebiet treffen zu können. Dazu wären die lokalen KEP-Dienstleister grundsätzlich bereit, sofern sich ein williger Subunternehmer findet.

¹⁶ Vgl. https://www.c-na.de/fileadmin/templates/global/media/Pedelistics/Download/Abschlussbericht_Mikro-Depot-Konzept_Nuernberg.pdf

Abkürzungsverzeichnis

4PL	Fourth-Party Logistics Provider (Abkürzung: 4PL-Provider, zu Deutsch Viert-Partei-Logistikdienstleister) sind Dienstleister, die die logistischen Abläufe eines Unternehmens koordinieren, ohne für die Abwicklung eigene Sachwerte einzubringen
AGFK	Arbeitsgemeinschaft Fahrradfreundliche Kommunen
BEV	Battery Electric Vehicle, Elektroauto
BIEK	Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BtM	Betäubungsmittel
DPD	ehemals: Dynamic Parcel Distribution, davor Deutscher Paket Dienst
GDP	Good Distribution Practices
GLS	General Logistics Systems B.V.
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologie
KEP	Kurier, Express und Paket
Kfz	Kraftfahrzeug
LEV	Light Electric Vehicle
LFF	lastenradfähig, bzw. lastenradfähige/r Sendung/Stopp
Lkw	Lastkraftwagen
MDK	Mikro-Depot-Konzept
MDK-XXL	Mikro-Depot-Konzept mit Mehrwertdiensten (synonym: μ -XXL)
NLFF	nicht lastenradfähig, bzw. nicht lastenradfähige/r Sendung/Stopp
SÖR	Service Öffentlicher Raum
TH	Technische Hochschule
VAS	Value Added Services
ZEG	Zweirad-Einkaufs-Genossenschaft

Literaturverzeichnis

- Bogdanski, Ralf (2019)** – (Hrsg.) Nachhaltige Stadtlogistik: Warum das Lastenfahrrad die letzte Meile gewinnt; Huss-Verlag München (2019).
- BVL (2020)** – Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. <https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/umsatz-und-beschaeftigung> (Zugriff am 27.04.2020).
- Deutscher Städtetag (2020)** – Schwerpunkt Verkehr, nachhaltige Mobilität und Luftreinhaltung. <http://www.staedtetag.de/dst/inter/schwerpunkte/070704/index.html> (Zugriff am 27.04.2020).
- Gaubitz, Robert (2018)** – Anforderungsanalyse zum Einsatz von Pedelec-Lastenfahrrädern zur Apothekenbelieferung im Rahmen des Forschungsprojektes „Value Added Service“ [Bericht]; TH Nürnberg Georg Simon Ohm (2018).
- N-ERGIE AG (2017)** – n-ergie.de [Online] // Nachhaltigkeitsbericht 2017; https://www.n-ergie.de/public/remotemedien/media/n_ergie/internet/die_n_ergie/unternehmen_1/publikationen/N-ERGIE_Nachhaltigkeitsbericht.pdf. - S. 48.
- Statista (2020)** – KEP-Sendungen von 2000 bis 2023. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154829/umfrage/sendungsmenge-von-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/> (Zugriff am 27.04.2020).
- Tank, Hannes (1987)** – Stadtentwicklung, Raumnutzung, Stadterneuerung: theoretische Grundlagen; Vandenhoeck & Ruprecht Göttingen (1987).

A – Anhang

A 1) Besprechungsprotokoll zum Workshop am 13.09.2017

Das Ziel des Workshops war es, die praktischen Anforderungen an Lastenräder mit Praxispartnern zu klären.

Unternehmen/ Organisation	TH Nürnberg	CNA	GLS	Mili Trans GmbH	Sanacorp
Anwesende Personen	Hr. Bogdanski	Hr. Enser	Hr. Hahn	Hr. Nangoli	Hr. Bülow
	Hr. Bayer		Hr. Zirnsack		
	Hr. Seidenkranz				
	Fr. Bouchenak				
Ort	Bahnhofstraße 87, 90402 Nürnberg, Raum BL. 204				
Verfasser	Fr. Bouchenak				
Änderungsanmerkung	Anmerkung durch	Datum	Beschreibung/ Änderung bei		

Besprochene Themen/Inhalte:

EF: Ergebnisformen: B = Beschluss; A = Aktivität; E = Entscheidung; I = Information; F = Feststellung;

N = Nachtrag; V = Vorschlag

Thema I: Fahrerbereich

Thema II: Ladungsbereich

Thema III: Fahrwerks- & Antriebsbereich

Thema IV: Endpreis & Nutzungsdauer des Fahrzeugs

Nr.	Thema	Ergebnis	Verantwortlich
I	.1 Ergonomie	<u>Ausstieg nach vorne/stehend</u> : Da der seitliche Ausstieg dem Fahrer mehr Kraft und Zeit in Anspruch nimmt	V
	.2 Wetterschutz	<u>Geschlossene Fahrerkabine</u> : Schutz vor Wind und Regen	V
		<u>Schutz vor Nässe von unten (Abdeckung)</u> : Es wurde bemängelt, dass bei den chinesischen Fahrrädern (GLS) der Wetterschutz im Beinbereich nicht gegeben war	F
	.3 IT-Leistungen	<u>Digitaler Abliefernachweis</u> : für schnellere Abwicklung der Paketabgabe	F
.4 Sicherheit	<u>Beckengurt & Überrollbügel</u>	V	
II	.1 Raumeigen-schaft	<u>Verhältnis Fahrerraum vs. Laderaum</u> : keine 50:50, die Fahrerkabine soll keinen unnötigen Raum wegnehmen, dabei soll die Wendigkeit nicht außer Acht gelassen werden (siehe III-5) (Fahrerbereich direkt über das Rad montieren-siehe italienische Ape)	V
		<u>Regalsystem</u> : Platz für Retoure	V
	.2 Anforderung der Box	<u>Position zur Öffnung der Tür</u> : Schiebetür oder Rolltor, seitlich oder nach oben öffnend, Tür seitlich oder hinten	V
		<u>Material der Box</u> : Glasfaserverstärkter Kunststoff oder Karbon; Rollabdeckung, Abdeckplane (ggf. nur die Tür als Plane), Kofferaufbau	V
		<u>Wechselcontainer mit Einhandbedienung</u> : Ideal um mehrere Pakete verteilen zu können; Problem: muss vorher sortiert werden & Container muss vorher an den Standort gebracht werden	V
		<u>Verschiedene Formate/Größen der Box</u> : Wichtig bei Kühl-/Wärmebox, soll wenig Energie verlieren, Isolierung der Box (siehe Punkt III-7)	I
		<u>Normsystem zur Elektr. & Mech. Adaptierung der Box</u> : Um eine billigere Herstellung zu gewährleisten	I
	<u>Abmessungen</u> : Box Maße 1,3 m ³ -2 m ³ , um Pakete von ca. 100 Stopps ausliefern zu können	F	
III	.1 Fahreigen-schaft	<u>Reichweite</u> : min. 20 km/Tour, bis zu 10 Touren/Tag (Sana-corp)	I
		<u>Fahrwerk für Unebenheiten</u> : Durch ein Fahrwerk wird höhere Fahrstabilität/-verhalten garantiert	F
		<u>Feststellbremse</u>	F
	.2 Reifen	<u>Widerstandsfähige Reifen</u> : Runflat, 24 Zoll, Motorradbereifung	V
		<u>Geringer Rollwiderstand</u> : Ansonsten entsteht hoher Kraftaufwand	V
	.3 Wartungsplan	<u>Verschleißanzeige & wartungsfreundliche Bremsen</u> : Die Fahrer melden Probleme erst wenn es zu spät ist, somit entstehen schneller Ausfälle	F
	.4 Sicherheit	<u>Seiten-/Rückspiegel</u> : Sinnvoll angebracht, um am Ladungsträger vorbei schauen zu können	F
		<u>Zentralverriegelung, Funkverriegelung</u> : Zugriffssicherung; Automatik - Standard	V

.5 Wendigkeit	Zulassungsfrei: ≤ 25 km/h und ≤ 250 W; Zulassungspflichtig wird in Kauf genommen, um schnellere Geschwindigkeiten fahren zu können (45 km/h)	V	
	<u>Sehr hohe Wendigkeit:</u> Für die Wendigkeit muss Verhältnis Radstand zum Ladungsträger passen	F	
	<u>Hohe Wendigkeit:</u> Das Wenden auf der Stelle muss möglich sein	F	
.6 Antriebskonzepte	<u>Radnabenmotor:</u> Wichtigste Argumente, kein Platzverlust + geringere Kosten + Zuverlässigkeit + radnaher Antrieb (CNA)	V	
	<u>Hybridkühlung sowohl aktiv als auch passiv:</u> Seitens Sanacorp lieber Box besser isolieren, dafür Akku am Fahrrad, um im Nachhinein aktiv zu kühlen	V	
	<u>Anfahrhilfe:</u> ≤ 6 km/h zulassungsfrei; derzeit große Probleme beim Berganfahren festgestellt	F	
	<u>Akku zum Wechseln:</u> Falls Akku vergessen wurde über Nacht zu laden/längere Tour als Akkulaufzeit	F	
	<u>Eigenantrieb:</u> Nur im zulassungspflichtigen Bereich erlaubt	F	
.7 Energiespeicher	<u>Kühlleistung (Sommer) vs. Isolation/Wärmung (Winter):</u> Vor allem in der Pharmazie relevant (Sanacorp)	I	
	<u>Rekuperation beim Bremsen:</u> Energierückgewinnung	V	
.8 IT-Leistung	<u>Permanente Überwachung der Temperatur:</u> Um die GDP-Anforderung einzuhalten; Kommunikation der Werte mit der Zentrale	F	
	<u>GPS-Tracking:</u> Um dynamische Tourenplanung zu integrieren	F	
IV	.1 Gesamtpreis	10.000 Euro + Steuer	V
	.2 Nutzungsdauer	6 – 8 Jahre	V

Das Protokoll gilt als abgestimmt, wenn nicht innerhalb von 3 Arbeitstagen nach Versand Korrekturbedarf angemeldet wurde.

A 2) Besprechungsprotokoll 10.10.2017

Unternehmen/Organisation	TH Nürnberg	DPD			
Anwesende Personen	Hr. Bayer	Hr. Mendel			
	Hr. Seidenkranz				
	Fr. Bouchenak				
Ort	Triester Str.11, 90451 Nürnberg				
Verfasser	Fr. Bouchenak				
Änderungsanmerkung	Anmerkung durch	Datum	Beschreibung/ Änderung bei		

Besprochene Themen/Inhalte:

EF: Ergebnisformen: B = Beschluss; A = Aktivität; E = Entscheidung; I = Information; F = Feststellung;
 N = Nachtrag; V = Vorschlag

- Thema I: Fahrerbereich
- Thema II: Ladungsbereich
- Thema III: Fahrwerks- & Antriebsbereich
- Thema IV: Endpreis & Nutzungsdauer des Fahrzeugs

Nr.	Thema	Ergebnis	Verantwortlich
I	.1 Ergonomie	<u>Auf- u. Abstieg:</u> einfach; Modell eines Frauenfahrrads, je aufrechter der Fahrer desto besser, möglicherweise stehend	V
	.2 Wetterschutz	<u>Geschlossene Fahrerkabine/Regenschutz:</u> nicht relevant; Regenschutz von den Fahrern aktuell nicht genutzt, zusätzlich machen diese und geschlossene Fahrerinnen das Fahrrad schwerer	F
	.3 Armaturenbrett	<u>Handscanner/Dokumentenhalterung:</u> relevant; Flaschenhalterung ist nicht notwendig	F
II	.1 Anforderung der Box	<u>Position zur Öffnung des Ladungsträgers:</u> Schwenktür nach hinten offen, da somit keine Reifen im Weg der Öffnung sind	V
		<u>Material der Box:</u> kein Karbon, aufgrund von Kälte (Material reißt aktuell), kein Holz aufgrund von Nässe; Material noch nicht genauer bekannt (Aluminiumbox möglicherweise relevant); Box soll mind. 4 Jahre haltbar sein; Keine Plane oder Rolltor, außer sie sind schnittfest, wasserdicht und verschleißarm	F
		<u>Einhandbedienbarkeit zur Öffnung der Ladungstür:</u> relevant; Um eine schnellere Auslieferung zu gewährleisten	F
		<u>Größen der Box:</u> Einheitsgröße der Box ist relevant; keine verschiedenen Größen werden benötigt	F

		<u>Abmessungen:</u> Aktuelle Box Maße 1,44 m ³ (minimal Größer erlaubt, aber Beachten des Wendekreises; 1,7 m ³ /1,8 m ³ interessant), um Pakete von ca. 80–90 Stopps ausliefern zu können	F	
		<u>Kühlung:</u> Nicht relevant; Da generell keine Kühlkette vorhanden ist	F	
III	.1 Fahreigen-schaft	<u>Reichweite:</u> Aktuell 10 km/Tag	I	
		<u>Federung:</u> Aktuell nicht relevant	F	
	.2 Reifen	<u>Widerstandsfähige Reifen:</u> Relevant; Ausgeschäumte Reifen (wird aktuell mit positiver Rückmeldung verwendet)	F	
	.3 Wartungs-plan	<u>Vorgeschriebener Wartungsplan für die Bremsen:</u> relevant; Soll von Anfang an genutzt werden können (Verschleißanzeige nicht relevant, da Verschleiß planbar sein soll)	F	
		.4 Sicherheit	<u>Verkehrssicher:</u> Seiten-/Rückspiegel; Sinnvoll angebracht, um am Ladungsträger vorbei schauen zu können	F
		<u>Handbremse:</u> relevant	F	
		<u>Diebstahlsicher:</u> Zentralverriegelung, Funkverriegelung; Automatik - Standard	V	
	.5 Wendigkeit	<u>Verhältnis Radstand/Fahrerbereich:</u> Verhältnis muss mit Radstand zum Ladungsträger für die Wendigkeit angepasst sein	F	
		<u>Wendemöglichkeit auf der Stelle:</u> Am Hinterrad; Dadurch ist ein Fahrrad mit vier Rädern nicht relevant	F	
	.6 Antriebskon-zepte	<u>Anfahrhilfe:</u> relevant	F	
<u>Akku zum Wechseln:</u> relevant; Sollte einfach zu Wechseln sein, aber trotzdem fest montiert; Vorschlag zw. Fahrer- und Ladungsbereich anbringen, da der Akku unterhalb der Box durch Reibungen, wie am Bordstein, beschädigt werden kann; alle 3/4 Jahre neuer Akku wäre akzeptabel		F		
<u>Öffentlicher Charger:</u> relevant nur bei schneller Ladung, sodass der Zeitaufwand gering bleibt		F		
.7 IT-Leistung	<u>GPS-Tracking:</u> Relevant; um dynamische Tourenplanung zu integrieren	F		
IV	.1 Gesamtpreis	8.000 Euro + Steuer; oder 166,- Euro + 100,- Euro Wartungskosten im Monat	V	
	.2 Nutzungsdauer	5-Jahres-Zyklus mit wechselndem Akku und Box; oder 10 Jahre bei wechselnden Teilen am Fahrrad, aber bei gleichbleibendem Fahrradrahmen (wechselnde Teile sollen austauschbar sein: Baukastensystem/ Lego-Fahrrad	V	
	.3 Wartungskosten	max. 100,- Euro/Monat	V	
	.4 Leasing	relevant; Fahrrad soll aber nach geraumer Zeit in das Eigentum übergehen können	V	

A 3) Lastenheft LEV

Anforderungen des Projektes LEV@KEP der Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm mit der Leistungserbringung durch die ZEG Zweirad-Einkaufs-Genossenschaft eG und deren Partner b&p engineering mobility GmbH mit dem Thema:

Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle (LEV)

-Anforderung und Analyse-

Lastenheft

Version 09.05.2018

Freigabe

Fachbereich/Funktion	Freigabe	
	Name	Datum
Ersteller Lastenheft TH Nürnberg GSO	Markus Seidenkranz	05.03.2018
Ersteller Lastenheft TH Nürnberg GSO	Marius Bayer	05.03.2018
Ersteller Lastenheft TH Nürnberg GSO	Miriam Bouchenak	05.03.2018

Änderungsdokumentation

Änderungsdokumentation des Lastenheft Lebenslaufes			
	Nachtragsbeschreibung	Bearbeitet (von)	Genehmigt (von)
		TH Nürnberg GSO	TH Nürnberg GSO
002	Nach Absprache mit Hr. Klimmt am 17.04.2018	M. Seidenkranz, M. Bayer	
003			
004			
005			

Inhaltsverzeichnis Lastenheft

A 3) Lastenheft LEV - 5 -

A 3.1) Allgemeine Anforderungen - 9 -

- A 3.1.1) Pflichten des Auftragnehmers _____ - 10 -
- A 3.1.2) Abnahmeverfahren und -kriterien _____ - 10 -
- A 3.1.3) Kurzfassung und Pflichten des Auftraggebers _____ - 10 -

A 3.2) Anforderungsanalyse Experteninterviews/-aussagen - 11 -

A 3.3) Anforderungen an den Fahrerbereich - 13 -

- A 3.3.1) Komfort _____ - 13 -
- A 3.3.2) Kommunikation _____ - 17 -

A 3.4) Anforderungen an den Ladungsbereich - 18 -

- A 3.4.1) Außenbereich des Ladungsträgers _____ - 18 -
- A 3.4.2) Innenbereich der Ladungsbox _____ - 20 -

A 3.5) Anforderungen an den Fahrwerks- & Antriebsbereich - 22 -

- A 3.5.1) Fahrwerksbereich _____ - 22 -
- A 3.5.2) Antriebsbereich _____ - 26 -

A 3.6) Erwartete Leistungen - 28 -

- A 3.6.1) Finanzierungsform _____ - 29 -
- A 3.6.2) Kosten und Nutzungsdauer _____ - 30 -
- A 3.6.3) Betriebskosten _____ - 31 -
- A 3.6.4) Service und Wartung _____ - 32 -
- A 3.6.5) Straßenverkehrsverordnung /-tauglichkeit des Lastenrads _____ - 32 -

A 3.7) Bisherige Erfahrungen mit Lastenrädern - 36 -

- A 3.7.1) Angaben der bisher eingesetzten Lastenräder _____ - 36 -
- A 3.7.2) Mängelliste der bisher eingesetzten Lastenräder _____ - 37 -
- A 3.7.3) Gründe, warum LEVs derzeit noch nicht in Gebrauch sind _____ - 42 -

A 3.8) Schlussfolgerung - 43 -

- 44 -

Abbildungsverzeichnis Lastenheft

<i>Lastenheft Abbildung 1: Funktionsgruppen des LEV</i>	- 10 -
<i>Lastenheft Abbildung 2: Am Fragebogen beteiligte Unternehmen</i>	- 11 -
<i>Lastenheft Abbildung 3: Gesprächspartner des Fragebogens der KEP-, Food- u. Pharmabranche</i> -	12 -
<i>Lastenheft Abbildung 4: Prozentualer Anteil an "Ja"-Stimmen</i>	- 12 -
<i>Lastenheft Abbildung 5: Benötigte Ausstattung für den Komfort über 50 % Zustimmung</i>	- 13 -
<i>Lastenheft Abbildung 6: Benötigte Ausstattung für den Komfort, unter 50 % Zustimmung</i>	- 13 -
<i>Lastenheft Abbildung 7: Benötigte Ausstattung für die Kommunikation, unter 50 % Zustimmung</i> ...	- 17 -
<i>Lastenheft Abbildung 8: Außenbereich des Ladungsträgers, über 50 % Zustimmung</i>	- 18 -
<i>Lastenheft Abbildung 9: Außenbereich des Ladungsträgers, unter 50 % Zustimmung</i>	- 18 -
<i>Lastenheft Abbildung 10: Innenbereich des Ladungsträgers, über 50 % Zustimmung</i>	- 20 -
<i>Lastenheft Abbildung 11: Innenbereich des Ladungsträgers, unter 50 % Zustimmung</i>	- 20 -
<i>Lastenheft Abbildung 12: Erwarteter Ladungsraum bei benötigter Nettozuladung</i>	- 21 -
<i>Lastenheft Abbildung 13: Benötigte Ausstattung des Fahrwerksbereichs, unter 50 % Zustimmung</i> -	22 -
<i>Lastenheft Abbildung 14: Beschreibung der Wendigkeit, Befahren der 2. Pollerdurchfahrt (Skizze)</i> -	23 -
<i>Lastenheft Abbildung 15: Befahren der zweiten Pollerdurchfahrt</i>	- 24 -
<i>Lastenheft Abbildung 16: Möglicher beispielhafter Aufbau der elektrischen Installation des LEVs</i> ..-	26 -
<i>Lastenheft Abbildung 17: Benötigte Ausstattung des Antriebsbereichs, über 50 % Zustimmung</i>	- 26 -
<i>Lastenheft Abbildung 18: Benötigte Ausstattung des Antriebsbereichs, unter 50 % Zustimmung</i> ...	- 27 -
<i>Lastenheft Abbildung 19: Bevorzugte Finanzierungsform</i>	- 29 -
<i>Lastenheft Abbildung 20: Kalkulierte Kosten bei erwarteter Nutzungsdauer</i>	- 30 -
<i>Lastenheft Abbildung 21: Darstellung der Kosten</i>	- 30 -
<i>Lastenheft Abbildung 22: Jährliche Betriebskosten</i>	- 31 -
<i>Lastenheft Abbildung 23: Bevorzugte Zusatzleistungen</i>	- 32 -
<i>Lastenheft Abbildung 24: Anbauhöhen für lichttechnische Einrichtungen</i>	- 35 -
<i>Lastenheft Abbildung 25: Eingesetzte Lastenräder (Marke/Modell)</i>	- 36 -
<i>Lastenheft Abbildung 26: Beweggrund; logistische Infrastruktur</i>	- 42 -
<i>Lastenheft Abbildung 27: Beweggrund; betriebswirtschaftliche Effizienz</i>	- 42 -
<i>Lastenheft Abbildung 28: Beweggrund; technische Umsetzung</i>	- 43 -

A 3.1) Allgemeine Anforderungen

Das vorliegende Lastenheft (inkl. Anlage) beschreibt spezifische Anforderungen des Projektes LEV@KEP der Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (im Folgenden „Auftraggeber“ genannt) zur Leistungserbringung durch die ZEG Zweirad-Einkaufs-Genossenschaft eG und deren Partner b&p engineering mobility GmbH (folgend „Auftragnehmer“ genannt).

Das Lastenheft und das darin genannte Dokument bilden zusammen die Grundlage der durch den Auftragnehmer zu erbringenden Leistung. Der Name des jeweiligen Dokuments ist der Anlage zu entnehmen. Der Auftraggeber behält sich vor, das vorliegende Lastenheft bzw. die aufgeführte mitgeltende Unterlage während des Leistungszeitraums der Vergabe zu aktualisieren bzw. zu ergänzen. Derartige Änderungen unterliegen der Schriftform.

Sollten sich aus Sicht des Auftragnehmers aus den Aktualisierungen bzw. Ergänzungen Einschränkungen in Bezug auf die vereinbarte Leistungserbringung ergeben, so hat dies der Auftragnehmer umgehend beim Auftraggeber anzuzeigen.

Das durch den Auftragnehmer zu entwickelnde LEV soll für potentielle, gewerbliche Anwendungsbereiche in den Branchen KEP, Pharma, Verlagslogistik, Stadtlogistik, soziale Lieferdienste und für das Handwerk eingesetzt werden.

Es soll zwei Varianten geben, eine 25 km/h- (Pedelec) und eine 45 km/h-Version (S-Pedelec, E-Bike). Die Auslegungsgeschwindigkeit soll 30 % über der Unterstützungsgeschwindigkeit der 45 km/h Version (bei 60 km/h) liegen. Dabei soll eine Lebensdauer von mindestens fünf, aber maximal zehn Jahren bei einer Laufleistung von 12.000 km pro Jahr (40 km pro Tag - bei der 25 km/h Variante) bzw. 20.000 km pro Jahr (80 km pro Tag bei der 45 km/h Variante) realisiert werden, bei einer Zuladung von 350 kg.

Um die Effizienz des bisher bereits bestehenden Konzeptes und die Akzeptanz seitens der Kommunen zu gewährleisten, dürfen bestimmte Außenabmessungen des Fahrzeugs nicht überschritten werden. Sowohl eine maximale Breite von einem Meter, um Radwege weiter zu nutzen, als auch eine maximale Länge von drei Meter dürfen unter keinen Umständen überschritten werden. Bei der maximalen Länge sollte immer berücksichtigt werden, dass ein solches Fahrzeug auch auf einer Verkehrsinsel unterkommen muss, ohne den daran vorbeiführenden, fließenden Verkehr zu behindern. Je kürzer das LEV sein wird, desto besser wird es auf solchen Verkehrsflächen untergebracht werden können und desto höher ist die Akzeptanz eines solchen Fahrzeugs für anderen Verkehrsteilnehmer. Weiterhin muss das Fahrzeug so beschaffen sein, dass in der Transportbox in der Grundfläche mindestens eine Europalette (1,2 m × 0,8 m) bei einem Ladevolumen von 1,5 m³ untergebracht werden kann. Die Höhenbegrenzung des LEV ergibt sich aus der Höhe der Unterkante für die Straßenbeschilderungen

(siehe Punkt A 3.4.4.5)) bzw. der typisch maximalen Einfahrtshöhe von Tiefgaragen/Parkhäusern. Das LEV soll dabei so beschaffen sein, dass Parkhäuser/Tiefgaragen mit einer maximalen Einfahrtshöhe von 2 m befahren werden können.

Das LEV muss in der Grundkonstruktion so beschaffen sein, dass Plattformkonzepte ähnlich wie bei einem Lkw-Basisfahrzeug umgesetzt werden können. Dies ermöglicht es, verschiedene Aufbauten für unterschiedliche logistische Anwendungen zu realisieren.

A 3.1.1) Pflichten des Auftragnehmers

Der Auftragnehmer muss die Einhaltung aller Regelungen dieses Lastenheftes sicherstellen.

A 3.1.2) Abnahmeverfahren und -kriterien

Nach vollständiger Leistungserbringung wird das Werk formal abgenommen. Die Abnahmekriterien sind erfüllt, sofern die in Kapitel drei bis sieben beschriebenen Leistungsinhalte vollständig und inhaltlich korrekt erbracht sind. Bei der Werkabnahme wird der Leistungsumfang geprüft.

A 3.1.3) Kurzfassung und Pflichten des Auftraggebers

Für die Erstellung des Lastenheftes wurde zunächst durch den Auftraggeber eine Anforderungsanalyse mit entsprechenden Workshops und Experteninterviews mit den Logistikunternehmen durchgeführt.

Für eine bessere Unterteilung der gewünschten Fahrzeugfunktionen erfolgt die Abfrage in Funktionsgruppen, welche in einen Fahrerbereich, Ladungsbereich und einen Fahrwerks- & Antriebsbereich aufgeteilt sind. Jede Funktionsgruppe beschäftigt sich mit eigenen Themen, der Fahrerbereich beschäftigt sich z. B. mit den Themen Ergonomie, Wetterschutz, etc. (siehe Lastenheft Abbildung 1).



Lastenheft Abbildung 1: Funktionsgruppen des LEV

A 3.2) Anforderungsanalyse Experteninterviews/-aussagen

Auf dem Markt gibt es aktuell kein zulassungsfreies LEV, das den Anforderungen der KEP-, Food- bzw. Pharmabranche gerecht werden kann. Aus diesem Grund wurde eine Umfrage mit Hilfe des Fragebogens „Anforderungsprofil eines zulassungsfreien LEV“ durch Telefoninterviews und persönliche Befragung durchgeführt. Somit konnten der Bedarf und die Ansprüche an ein Lastenrad abgefragt werden. An der Umfrage haben zwölf verschiedene Unternehmen mit zweiundzwanzig Rückmeldungen aus Deutschland und Österreich teilgenommen:

- CycleCowboys
- Der Grüne Laden
- DPD Deutschland GmbH
- DPD Direct Parcel Distribution Austria GmbH
- General Logistics Systems Germany GmbH & Co. OHG
- Hermes Germany GmbH
- Mili Trans GmbH
- Mittelbayerische Zeitung Regensburg
- Sanacorp Pharmahandel GmbH
- Taylor Transporte
- TNT Express GmbH
- United Parcel Service Deutschland S.à.r.l. & Co. OHG

Lastenheft Abbildung 2: Am Fragebogen beteiligte Unternehmen

Im Folgenden werden die Auswertungen aus dem Fragebogen durch die Funktionsgruppen „Anforderungen an den Fahrerbereich“, „Anforderungen an den Ladungsbereich“, „Anforderungen an den Fahrwerks- & Antriebsbereich“ sowie „Erwartete Leistungen“ dargestellt. Die Bereiche Sicherheit und Dienstleistung aus dem Fragebogen sind in die Auswertungen des Fahrer-, Ladungs- und Fahrwerks- & Antriebsbereich integriert worden. Am Ende des Lastenhefts wird die Thematik „Bisherige Erfahrungen mit Lastenrädern“ beschrieben.

Bei über 50 % Zustimmung haben elf bis zweiundzwanzig Teilnehmer mit „Ja“ geantwortet. Bei unter 50 % Zustimmung haben ein bis zehn Teilnehmer mit „Ja“ geantwortet. In den Balkendiagrammen werden aufgrund der Übersichtlichkeit erst Werte ab 18,18 % dargestellt. Um dabei eine einheitliche Struktur beibehalten zu können, beziehen sich, unabhängig von der Anzahl der Antworten, alle Prozentangaben auf eine Antwortmenge von zweiundzwanzig.

Im Folgenden werden die Auswertungen des Fragebogens anhand von Diagrammen gezeigt und daraus einzelne Komponenten nochmals genauer erläutert. Zusätzlich werden allgemeine Grundfunktionen mit in den Themenfelder als Standardausstattung aufgelistet.

Fragebogen	Position/Verantwortlichkeit im Unternehmen
1	Zentrale Kommunikation
2	Environmental Manager / New Mobility
3	Logistikleiter
4	Niederlassungsleiter
5	Geschäftsführer
6	Geschäftsführer
7	Group Manager Sustainability and Innovation
8	Depotverantwortlicher
9	Depotverantwortlicher
10	Geschäftsführer
11	Geschäftsführer
12	Director Operations and Engineering
13	Projekt Management
14	Alternative Antriebe
15	Transport-/Logistikverantwortlicher
16	Depotmanager
17	Referent der Geschäftsführung
18	Junior Projektleitung
19	Manager Last Mile
20	Manager Last Mile
21	Referent City Logistik
22	Manager Innovation Last Mile

Lastenheft Abbildung 3: Gesprächspartner des Fragebogens der KEP-, Food- u. Pharmabranche

Es folgt die prozentuale Verteilung der „Ja“-Stimmen zu den Funktionsgruppen.

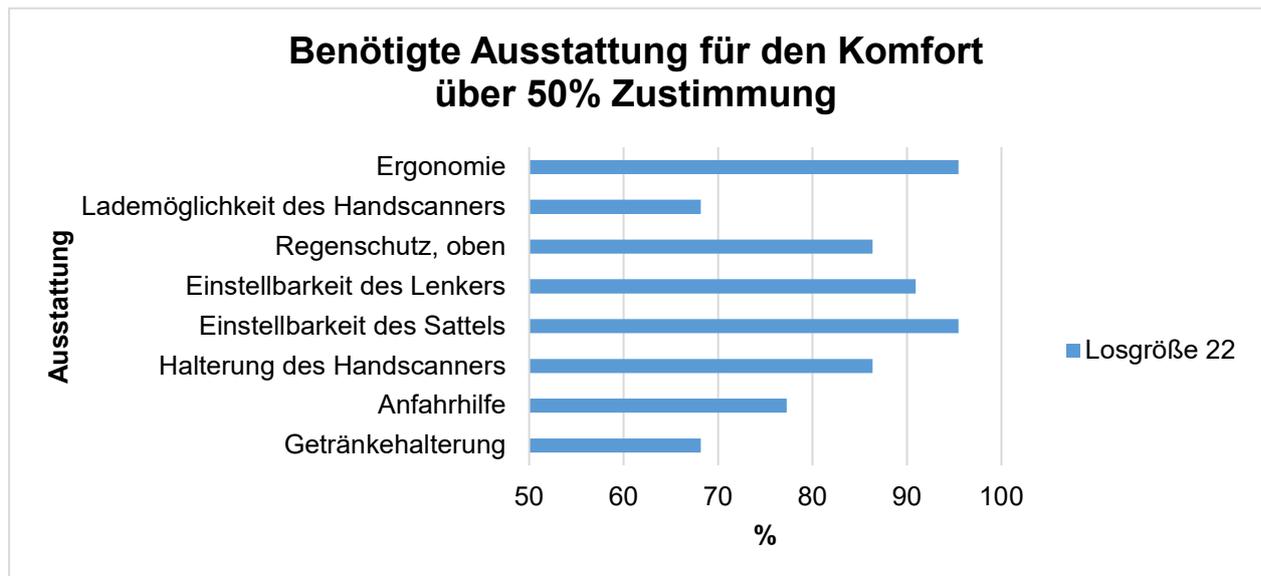
Die in den Funktionsgruppen abgefragten Komponenten wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Dabei sind über 50 % Zustimmung der Befragten als Standardausstattung und unter 50 % Zustimmung der Befragten als Sonderausstattung kategorisiert.											
„Ja“- Stimme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
%	4,55	9,09	13,64	18,18	22,73	27,27	31,82	36,36	40,91	45,45	50,00
„Ja“- Stimme	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
%	54,55	59,09	63,64	68,18	72,73	77,27	81,82	86,36	90,91	95,45	100,00

Lastenheft Abbildung 4: Prozentualer Anteil an "Ja"-Stimmen

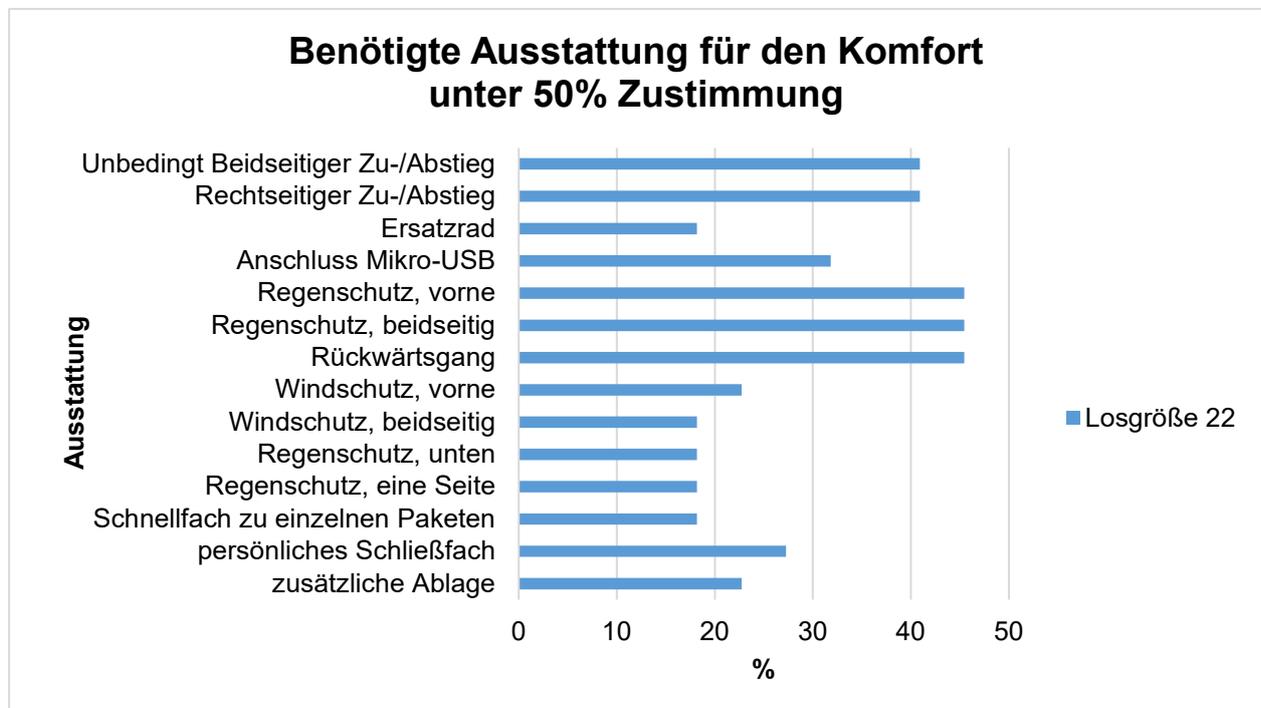
A 3.3) Anforderungen an den Fahrerbereich

Der Fahrerbereich soll vom Auftragnehmer so gestaltet werden, dass der Fahrer mit einfachen Handgriffen das Lastenrad bedienen und sich somit auf den Straßenverkehr konzentrieren kann. Im Nachfolgenden sind die Schwerpunkte Komfort und Kommunikation aus dem Fragebogen genauer definiert.

Komfort



Lastenheft Abbildung 5: Benötigte Ausstattung für den Komfort über 50 % Zustimmung



Lastenheft Abbildung 6: Benötigte Ausstattung für den Komfort, unter 50 % Zustimmung

Ergonomie

Aus dem Fragebogen geht hervor, dass alle Befragten, ausschließlich einer Enthaltung, das Thema Ergonomie als sehr wichtig empfinden. Das Lastenrad soll den Arbeitsalltag unterstützen, indem die Anordnung der zu greifenden Gegenstände (bspw. Handscanner, Pakete aus dem Ladungsraum) räumlich und zeitlich optimiert angeordnet sind. Der Lastenradfahrer soll möglichst wenig ermüden und nicht körperlich geschädigt werden, auch wenn er die Arbeit über Jahre hinweg ausübt.

Dazu zählt unter anderem:

- Lastenradfahrer darf das Bein beim Auf- und Absteigen nur wenig oder gar nicht heben/beugen
- Stehendes Absteigen vom LEV
- Ergonomisch zu erreichende Bedienelemente z. B. Bremse, Feststellbremse, Blinker, Licht etc.

Schutz vor Oberflächenwasser bzw. Straßenverschmutzungen

Sowohl der Fahrer, als auch die Transportbox müssen vor Verschmutzungen der Straße bedingt durch die Bereifung geschützt werden.

Einstellbarkeit des Sattels und Lenkers

Damit eine optimal auf den Körper abgestimmte Fahrradeinstellung für verschiedene Lastenradfahrer erhalten wird, sollen die Sattelhöhe sowie der Sattelversatz verstellbar sein. Der Sattel soll sich neigen und verschieben lassen können.

Des Weiteren soll die Sitzposition über den Niveauunterschied und den Abstand zwischen Sattel und Lenker verstellbar sein, da diese abhängig von der Oberkörperlänge und der Sitzhaltung jedes einzelnen Fahrers ist.

Dabei soll sich der Verstellbereich an der im Kraftfahrzeugbereich üblichen Körpergrößen bei der Auslegung von Fahrzeugsitzen orientieren.

Halterung und Lademöglichkeit des Handscanners

Es soll eine für Handscanner montierte Vorrichtung am Lastenrad angebracht werden, sodass eine schnelle Nutzung des Scanners möglich ist. Dabei soll die Halterung im Fahrerbereich nicht beim Auf- und Absteigen, Pedalieren oder Lenken stören. Diese Vorrichtung soll zusätzlich als Lademöglichkeit für den Handscanner dienen und diesen während des Fahrens aufladen.

Anfahrhilfe

Im Bereich Komfort wird eine Anfahrhilfe benötigt, damit auch ohne Pedalieren eine Anfahrge-
schwindigkeit bis zu 6 km/h erzeugt werden kann. Die Regelung kann bspw. über einen Hebel
oder Drehgriff erfolgen. Die Motorhilfe soll ein vollbeladenes Lastenrad auf flachen Straßen
sowie bergauf den Fahrer beim Anfahren unterstützen.

Weiteres zum Thema Anfahrhilfe auf Seite -27-.

Getränkehalterung

Eine Getränkehalterung soll so angebracht werden, dass diese im Fahrerbereich nicht beim
Auf- und Absteigen, Pedalieren oder Lenken stört. Sie soll aus robustem Material bestehen
und zu einer einfachen und schnellen Verfügbarkeit der Trinkflasche helfen. Die Anbringung
soll eine handelsübliche Flasche von bis zu 1,5 Liter halten können.

Regenschutz; von oben

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass ein abnehmbarer Wetterschutz von den Fah-
rern favorisiert wird. Eine Funktionsbeeinträchtigung des Fahrzeugs bedingt durch den Wet-
terschutz (z. B. Einschränkung bei der Wendigkeit, Sichteinschränkungen etc.), wie es bei den
bisher eingesetzten Fahrzeugen der Fall ist, soll unter allen Umständen vermieden werden.
Ein allgemeiner Wetterschutz wird derzeit mit wetterangepasster Kleidung von den Fahrern
umgesetzt und priorisiert, weshalb ein am Fahrzeug angebrachter Wetterschutz in der Stan-
dardausstattung nicht notwendig ist. Bedingt durch die Ergebnisse des Fragebogens sollte
aber die Möglichkeit vorgesehen werden, eine intelligente Lösung für den Regenschutz von
oben als Sonderausstattung zu ordern. Die Nachrüstung bzw. Lösung dieser Problematik ob-
liegt den Auftragnehmer und kann sowohl als fest, als auch abnehmbar, verstaubar, durch
Teleskopschienen etc. umgesetzt werden.

Das Material soll robust und leicht sein und der Auslegungsgeschwindigkeit sowie aufkom-
menden Gegenwind standhalten.

Regen- und Windschutz; von vorne und von der Seite

Die Fragebögen haben ergeben, dass ein Wetterschutz von vorne bzw. der Seite eine zusätz-
lich buchbare Ausstattungsoption sein kann. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass dieser
Wetterschutz den Fahrer beim Auf- und Absteigen auf das LEV nicht behindert. Ein zusätzli-
cher Zeitbedarf bei der Zustellung bedingt durch das Öffnen und Schließen eines seitlich mon-
tierten Wetterschutzes ist indiskutabel. Der Wetterschutz muss der Auslegungsgeschwindig-
keit sowie aufkommenden Gegenwind standhalten.

Der Wetterschutz von vorne und von der Seite sollte als Kundensonderwunsch behandelt und
auf Anfrage gesondert geordert werden können.

Rückwärtsgang

Es soll die Möglichkeit geben, das LEV zu rangieren und damit rückwärts bewegen zu können. Ein Freilauf wäre dann ausreichend, wenn vollbeladen eine einfache Umsetzung erfolgen kann.

Auf-/Abstieg; beidseitig oder ausschließlich rechtseitig

Der Auf- und Abstieg auf das bzw. vom Lastenrad kann beidseitig oder ausschließlich rechtseitig erfolgen.

Ablage und Schließfach

Um eine schnellere Auslieferung von bspw. Paketen gewährleisten zu können, kann eine zusätzliche Ablage im Fahrerbereich verbaut werden. Darüber hinaus kann es ein verschließbares Zusatzfach geben, damit kleine Wertgegenstände des Fahrers verstaut werden können.

Dieses Fach soll sich von der Dimensionierung an einem großen DIN A4 Ordner orientieren:

$$L= 300 \text{ mm } B= 330 \text{ mm } H= 100 \text{ mm}$$

USB Anschluss

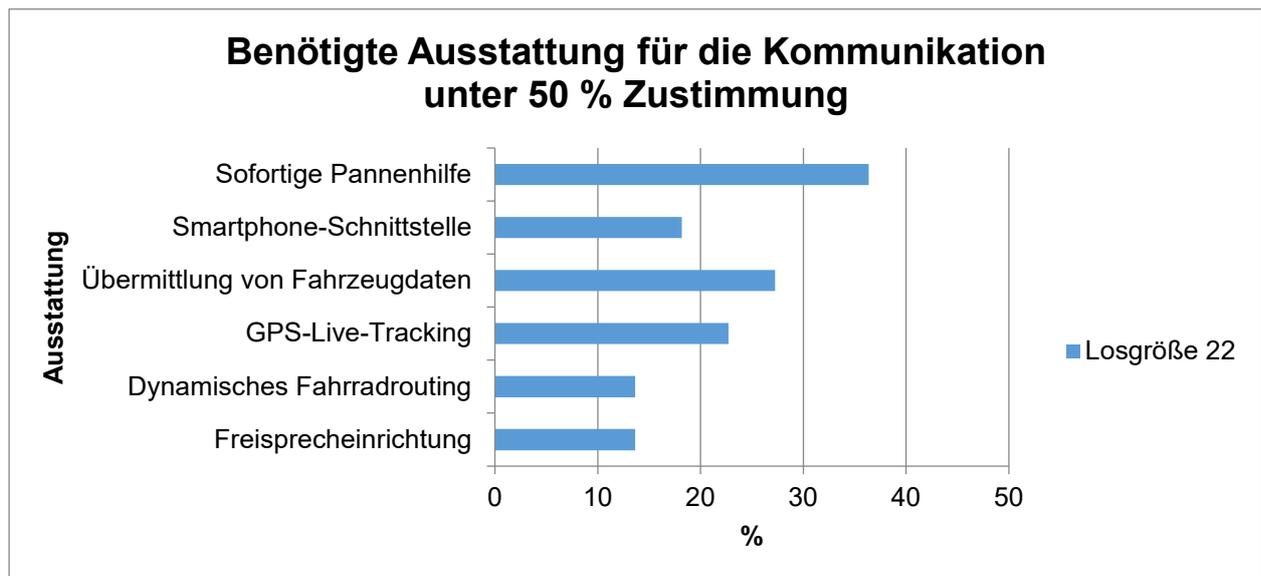
Ein USB-Anschluss, welcher zum Laden zusätzlicher Hardwarekomponenten genutzt werden kann (z. B. Smartphones, Tablet etc.) soll vorhanden sein.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Devices auch für die Navigation oder zur Auftragsannahme verwendet werden können, was impliziert, dass es eine Montage- und Lademöglichkeit im Sichtbereich des Fahrers geben muss.

Es können mehrere USB-Anschlüsse am Fahrzeug (auch in einem absperrbaren Schließfach) vorhanden sein.

Es obliegt dem Auftragnehmer, einen USB-Anschluss zur Fahrzeugkommunikation (für Wartung oder Fehlermeldungen etc.) zu integrieren.

Kommunikation



Lastenheft Abbildung 7: Benötigte Ausstattung für die Kommunikation, unter 50 % Zustimmung

Aus dem Fragebogen geht hervor, dass die Befragten der KEP-, Food- bzw. Pharmabranche bereits eine ausreichende Kommunikationsübermittlung besitzen, sodass es scheinbar keine Notwendigkeit der Überlieferung bedarf.

Display

Es soll ein Display vorhanden sein, welches den Ladestand und die gefahrene Geschwindigkeit anzeigt.

Interne Fahrzeugkommunikation

Die interne Kommunikation des Fahrzeugs soll Reserven für die Kommunikation mit zusätzlichen Devices auf Android-Standard vorweisen können. Hierzu wird vom Auftragnehmer ein Telematik-Standard für den Datenaustausch über ein CAN-Bus System definiert. Zu kommunizierende Daten können sein:

- Angaben zum transportierten Gewicht und Volumen
- Ladestandsanzeige, Ladestandsübermittlung
- Daten zur Temperatur in der Transportbox
- Weitere Daten, welche im Rahmen von Logistik-Apps übertragen werden können

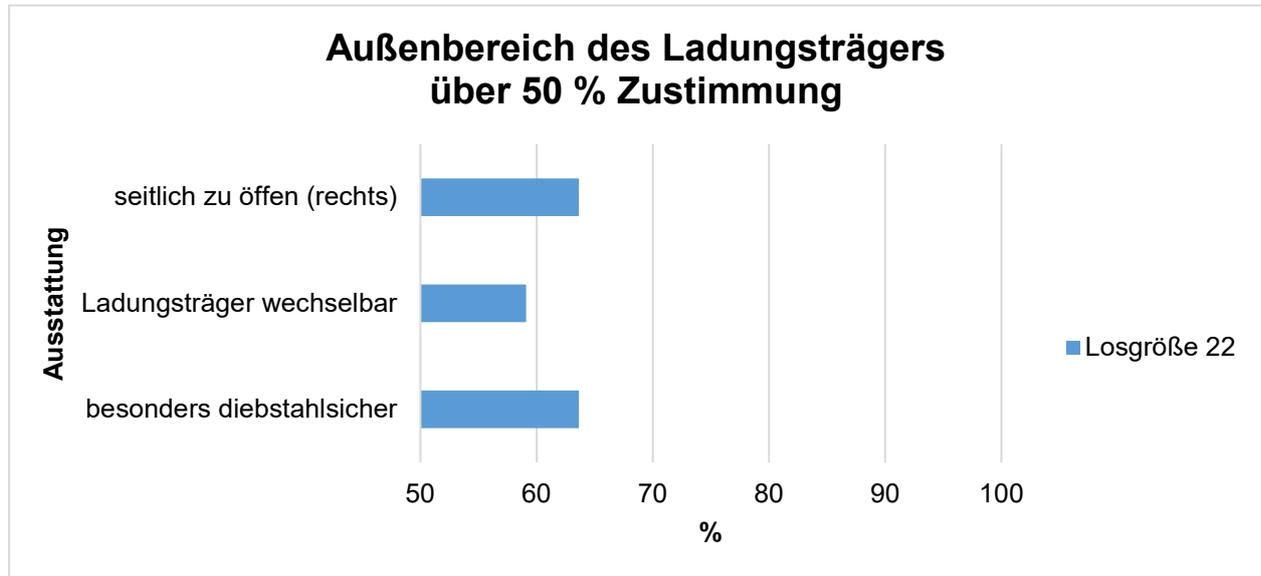
Sofortige Pannenhilfe

Hierbei sollen die Hauptausfallursachen, bedingt durch beschädigte Reifen, Mäntel oder Felgen während der Zustellfahrt, behoben werden können. Es muss dem Fahrer dabei ermöglicht werden, diese Panne ohne Hilfe zusätzlicher Personen in möglichst kurzer Zeit und ohne viel Kraftaufwand mit Bordmitteln zu beseitigen. Dies kann mit einem Fahrzeugheber, einem Ersatzrad und entsprechendem Werkzeug zum Lösen des beschädigten Rads realisiert werden.

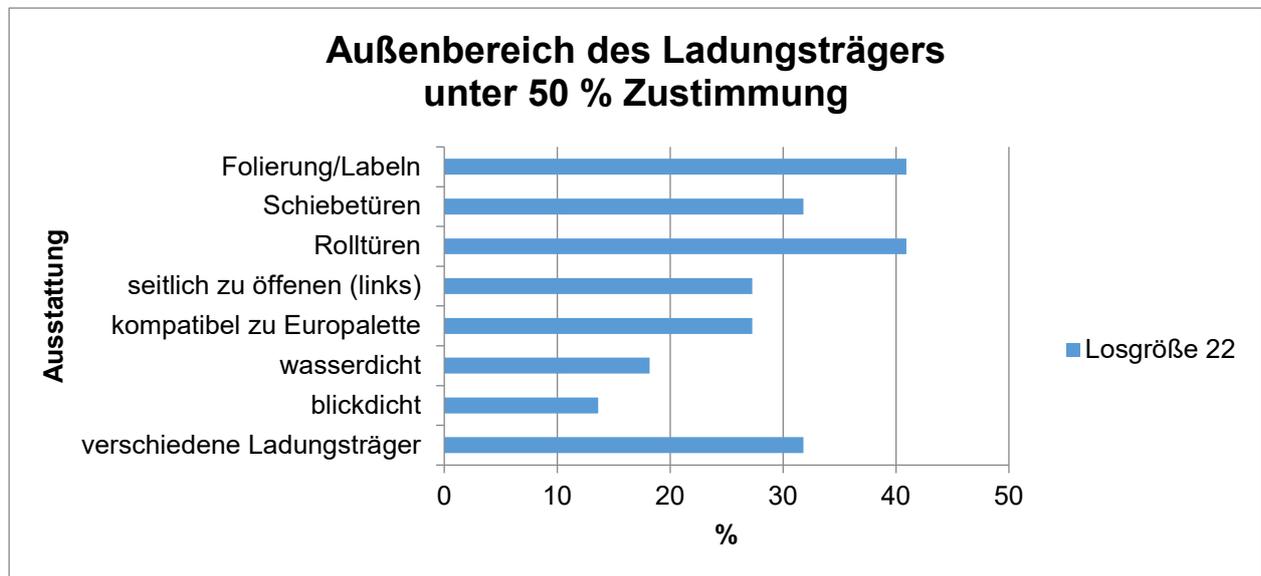
A 3.4) Anforderungen an den Ladungsbereich

Der Ladungsbereich soll so vom Auftragnehmer gestaltet werden, dass der Fahrer mit einfachen Handgriffen das Lastenrad bedienen und sich somit auf die Auslieferung der Ware konzentrieren kann. Folgend sind die Schwerpunkte Außen- und Innenbereich genauer definiert.

A 3.4.1) Außenbereich des Ladungsträgers



Lastenheft Abbildung 8: Außenbereich des Ladungsträgers, über 50 % Zustimmung



Lastenheft Abbildung 9: Außenbereich des Ladungsträgers, unter 50 % Zustimmung

Seitlich rechts zu öffnender Ladungsträger

Aufgrund des Rechtsverkehrs in Deutschland, ist die auszuliefernde Ware und damit der Kunde in den meisten Fällen rechts des Lastenrads. Dabei wird die Ware nicht nur aus Sicherheitsgründen durch den Verkehr von dieser Seite aus dem Ladungsträger entnommen. Vor

allem kann dadurch die Auslieferung der Ware schneller erfolgen, da die Laufwege optimiert werden können.

Wechselbarer Ladungsträger

Die Grundkonstruktion des Fahrzeugs sollte so ausgelegt werden, dass ein Wechselcontainersystem implementiert werden kann. Diese Wechselcontainer können ähnlich wie beim Lkw von verschiedenen Aufbauherstellern stammen. Die Möglichkeit zum Nachrüsten eines Standardanschlusses zur Kommunikation von Daten (z. B. Temperatur im Ladungsträger) mit den Wechselcontainern sollen vorhanden sein.

Diebstahlsicherer Ladungsträger

Die zu transportierenden Artikel haben insgesamt einen hohen Warenwert. Aus diesem Grund soll der Ladungsträger vor Unbefugten geschützt werden. Im besten Fall wird der Ladungsträger bei einfacher Schließung der Ladungstür bereits diebstahlsicher gemacht. Das Schloss muss entsprechend der Lebenszeit des Fahrzeugs ausgelegt sein (110 Zyklen pro Tag, 6 Tage pro Woche) und den Ladungsträger während der üblichen Stoppzeit von drei bis fünf Minuten vor unberechtigtem Zugriff schützen.

Verriegeln und Öffnen des Ladungsträgers

Das Verriegeln und Öffnen des Ladungsträgers während des Zustellprozesses kann über eine Mechanik innerhalb eines Zeitintervalls von drei Sekunden erfolgen. Weiterhin soll die Möglichkeit bestehen, den Ladungsträger auch ohne das Fahrzeug zu verriegeln und zu öffnen. Das Verriegeln des Ladungsträgers soll mit der Aktivierung der Wegfahrsperre erfolgen.

Der Vergleichsstandard des Verriegelns und Öffnens des Ladungsträgers soll sich an der Kfz-Branche orientieren (per Funk über Knopfdruck mit einem Schlüssel).

Folierung und Labeln des Ladungsträgers

Der Ladungsträger soll als Werbefläche genutzt werden können und somit in der Farbe Weiß an den Kunden ausgeliefert werden. Eine Folierung soll im Anschluss möglich sein.

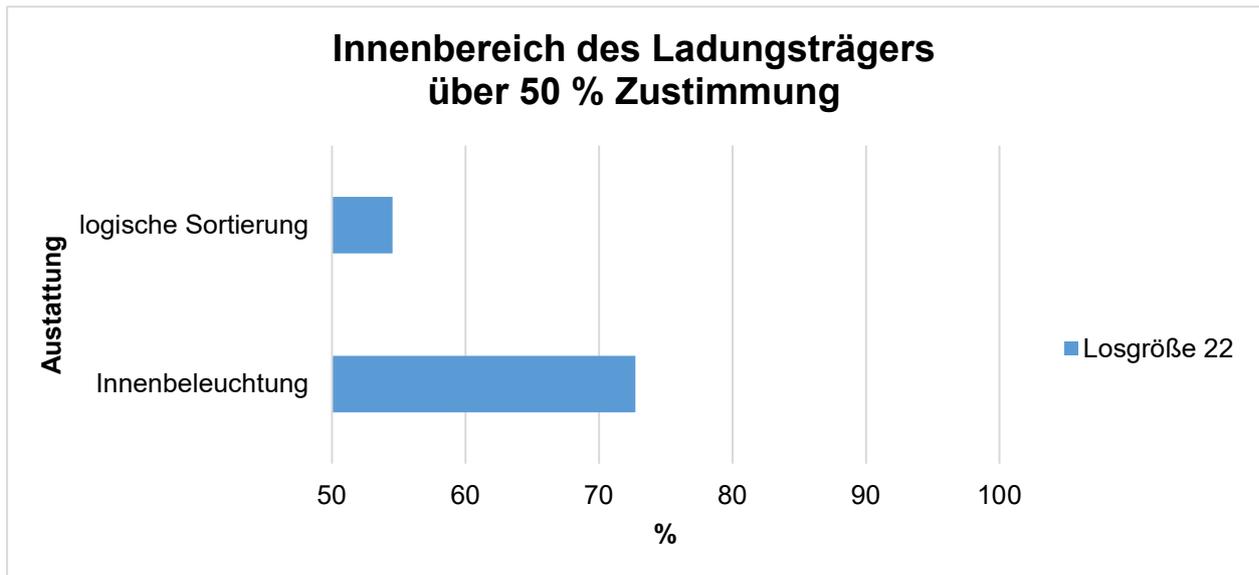
Rolltüren oder Schiebetüren des Ladungsträgers

Das Öffnen und Schließen des Ladungsträgers soll schnell und einfach in der Ausübung sein. Der maximale Zeitbedarf für diesen Vorgang soll sich an dem bisherigen Prozess der Transporter orientieren.

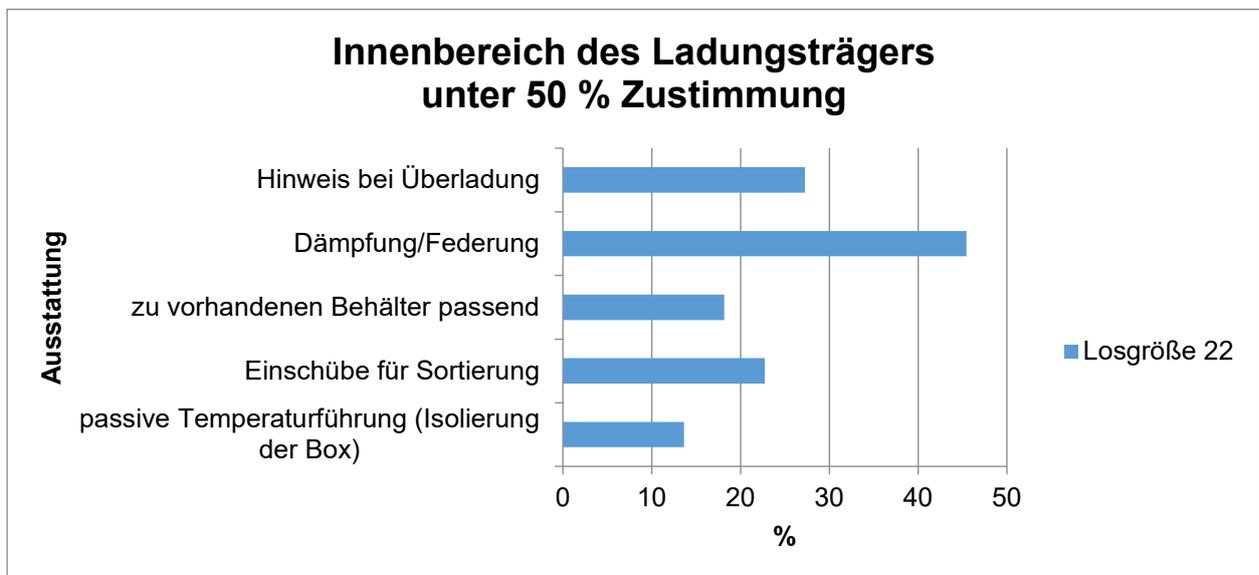
Verschiedene Ladungsträger

Die Auslieferungsmengen eines Lastenrads kann zu jeder Tourenlänge unterschiedlich hoch sein. Somit sollen verschiedene Größen an Ladungsträgern optional buchbar sein.

A 3.4.2) Innenbereich der Ladungsbox



Lastenheft Abbildung 10: Innenbereich des Ladungsträgers, über 50 % Zustimmung



Lastenheft Abbildung 11: Innenbereich des Ladungsträgers, unter 50 % Zustimmung

Logische Sortierung im Ladungsträger

In den Ladungsträger sollen die Waren nicht unsortiert hineingelegt werden, sondern mithilfe eines bereits vorhandenen Sortiersystems wiedergefunden werden. Dabei kann im Vorfeld auf Retouren geachtet und Waren können nach der geplanten Auslieferung im Ladungsträger positioniert werden. Dabei hat sich ergeben, dass das bisherige System bestehend aus Europaletten-kompatiblen Boxen sich in der Praxis bewährt hat. Logische Sortiersysteme sind zunächst Aufgabe der Aufbauhersteller.

Beleuchtung im Ladungsträger

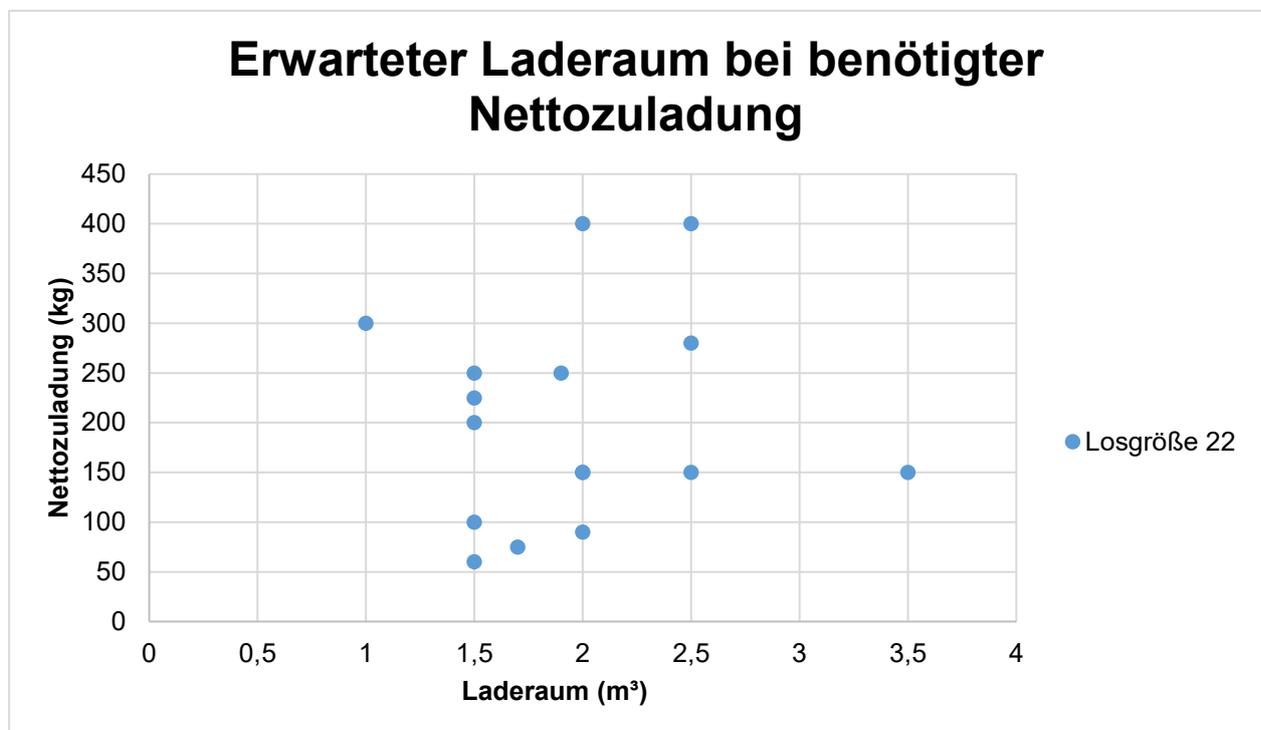
Vor allem bei wetterbedingter Dunkelheit können die Waren im Ladungsträger schlechter gefunden werden. Aus diesem Grund soll eine Innenbeleuchtung vorhanden sein, welche in dem

gesamten Ladungsträger für eine angemessene Helligkeit sorgt. Hindernde Kabelführungen in der Box zur Stromversorgung der Lichtquelle müssen vermieden werden.

Benötigte Nettozuladung (kg) bei erwartetem Laderaum (m³)

Der Auftragnehmer bietet als Standardlösung eine fest montierte Transportbox mit einem Ladevolumen von mind. 1,5 m³ und einer Zuladung von 350 kg unter Berücksichtigung der zulässigen Höchstmaße des Fahrzeugs (siehe Punkt A 3.4.4.5), Punkt A 3.1)) an. Die Mindestgrundfläche der Transportbox soll die einer Europalette (1,2 m × 0,8 m) betragen.

Befördert werden können sollen mindestens 60 kg und höchstens 400 kg Warengüter, basierend auf dem Fragebogen. Dabei entspricht der Mittelwert 202 kg und der Medianwert 175 kg. Die Angaben dazu wie viel Ladefläche erwartet wird, ergaben einen Mindestwert von 1 m³ und einen Höchstwert von 4 m³. Der Mittelwert wie auch der Medianwert lagen bei 2 m³.



Lastenheft Abbildung 12: Erwarteter Ladungsraum bei benötigter Nettozuladung

Der erwartete Laderaum bei benötigter Nettozuladung ergab bei den Teilnehmern des Fragebogens unterschiedliche Vorstellungen. Aus der Statistik ist kein einheitliches Muster für das Verhältnis Nettozuladung und Laderaum des Lastenrads erkennbar. Der erwartete Laderaum steigt nicht mit zunehmender Nettozuladung.

Bei der am höchsten angegebenen Nettozuladung von 400 kg wird ein Laderaum von bis zu 2,5 m³ erwartet. Bei der am niedrigsten angegebenen Nettozuladung von 60 kg wird ein Laderaum von 1,5 m³ erwartet.

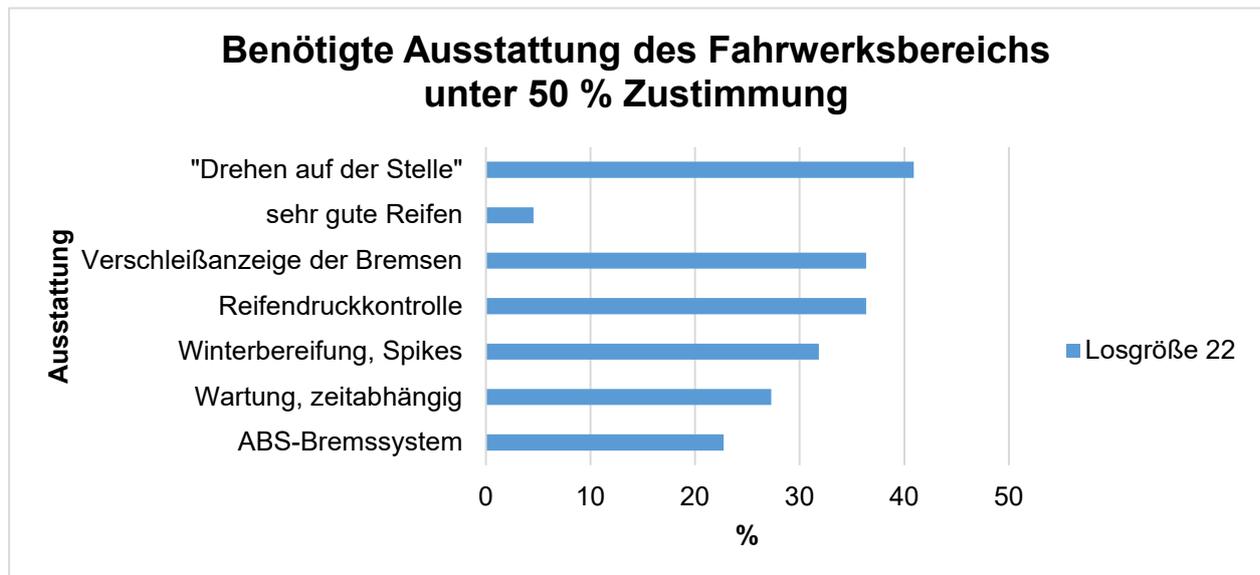
Hinweis bei Überladung des Ladungsträgers

Bei überhöhter Nettozuladung des Ladungsträgers soll der Fahrer informiert und ausdrücklich gewarnt werden, um Änderungen vor dem Beginn der Tour vornehmen zu können. Der Gesamtbeladungszustand kann gemessen oder auch dynamisch ermittelt werden. Beim Ignorieren der Warnmeldung bzw. bei Weiterfahrt mit überhöhter Beladung soll dies fahrzeugintern dokumentiert werden.

A 3.4.3) Anforderungen an den Fahrwerks- & Antriebsbereich

Der Fahrwerks- & Antriebsbereich soll vom Auftragnehmer so gestaltet werden, dass Verschleißteile unkompliziert und mit einfachen Handgriffen ausgebessert werden können. Ausfälle wie Reifenwechsel sollten somit schnell behoben werden können. Im Folgenden sind die Schwerpunkte Fahrwerks- & Antriebsbereich aus dem Fragebogen genauer definiert.

A 3.4.3.1) Fahrwerksbereich



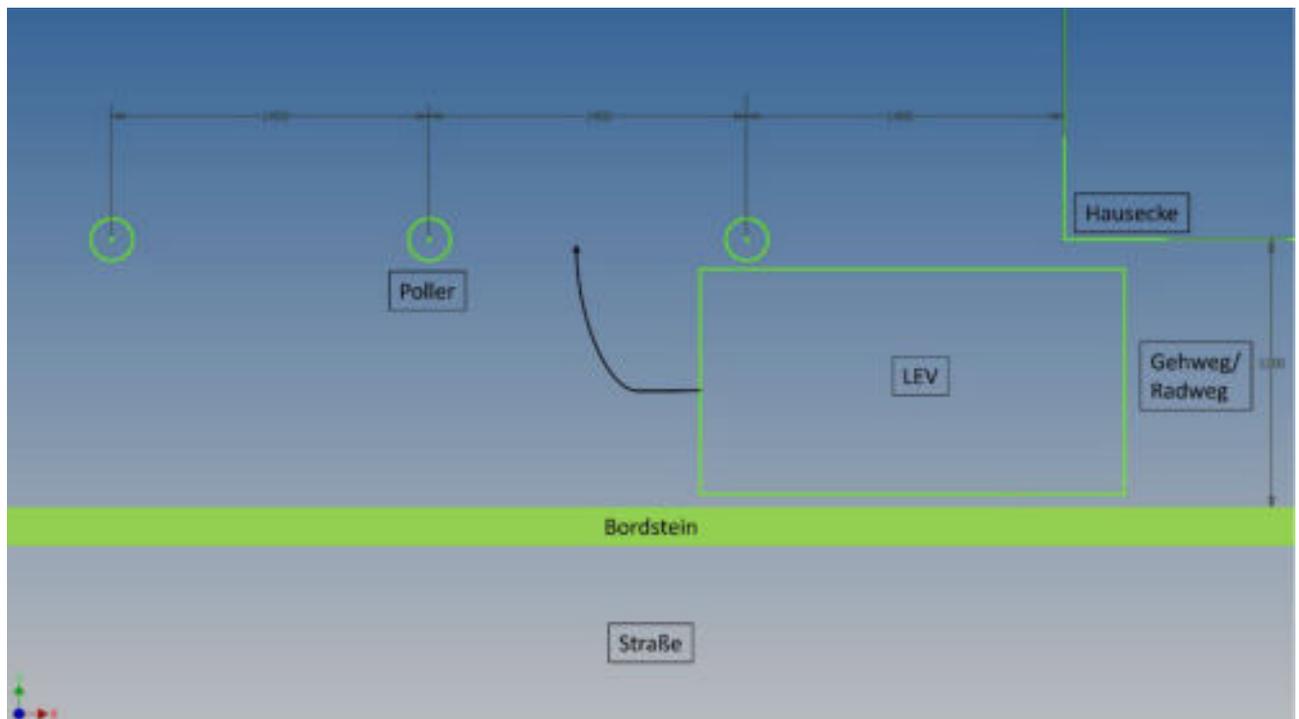
Lastenheft Abbildung 13: Benötigte Ausstattung des Fahrwerksbereichs, unter 50 % Zustimmung

Wendekreis

In der Praxis hat sich der Wendekreis des bisher eingesetzten Modells „Radkutsche Musketier“ bewährt. Da dieses Fahrzeug nahezu auf der Stelle wenden kann, wird entsprechend der Wendekreis durch den Radstand (1870 mm) definiert.

Das LEV muss in der Grundkonstruktion so beschaffen sein, dass beim Durchfahren eines Radwegs mit einer Breite von 1,2 m in eine mit Pollern abgesperrte, rechts vom LEV liegende Seitenstraße abgebogen werden kann (Abstand Poller zueinander: 1,4 m). Dabei muss das LEV vor dem zweiten Poller (in Fahrtrichtung) einfahren, da entsprechend schmalere Durchfahrten auch mit einem Poller abgesichert werden können (siehe Lastenheft Abbildung 14).

Es nicht Zulässig den Bordstein bzw. die Radwegbegrenzung für das Einfahren in die Seitenstraße zu überfahren. Das Fahrzeug muss vorwärts zwischen den Pollern durchfahren können (siehe Lastenheft Abbildung 15).



Lastenheft Abbildung 14: Beschreibung der Wendigkeit, Durchfahren der 2. Pollerdurchfahrt (Skizze)



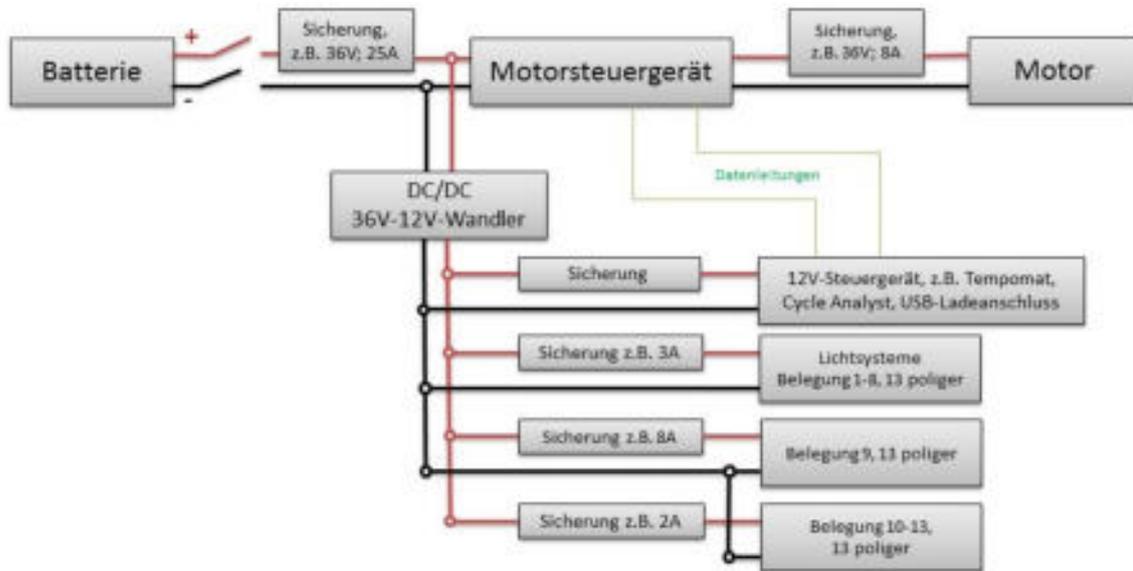
Lastenheft Abbildung 15: Befahren der zweiten Pollerdurchfahrt

Bremsen

Das Bremssystem muss so ausgelegt werden, dass beim zulässige Gesamtgewicht des Fahrzeugs bei 110 Stopps pro Tag und sechs Arbeitstagen pro Woche ein Austausch der verschleißrelevanten Komponenten unter Berücksichtigung der zulässigen Kosten und bis zum üblichen Zeitraum der Fahrzeugwartung hinausgezögert werden kann. Die Komponenten des Bremssystems, welche einem hohen Verschleiß unterliegen, müssen wartungsfreundlich und kosteneffizient erreichbar sein. Insgesamt muss ein Bremssystem realisiert werden, welches den Verschleiß minimiert (durch zusätzliche Rekuperation, Rollenbremsen etc.). Das Bremssystem muss das Gewicht des Fahrzeuges auch bei starkem Gefälle oder einer Steigung zuverlässig zum Stehen bringen und durch eine Feststellbremse halten können. Die Feststellbremse soll direkt durch einen Schalter am Lenker neben den üblichen Bremshebeln oder direkt in den Bremshebeln ergonomisch erreichbar integriert sein. Sowohl die Bremse, als auch die Feststellbremse sollen bei einem möglichen Ausfall der Elektrik des Fahrzeuges nicht in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Elektrische Installation/Bordnetz

Das Bordnetz sollte dem für den Kraftfahrzeugbereich aktuellen Stand der Technik entsprechen. Dabei gehört, neben einer sicheren und ausreichenden Dimensionierung von Kabelquerschnitten und elektrischen Komponenten, auch die übliche und sichere Auslegung von entsprechenden elektrischen Sicherungen. Diese können als Automaten oder auch wie für den Kraftfahrzeugbereich üblich, als Flachsicherungen realisiert werden. Dabei sollen diese wartungsfreundlich austauschbar oder bei Automaten erreichbar sowie witterungs- und von weiteren äußeren Einflüssen geschützt untergebracht werden. Sowohl Flachsicherungen, als auch Sicherungsautomaten müssen für Fahrer bzw. Zusteller erreichbar angebracht sein, sodass ein Ausfall während der Zustellung behoben werden kann. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass auftretende Fehler in der elektrischen Installation durch eine On-Board-Unit o. ä. dokumentiert werden müssen, sodass diese bei der nächsten Wartung erkannt und behoben werden können. Das Bordnetz kann in einen Leistungs- und einen Versorgungsbereich eingeteilt werden. Der Leistungsbereich kann dabei die Komponenten des Fahrzeugs versorgen, welche für den Antrieb zuständig sind (z. B. einen 36-V DC- bzw. 48-V-DC-Kreislauf). Der Versorgungsbereich kann die Komponenten versorgen, welche sich in einem 12-V-DC-Kreislauf (oder niedriger) befinden. Eine mögliche elektrische Versorgung des Ladungsträgers kann mit einer Erweiterung des 12-V-DC-Kreislauf erfolgen. (Als Beispiel für den Aufbau einer Spannungsversorgung, siehe Lastenheft Abbildung 16). Überdies muss das Bordnetz Reserven für potentielle zusätzliche elektrische Verbraucher vorweisen (zusätzliche Sensoren, Ladungsträger mit besonderen elektrischen Einrichtungen etc.). Je nach Aufbaulösung können zusätzliche Energiespeichermöglichkeiten im Ladungsträger verbaut werden, welche energieintensive Verbraucher innerhalb der Box abfangen können. Die Kommunikation und Versorgung zusätzlicher Verbraucher und Akkumulatoren im Ladungsbereich müssen durch eine genormte Schnittstelle ermöglicht werden, sodass ein einfacher und kostengünstiger Austausch dieser Schnittstelle, eine anbieterneutrale Stromversorgung der Anbauten und eine anbieterneutrale Datenkommunikation mit den Fahrzeugsensoren o. ä. möglich ist (siehe auch Punkt A 3.3).

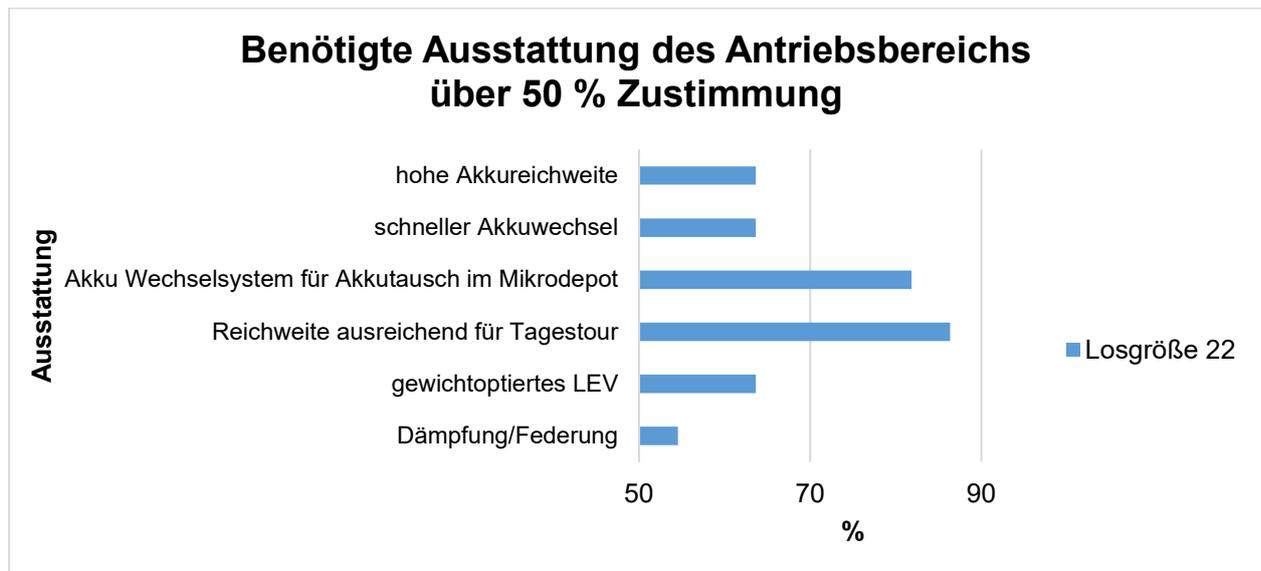


Lastenheft Abbildung 16: Möglicher beispielhafter Aufbau der elektrischen Installation des LEVs

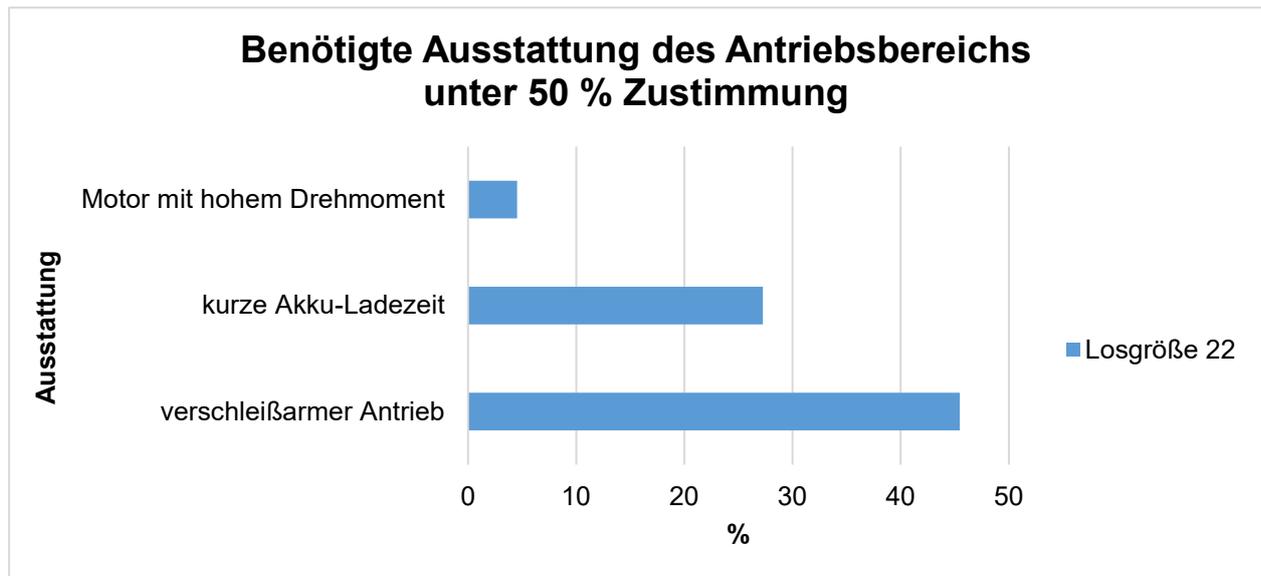
Wegfahrsperrung für das Fahrzeug

Eine Wegfahrsperrung soll verhindern, dass das Lastenrad von Unbefugten in Betrieb genommen werden kann. Dabei soll nicht nur das Lastenrad, sondern auch der Ladungsträger vor unberechtigtem Zugriff gesichert werden. Eine Zentralverriegelung wie beim Kfz-Transporter soll angestrebt werden, sodass Fahrzeug und Box gegen Diebstahl, Wegfahren/Bewegen während der üblichen Stoppzeit gesichert sind.

A 3.4.3.2) Antriebsbereich



Lastenheft Abbildung 17: Benötigte Ausstattung des Antriebsbereichs, über 50 % Zustimmung



Lastenheft Abbildung 18: Benötigte Ausstattung des Antriebsbereichs, unter 50 % Zustimmung

Antrieb

Der Antrieb muss verschleißarm durch einen elektrischen, bürstenlosen Motor erfolgen. Der Begriff verschleißarm definiert hierbei u. a. die zulässigen Kosten, welche sich aus der Auswertung des Fragebogens, ergeben haben (siehe Kapitel 6).

Komponenten, welche einer regelmäßigen Wartung oder Austausch unterliegen, müssen wartungsfreundlich und somit kosteneffizient verbaut werden. Für diese Komponenten muss ein Wartungsplan vorhanden sein und/oder der Fahrer bzw. der Nutzer des Fahrzeugs eine Benachrichtigung über ein Display erhalten und/oder ein Wartungsservice zur Verfügung stehen.

Anfahrhilfe und maximale Steigfähigkeit

Beispielhaft wurden für Nürnberg und Stuttgart die extremsten Steigungen im Stadtgebieten bemessen. Hierbei liegt diese im Stuttgarter Kessel bei ca. 11 % und auch am Nürnberger Burgberg kommt es in kleinen Teilstücken zu einer Steigung bis zu 10 %. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass diese Passagen auch im vollbeladenen Zustand des Lastenrads ohne Probleme befahren werden können. Ebenso muss die Bremskraft so ausgelegt sein, dass bei Befahren der Straßen das Lastenrad ausreichend gebremst werden kann und, dass dieses zur Belieferung auch auf den steilen Straßen durch eine Feststellbremse am Hang abgestellt werden kann. Die Auswertung der Fragebögen ergab hierbei, dass ein Nettogewicht von max. 400 kg entstehen kann.

Akku-Wechselsystem für Akkutauch im Depot

Der Akku soll aus den heutigen technischen Standards gebaut sein und so am Lastenrad verbaut sein, dass dieser mit einfachen Handgriffen schnell gewechselt werden kann.

Reichweite ausreichend für eine Tagestour

Die Reichweite eines Akkus soll mindestens für eine Tagestour ausgelegt sein (110 Stopps pro Tag, 40 km bei 25 km/h und 80 km bei 45 km/h Version). Darüber hinaus soll eine Überwachung und Warnung bei zu niedrigem Akkustand und vor einem potenziellen Versagen des Akkus vorhanden sein.

Energiespeicher

Die Auswertung des Fragebogens hat ergeben, dass es wünschenswert wäre, wenn sich die Lebensdauer des Energiespeichers an der Lebensdauer des Fahrzeugs orientiert. Dabei muss der Aufbau des Akkus so gestaltet werden, dass dieser sowohl gegen Stöße/Schläge von außen als auch gegen eintretendes Wasser resistent ausgelegt wird. Schäden, welche durch Stöße den Zellenhalter in einem Akku beschädigen, sind in der Mängelliste der bisher eingesetzten Fahrzeuge (siehe - 37 -, Mangelbeschreibung 16) dargestellt. Ein optimiertes Lademanagement-System kann den Verschleiß des Energiespeichers sowohl beim Laden als auch beim Entladen stark reduzieren und soll deshalb mitimplementiert werden. Das Lademanagement soll sowohl fahrzeugseitig als auch durch die mitgelieferten Ladegeräte gewährleistet werden. Die Standardeinstellung des Lademanagements soll dabei auf „maximale Lebensdauer“ des Energiespeichers ausgelegt werden.

Kurze Akku-Ladezeit

Die Akku-Ladezeit sollte so kurz wie Möglichkeit sein. Bei einem wechselbaren Akku ist eine Aufladung über Nacht ausreichend, höchstens jedoch sieben Stunden.

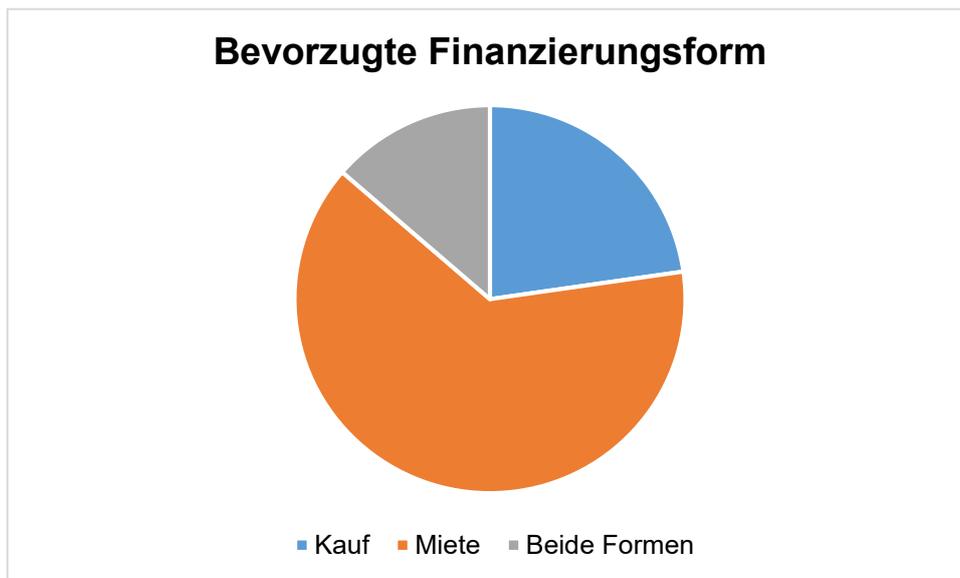
Motor mit hohem Drehmoment

Um eine hohe Last bewegen zu können, sollte am Lastenrad ein Motor mit hohem Drehmoment verbaut werden.

A 3.4.4) Erwartete Leistungen

Die erwarteten Leistungen sollten vom Auftragnehmer beachtet werden. Sie beinhalten die Finanzierungsform, Kosten und Nutzungsdauer, Betriebskosten sowie Zusatzleistungen in Form von Service und Wartung. Es wird im Folgenden auf jede Thematik näher eingegangen und die Auswertungen der Fragebogen-Teilnehmer in Diagrammen dargestellt.

A 3.4.4.1) Finanzierungsform



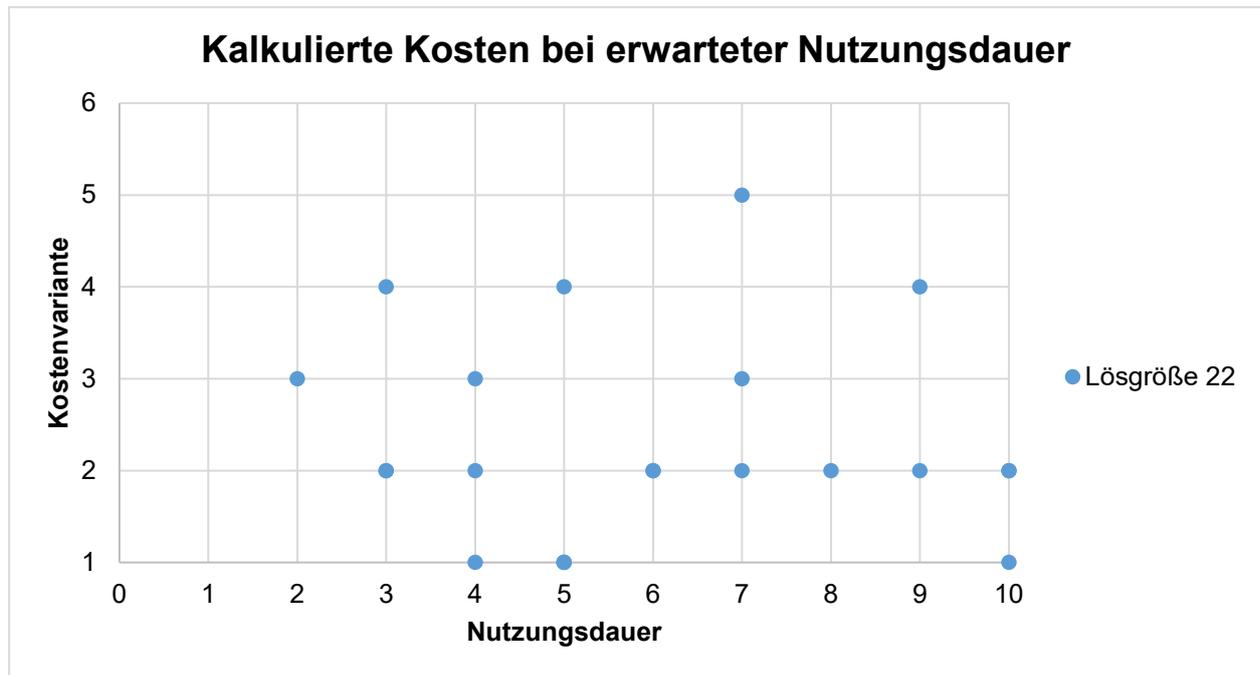
Lastenheft Abbildung 19: Bevorzugte Finanzierungsform

Als häufigste Finanzierungsform haben die Teilnehmer des Fragebogens (63,64 %) „Miete“ bevorzugt. Als mehrfache Begründung wurde angegeben, dass durch Miete nach Jahren die Möglichkeit einfacher besteht, schneller auf ein technisch besseres Modell zugreifen zu können. Eine weitere Begründung ist, dass mit einem gemieteten Fahrzeug Subunternehmer besser auf das Lastenrad aufmerksam gemacht werden können, da der Kostenfaktor um einiges geringer ist als bei einem Selbstkauf. Die dritte Überlegung kam vor allem von den Teilnehmern des Fragebogens, die derzeit noch kein LEV in Gebrauch haben, da somit schneller auf ein konventionelles Fahrzeug wie den Sprinter zurückgegriffen werden kann, falls das Lastenrad den Ansprüchen doch nicht gerecht werden kann.

22,73 % der Teilnehmer des Fragebogens sind für eine Kaufvariante des Lastenrads. Es wurde dabei von einigen Teilnehmern aber angegeben, dass sie nur zu Beginn dem Subunternehmen das LEV stellen, auf lange Sicht, diese ihre Fahrzeuge selber beziehen müssen.

13,63 % der Teilnehmer des Fragebogens haben angegeben, beide Finanzierungsformen nutzen zu wollen.

A 3.4.4.2) Kosten und Nutzungsdauer



Lastenheft Abbildung 20: Kalkulierte Kosten bei erwarteter Nutzungsdauer

Von den Kosten und der Nutzungsdauer haben die Teilnehmer des Fragebogens unterschiedliche Vorstellungen. Die in der Statistik angegebenen Kostenvarianten sollen die Kosten des Fragebogens widerspiegeln und dienen der Vereinfachung für die Darstellung des Punktediagramms.

Kosten	Kostenvariante
unter 5.000 EUR	1
5.000 EUR bis 7.500 EUR	2
7.500 EUR bis 10.000 EUR	3
10.000 EUR bis 12.500 EUR	4
12.500 EUR bis 15.000 EUR	5
über 15.000 EUR	6

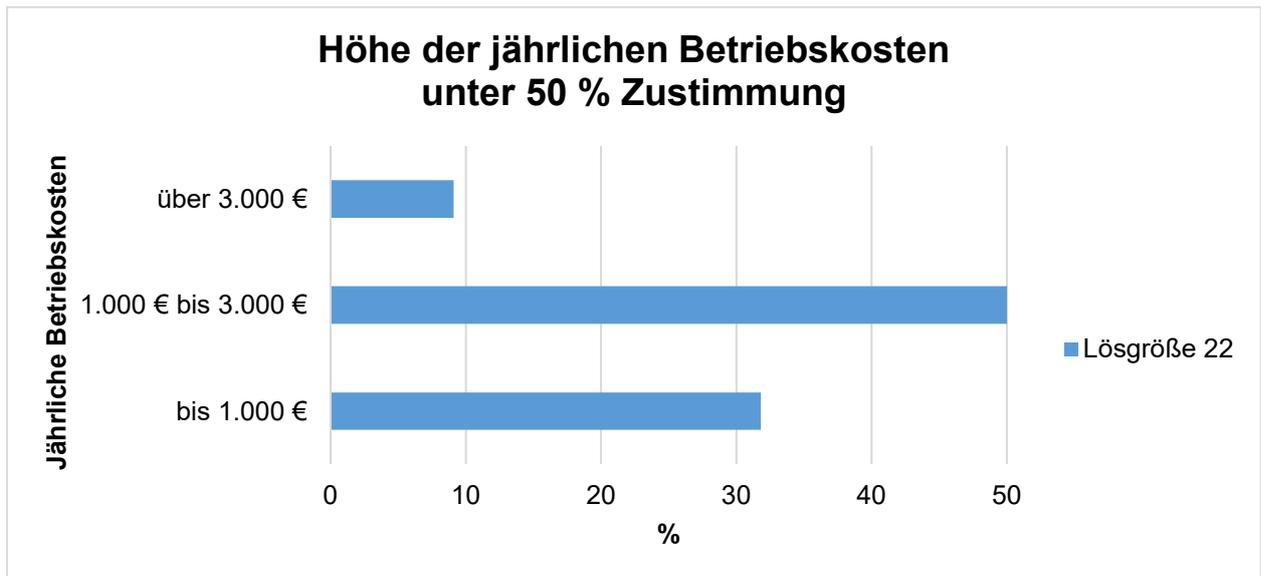
Lastenheft Abbildung 21: Darstellung der Kosten

Aus der Statistik ist kein einheitliches Muster für das Verhältnis Kosten und Nutzen des Lastenrads erkennbar. Die Bereitschaft eine höhere Summe für das Lastenrad zu erbringen bedingt keine längere Lebensdauer als bei einer kürzeren Lebensdauer für das Lastenrad.

Bei der am höchsten angegebenen Nutzungsdauer von zehn Jahren ist ein Preis von bis zu 7.500 EUR vorstellbar. Über 15.000 EUR ist eine Nutzungsdauer von sieben Jahren vorstellbar. Bei der am kürzesten angegebenen Nutzungsdauer von zwei Jahren, ist ein Preis von bis zu 10.000 EUR vorstellbar.

Der Zielpreis für das Basisfahrzeug mit festem Aufbau soll bei ca. 7500 EUR liegen.

A 3.4.4.3) Betriebskosten



Lastenheft Abbildung 22: Jährliche Betriebskosten

Die Hälfte der Befragten gab an, dass die jährlichen Betriebskosten zwischen 1.000 EUR und 3.000 EUR erwartet werden. 31,82 % gehen von bis zu 1.000 EUR jährlichen Betriebskosten aus und 9,09 % schätzen, dass über 3.000 EUR realistisch sind.

A 3.4.4.4) Service und Wartung



Lastenheft Abbildung 23: Bevorzugte Zusatzleistungen

Die befragten Teilnehmer befürworten die Vorstellung, eine Zusatzleistung in Form von Service und Wartung angeboten zu bekommen (86,36 %). Derzeit fehlt es den Unternehmen an Fachpersonal für Lastenräder, sodass die LEVs von Kfz-Mechanikern ausgebessert und gewartet werden.

A 3.4.4.5) Straßenverkehrsverordnung und Straßentauglichkeit des Lastenrads

Der Leistungsumfang für das zulassungsfreie LEV soll aus diesem Lastenheft entnommen werden, doch gilt grundsätzlich die Einhaltung der Straßenverkehrsordnung.

Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte für eine Straßenverkehrstauglichkeit des zulassungsfreien Lastenrads genannt:

- § 32 StVZO (Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen)
Eine maximale Breite von 1,0 m für Fahrräder mit Hilfsmotor darf nicht überschritten werden
- § 63a StVZO (Beschreibung von Fahrrädern)
Das LEV darf durch einen elektromotorischen Hilfsantrieb nicht mehr als einer Geschwindigkeit von 25 km/h erreichen und ohne gleichzeitiges Treten oder Kurbeln des Fahrers eine Geschwindigkeit von bis zu 6km/h nicht überschreiten
- § 65 StVZO (Bremsen)
Fahrräder müssen zwei voneinander unabhängige Bremsen haben
- § 66 StVZO (Rückspiegel)
Lastfahrzeuge müssen einen Spiegel für die Beobachtung der Fahrbahn nach rückwärts haben
- § 67 StVZO (Lichttechnische Einrichtungen an Fahrrädern)

Abs.1

Fahrräder dürfen nur dann im öffentlichen Straßenverkehr in Betrieb genommen werden, wenn sie mit den vorgeschriebenen und bauartgenehmigten lichttechnischen Einrichtungen ausgerüstet sind. Für abnehmbare Scheinwerfer und Leuchten gilt Absatz 2 Satz 4. Fahrräder müssen für den Betrieb des Scheinwerfers und der Schlussleuchte mit einer Lichtmaschine, einer Batterie oder einem wieder aufladbaren Energiespeicher oder einer Kombination daraus als Energiequelle ausgerüstet sein. Alle lichttechnischen Einrichtungen, mit Ausnahme von Batterien und wieder aufladbaren Energiespeichern, müssen den Anforderungen des § 22a genügen. Die Nennspannung der Energiequelle muss verträglich mit der Spannung der verwendeten aktiven lichttechnischen Einrichtungen sein.

Abs.2

Als lichttechnische Einrichtungen gelten auch Leuchtstoffe und rückstrahlende Mittel. Die lichttechnischen Einrichtungen müssen vorschriftsmäßig im Sinne dieser Verordnung und während ihres Betriebs fest angebracht, gegen unabsichtliches Verstellen unter normalen Betriebsbedingungen gesichert sowie ständig einsatzbereit sein. Lichttechnische Einrichtungen dürfen nicht verdeckt sein. Scheinwerfer, Leuchten und deren Energiequelle dürfen abnehmbar sein, müssen jedoch während der Dämmerung, bei Dunkelheit oder wenn die Sichtverhältnisse es sonst erfordern, angebracht werden. Lichttechnische Einrichtungen dürfen zusammengebaut, ineinander gebaut oder kombiniert sein, mit Ausnahme von Fahrtrichtungsanzeigern. Lichttechnische Einrichtungen dürfen sich in ihrer Wirkung gegenseitig nicht beeinflussen. Fahrräder mit einer Breite über 1000 mm müssen nach vorne und hinten gerichtete, paarweise horizontal angebrachte Rückstrahler sowie mindestens zwei weiße Scheinwerfer und zwei rote Schlussleuchten aufweisen, die mit einem seitlichen Abstand von maximal 200mm paarweise zur Außenkante angebracht sein müssen. Abweichend davon müssen Fahrräder, die breiter als 1800 mm sind, den Anbauvorschriften der Regelung Nr.48 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa über einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen (ABl.L265 vom 30.9.2016, S. 125) für Personenkraftwagen entsprechen.

Abs.3

Fahrräder müssen mit einem oder zwei nach vorn wirkenden Scheinwerfern für weißes Abblendlicht ausgerüstet sein. Der Scheinwerfer muss so eingestellt sein, dass er andere Verkehrsteilnehmer nicht blendet. Blinkende Scheinwerfer sind unzulässig. Fahrräder müssen mit mindestens einem nach vorn wirkenden

weißen Rückstrahler ausgerüstet sein. Scheinwerfer dürfen zusätzlich mit Tagfahrlicht- und Fernlichtfunktion für weißes Licht mit einer maximalen Lichtstärke und Lichtverteilung der Tagfahrlichtfunktion nach der Regelung Nr.87 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Leuchten für Tagfahrlicht für Kraftfahrzeuge (ABl. L 164 vom 30.6.2010, S.46) ausgerüstet sein. Die Umschaltung zwischen den Lichtfunktionen muss automatisch erfolgen oder von Hand mit Bedienteilen entsprechend der Lageanordnung nach der Regelung Nr.60 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung zweirädriger Krafträder und Fahrräder mit Hilfsmotor hinsichtlich der vom Fahrzeugführer betätigten Bedienteile und der Kennzeichnung von Bedienteilen, Kontrollleuchten und Anzeigevorrichtungen (ABl.L297 vom 15.10.2014, S.23).

Abs.4

Fahrräder müssen an der Rückseite mit mindestens

- 1.einer Schlussleuchte für rotes Licht,
- 2.einem roten nicht dreieckigen Rückstrahler der Kategorie „Z“ ausgerüstet sein.

Schlussleuchte und Rückstrahler dürfen in einem Gerät verbaut sein. Schlussleuchten dürfen zusätzlich mit einer Bremslichtfunktion für rotes Licht mit einer Lichtstärke und Lichtverteilung der Bremslichtfunktion entsprechend der Regelung Nr.50 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Begrenzungsleuchten, Schlussleuchten, Bremsleuchten, Fahrtrichtungsanzeigern und Beleuchtungseinrichtungen für das hintere Kennzeichenschild für Fahrzeuge der Klasse L (ABl.L97 vom 29.3.2014, S.1) ausgerüstet sein. Blinkende Schlussleuchten sind unzulässig.

Abs.5

Fahrradpedale müssen mit nach vorn und nach hinten wirkenden gelben Rückstrahlern ausgerüstet sein. Die Längsseiten eines Fahrrades müssen nach jeder Seite mit

1. ringförmig zusammenhängenden retroreflektierenden weißen Streifen an den Reifen oder Felgen oder in den Speichen des Vorderrades und des Hinterrades oder
2. Speichen an jedem Rad, alle Speichen entweder vollständig weiß retroreflektierend oder mit Speichenhülsen an jeder Speiche, oder
3. mindestens zwei um 180 Grad versetzt angebrachten, nach der Seite wirkenden gelben Speichenrückstrahlern an den Speichen des Vorderrades und des Hinterrades kenntlich gemacht sein.

Abs.6

Schlussleuchte und Scheinwerfer dürfen nur gemeinsam einzuschalten sein, wenn sie mit Hilfe einer Lichtmaschine betrieben werden. Bei eingeschalteter Standlichtfunktion darf auch die Schlussleuchte allein leuchten. In den Scheinwerfern und Leuchten dürfen nur die nach ihrer Bauart dafür bestimmten Leuchtmittel verwendet werden.

Abs.7

Bei Fahrrädern mit elektrischer Tretunterstützung kann die Versorgung der Beleuchtungsanlage über eine Kopplung an den Energiespeicher für den Antrieb erfolgen, wenn

1. nach entladungsbedingter Abschaltung des Unterstützungsantriebs noch eine ununterbrochene Stromversorgung der Beleuchtungsanlage über mindestens zwei Stunden gewährleistet ist oder
2. der Antriebsmotor als Lichtmaschine übergangsweise benutzt werden kann, um auch weiterhin die Lichtanlage mit Strom zu versorgen.

Satz 1 gilt nicht für Fahrräder mit elektrischer Tretunterstützung, die vor dem 1. Januar 2019 in Verkehr gebracht werden.

Abs.8

Für lichttechnische Einrichtungen am Fahrrad gelten folgende Anbauhöhen:

Lichttechnische Einrichtung	Minimale Höhe [mm]	Maximale Höhe [mm]
Scheinwerfer für Abblendlicht	400	1.200
Rückstrahler vorne	400	1.200
Hinten: Schlussleuchte, Rückstrahler	250	1.200

Lastenheft Abbildung 24: Anbauhöhen für lichttechnische Einrichtungen

Des Weiteren ist die Aufstellhöhe der Verkehrszeichen zu beachten, sodass das LEV unterhalb der Unterkante durchfahren kann. Diese wird unter der Verordnung „Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen“ festgesetzt.

- RSA 95 (Aufstellhöhe von Schildern)
Die Mindesthöhe zwischen Unterkante Verkehrsschild und Boden beträgt in der Regel
 - a) 2,0 m außerhalb der Fahrbahn und über Gehwegen
 - b) 2,2 m über Radwegen

Ferner muss auf den Übergang zwischen Gehweg und Fahrbahn geachtet werden. Das LEV soll eine Überrollfähigkeit für die Bordsteinkante besitzen, sodass ohne Absteigen problemlos weitergefahren werden kann. Im Fall von Hochbord sollte das Fahrzeug ohne größere Schäden manövrierfähig bleiben (ein durch den Fahrer durchzuführender Radwechsel wird akzeptiert).

- Bast (Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen)
 Die Bordhöhe ist unterschiedlich angelegt und liegt normalerweise im Bereich von 5 bis 12cm, im Fall vom Hochbord von 10 bis 15cm

A 3.4.5) Bisherige Erfahrungen mit Lastenrädern

Die Teilnehmer des Fragebogens haben unterschiedliche Erfahrungen mit Lastenrädern. Folgend wird zunächst auf die Befragten eingegangen, die bereits ein Lastenrad in ihrem Unternehmen in Gebrauch haben. Dabei werden aktuelle Erkenntnisse und Probleme einer Tagestour analysiert. Anschließend werden Beweggründe der Befragten analysiert, die bisher noch kein Lastenrad in ihrem Unternehmen in Gebrauch haben.

A 3.4.5.1) Angaben der bisher eingesetzten Lastenräder

Derzeit werden von 1-20 Lastenräder der befragten Teilnehmer in den Unternehmen genutzt. Dabei werden unterschiedliche Marken/Modelle, die am Markt erhältlich sind, verwendet:

Marke	Modell
Christiania Bike	Post
ESN	T-Riciclo
Ester	Tricycle Chilwee
Ewii	Tripl
OLange Dreiradbau	Cargo Cruiser Berlin
Radkutsche	Musketier
-	E-Bike VS 2E

Lastenheft Abbildung 25: Eingesetzte Lastenräder (Marke/Modell)

Die Lastenräder werden dabei überwiegend in städtischen Gebieten (63,64 %) und in der Fußgängerzone/Innenstadt (59,09 %) eingesetzt. In seltenen Fällen wird das LEV im ländlichen Gebiet benötigt (4,55 %). Keiner der Teilnehmer hat das LEV bisher in Werkverkehren oder Verbindungsstraßen angewendet. An einer Tagestour werden durchschnittlich bis zu 100 Stopps bei 30 km mit einem Lastenrad geleistet. Dabei kann ein Lastenrad vier Touren pro Tag im Einsatz sein. Das gesamte LEV-Ladevolumen beträgt im Durchschnitt pro Tag 30 m³ und muss an einzelnen Tagen ein Gewicht von bis zu 800 kg befördern. An „schwachen Tagen“ leistet ein Lastenrad nur einen Stopp bei einer Tourenlänge von 6 km. Das Ladevolumen beträgt dabei 1 m³ bei 40 kg Gewicht. 59,09 % der befragten Teilnehmer nutzten dabei aktuell ein Mikro-Depot, um ihre Ware in zentral gelegenen Containern, Fahrzeugen oder Immobilien zu deponieren und auf ein LEV umzuschlagen. Die Teilnehmer des Fragebogens (90,91 %) möchten in den nächsten ein bis drei Jahren ein Lastenrad anschaffen bzw. zukaufen. Dabei muss das LEV aber besser auf die Bedürfnisse der KEP-, Food- bzw. Pharmabranche ausgerichtet werden.

A 3.4.5.2) Mängelliste der bisher eingesetzten Lastenräder

Die in diesem Punkt beschriebenen Mängel sollen dazu dienen, die negativen Erfahrungen der bisher eingesetzten Fahrzeuge zu teilen, sodass bei zukünftigen Entwicklungen ein erneutes Auftreten der Fehlkonstruktionen und Mängel vermieden werden kann. Aus dem Fragebogen ging dabei hervor, dass aktuell technische (63,64 %), organisatorische (18,18 %) und betriebswirtschaftliche (13,64 %) Probleme aufgetaucht sind.



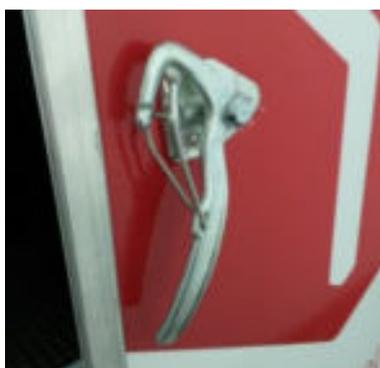
1. **Mangelbeschreibung:** Bügelschloss schleift an der Reifenflanke des Vorderrades.



2. **Mangelbeschreibung:** Befestigungsmutter löst sich bei seitlicher Zugangsklappe.



3. **Mangelbeschreibung:** Spiegelarm ist zu kurz, eine Sicht nach Hinten ist nicht möglich. Wetterschutz wurde abmontiert, da er die Fahrer stört und stark windanfällig ist.



4. **Mangelbeschreibung:** Bedienung der Verschlussvorrichtung der Hauptzugangsklappe ist nur mit Zweihandbedienung möglich. Das Verschließen der Box mit den Bügelschlössern ist unpraktisch (Zeitaufwand zu hoch).

Lösung: Testen von neuen Schlössern mit Funkanbindung (siehe Bild)



5. **Mangelbeschreibung:** Antriebswelle wandert im Lagersitz. Dadurch wurden mehrere Bauteile beschädigt. Fehlerursache ist eine nicht korrekt ausgeführte Welle-Lager Befestigung. Hierdurch kann bei Kurvenfahrten das Rad nach außen wandern.

Lösung: Der Hersteller wird die Wellenkonstruktion überarbeiten und bei den bisherigen Fahrzeugen die Verwendung von geschlitzten Klemmrings empfohlen.



6. **Mangelbeschreibung:** Der sogenannte Tempomat, welcher für die Regelung der Unterstützung zuständig ist, wurde durch einen Wasserschaden beschädigt. Grund war ein Montagefehler, welcher die Abdichtung nicht mehr gewährleistete.

Lösung: Austausch der betroffenen Einheit und Verbesserung der Endkontrolle seitens des Herstellers.



7. **Mangelbeschreibung:** Beschädigung des linken hinteren Rades. Fahrer ist an Verkehrsschild hängen geblieben.



8. **Mangelbeschreibung:** Fangseil der Hauptzugangsklappe ist durch starken Wind abgerissen und hat dabei die hintere Blinkereinheit an der Transportbox beschädigt.



9. **Mangelbeschreibung:** Tür der Box muss zum Verschließen angehoben werden. Bei der regulären Zustellung wird dies nicht durchgeführt, da hierzu die Tür mit zwei Händen bedient werden müsste. Hierdurch läuft Wasser in die Box und beschädigt die Pakete. Des Weiteren sammelt sich das Wasser beim korrekten Verschließen der Box im oberen Türbereich. Dieses Wasser läuft beim Öffnen in die Box und beschädigt ebenfalls die Sendungen.

Lösung: Für die Lastenräder wird eine nachrüstbare Gummilippe für den oberen Bereich der Transportboxtür montiert. Hierdurch soll ein erneutes Eindringen von Wasser in die Box beim Öffnen der Tür vermieden werden. Weiterhin wird die Transportboxtür mit einer Metallstrebe verstärkt.



10. **Mangelbeschreibung:** Es wurde ein sehr starker Bremsenverschleiß (monatlicher Austausch), ein defektes Bremshydrauliksystem und eine sehr hohe Ausfallquote bzw. Verschlechterung der Lastenräder durch Reifenpannen festgestellt.

Lösung: Austausch durch eine besser dimensionierte Bremsanlage (Magura Big mit EBC Bremsbelägen), sowie Testen von ausgeschäumten Reifen, Reifen mit Milch und widerstandsfähigere Reifenmäntel (Maxxis). Weiterhin wird ein Rad entwickelt, welches die Montage von Motorradbereifung ermöglicht. Zukünftig wird ein regelmäßiger Service- und Wartungsplan eingeführt sowie



Ersatzteile vorgehalten (Minimierung einer möglichen Ausfallzeit).



11. **Mangelbeschreibung:** Kette springt aus dem Ritzel heraus. Beschädigung der Ritzelabdeckung, unrunder Lauf der hinteren Räder.

Lösung: Austausch der betroffenen Bauteile. Der Hersteller entwickelte daraufhin ein Aluminiumguss-Laufrad, welches mit einer Motorradbereifung verwendet werden kann. Weiterhin wurden der Kettenspanner und das Kettenritzel bei den neuen Fahrzeugen überarbeitet.



12. **Mangelbeschreibung:** Generell lösen sich alle Schrauben an dem Fahrzeug. Während der täglichen Benutzung sind Schrauben verloren gegangen.



Weiterhin wird von den Fahrern eine geringere Einstiegs-
höhe gefordert.

Lösung: Ersatz der betroffenen Bauteile. Sicherung der Schrauben mit Loctite.



13. **Mangelbeschreibung:** Umlenkrolle (beim Getriebe) löst sich. Ein schleichender Getriebschaden kann nicht ausgeschlossen werden.

Lösung: Vorläufige Reparatur der betroffenen Bauteile. Im Mikro-Depot werden entsprechende Ersatzteile vorgehalten.



14. **Mangelbeschreibung:** Die Passnut in der Antriebswelle ist ausgebrochen, wodurch die Antriebskräfte nicht mehr übertragen werden konnten. Weiterhin kam es im Verlauf der Pilotphase zum Ausfall des Motors.

Lösung: Ersatz der betroffenen Bauteile



15. **Mangelbeschreibung:** Halterungen der Bremsklötze ist aus der Gabel herausgebrochen.



16. **Mangelbeschreibung:** Schäden, welche durch äußere Stöße aufgetreten sind und so den Zellenhalter des Akkus beschädigt haben.



Weitere Mängel ohne Bilder:

17. **Mangelbeschreibung:** Stecker für den Anschluss des Fahrradakkus ist defekt

18. **Mangelbeschreibung:** Zahnrad vom Kettenspanner ist gerissen

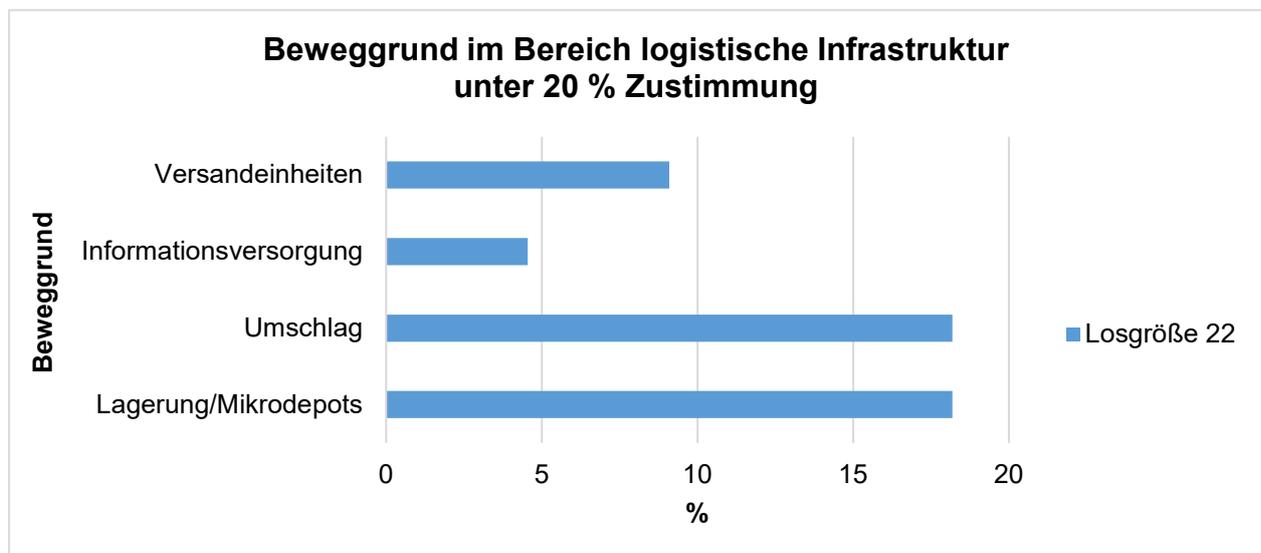
Lösung: Ersatz der betroffenen Bauteile mit verstärkten Spannern

19. **Mangelbeschreibung:** Ausfall eines Akkus nach ca. einem Jahr Betriebszeit

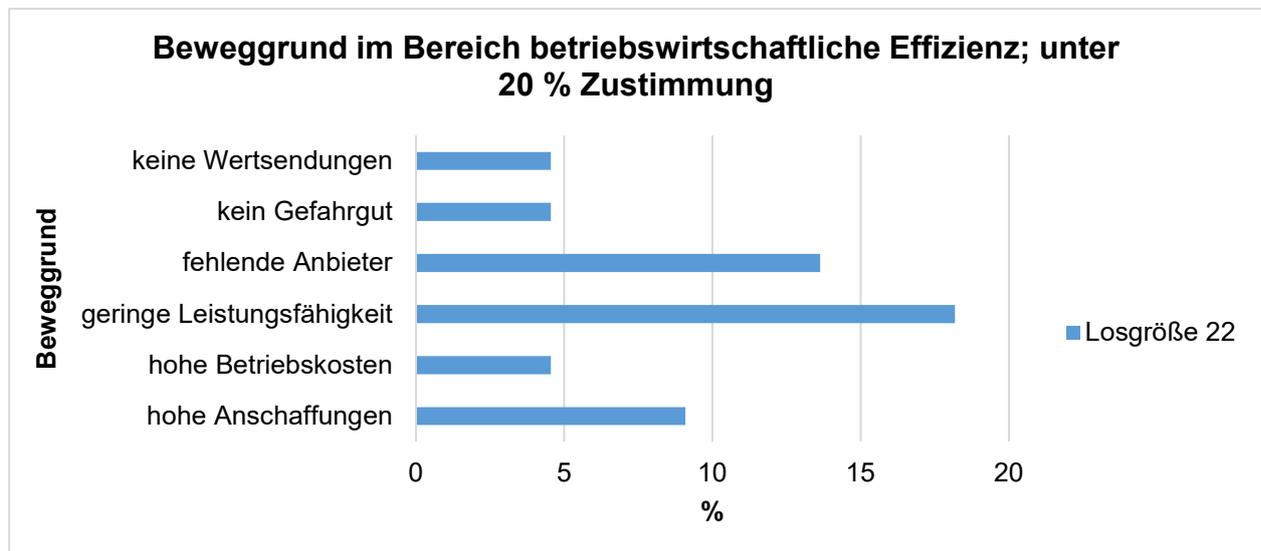
A 3.4.5.3) Gründe, warum LEVs derzeit noch nicht in Gebrauch sind

Folgend wird auf die Punkte des Fragebogens eingegangen, die begründen, warum einige Unternehmen derzeit keine Lastenräder in Gebrauch haben.

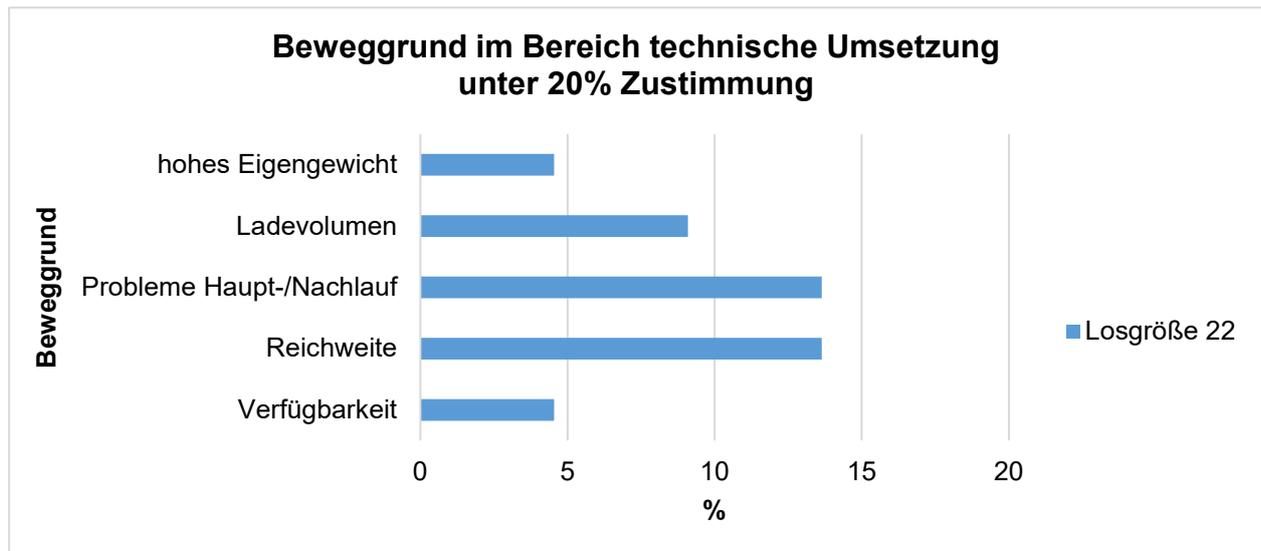
27,27 % der befragten Teilnehmer haben derzeit noch kein LEV als Transportmittel in ihrem Unternehmen. Gründe liegen in der logistischen Infrastruktur (18,18 %), in der betriebswirtschaftlichen Effizienz (27,27 %), aber auch in der technischen Umsetzung (22,73 %). Nachfolgend sind die Beweggründe in Balkendiagrammen dargestellt.



Lastenheft Abbildung 26: Beweggrund; logistische Infrastruktur



Lastenheft Abbildung 27: Beweggrund; betriebswirtschaftliche Effizienz



Lastenheft Abbildung 28: Beweggrund; technische Umsetzung

Trotz der angegebenen Gründe, möchten 18,18 % der betroffenen Unternehmen zukünftig ein Lastenrad als Transportmittel nutzen.

A 3.4.6) Schlussfolgerung

Mithilfe des Fragebogens „Anforderungsprofil eines zulassungsfreien LEV“ sind wichtige Erkenntnisse in Erfahrung gebracht worden, welche Erwartungen und Bedürfnisse die KEP-, Food- bzw. Pharmabranche an ein Lastenrad haben. Doch sind die Auswertungen des Fragebogens nicht aussagekräftig genug, um eindeutige Schlussfolgerungen für ein zulassungsfreies Lastenrad zu erhalten.

Zusammenfassend soll das Lastenrad so konstruiert sein, dass es den Anforderungen der Straßenverkehrsordnung gerecht wird. Außerdem soll es einfach zu bedienen sein, sodass sich der Lastenradfahrer auf den Verkehr wie auch auf die Auslieferung der Ware konzentrieren kann. Der Fahrwerks- & Antriebsbereich soll so gestaltet werden, dass Verschleißteile unkompliziert und mit einfachen Handgriffen ausgebessert werden können.

A 4) Anleitung zur Bedienung und Betrieb des Prototyps



Anleitung Lastenrad

Einschalten (Start der Tour)

1. **Akku** mit  einschalten.
2. **On-Off-Schalter am Lenker** auf „On“ stellen. **4 Sekunden warten**.
Erst dann kann man den Gasgriff drehen. Dreht man zu früh → wieder ausschalten & Beginn bei 1. In seltenen Fällen: Akku kurz entfernen
Achtung: Nicht mit dem Lichtschalter verwechseln, auf ihm ist eine kleine Glühbirne.
3. Tour am **Garmin-Gerät*** starten: **I ▶** drücken, „**I ▶** drücken“ erscheint, noch einmal **I ▶** drücken, „**I ▶**“ erscheint.

Fahren

- Das **Lenkradschloss** aufsperrern. Schlüssel abziehen.
- **Feststellbremse** vollständig lösen (Hebel am Sattelrohr nach oben).
- Zum **Losfahren** den Gasgriff zum Fahrer hindrehen.
- Will man schneller als 6 km/h fahren, muss man den **Gasgriff gedreht halten** & in die Pedale treten. Dabei ist es egal, wie schnell man tritt – der Motor hilft mit.
- Das Lastenrad hat **drei Gänge** (1: Berge, 2: normal, 3: flache Straße), die Schaltung ist links am Lenker.
- Die **Bremse** ist sehr stark!
 - Die Bremse für die vorderen Räder ist rechts am Lenker.
 - Die Bremse für die hinteren Räder ist links.
- Beim Abbiegen den **Blinker** benutzen, der Schalter ist rechts (L, R).
- Die Hupe funktioniert nicht, bitte die **Klingel** links benutzen.
- Das **Licht** ist rechts am Lenker, ein roter Knopf mit 
- Die Kanten von Gehsteigen muss man mit etwas Schwung überfahren.

Parken

1. Den Akku & den Motor angeschaltet lassen.
2. Das **Lenkradschloss** feststellen: Lenker geradestellen, Schlüssel drehen, Eindrücken, Schlüssel abziehen.
3. **Feststellbremse** festziehen (Hebel am Sattelrohr nach vorne).
4. Die Tür der **Box** schließen & **zusperrern**.



Ausschalten (Ende der Tour)

1. Die **Tour** im **Garmin-Gerät*** **beenden** (■ erscheint). Kurz warten. „**Tour speichern**“ mit ▲ ▼ wählen. I▶ drücken.
2. **On-Off-Schalter am Lenker** auf „Off“ stellen.
3. Den ⏻-Knopf am **Akku** sehr lange drücken (ca. 5–10 Sekunden). Die Lichter am Akku gehen nacheinander aus. Wenn alle Lichter aus sind, ist der Akku abgeschaltet.
4. Bei Bedarf das **Lenkradschloss** feststellen.

Probleme lösen

- Das Lastenrad **reagiert nicht** mehr.
 - 1. Am Lenker auf „Off“ schalten. 2. Den Akku ausschalten. 3. Kurz warten. 4. Akku wieder einschalten. 5. Am Lenker wieder auf „On“ schalten.
 - Falls beim Akku kein Licht leuchtet: Ist der Akku vielleicht leer? → Ersatz-Akku nutzen.
- Es ist etwas **kaputt** & ich bzw. meine Firma kann das Problem nicht lösen. // Beim Fahren **stört** mich etwas sehr.
 - [REDACTED] bei Hersteller **b&p anrufen**:
☎ [REDACTED] („Nummer nicht bekannt“: nochmal ☎)
 - Bitte **auf jeden Fall ins Test-Protokoll** eintragen!

Weiteres

- Bitte vor & nach jeder Fahrt den Zettel über die Tour ausfüllen.
- Das Lastenrad bitte benutzen wie ein normales Fahrzeug, keine extremen Tests machen.
- Bitte niemanden erlauben, das Lastenrad zu fotografieren & selbst keine Fotos machen.
- Bitte nicht auf die Flächen treten, die orange sind.
- Vorsicht, die Box kann man nur von außen öffnen, keine Personen in der Box transportieren (nicht für Personen zugelassen)
- ⚠ Der Akku ist automatisch an, wenn man ihn ins Lastenrad einsteckt.
- *Tasten am Garmin-Gerät: links | = an/aus (rot); rechts ▲ ▼ = im Menü schalten; unten links ⏪ = zurück; unten rechts I▶ = bestätigen
Bitte nichts am Gerät umstellen.

Vielen Dank für Deine/Ihre Unterstützung! 😊

A 5) Lastenheft „Spezial-Transportbox Pharma“

A 5.1) Grundmaße und Standardausstattung

Die Standardausstattung der integrierten Box soll sich an den Vorgaben des Lastenhefts „Entwicklung eines zulassungsfreien Light Electric Vehicle“ (im folgenden „Lastenheft LEV“ genannt), besonders dem Kapitel 3.4 „Anforderungen an den Ladungsbereich“ orientieren. Dieses Lastenheft dient zur formellen Ergänzung des Lastenhefts LEV und ersetzt dieses nicht. Es gelten weiterhin die Anforderungen des Lastenhefts LEV.

A 5.2) Mindestanforderungen: Maße, Gewicht und weitere Merkmale

- Minimale Innenmaße: 1.200 × 800 mm (Maß Europalette)
- Die maximale Breite von 1.000 mm inkl. Verkleidung sollte ausgenutzt werden
- Maximale Zuladung: 250 kg
- Inneres Volumen 1,5 m³
- Abweisend gegen Wasser und Staub
- Leichtbauweise, Gewicht wird vom Lastenrad getragen (kein zusätzlicher Boden nötig)

A 5.3) Türöffnung/Türverriegelung

Neben den Anforderungen aus dem Kapitel 3.4 des Lastenhefts LEV, wie:

„Das Verriegeln und Öffnen des Ladungsträgers während des Zustellprozesses kann über eine Mechanik innerhalb eines Zeitintervalls von drei Sekunden erfolgen. Weiterhin soll die Möglichkeit bestehen, den Ladungsträger auch ohne das Fahrzeug zu verriegeln und zu öffnen. Das Verriegeln des Ladungsträgers soll zeitgleich mit der Aktivierung der Wegfahrsperrung erfolgen. Der Vergleichsstandard des Verriegelns und Öffnens des Ladungsträgers soll sich an der Kfz-Branche orientieren (per Funk über Knopfdruck mit einem Schlüssel).“

Werden u.a. zusätzliche die untenstehenden Anforderungen definiert:

Bei der Türöffnung sowie der Türverriegelung ist darauf zu achten, dass diese mit einer Hand bedient werden können. Die Verriegelung soll sich an der Funktionsweise eines Automobils orientieren. Das bedeutet, dass das Schloss über eine Funkfernbedienung verriegelt wird. Es soll eine Kommunikationsschnittstelle zwischen Schwerlastenrad und Ladungsträger vorhanden sein. Die Box soll unabhängig vom Fahrrad verriegelt werden können. Darüber hinaus soll durch das Abschließen der Box auch das Fahrzeug abgesperrt werden. Über die eben genannte Kommunikationsschnittstelle soll unter anderem eine Zentralverriegelung (ähnlich wie die Funktionsweise beim Kfz) realisiert werden. Das Verriegelungssignal soll vom Fahrzeug oder einer externen Versorgungseinheit ausgehen. Das Signal an die Box ist mit dem Fahrzeughersteller abzusprechen.

Im Bereich der Türverriegelung gelten die Anforderungen aus dem Lastenheft LEV Kapitel 3.4.1:

„Die zu transportierenden Artikel haben insgesamt einen hohen Warenwert. Aus diesem Grund soll der Ladungsträger vor Unbefugten geschützt werden. Im besten Fall wird der Ladungsträger bei einfacher Schließung der Ladungstür bereits diebstahlsicher gemacht. Das Schloss muss entsprechend der Lebenszeit des Fahrzeugs ausgelegt sein (110 Zyklen pro Tag, 6 Tage pro Woche) und den Ladungsträger während der üblichen Stoppzeit von drei bis fünf Minuten vor unberechtigtem Zugriff schützen.“

Weiterhin werden für den Aufbau Pharma aufgrund der Sendungsstruktur reduzierte Anforderungen im vgl. zu denen im Lastenheft LEV unter dem Punkt 3.4.1 definiert:

Das Schloss und die dazugehörige Mechanik der Türöffnungen sollen darauf ausgelegt sein, dass diese 50–60 Türöffnungen am Tag, bei einer 6-Tage-Woche, standhalten. Die Nutzungsdauer der Box sollte 7 bis 10 Jahre betragen.

Ergänzend zum Punkt 3.4 aus dem Lastenheft LEV:

Die Öffnung der Box erfolgt von der hinteren Stirnseite. Die Türen sind zweigeteilt und lassen sich um 270° öffnen. Sie müssen in ihrer Endlage gehalten werden und dürfen durch äußere Einflüsse (z. B. Wind) nicht gelöst werden.

Auf der rechten langen Seitenfläche der Box sollte sich ebenfalls eine Möglichkeit zum Öffnen befinden um an hinten liegende Ware zu gelangen.

A 5.4) Innenraumgestaltung und Ladungssicherung

Komponenten der Box, welche bauartbedingt eine hohe Masse aufweisen, sollen für eine bessere Gewichtsverteilung im unteren Bereich der Box angebracht werden. Das Fahrverhalten des Fahrzeugs mit der Box darf sich hier nicht merklich negativ (hinsichtlich des Kippverhaltens) verändern, deshalb soll der Schwerpunkt der Box möglichst in der Nähe des Fahrzeugbodens liegen.

Es sollen Möglichkeiten geschaffen werden, Rücksendungen gegebenenfalls getrennt von den auszuliefernden Paketen zu transportieren. Dazu könnte innerhalb der Box im hinteren oberen Bereich ein Netz angebracht werden (Zugänglichkeit über die seitliche Öffnung). Über ein Netz könnte auch die Ladungssicherung im Allgemein erfolgen. Dabei muss die Ausführung der Ladungssicherung jedoch zeitsparend erfolgen (z. B. über einen Seilzug, der das Netz über das Ladegut spannt).

Das Anbringen einer Beleuchtung ist nötig. Für diese Schnittstelle ist die Firma b&p engineering mobility GmbH zuständig. Bei der Entwicklung der Box sind Kabelschächte zu berücksichtigen, die Kabel vom Akku (Eingang in die Box vermutlich vorne unten) bis zum Dach (Beleuchtung) und der Tür (Schloss) verkleiden (siehe LEV Lastenheft Punkt 4.2.1.2).

A 5.5) Verkleidung

Es wird angestrebt, die Transportbox mit Tiefziehteilen zu verkleiden. Der Grundaufbau der Box muss daher selbsttragend sein und Anbindungsmöglichkeiten für die Verkleidungsteile aufweisen.

Die Außenkanten der beiden Räder und der Transportbox liegen in der Breite beide auf 1000 mm. Die Box muss also an den Positionen der Räder ausgespart sein. Die Verkleidung soll so gestaltet sein, dass Radkästen entstehen.

A 5.6) Optionen

Diese Punkte sind Optionen, um die der Grundaufbau der Kleinserie erweitert werden kann und für die ersten Prototypen und die Kleinserie noch nicht zu verwirklichen sind. Für die ausgearbeitete Endvariante des Lastenrads sind die Anforderungen aus dem Lastenheft LEV zu beachten.

A 5.6.1) Innenraum

Es wird ein unterteilter Innenraum angestrebt um die Ware logisch sortieren und ausliefern zu können. Dabei werden Lösungen einer einfachen Entnahme und Zuladung der Transportbehälter favorisiert. Die Transportbehälter bestehen aus große Transportwannen (vgl. Abb. 1) sowie kleine Transportwannen.

	Außenmaß mit Deckel			Innenmaß			Gewicht o. Deckel	Anz. Akkus	Abbildung
	l	b	h	l	b	h			
Wanne Standard	500	300	210	420	240	185	1190		
klein	500	310	135	440	260	85	940		
Deckel							705		

Lastenheft Spezialaufbau Abbildung 1: Transportbehälter Arzneimittel/Pharma

Die Innenraumtemperatur der Box soll gegen äußere Temperatureinflüsse abgeschirmt werden. Hierzu werden zwei Varianten angestrebt. Die Standardvariante beinhaltet eine Isolation der Box. Die erweiterte Variante wird in Punkt 5.6.2 erläutert.

A 5.6.2) Temperaturführung

Neben der Isolierung, soll die Innenraumtemperatur der Box durch aktives Kühlen oder Aufwärmen in einem bestimmten Temperaturfenster gehalten werden können. Für den Pharmabereich beträgt dieser 15°C bis 25°C. Dieses Temperaturfenster darf bei einer Außentemperatur von 40°C und der üblichen solaren Einstrahlung im Sommer von ca. 1000 W/m² und für den winterlichen Betrieb von bis zu -20°C für mindestens 2 Stunden weder über- noch unterschritten werden. Dies kann entweder durch eine aktive temperaturgesteuerte Kältemaschine oder/und durch passive Elemente, wie z. B. Kühlakkus, erzwungene Konvektion etc. erfolgen. Durch eine Signalübertragung (mit Fahrzeughersteller abzusprechen) an das Schwerlastenrad soll eine Meldung verschickt werden, wenn die Temperatur im Innenraum die vorgegebenen Temperaturen über- oder unterschreitet. Für die Temperaturanzeige kann ein Display an der Box angebracht werden.

A 5.6.3) Stromversorgung der abgestellten Box

Wenn die Box nicht auf dem Fahrzeug befestigt ist, soll diese an eine Art Dockingstation angeschlossen werden. Die Dockingstation soll das Fahrzeug simulieren. Dabei soll die Box abgesperrt werden können. Die Stromversorgung der Box erfolgt über eine Steckdose. So kann die Ware in der Box bei konstanter Temperatur gelagert werden. Ebenso kann die Box für das beladen, je nach Außentemperatur, vorgekühlt oder vorgewärmt werden.

A 5.6.4) Zwischenboden

Zur Regelung der Optimalen Gewichtsverteilung ist ein höhenverstellbarer Zwischenboden vorgesehen. Dieser erleichtert gleichzeitig die Verladung des Transportguts von Sprinter/Lkw zu Lastenrad, da die Höhe des Bodens an die jeweilige Ladefläche angepasst werden kann.

A 6) Nachweise zu Tests mit Pharmabox

A 6.1) Versuchsaufbauten winterlicher, kalter Umgebung

Winterliche Messungen für den Spezialaufbau (Pharma/GDP)

Marc Reed/Cathrin Cailliau

Datum: 13./14.12.18
Ort: Sanacorp, Am Weidiggraben 14, 90763 Fürth
Anlieferung Tiefkühl-Anhänger (Fa. Mietkühler): 13.12.18 gegen 09:30 Uhr
Abholung Tiefkühl-Anhänger (Fa. Mietkühler): 14.12.18 gegen 18:00 Uhr

Kurzdarstellung des Ablaufs:

Datum (Uhrzeit)	Temp.	Nr.	Hinweise	Durchführung
13.12.18 (10:15 Uhr)	5°C	1	Zwischen den Messungen Innenraum der Box aufwärmen	M. Reed
13.12.18 (14:15 Uhr)	0°C	2		C. Cailliau
13./14.12.18 (18:00 Uhr)	-5°C	3	Nachtmessung	C. Cailliau
14.12.18 (09:30 Uhr)	-10°C	4	Vor Beginn der Messung 4, rechtzeitig Innenraum kühlen auf -10°C	Sanacorp / C. Cailliau
14.12.19 (14:00 Uhr)	-15°C	5		Sanacorp / C. Cailliau

A 6.1.1.1) Anforderungen und Bemerkungen

Beschreibung der Messungen (Inhalte aus den Anforderungen Hr. Martinez von Bülow v. 30.11.18):

- *Der Laderaum des Lastenrades sollte vor jedem Messdurchlauf auf ca. 18 Grad temperiert werden, um GDP-Bedingungen zu erfüllen. Dies wäre etwa über in der Versandhalle verbaute Warmluftstrahler zu erreichen, unter denen das Rad positioniert werden kann.*
- *Idealerweise werden Messungen im Abstand von je 5 Grad durchgeführt, beispielsweise bei +5, 0, -5, -10, -15 Grad. Hier stellt sich die Frage, welche Temperaturbereiche der Kühlcontainer darstellen kann und welche Rüstzeit notwendig ist. Gerne nutzen wir auch bspw. die Außentemperaturen für eine Langzeitmessung über Nacht.*
- *Schön wäre es, wenn wir die Temperaturmessungen mit dem vorhandenen, unisolierten Laderaum gegenüber einem isolierten Laderaum (z. B. durch Auskleidung mit 10mm Styropor) stellen könnten. Hieraus erwarte ich Rückschlüsse auf die Anforderungen an die Wechselbox.
→ **Anmerkung: auf Messungen mit unisoliertem Laderaum wird verzichtet!***
- *Wichtig wäre zudem eine genaue zeitliche Dokumentation der Testreihe in Form einer xls-Tabelle sowie eine Fotodokumentation (vgl. Bsp. im Anhang); das ist Grundlage für einen Validierungsbericht.*
- *Die Temperaturlogger werden wir in ausreichender Zahl bereitstellen. Der Testaufbau wird die Anordnung der Sommertests darstellen, erweitert um zusätzliche Außentemperaturmessungen und weitere Wannenlogger.*

Bemerkungen:

- Frühzeitiges Vorkühlen des Anhängers; Position der Logger, Nummerierung/Befestigungsort der Logger?
- Die Temperatur in der Box des Lastenrads wird zusätzlich mit einem schlichten Thermometer und einem Temperaturmessgerät bestimmt (siehe Anlage 1 dieser Versuchsbeschreibung)
- Die Temperatur im Laderaum des Anhängers wird zusätzlich am Bedienfeld des Anhängers abgelesen.

Inhalt winterliche Messungen

Anforderungen und Bemerkungen - 51 -

Protokoll zu den Einzelmessungen - 53 -

Anlagen - 56 -

Anlage 1: Temperaturmessung - 56 -

Anlage 2: Positionen der Logger - 57 -

Anlage 3: Testaufbau - 60 -

Abbildungen winterliche Messungen:

Tests Sanacorp Abbildung 1: Flüssigkeits- Thermometer, permanent in der Box verblieben - 56 -
Tests Sanacorp Abbildung 2: Infrarot-Thermometer „Fluke Food Pro“ - 56 -
Tests Sanacorp Abbildung 3: Temperaturanzeige am Kühlanhänger - 56 -
Tests Sanacorp Abbildung 4: originale Liste der Positionen Messung 2-5 (in Tabelle 3 um fehlende Informationen ergänzt) - 59 -
Tests Sanacorp Abbildung 5: Kühlanhänger..... - 60 -
Tests Sanacorp Abbildung 6: Transportwannen mit Loggern - 60 -
Tests Sanacorp Abbildung 7: Innenraum des Lastenrads mit Styroporisolierung - 61 -
Tests Sanacorp Abbildung 8: Wärmen der Transportwannen via Lüftung (mit aktivierter Heizung) - 62 -
Tests Sanacorp Abbildung 9: Voll beladenes Lastenrad - 62 -

Tabellen:

Tabelle 1: Positionen fest installierte Logger..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 2: Positionen Logger in Wannen bei Messung 1..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 3: Positionen Logger in Wannen bei Messungen 2-5..... - 58 -
Tabelle 4: originale Liste der Positionen Messung 1..... Fehler! Textmarke nicht definiert.

A 6.1.1.2) Protokoll zu den Einzelmessungen

Donnerstag, 13.12.18 – Messung 1

Geplanter Beginn Messung 1:	10:30 Uhr	tatsächlicher Beginn:	9:42 Uhr
Geplantes Ende Messung 1:	13:30 Uhr	tatsächliches Ende:	13:10 Uhr
Messtemperatur:			5°C
IST-Temperatur zu Beginn (Laderaum):			18°C
IST-Temperatur zum Ende (Laderaum):			4,2 °C (laut Anzeige)
IST-Temperatur zu Beginn (Box):			~ 18°C
IST-Temperatur zum Ende (Box):			kein Wert
Umbau bzw. Aufwärmen der Box und Boxinnenraum. Benötigte Zeit:			55 Minuten
Anzahl der Ladungsträger:			27 Wannen

Bemerkungen:

Das Thermometer war nicht in der Box während der Messung → kein Wert

Fehlende Bilddokumentation zu Erstbeladung der vor Versuchsbeginn.

Donnerstag, 13.12.18 – Messung 2

Geplanter Beginn Messung 2:	14:15 Uhr	tatsächlicher Beginn:	14:08 Uhr
Geplantes Ende Messung 2:	17:15 Uhr	tatsächliches Ende:	~17:05
Messtemperatur:			0 °C
IST-Temperatur zu Beginn (Laderaum):			1,6 °C laut Anzeige
IST-Temperatur zum Ende (Laderaum):			1,2 °C laut Anzeige
IST-Temperatur zu Beginn (Box):			~ 15°C
IST-Temperatur zum Ende (Box):			2° C
Umbau bzw. Aufwärmen der Box und Boxinnenraum. Benötigte Zeit:			25 min
Anzahl der Ladungsträger:			27 Wannen

Bemerkungen:

Lastenrad und weiße Wannen (mit Loggern, geöffnet) unter Lüftung + Beheizung gestellt, Anordnung weiße Wannen ab dieser Messung fest (siehe Scan Anlage 2)

Donnerstag, 13.12.18 – Messung 3 (Nachtmessung)

Geplanter Beginn Messung 3:	18:00 Uhr	tatsächlicher Beginn:	17:30 Uhr
Geplantes Ende Messung 3:	09:00 Uhr	tatsächliches Ende:	9:18 Uhr
	Messtemperatur:		-5° C
	IST-Temperatur zu Beginn (Laderaum):		geöffnet vor Ablesen
	IST-Temperatur zum Ende (Laderaum):		geöffnet vor Ablesen
	IST-Temperatur zu Beginn (Box):		16° C
	IST-Temperatur zum Ende (Box):		1,5° C
Umbau bzw. Aufwärmen der Box und Boxinnenraum. Benötigte Zeit:			40 min
	Anzahl der Ladungsträger:		27 Wannen

Bemerkungen:

Temperatur in Box gemittelt aus Oberflächentemperaturen Seiten, Dach, Boden (gemessen mit Infrarot-Thermometer „Fluke FoodPro“)

Freitag, 14.12.18 – Messung 4

Geplanter Beginn Messung 4:	09:30 Uhr	tatsächlicher Beginn:	9:58 Uhr
Geplantes Ende Messung 4:	12:30 Uhr	tatsächliches Ende:	~13:05 Uhr
	Messtemperatur:		-10° C
	IST-Temperatur zu Beginn (Laderaum):		-9,5 ° C laut Anzeige
	IST-Temperatur zum Ende (Laderaum):		-8,6° C laut Anzeige
	IST-Temperatur zu Beginn (Box):		18 ° C
	IST-Temperatur zum Ende (Box):		2° C
Umbau bzw. Aufwärmen der Box und Boxinnenraum. Benötigte Zeit:			40 min
	Anzahl der Ladungsträger:		27 Wannen

Bemerkungen:

Lastenrad und weiße Wannen (mit Loggern, geöffnet) unter Lüftung + Beheizung gestellt
Blaue Wannen waren sehr kalt, sollten auch unter Lüftung

Freitag, 14.12.18 – Messung 5

Geplanter Beginn Messung 5: 14:00 Uhr tatsächlicher Beginn: 13:37 Uhr

Geplantes Ende Messung 5: 17:00 Uhr tatsächliches Ende: 16:45 Uhr

Messtemperatur: -15° C

IST-Temperatur zu Beginn (Laderaum): -13,8° C

IST-Temperatur zum Ende (Laderaum): geöffnet vor Ablesen

IST-Temperatur zu Beginn (Box): ~ 21° C

IST-Temperatur zum Ende (Box): 2° C

Umbau bzw. Aufwärmen der Box und Boxinnenraum. Benötigte Zeit: nicht zutreffend

Anzahl der Ladungsträger: 27 Wannen

Bemerkungen:

Keine

Messübersicht:

Datum (Uhrzeit)	Temp.	Nr	Beginn	Ende	Dauer
13.12.18	5°C	1	9:42	13:10	03:28
13.12.18	0°C	2	14:08	17:05	02:57
13./14.12.18	-5°C	3	17:30	9:18	15:48
14.12.18	-10°C	4	9:30	12:30	03:00
14.12.19	-15°C	5	13:37	16:45	03:08

A 6.1.1.3) Anlagen zu den Sanacorp-Tests

Anlage 1: Temperaturmessung



Tests Sanacorp Abbildung 2: Infrarot-Thermometer „Fluke Food Pro“



Tests Sanacorp Abbildung 1: Flüssigkeits-Thermometer, permanent in der Box verblieben



Tests Sanacorp Abbildung 3: Temperaturanzeige am Kühlanhänger

Anlage 2: Positionen der Logger

Tabelle Tests 1: Positionen fest installierte Logger

NR.			
144	links	oben	hinten
145	rechts	oben	hinten
146	rechts	unten	hinten
147	links	unten	l hinten
148	links	oben	vorne
149	rechts	oben	vorne
150	rechts	unten	vorne
151	links	unten	vorne
152			Am Fahrrad vorne (oberhalb Akku, hinter Sattelstütze)
153			Am Fahrrad oben (auf Dach der Box)

Tabelle Tests 2: Positionen Logger in Wannen bei Messung 1

NR.	VORNE/HINTEN	RECHTS/LINKS	HÖHE	HEIZ-ELEMENT	FARBE
134	vorne		mittig		weiß
135	vorne		mittig		weiß
136	Mitte		oben		weiß
137	Mitte		mittig		weiß
138	hinten		mittig		weiß
139	hinten		unten	Ja	rot
140	hinten		oben	Ja	rot
141	vorne		Seite		weiß
142	hinten		unten		weiß
143	hinten		oben		weiß

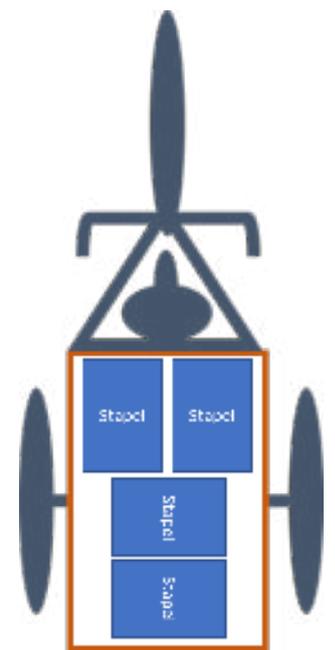
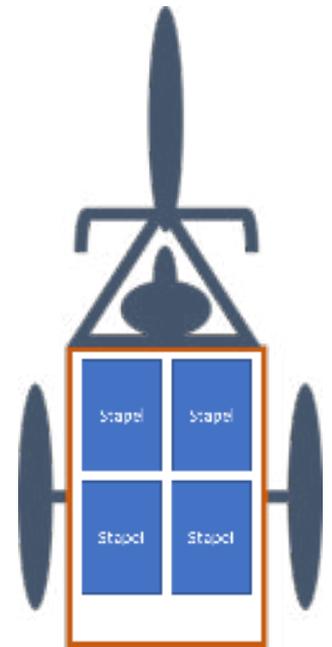


Tabelle Tests 3: Positionen Logger in Wannen bei Messungen 2-5

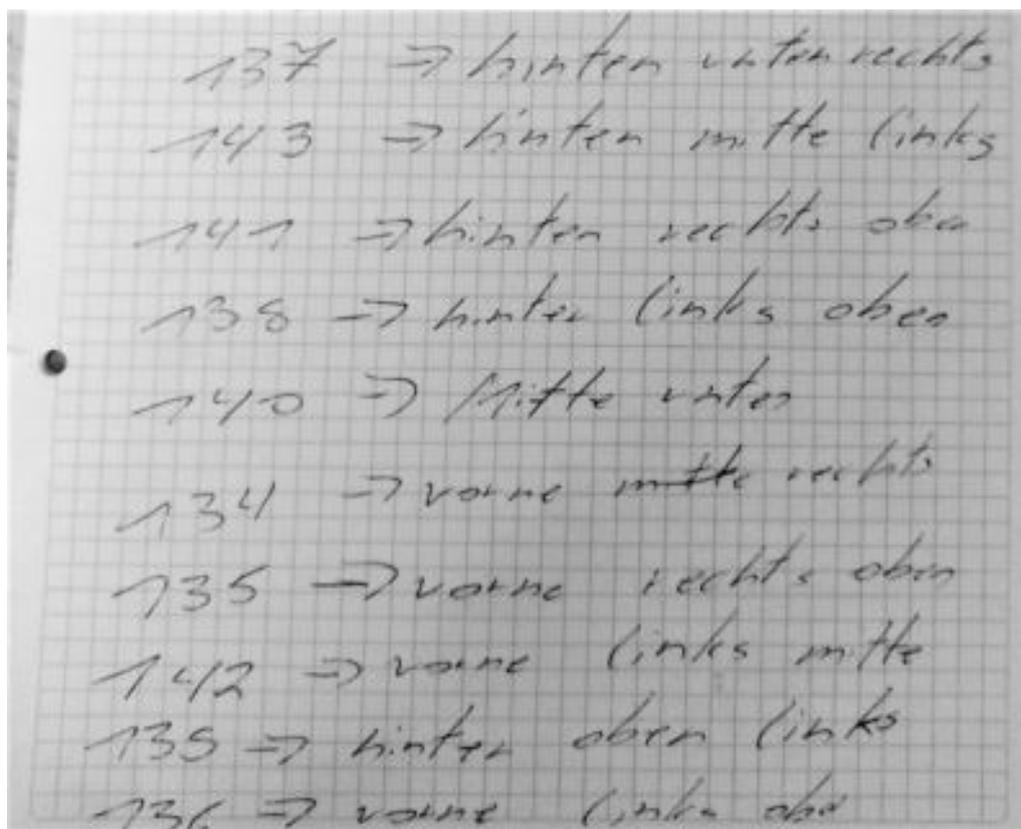
NR.	VORNE/HINTEN*	RECHTS/LINKS	HÖHE	HEIZELEMENT	FARBE
134	vorne	rechts	mittig		weiß
135	vorne	rechts	oben		weiß
136	vorne	links	oben		weiß
137	hinten	rechts	unten		weiß
138	hinten	links	oben		weiß
139	hinten	links	oben	Ja	rot
140	vorne	links	unten	Ja	rot
141	hinten	rechts	oben		weiß
142	vorne	links	mittig		weiß
143	hinten	links	mittig		weiß



*vorne = zum Sattel, hinten = zur Tür, rechts/links von hinten gesehen

Tabelle Tests 4: originale Liste der Positionen Messung 1

<u>1. Messung 09:45 Uhr</u>		<u>Messtemperatur 5°C</u>	
Logger Nr.	Wannenfarbe	Wannentyp	Position
134	weiß	kleine Wanne	Mitte vorne
135	weiß	kleine Wanne	vorne Mitte
136	weiß	kleine Wanne	Mitte oben
137	weiß	kleine Wanne	Mitte Mitte
138	weiß	kleine Wanne	hinten Mitte
139	rot	kleine Kühlbox	hinten unten
140	rot	große Kühlbox	hinten oben
141	weiß	große Wanne	vorne Seite
142	weiß	kleine Wanne	hinten unten
143	weiß	kleine Wanne	hinten oben



Tests Sanacorp Abbildung 4: originale Liste der Positionen Messung 2-5 (in Tabelle 3 um fehlende Informationen ergänzt)

Anlage 3: Testaufbau



Tests Sanacorp Abbildung 5: Kühlanhänger



Tests Sanacorp Abbildung 6: Transportwannen mit Loggern



Tests Sanacorp Abbildung 7: Innenraum des Lastenrads mit Styroporisolierung



Tests Sanacorp Abbildung 8: Wärmen der Transportwannen via Lüftung (mit aktivierter Heizung)



Tests Sanacorp Abbildung 9: Voll beladenes Lastenrad

A 6.2) Ergebnisse Temperaturgeführte Tests

A 6.2.1) Temperaturgeführte Tests unter hochsommerlichen Bedingungen

Datum	Tournr. ¹⁸	Ort	Ist-Zeit	Differenz letzter Stopp	Soll-Zeit korrigiert (reale Abfahrt)	Differenz Ist-Soll [min]	Fahrtzeit total	Temp. außen Mittelwert (DWD) [°C]	Finale Temp. Box gekühlt [°C]	Finale Temp. Box ungekühlt [°C]
Mi., 18.07.18	A	Start Sanacorp	10:53		10:53					
		Apotheke 1	11:00	00:07	11:08					
		Apotheke 2	11:07	00:07	11:13	-6				
		Apotheke 3	11:15	00:08	11:18	-3				
		Apotheke 4	11:37	00:22	11:23	14				
		Apotheke 5	11:39	00:02	11:38	1				
		Stopp Sanacorp	11:56	00:17				01:03	25,7	5,0
Mi., 18.07.18	B	Start Sanacorp	12:17		12:17					
		Apotheke 9	12:51	00:34	12:30	21				
		Apotheke 10	13:21	00:30	12:50	31				
		Apotheke 11	13:27	00:06	12:55	32				
		Apotheke 12	13:32	00:05	13:00	32				
		Stopp Sanacorp	14:07	00:35				01:50	27,5	6,2
Do., 19.07.18	A	Start Sanacorp	10:25		10:25					
		Apotheke 1	10:32	00:07	10:40	-8				
		Apotheke 2	10:39	00:07	10:45	-6				
		Apotheke 3	10:45	00:06	10:50	-5				
		Apotheke 4	10:58	00:13	10:55	3				
		Apotheke 5	11:03	00:05	11:10	-7				
		Stopp Sanacorp	11:28	00:25				01:03	24,5	5,0
Do., 19.07.18	B	Start Sanacorp	11:47							
		Apotheke 9	12:06	00:19	12:00	6				
		Apotheke 10	12:30	00:24	12:20	10				
		Apotheke 11	12:37	00:07	12:25	12				
		Apotheke 12	12:43	00:06	12:30	13				
		Stopp Sanacorp	14:24	01:41				02:37	26,6	6,1
Di, 24.07.18	keine	statische Messung Parkplatz Sanacorp					04:00	28,8	7,1	29,9
Mittwoch, 25. Juli 2018	C	Start Sanacorp	11:18		11:18					
		Apotheke 2	11:28	00:10	11:28	0				

¹⁸ reale Nummern aus Datenschutz verborgen, zur Unterscheidung in Buchstaben geändert
 Anhang Seite - 63 -

Anhang: Vorläuf. Abschlussbericht der Forschungsprojekte LEV@KEP & VALUE@SERVICE
 Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski

		Apotheke 4	11:51	00:23	11:33	18			
		Apotheke 7	11:58	00:07	11:45	13			
		Apotheke 5	12:02	00:04	12:03	-1			
		Apotheke 8	12:08	00:06	12:08	0			
		Stopp Sanacorp	13:10				01:52	30,05	7,1 30,7
Do., 26.07.18	keine	Simulationsfahrt "viele Apotheken"					03:00	29,8	6,1 27,3
Mo., 30.07.18	D	Start Sanacorp	10:35		10:35				
		Apotheke 13	10:55	00:20	10:50	5			
		Apotheke 14	11:07	00:12	11:00	7			
		Apotheke 15	11:16	00:09	11:05	11			
		Stopp Sanacorp	11:49				01:14	31,45	5,3 24,0
Di, 31.07.18	E	Start Sanacorp	15:20		15:20				
		Apotheke 16	15:34	00:14	15:35	-1			
		Apotheke 17	16:11	00:37	15:45	36			
		Stopp Sanacorp	17:01	00:50			01:41	35,5	5,6 26,6

A 6.2.2) Temperaturgeführte Tests unter winterlichen Bedingungen

Siehe nächste Seite.

Auswertung winterliche Messungen für den Lastenfahrrad-Spezialaufbau (Pharma/GDP)

Cathrin Cailliau, wissenschaftliche Mitarbeiterin Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Betriebswirtschaft

Mittwoch, 27. März 2019

Alle Logger, gesamter Zeitraum

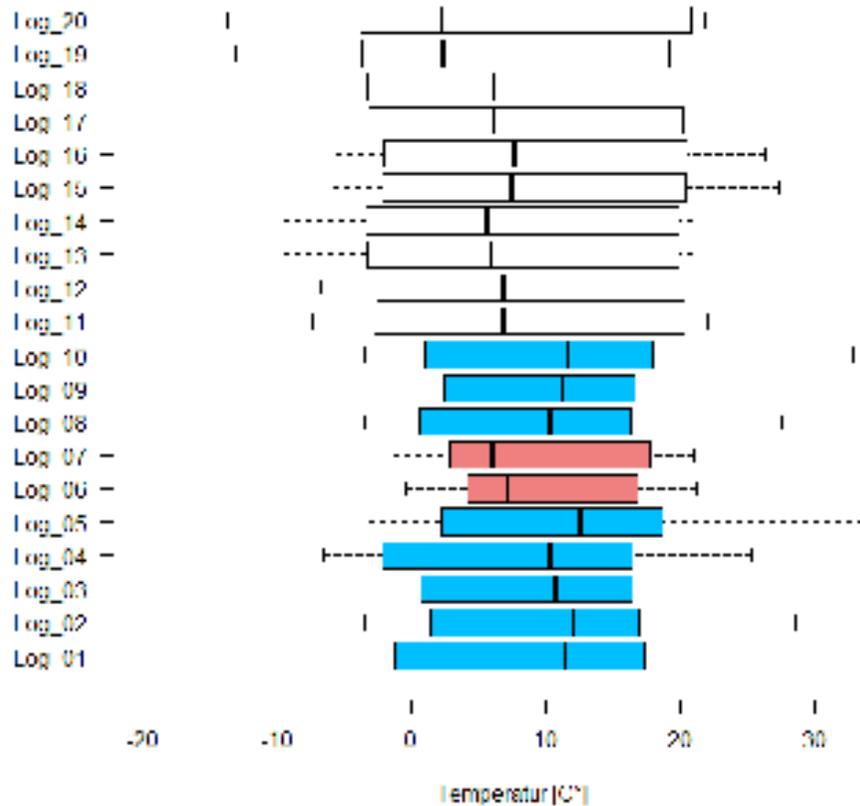


Abb. 1: Varianz der Messwerte aller Logger während der fünf Messungen. Weiße Boxplots symbolisieren Logger von Transportboxen, blaue waren in Sanacorp-Transportwannen, die roten in Styroporkisten in Transportwannen, mit Wärmeelement.

Loggernr. in Auswertung	Laufende Nr.	Position
Logger 01	NR. 134	Box weiß (1. vorne, mittig) (2. vorne, rechts, mittig)
Logger 02	NR. 135	Box weiß (1. vorne, mittig) (2. vorne, rechts, oben)
Logger 03	NR. 136	Box weiß (1. mittig, oben) (2. vorne, links, oben)
Logger 04	NR. 137	Box weiß (1. Mitte, mittig) (2. hinten, rechts, unten)
Logger 05	NR. 138	Box weiß (1. hinten, mittig) (2. hinten, links, oben)
Logger 06	NR. 139	Box rot (1. hinten, unten, HZE) (2. hinten, links, oben, HZE)
Logger 07	NR. 140	Box rot (1. hinten, oben, HZE) (2. vorne, links, unten, HZE)
Logger 08	NR. 141	Box weiß (1. vorne, Seite) (2. hinten, rechts, oben)
Logger 09	NR. 142	Box weiß (1. hinten, unten) (2. vorne, links, mittig)
Logger 10	NR. 143	Box weiß (1. hinten, oben) (2. hinten, links, mittig)
Logger 11	NR. 144	am Fahrrad links, oben, hinten
Logger 12	NR. 145	am Fahrrad rechts, oben, hinten
Logger 13	NR. 146	am Fahrrad rechts, unten, hinten
Logger 14	NR. 147	am Fahrrad links, unten, hinten
Logger 15	NR. 148	am Fahrrad links, oben, vorne
Logger 16	NR. 149	am Fahrrad rechts, oben, vorne
Logger 17	NR. 150	am Fahrrad rechts, unten, vorne
Logger 18	NR. 151	am Fahrrad links, unten, vorne
Logger 19	NR. 152	am Fahrrad vorne (hinter Sattelstütze)
Logger 20	NR. 153	am Fahrrad oben auf dem Dach

Messverlauf

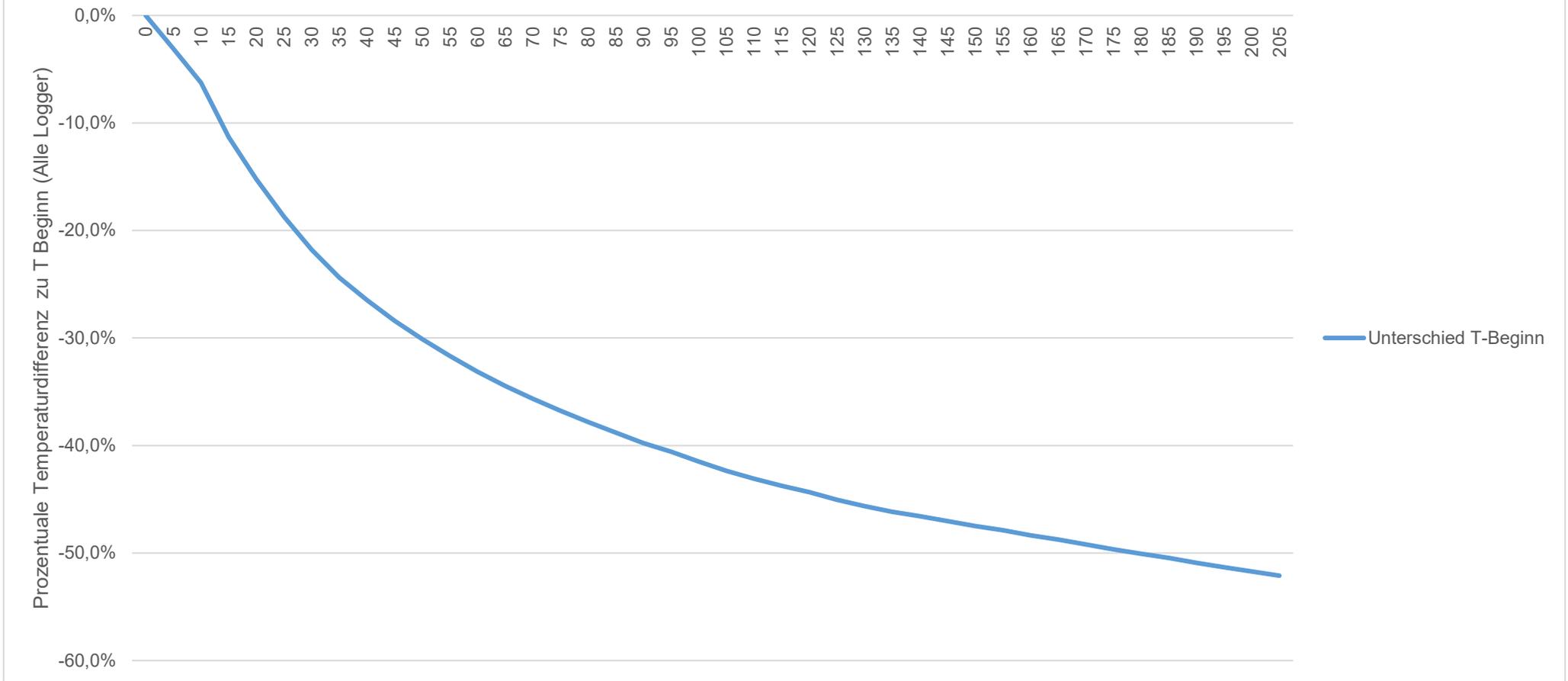


Abb. 2: Relativer Wärmeverlust. NA = Bereiche ohne Messung, keine Werte hinterlegt

Messverlauf nach Loggerposition

Messdauer [min]

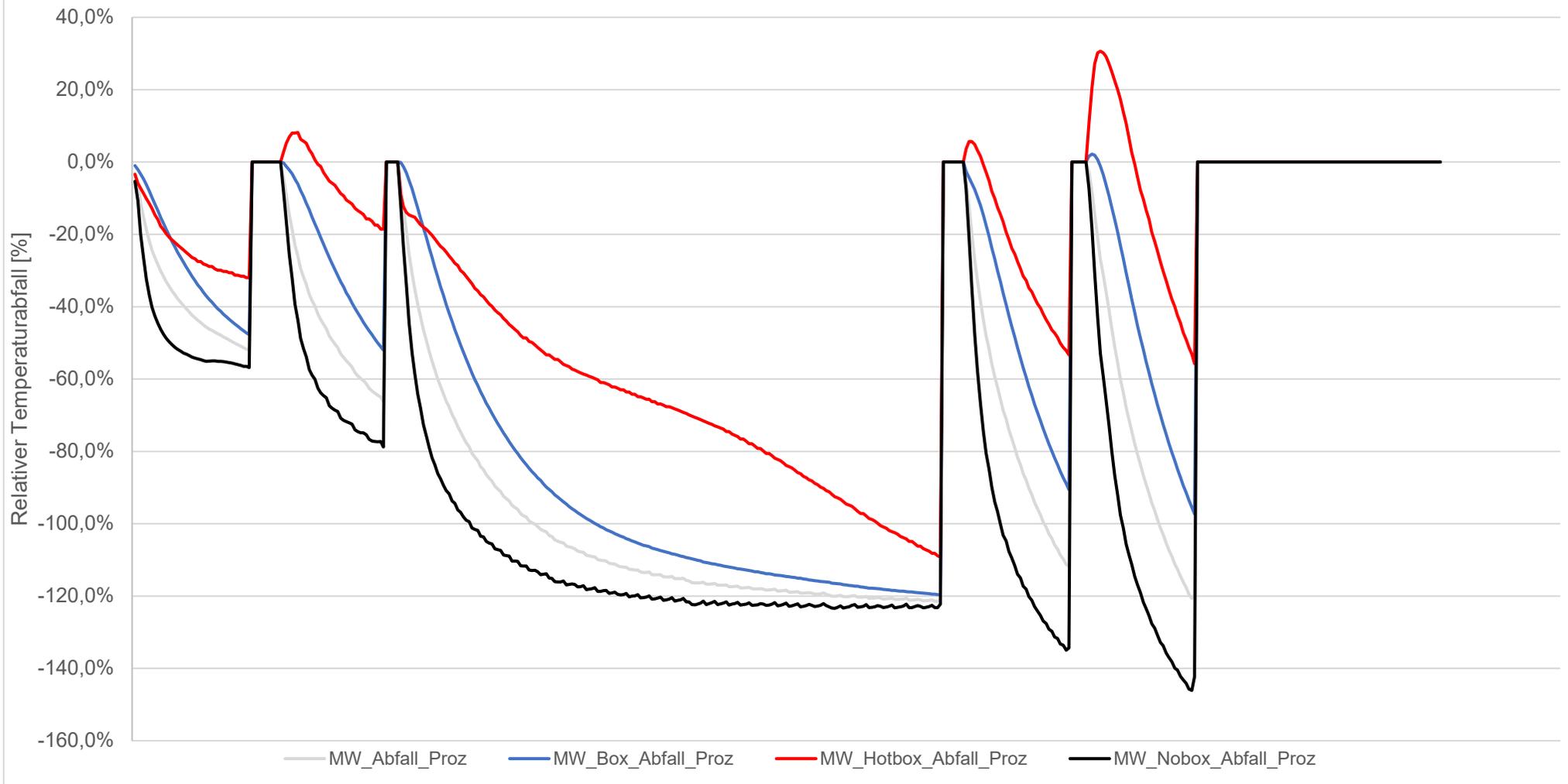


Abb. 3: Relativer Wärmeverlust nach Loggerposition (achsengleiche Kurve = zwischen Messungen, ohne Werte)

Datum (Uhrzeit)	Temp.	Nr.	Beginn	Ende	Dauer
13.12.18	5°C	1	9:42	13:10	03:28
13.12.18	0°C	2	14:08	17:05	02:57
13./14.12.18	-5°C	3	17:30	9:18	15:48
14.12.18	-10°C	4	9:30	12:30	03:00
14.12.19	-15°C	5	13:37	16:45	03:08

Tab. 1: Übersicht über die Zieltemperatur außen und Dauer der Messungen

LOGGER	GESAMT			MESSUNG 1			MESSUNG 2			MESSUNG 3			MESSUNG 4			MESSUNG 5			BOX
	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	
LOG_01	29,7	-3,6	11,4	17,7	9,7	13,2	14,8	6,4	10,0	15,5	-3,6	-3,1	17,3	-0,3	7,5	28,5	2,0	<u>14,4</u>	JA
LOG_02	28,6	-3,5	12,0	17,4	9,3	12,8	15,5	6,9	10,5	15,2	-3,5	-1,9	18,8	1,2	8,4	22,9	0,0	10,6	JA
LOG_03	20,9	-3,6	10,7	17,8	9,1	12,2	13,5	6,3	9,7	16,2	-3,6	-2,3	17,4	0,9	8,1	19,6	-0,4	9,7	JA
LOG_04	25,3	-6,6	10,3	18,0	<u>10,2</u>	<u>14,0</u>	14,3	4,5	8,0	17,7	-3,6	-3,1	16,1	-2,7	4,4	22,2	-6,4	3,4	JA
LOG_05	33,6	-3,2	12,5	<u>19,1</u>	9,4	13,7	15,4	6,8	10,2	19,2	-3,2	-1,5	18,6	3,2	<u>11,1</u>	<u>30,1</u>	2,2	12,7	JA
LOG_06	21,2	-0,4	7,1	9,0	6,6	7,4	5,2	3,5	4,1	9,7	<u>-0,4</u>	3,6	8,4	<u>5,3</u>	7,3	8,7	<u>5,1</u>	7,5	JA
LOG_07	21,0	-1,4	6,0	9,1	5,7	6,0	6,6	5,3	6,1	9,2	-1,3	2,5	8,1	1,9	4,2	7,5	0,4	3,6	JA
LOG_08	27,6	-3,5	10,3	17,0	7,2	9,1	14,6	6,7	10,3	16,2	-3,5	-2,3	17,0	1,1	8,3	24,3	-0,7	10,0	JA
LOG_09	29,9	-3,3	11,2	15,1	6,8	9,1	14,1	<u>7,1</u>	<u>10,9</u>	16,3	-3,3	-1,6	19,7	2,8	10,9	22,0	2,7	13,7	JA
LOG_10	32,9	-3,5	11,6	18,4	8,8	11,9	14,5	<u>7,1</u>	10,8	19,1	-3,5	-2,4	19,2	1,6	9,7	21,4	0,4	11,7	JA
LOG_11	22,1	-7,4	6,8	16,1	6,6	7,4	14,7	3,4	5,1	17,8	-3,7	-3,2	17,3	-4,2	-0,1	20,5	-7,4	-1,3	-
LOG_12	20,9	-6,8	6,9	16,0	6,7	7,4	14,5	3,6	5,3	16,3	-3,7	-3,2	16,8	-3,9	0,4	19,5	-6,8	-0,3	-
LOG_13	21,0	-9,5	5,9	13,1	5,9	6,4	11,6	3,0	4,6	11,6	-3,7	-3,4	11,6	-5,7	-2,1	12,6	-9,5	-4,3	-
LOG_14	20,9	-9,6	5,6	13,2	5,5	5,9	11,8	2,9	4,6	12,5	-3,8	-3,4	12,3	-6,1	-2,7	13,8	-9,6	-3,8	-
LOG_15	27,4	-5,9	7,4	17,1	6,8	7,9	16,3	4,0	6,2	21,3	-3,8	-3,2	20,4	-3,2	1,8	26,6	-5,9	1,4	-
LOG_16	26,4	-5,7	7,7	17,0	7,0	8,3	15,8	4,0	6,1	21,8	-3,8	-3,2	<u>20,5</u>	-3,1	1,8	26,1	-5,7	1,6	-
LOG_17	21,9	-8,6	6,1	14,0	5,9	6,5	12,3	3,3	4,8	14,9	-3,9	-3,4	14,5	-5,1	-1,1	21,9	-8,6	-2,4	-
LOG_18	20,9	-8,7	6,1	14,3	5,8	6,5	12,6	3,1	4,8	15,9	-3,9	-3,5	16,5	-5,2	-1,3	20,7	-8,7	-2,4	-
LOG_19	20,9	-13,2	2,3	12,1	6,0	6,4	12,8	1,6	2,3	10,7	-4,2	-3,6	6,6	-8,4	-7,5	7,7	-13,2	-11,9	-
LOG_20	21,9	-13,7	2,2	12,1	2,2	5,0	<u>20,1</u>	1,1	2,0	<u>19,6</u>	-4,5	-3,7	13,6	-8,9	-8,0	20,3	-13,7	-12,7	-

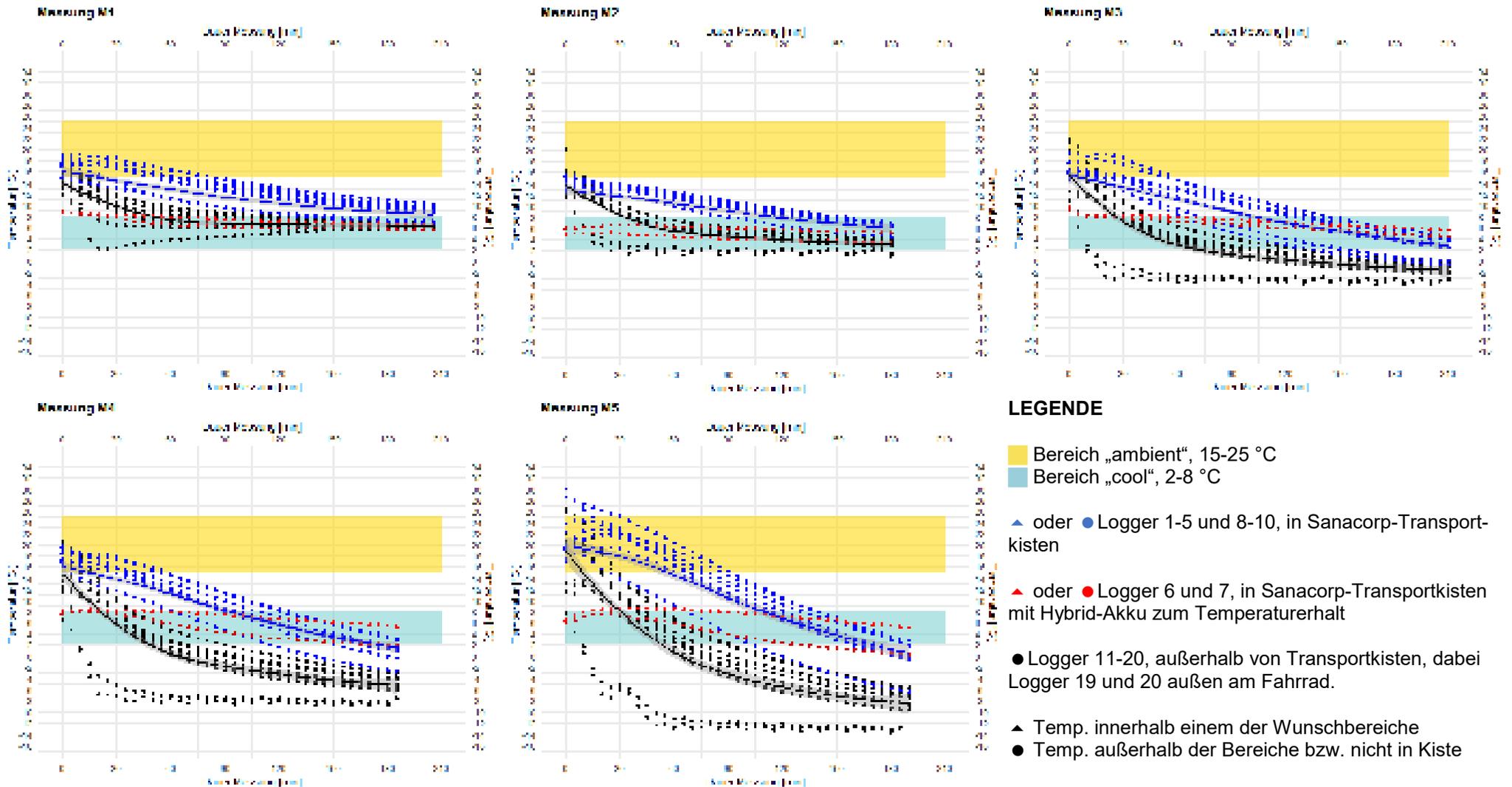
Tab. 2: Maximum, Minimum und Median aller Messungen und Logger. Fette Werte sind die niedrigsten ihrer Kategorie, unterstrichene die höchsten.

Alle Messungen	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5
Log_05 12,5	Log_04 14,0	Log_09 10,9	Log_06 3,6	Log_05 11,1	Log_01 14,4
Log_02 12,0	Log_05 13,7	Log_10 10,8	Log_07 2,5	Log_09 10,9	Log_09 13,7
Log_10 11,6	Log_01 13,2	Log_02 10,5	Log_05 -1,5	Log_10 9,7	Log_05 12,7
Log_01 11,4	Log_02 12,8	Log_08 10,3	Log_09 -1,6	Log_02 8,4	Log_10 11,7
Log_09 11,2	Log_03 12,2	Log_05 10,2	Log_02 -1,9	Log_08 8,3	Log_02 10,6
Log_03 10,7	Log_10 11,9	Log_01 10,0	Log_08 -2,3	Log_03 8,1	Log_08 10,0
Log_04 10,3	Log_09 9,1	Log_03 9,7	Log_03 -2,3	Log_01 7,5	Log_03 9,7
Log_08 10,3	Log_08 9,1	Log_04 8,0	Log_10 -2,4	Log_06 7,3	Log_06 7,5
Log_16 7,7	Log_16 8,3	Log_15 6,2	Log_04 -3,1	Log_04 4,4	Log_07 3,6
Log_15 7,4	Log_15 7,9	Log_16 6,1	Log_01 -3,1	Log_07 4,2	Log_04 3,4
Log_06 7,1	Log_12 7,4	Log_07 6,1	Log_15 -3,2	Log_15 1,8	Log_16 1,6
Log_12 6,9	Log_11 7,4	Log_12 5,3	Log_16 -3,2	Log_16 1,8	Log_15 1,4
Log_11 6,8	Log_06 7,4	Log_11 5,1	Log_12 -3,2	Log_12 0,4	Log_12 -0,3
Log_17 6,1	Log_17 6,5	Log_17 4,8	Log_11 -3,2	Log_11 -0,1	Log_11 -1,3
Log_18 6,1	Log_18 6,5	Log_18 4,8	Log_17 -3,4	Log_17 -1,1	Log_18 -2,4
Log_07 6,0	Log_13 6,4	Log_13 4,6	Log_13 -3,4	Log_18 -1,3	Log_17 -2,4
Log_13 5,9	Log_19 6,4	Log_14 4,6	Log_14 -3,4	Log_13 -2,1	Log_14 -3,8
Log_14 5,6	Log_07 6,0	Log_06 4,1	Log_18 -3,5	Log_14 -2,7	Log_13 -4,3
Log_19 2,3	Log_14 5,9	Log_19 2,3	Log_19 -3,6	Log_19 -7,5	Log_19 -11,9
Log_20 2,2	Log_20 5,0	Log_20 2,0	Log_20 -3,7	Log_20 -8,0	Log_20 -12,7

Tab. 3: Ranking Logger nach Median und Messung. Blau: Logger in Transportwanne, schwarz: Logger außerhalb von Transportwannen, rot: Logger in Isolierboxen mit Hybrid Akku

Alle Messungen in Übersicht

→ Zoom Einzelmessungen siehe nächste Seiten



LEGENDE

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C
 ■ Bereich „cool“, 2-8 °C

▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten

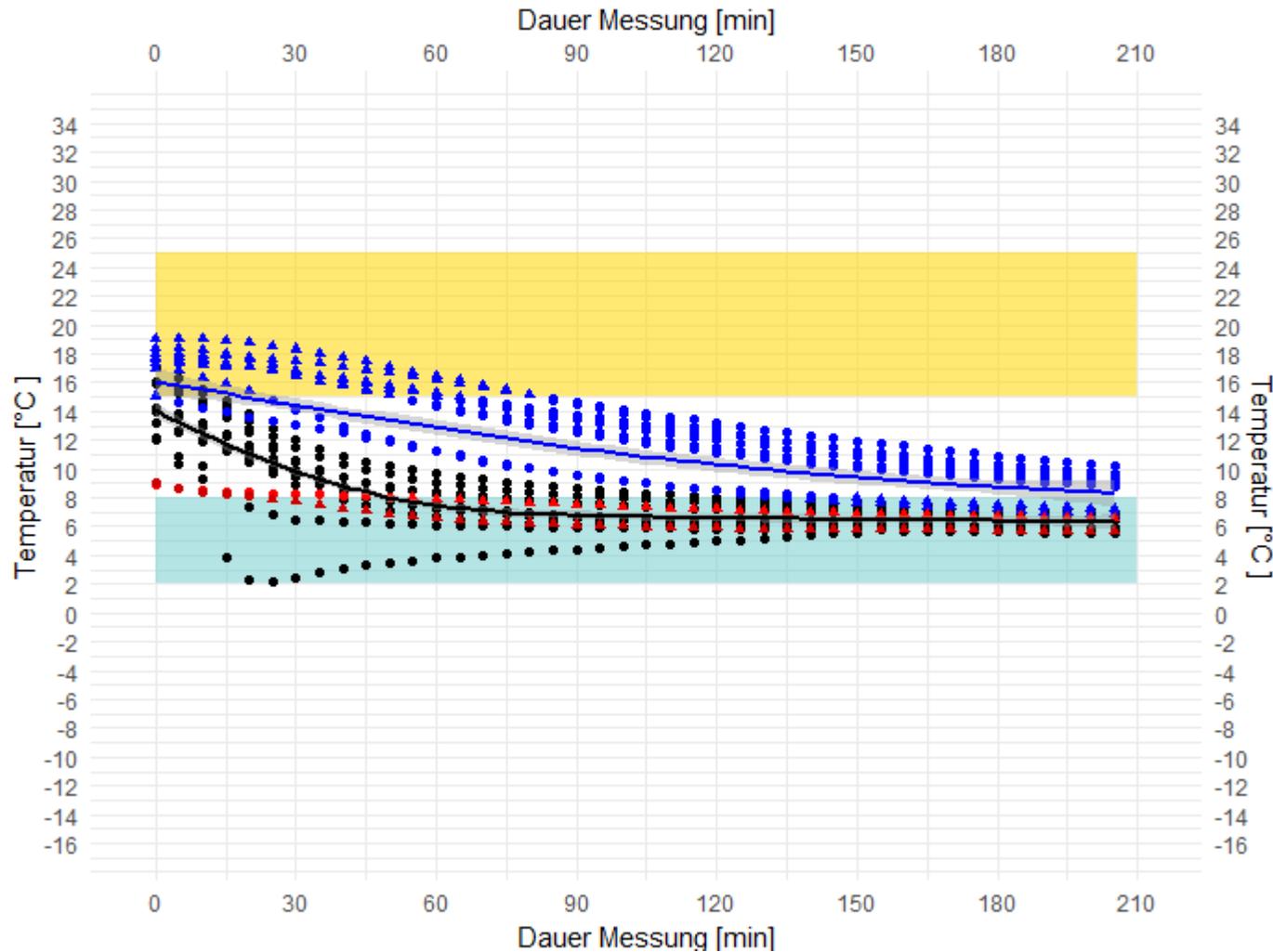
▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt

● Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.

▲ Temp. innerhalb einem der Wunschbereiche
 ● Temp. außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M1



LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt
- Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.
- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Zieltemperatur außen: +5 °C

Tatsächliche Außentemp. (Mittelwert völlig ungeschützter Logger 19/20): +5,7 °C

Messung 1 Median

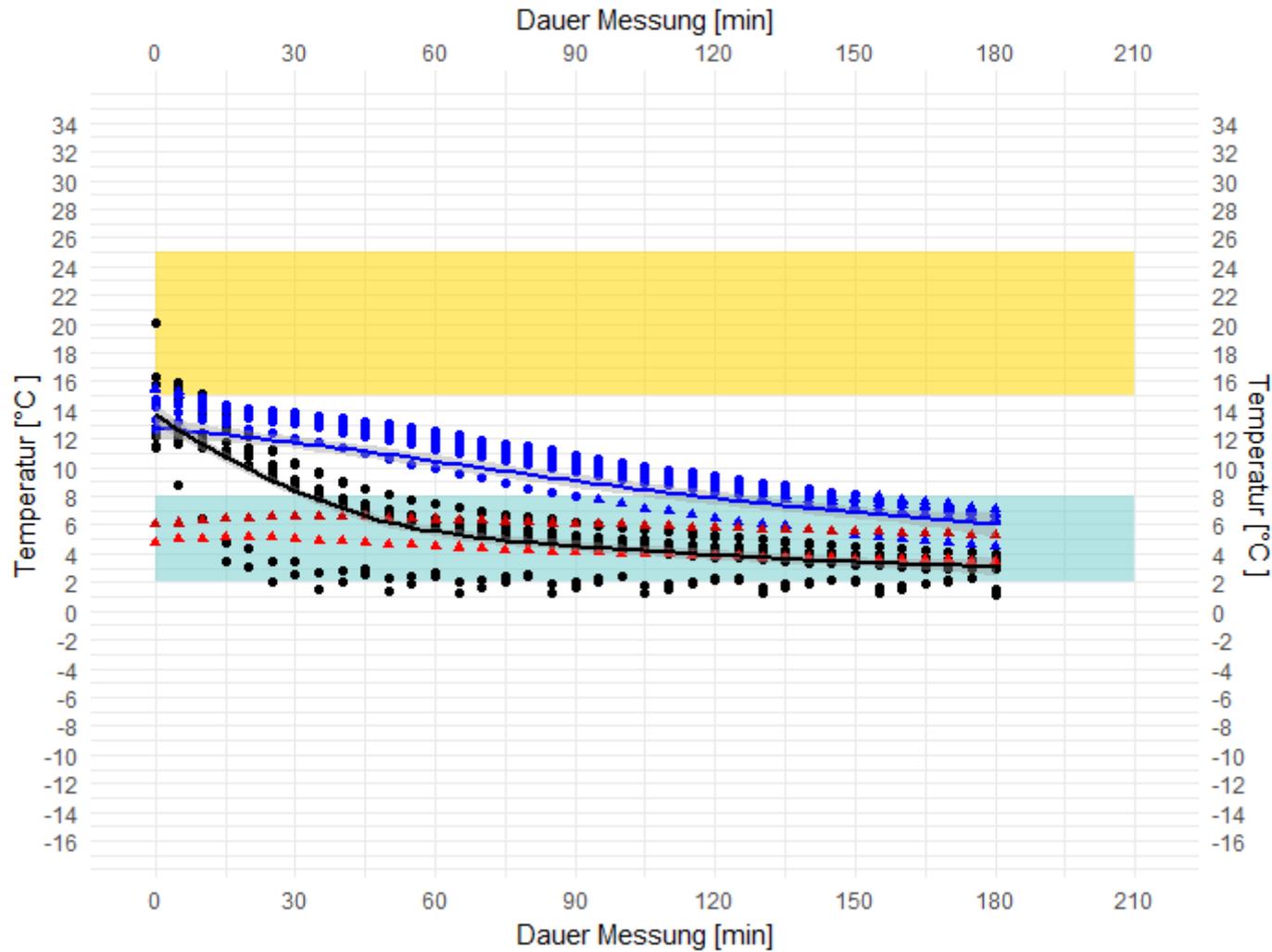
Log_04	14,0
Log_05	13,7
Log_01	13,2
Log_02	12,8
Log_03	12,2
Log_10	11,9
Log_09	9,1
Log_08	9,1
Log_16	8,3
Log_15	7,9
Log_12	7,4
Log_11	7,4
Log_06	7,4
Log_17	6,5
Log_18	6,5
Log_13	6,4
Log_19	6,4
Log_07	6,0
Log_14	5,9
Log_20	5,0

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C

■ Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M2



LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt
- Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.
- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Zieltemperatur außen: 0°C

Tatsächliche Außentemp. (Mittelwert völlig ungeschützter Logger 19/20): +2,1 °C

Messung 2 Median

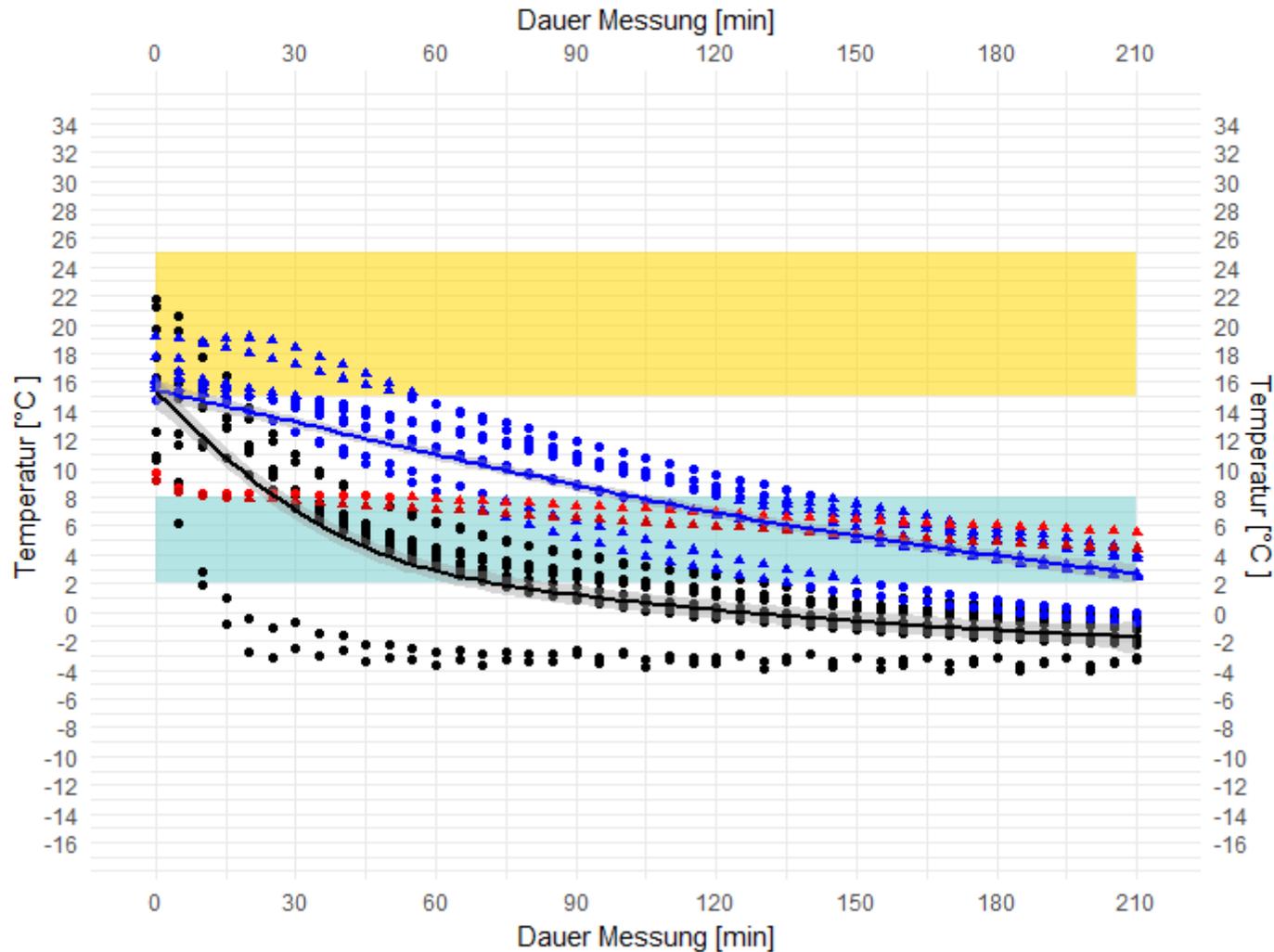
Log_09	10,9
Log_10	10,8
Log_02	10,5
Log_08	10,3
Log_05	10,2
Log_01	10,0
Log_03	9,7
Log_04	8,0
Log_15	6,2
Log_16	6,1
Log_07	6,1
Log_12	5,3
Log_11	5,1
Log_17	4,8
Log_18	4,8
Log_13	4,6
Log_14	4,6
Log_06	4,1
Log_19	2,3
Log_20	2,0

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C

■ Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M3



LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt
- Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.
- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Zieltemperatur außen: -5°C

Tatsächliche Außentemp. (Mittelwert völlig ungeschützter Logger 19/20): -3,6 °C

Messung 3 Median

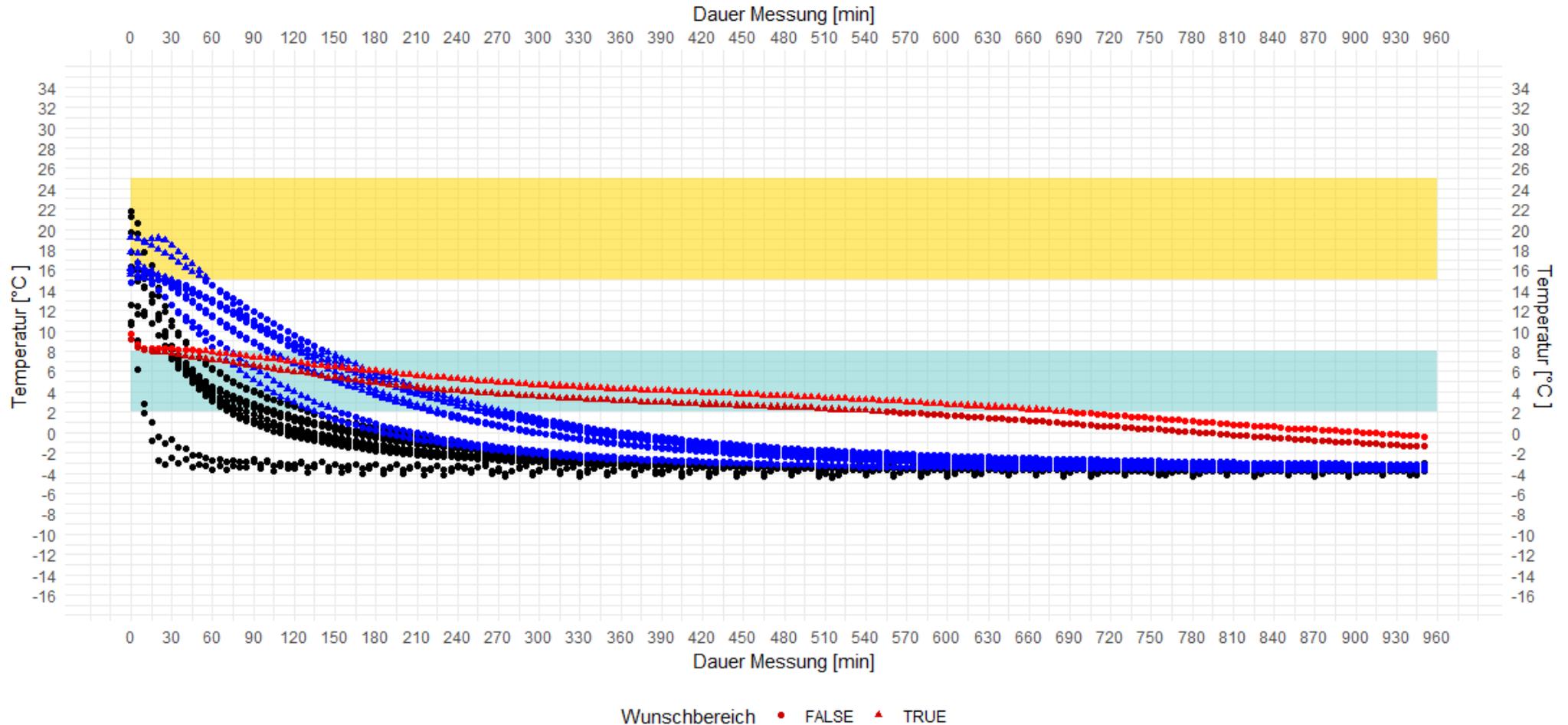
Log_06	3,6
Log_07	2,5
Log_05	-1,5
Log_09	-1,6
Log_02	-1,9
Log_08	-2,3
Log_03	-2,3
Log_10	-2,4
Log_04	-3,1
Log_01	-3,1
Log_15	-3,2
Log_16	-3,2
Log_12	-3,2
Log_11	-3,2
Log_17	-3,4
Log_13	-3,4
Log_14	-3,4
Log_18	-3,5
Log_19	-3,6
Log_20	-3,7

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C

■ Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M3 komplett



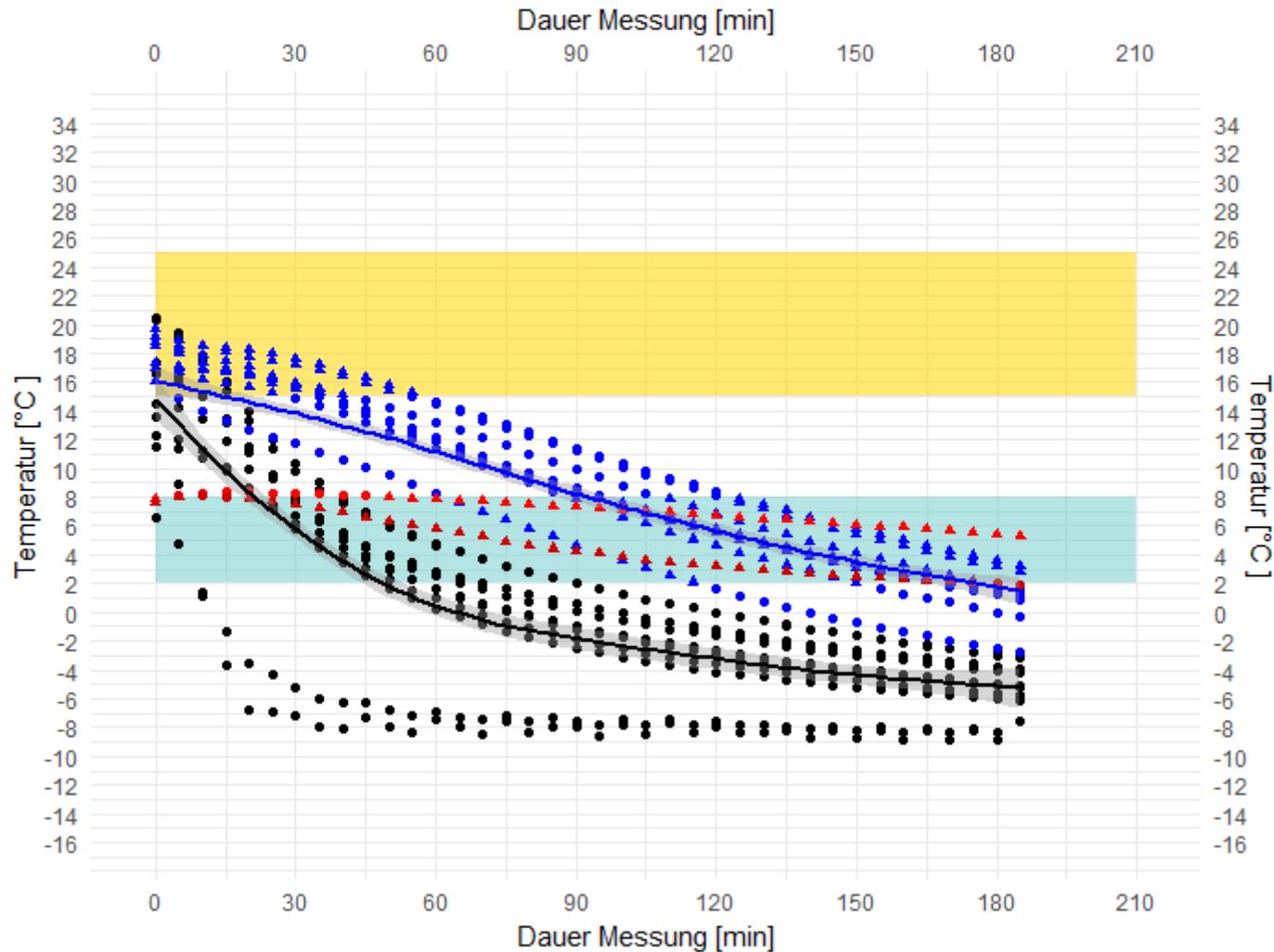
LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt
- Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.
- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

- Bereich „ambient“, 15-25 °C
- Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M4



LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt
- Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.
- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Zieltemperatur außen: -10 °C

Tatsächliche Außentemp. (Mittelwert völlig ungeschützter Logger 19/20): -7,8 °C

Messung 4 Median

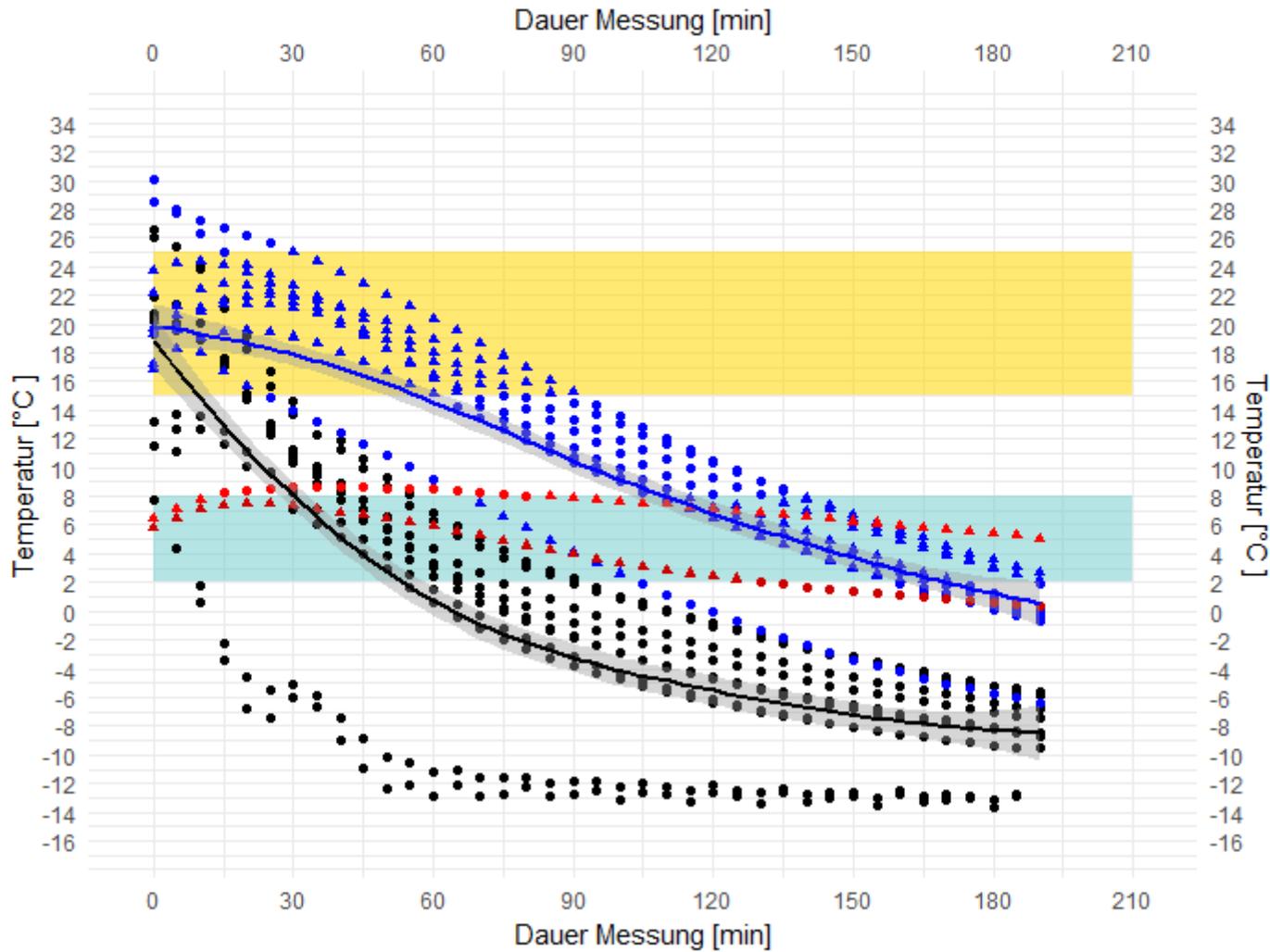
Log_05	11,1
Log_09	10,9
Log_10	9,7
Log_02	8,4
Log_08	8,3
Log_03	8,1
Log_01	7,5
Log_06	7,3
Log_04	4,4
Log_07	4,2
Log_15	1,8
Log_16	1,8
Log_12	0,4
Log_11	-0,1
Log_17	-1,1
Log_18	-1,3
Log_13	-2,1
Log_14	-2,7
Log_19	-7,5
Log_20	-8,0

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C

■ Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)

Messung M5



LEGENDE

- ▲ oder ● Logger 1-5 und 8-10, in Sanacorp-Transportkisten
- ▲ oder ● Logger 6 und 7, in Sanacorp-Transportkisten mit Hybrid-Akku zum Temperaturerhalt

● Logger 11-20, außerhalb von Transportkisten, dabei Logger 19 und 20 außen am Fahrrad.

- ▲ Temperatur innerhalb einem der Wunschbereiche
- Temperatur außerhalb der Bereiche bzw. nicht in Kiste

Zieltemperatur außen: -15°C

Tatsächliche Außentemp. (Mittelwert völlig ungeschützter Logger 19/20): -12 °C

Messung 5 Median

Log_01	14,4
Log_09	13,7
Log_05	12,7
Log_10	11,7
Log_02	10,6
Log_08	10,0
Log_03	9,7
Log_06	7,5
Log_07	3,6
Log_04	3,4
Log_16	1,6
Log_15	1,4
Log_12	-0,3
Log_11	-1,3
Log_18	-2,4
Log_17	-2,4
Log_14	-3,8
Log_13	-4,3
Log_19	-11,9
Log_20	-12,7

■ Bereich „ambient“, 15-25 °C

■ Bereich „cool“, 2-8 °C

Die Kurven beschreiben die lokal lineare Regression mit Standardfehler (**blau**: alle Logger in Transportkisten, **schwarz**: alle Logger außerhalb)