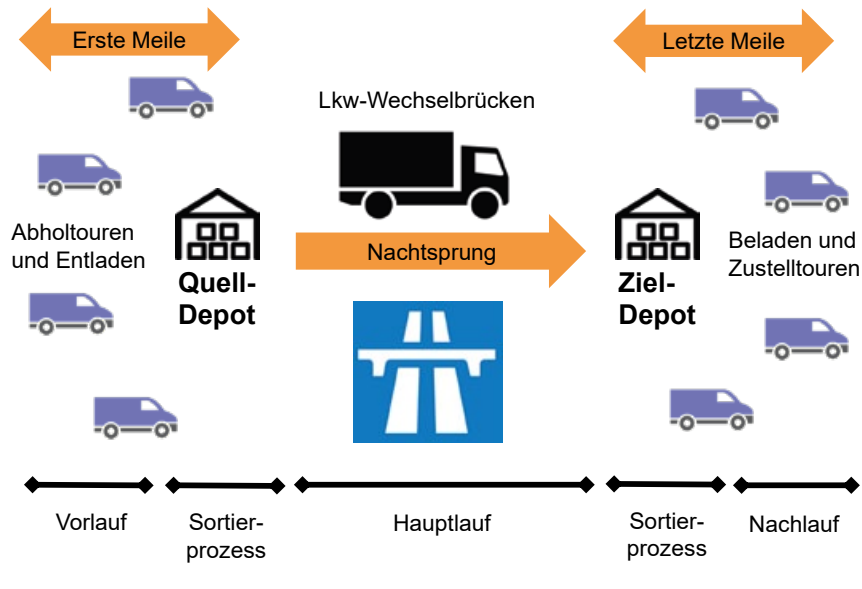


Abbildung 7: Hub-and-Spoke-Prinzip in der KEP-Branche



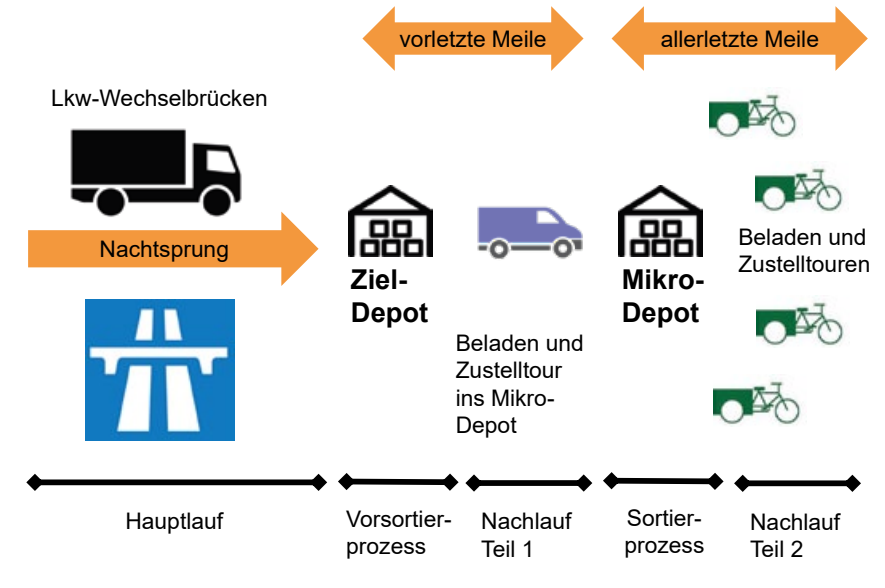
Allerdings können Fahrer mit einem Lastenfahrrad schwerlich Tourenlängen von 50 km bis 130 km zurücklegen. Gründe dafür sind eine vergleichsweise geringe Geschwindigkeit, die tägliche Arbeitszeitbegrenzung von maximal zehn Stunden und die körperliche Belastung. Deshalb bedarf es mit dem Mikro-Depot-Konzept eines neuen Konzeptes in der KEP-Logistik, das sowohl logistisch machbar als auch wirtschaftlich im Sinne des Konsistenzprinzips ist.

Das Mikro-Depot-Konzept auf der Letzten Meile

Handelsübliche, zweispurige Lastenfahrräder haben eine Nutzlast von etwa 200 kg und ein Ladevolumen von bis zu 2 m³. Das sind nur 15–20 Prozent der Kapazität eines konventionellen KEP-Zustellfahrzeugs. Die genannten Restriktionen des Lastenradeinsatzes ermöglichen arbeitstägliche Tourenlängen von maximal 20–30 km. Häufig sind aber bereits die Depots der KEP-Dienste mehr als 20 km Luftlinie von den Zustellgebieten entfernt. Dies erfordert eine konzeptionelle Änderung, nach der das Depot nicht mehr Start- und Endpunkt der Zustelltour ist. Der Lösungsansatz ist ein zusätzlicher Sendungsumschlag – eine Unterteilung der Letzten Meile in eine vorletzte Meile (konsolidierte Sendungszustellung vom KEP-Depot mittels leichter Lkw in ein Mikro-Depot) und in eine allerletzte Meile (die

eigentliche Zustelltour). Dabei ist das Mikro-Depot der Start- und Endpunkt für die Lastenfahrräder (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Mikro-Depot-Konzept auf der Letzten Meile



Die Mikro-Depots müssen dabei zugunsten kurzer Tourenlängen für die Lastenfahrräder unmittelbar im Zustellgebiet liegen. Das sorgt insgesamt für den erforderlichen logistischen Nachteilsausgleich zugunsten der Lastenfahrräder, die hinsichtlich Ladevolumen, Nutzlast und erzielbaren Tourenlängen dem motorisierten Transporter unterlegen sind.

Mikro-Depots können mobil oder stationär sein. Mobile Mikro-Depots sind an geeigneten Orten in den Zustellbezirken von KEP-Diensten abgestellte Lkw-Wechselbrücken (siehe Abbildung 9), was in der Regel auf eine sogenannte Sondernutzung des öffentlichen Raumes hinausläuft und nicht dauerhaft rechtssicher ist. Das gezeigte Beispiel aus Hamburg hat eine befristete Genehmigung und erfordert aus Sicherheitsgründen eine Einfriedung, wie sie Baustellen haben. Je nach Lage am Straßenrand muss auch die erforderliche Rangierfläche für den Lkw eingefriedet werden, um ein Zuparken zu vermeiden. Das verdoppelt in etwa den Flächenbedarf der Wechselbrücke und ist kein schöner Anblick, wodurch städtebaulich mögliche Standorte zusätzlich eingeschränkt werden.

über ausgewählte, zum Redaktionsschluss marktverfügbare Modelle geben, die vordergründig geeignet erscheinen. Darin bedeuten: L = Länge, B = Breite, H = Höhe, jeweils in cm; G = Gewicht in kg; V = Ladevolumen in m³ und Z = maximale Zuladung in kg. Alle aufgeführten Modelle sind zweispurig und elektrisch unterstützt im Sinne von § 63a (2) der StVZO.

Als wichtigstes Kriterium für die logistische Wertung soll zunächst die ideale Breite von maximal 1,0 m und danach die ideale Länge von maximal 3,0 m als Filter zur Anwendung kommen. Hier bleibt als einziges Modell das „Musketier“ übrig! Eine Überschreitung der maximalen Breite ist ein Ausschlusskriterium wegen der geforderten Radwegebenutzung; eine Überschreitung der maximalen Länge geht zu Lasten der Wendigkeit sowie der Abstellmöglichkeiten auf Verkehrsflächen, ist aber bei kleinen Abweichungen tolerabel.

Da das „Armadillo“ die ideale Länge nur um 5 cm und das „Velotaxi Bring“ selbige nur um 8 cm überschreitet, werden sie in den Vergleich mit aufgenommen, zumal das „Musketier“ hinsichtlich der Zuladung das geforderte Kriterium 200 kg nicht erfüllt. Alle drei Modelle bieten als Ladefläche auch das erforderliche Europaletten-Maß von 80 cm x 120 cm.

Logistische Bewertung der „1,0-Meter-Modelle“...

Wichtig ist die Betrachtung der möglichen Zuladung (mindestens 200 kg) sowie des verfügbaren Ladevolumens (mindestens 1,5 m³). Aktuell gibt es für Lastenfahräder noch keine gesetzlichen Vorgaben und die geplante DIN 79010 wurde noch nicht veröffentlicht. So können wir die Zuladung nur vom angegebenen Gesamtgewicht ableiten, wenn exakte Herstellerangaben bezüglich der Zuladung fehlen. Das Gewicht des fahrbereiten Lastenfahrrades und das Gewicht des Fahrers sind vom Gesamtgewicht abzuziehen.

Tabelle 4: Ausgewählte

schwere Lastenräder, geeignet für die Stadtlogistik

Name	Hersteller Web	Größe der Box in cm	Volumen/ Zuladung	Daten Gesamttrad	Preis in €	Bauform
Velotaxi Bring	Bayk www.bayk.ag	L: 130 B: 92 H: 143	V: 1,7 m ³ Z: 480 kg zGG	L: 308 B: 100 G: 142 kg	9.990,-	
Cubi-cycle/ Armadillo	Velove für DHL Express velove.se	L: 120 B: 80 H: 100	V: 1 m ³ Z: 125 kg zGG 350 kg	L: 305 B: 86 H: 160 G: 67 kg	10.690,- (exkl. MwSt.)	
Evolo Z2	Evolo evolo.es/en/	L: 160 B: 90 H: 160	V: 2,3 m ³ Z: 300 kg	L: 325 B: 108 H: 199 G: 200 kg	10.950,- (inkl. MwSt.)	
MovR	Rytle/Krone rytle.de	L: 112 B: 80 H: 190	V: 2 m ³ Z: 180 kg	L: 270 B: 120 G: 134 kg	16.000,- bis 17.000,-	
Musketier	Radkutsche radkutsche.de	L: 127 B: 83 H: 127	V: 1,3 m ³ Z: 300 kg zGG	L: 262 B: 98 G: 58 kg	8.662,- (inkl. MwSt.)	
Scoiattolo (Van)	El Ciclo cargoe-bike.com	L: 140 B: 90 H: 145	V: 1,8 m ³ Z: 250 kg	L: 298 B: 114 H: 205 G: 180 kg	11.000,- (ohne MwSt.)	
Max Van™	Cycles Maximus cyclesmaximus.com	L: 143 B: 96 H: 109	V: 1,5 m ³ Z: 300 kg	L: 286 B: 119 H: 168 G: k.A.	Keine Angabe	
Tender	Urban Arrow urbanarrow.com	L: 160 B: 114 H: 113	V: 1,5 m ³ Z: 270 kg	L: 285 B: 115 G: 130 kg	8.627,- (inkl. MwSt.)	

L = Länge, B = Breite, H = Höhe, jew. in cm;

G = Gewicht in kg; V = Ladevolumen in m³; Z = maximale Zuladung in kg

Eine mikroskopische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist demnach nur dann aussagekräftig, wenn sich die Straßen, in denen Sendungen zugestellt werden, zu einem geschlossenen Netz ohne Lücken zusammenfassen lassen. Die Unschärfe der Betrachtung bei nicht geschlossenen Netzen kann nur durch einen mehrfachen Simulationsprozess mit einer exakt rechnenden Tourenplanungssoftware auf ein Minimum reduziert werden. Dieser Ansatz ist aufgrund der Vielzahl an erforderlichen Planungsläufen innerhalb des Gebietes und des Betrachtungszeitraumes extrem zeitaufwendig. Die einfachere Methode ist es – nach einer vorhergehenden geographischen Analyse – die Gebiete nach hohen Sendungsdichten auszuwerten, unabhängig vom Zuschnitt der Postleitzahlen. Diese Cluster liefern geeignete Korrekturwerte der Haltepunktabstände in lückenhaften Straßennetzen für die weitere Betrachtung.

Berechnungsgrundlagen zum Fahrprofil

Bei der mikroskopischen Betrachtung erfolgt mithilfe von Bewegungsgleichungen die Berechnung der Fahrzeit für die Verbindung zwischen den Sendungspunkten im Straßennetz. Unterschiedliche Fahrzeugarten können somit berücksichtigt werden. Dabei wird die Länge des Straßennetzes bestimmt und dieses gedanklich zu einer Linie aufgespannt. Anschließend werden die Haltepunktabstände, gegebenenfalls unter der Berücksichtigung der Lücken im Netz, bestimmt und die Zeit zwischen den Haltepunkten kann ermittelt werden.

Mithilfe der Daten der Projektpartner wird über die allgemein gültigen Bewegungsgleichungen ein Fahrprofil erstellt. Dieses ist abhängig von folgenden Einflussgrößen:

- **Beschleunigungsvermögen** des Fahrzeuges,
- **Bremsvermögen** des Fahrzeuges,
- **Erreichbare Geschwindigkeit** in der Stadt für das jeweilige Fahrzeug,
- **Abstand zum Mikro-Depot** (für das Lastenfahrrad),
- Durchschnittlichen **Zeitbedarf pro Sendung** (Zustellzeit),
- Durchschnittlicher **Abstand der Haltepunkte**,
- **Fahrzeugvolumen**,
- Abgelieferte **Sendungen pro Haltepunkt**,
- **Volumen** pro Sendung.

Für eine Abschätzung des Beschleunigungs- und Bremsvermögens der Fahrzeugarten wurden zunächst die Werte aus Tabelle 9 verwendet und in einem anschließenden Schritt über Testfahrten validiert.

Tabelle 9: Abschätzung der Anfahr- und Bremsbeschleunigungen⁷³

Fahrzeug	Anfahrbeschleunigung		Bremsverzögerung	
	Normal/ Zügig	Schnell/ Maximal	Betriebs- bremsung	Not- bremsung
Fahrrad	1,5–2,5 m/s ²	3,0–4,0 m/s ²		
Motorrad	2,0–3,5 m/s ²	5,0–7,0 m/s ²	3–4,5 m/s ²	9,6–9,8 m/s ²
Pkw	1,0–2,0 m/s ²	3,0–3,9 m/s ²	3 m/s ²	bis ca. 11,0 m/s ²

Ausgehend von den vorangegangenen Überlegungen, wonach mit den Maximalwerten eines Fahrzeuges gerechnet werden sollte, werden zunächst folgende Daten angenommen:

- Beschleunigung beim Anfahren: 2,0 m/s²
- Bremsverzögerung: 3,0 m/s²
- Höchstgeschwindigkeit in der Stadt: 50 km/h

Hieraus ergibt sich aus $s = \frac{v^2}{2 \cdot a}$ der Beschleunigungs- beziehungsweise Bremsweg:

$$\text{Beschleunigungsweg } s_{\text{Beschl.}} = \frac{\left(\frac{50}{3,6} \text{ m/s}\right)^2}{2 \cdot 2 \text{ m/s}^2} = 48,22 \text{ m}$$

$$\text{Bremsweg } s_{\text{Brems.}} = \frac{\left(\frac{50}{3,6} \text{ m/s}\right)^2}{2 \cdot 3 \text{ m/s}^2} = 32,15 \text{ m}$$

Die Konstantfahrstrecke ist die Differenz aus Haltepunktabstand und Beschleunigungs- und Bremsweg. Ist der Haltestellenabstand geringer als die Summe aus Beschleunigungs- und Bremsweg, muss eine Korrektur der Höchstgeschwindigkeit vorgenommen werden. Die Geschwindigkeit wird schrittweise in Abhängigkeit von Haltestellenabstand, Beschleunigungs- und Bremsweg angepasst.

Abhängig von der erreichten Höchstgeschwindigkeit werden aus der Beschleunigung für das Anfahren und das Bremsen die entsprechenden

⁷³ In Anlehnung an (Burg, et al., 2017) und (Risch, et al., 1957)

5.3 Simulation der multimodalen Zustelltouren

Den Abschluss dieser Untersuchung bildet eine Reihe von Experimenten, bei denen mit einer Tourenplanungssoftware verschiedene Szenarien simuliert werden. Die Simulation soll die Hypothese validieren, dass bei einer optimalen Auslastung der Vans und Lastenrädern die Gesamtkosten für die Zustellung in den betrachteten Postleitzahlgebieten sinken.

Status quo und Lösungsszenario

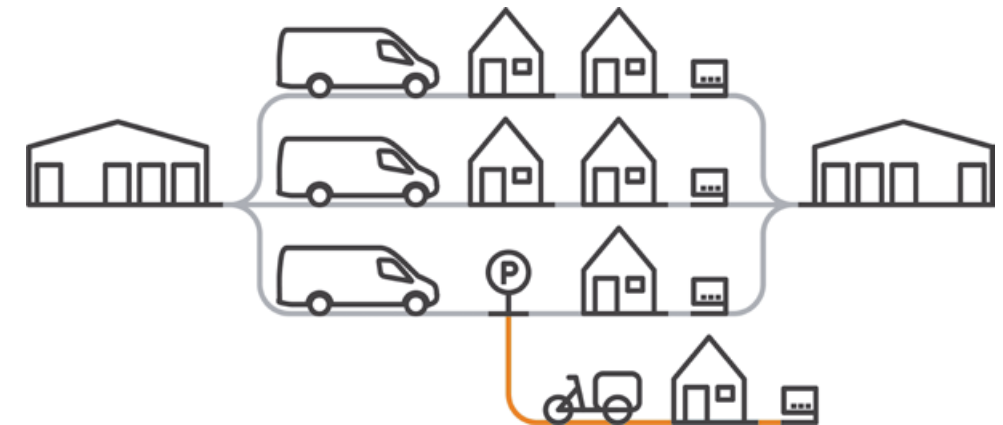
In der Simulation wird zunächst ein Baseline-Szenario (siehe Abbildung 35) aufgebaut. Hier werden Touren für drei ausgewählte Zustelltage in den sechs Postleitzahlgebieten mit klassischen Vans durchgeführt. Das soll den heutigen Status quo widerspiegeln (Baseline) und dient im Nachgang als Vergleichsgrundlage für die Lösungsszenarien.

Abbildung 35: Aufbau des Baseline-Szenarios



In Abbildung 36 ist das vorgestellte Konzept Vans & Bikes abgebildet. Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur die Lastenradtouren abgebildet werden, sondern auch der Begegnungsverkehr, der vom Van zum Lastenrad erfolgt. Das Haltestellenkonzept verlangt, dass die Sendungen für die Lastenräder im Depot zuvor vorsortiert werden. Dann werden an den entsprechenden Haltestellen die Sendungen in einer Transportbox übergeben. Dazu wird an den Haltestellen eine Umschlagszeit von 30 Minuten angenommen. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass die Stopps mit hohem Sendungsaufkommen weiterhin von den Vans bedient werden.

Abbildung 36: Aufbau des Vans & Bikes-Szenarios



Mithilfe der Investitionskosten und der variablen Kosten auf Basis von gefahrener Strecke und beanspruchten Mannstunden kann eine Vollkostenrechnung durchgeführt werden, mit einer Gegenüberstellung der beiden Szenarien. Für beide Berechnungen wird dieselbe Nachfrage zugrunde gelegt. Aus methodischer Sicht wäre die Simulation aller Tage im Jahr der wünschenswerte Weg, jedoch ist dies durch den massiven Rechenaufwand extrem aufwendig. Aus diesem Grund werden aus der Zeitreihe drei repräsentative Tage ausgewählt (Best-, Mid- und Worst-Case⁸⁴), basierend auf der absoluten Nachfrage an lastenradfähigen Sendungen an jenen Tagen.

Ergebnisse der Analyse

Für das entwickelte Haltestellenkonzept wurden mehrere Szenarien simuliert, mittels der Zeitreihenanalyse von rund 1,2 Millionen Sendungsdaten aus dem Jahr 2017 für das Stadtgebiet von Stuttgart. Die logistische Realisierbarkeit der Schnittstelle zwischen Lastenrad und Van wurde in jedem Szenario grundsätzlich nachgewiesen.

Der Vergleich zeigt, dass im Lösungsszenario des Konzeptes Vans & Bikes die Gesamtwegstrecke der Zustellflotte reduziert wird. Der Durchsatz der Sendungen pro Stunde konnte dabei gegenüber dem Baseline-Szenario relativ konstant gehalten werden. Die benötigten Mannstunden sind dagegen im Lösungsszenario leicht angestiegen. Der durchschnittliche

⁸⁴ Das bedeutet minimale, mittlere und maximale Sendungsmenge in den Gebieten

7.1 Lastenfahrräder digital vernetzen

Digitalisierung ist in der Logistikbranche ein immer wichtiger werdender Faktor, um ...

- die Effizienz bei stetig wachsendem Sendungsvolumen sicherzustellen und möglichst zu erhöhen,
- den steigenden und sich verändernden Kundenerwartungen gerecht zu werden,
- sinnvolle Zusammenarbeitsmodelle und/oder Plattformen zum Datenaustausch zu ermöglichen.

Dies gilt für alle Bereiche der logistischen Wertschöpfung, insbesondere jedoch für die Letzte Meile in der Stadtlogistik. In diesem Teil des Prozesses fallen mehr als 50 Prozent der aktuellen Kosten für die Zustellung an⁹⁹. Zudem erfolgt hier der Kontakt mit dem Empfänger, der sich vor allem eine schnelle, zeitlich passende und in der Regel persönliche Zustellung wünscht. Die zusätzliche Herausforderung besteht hierbei in der effizienten Navigation im Ökosystem Stadt. Mobilität im urbanen Raum ist ein bekanntes Problem. Der Lieferverkehr umfasst dabei ungefähr 20 Prozent¹⁰⁰, ist jedoch aufgrund der Größe der Fahrzeuge und den oft nicht vorhandenen Be- und Entlademöglichkeiten einer der Hauptverursacher von Verkehrsbehinderungen. Die Herausforderung besteht somit in einer effizienten, kundenfreundlichen und gleichzeitig nachhaltigen Stadtlogistik auf der Letzten Meile.

Die Hauptakteure in diesem Umfeld sind zum einen **Empfänger** oder Konsumenten, die ihre Ware zur Wunschzeit am Wunschort möchten und sich eine einfache Möglichkeit der Retoure wünschen. Diese Ansprüche möchten vor allem die **Versender** erfüllen (in vielen Fällen Online-Händler), um so ihren Umsatz zu steigern. Die **KEP-Dienstleister** sind letztendlich das ausführende Organ. Sie müssen die steigende Anzahl an Sendungen bearbeiten und diese effizient zu den Kunden bringen. Die Empfänger haben hierbei in der Regel keinen Einfluss auf die Wahl des KEP-Dienstleisters. Dieser wird durch die Online-Händler vorgegeben, welche KEP-Dienstleister mit dem gewünschten Serviceangebot beauftragen (siehe Kapitel 2.1). Die **Städte** stehen in diesem Zusammenhang vor der Herausforderung,

⁹⁹ (McKinsey&Company, 2016)

¹⁰⁰ (Umweltbundesamt, 2018)

diesen Ablauf bürgerfreundlich und ökologisch zu ermöglichen und, wo notwendig, zu koordinieren, um ihre Ansprüche an eine „smarte City“ zu erfüllen.

Abbildung 43: Hauptakteure für die digitale Optimierung auf der Letzten Meile¹⁰¹



Routen dynamisch optimieren

Für die Digitalisierung bestehen verschiedene Ansatzmöglichkeiten, die durchaus aufeinander aufbauen. Eine Routenplanung, das heißt die Disposition der Sendungen auf Routen und deren Optimierung, erfolgt bislang in den meisten Fällen noch entlang statischer Vorgaben und Methoden. Im Bestfall werden Szenarien aus historischen Daten berücksichtigt. Eine dynamische Berechnung, basierend auf den tagesaktuellen Sendungsdaten, erfolgt in der Regel nicht. Dies gilt insbesondere für eine Belieferung mit Lastenfahrrädern. Eine dynamische Routenoptimierung ermöglicht jedoch viele Vorteile, wie ein Einteilen der Routengebiete in Echtzeit und damit einen optimalen Einsatz aller Ressourcen. Zudem erfolgt eine dedizierte Zuordnung von Sendungen und entsprechende Routenberechnung

¹⁰¹ Ziel ist ein intelligentes Zusammenspiel von Konsumenten, Online-Händlern, KEP-Dienstleistern und Städten