

Machbarkeitsstudie zum Warentransport via ÖPNV

# Kurzfassung des Abschlussberichts

## Nachhaltigkeit auf der letzten Meile – Lastenradeinsatz für den Güterwirt- schaftsverkehr durch Nutzung von Bushaltestellen

Projektlaufzeit: 04 / 2022 – 03 / 2024

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bogdanski und das PedeListics-Team  
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm



Gefördert durch Bayerisches Staatsministerium für  
Wohnen, Bau und Verkehr und die Stadt Neumarkt

Bayerisches Staatsministerium für  
Wohnen, Bau und Verkehr



**NEUMARKT**   
STARKE STADT

# Inhaltsverzeichnis

## Inhalt

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	I
1 Einleitung und Projektvorgehen	2
2 Prozessabläufe	5
3 Haltestellenanalyse	8
4 Makroskopische Gebietsanalyse	16
5 Vor Ort Begutachtung der Haltestellen	18
6 Mikroskopische Gebietsanalyse	20
7 Fazit	24
8 Literaturverzeichnis	27

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Muss-Kriterien für Schritt 1 der Haltestellenklassifizierung für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour</i>	12
<i>Tabelle 2: Kann-Kriterien für Schritt 2 der Haltestellenklassifizierung für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour</i>	16

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Niedrige ÖPNV-Integration, asynchrone Tagestour</i>	6
<i>Abbildung 2: Niedrige ÖPNV-Integration, synchrone Tagestour</i>	6
<i>Abbildung 3: Niedrige ÖPNV-Integration, asynchroner Milkrun</i>	7
<i>Abbildung 4: Niedrige ÖPNV-Integration, synchroner Milkrun</i>	7
<i>Abbildung 5: Darstellung Klassifizierungsmechanismus</i>	9
<i>Abbildung 6: Statistische Raumanalysen zur Ermittlung des Lastenradpotenzials (Ausschnitt)</i>	18
<i>Abbildung 7: Auswahl von Haltestellen zur vor Ort Besichtigung Nürnberg (Ausschnitt)</i>	19
<i>Abbildung 8: Darstellung des Lastenradpotentials pro Tag – unterer Erwartungswert aller KEP-Dienstleister in Neumarkt</i>	23
<i>Abbildung 9: Ermittlung des Gesamtpotentials des Haltestellenkonzeptes für Neumarkt</i>	24

# 1 Einleitung und Projektvorgehen

Die Kurier-, Express- und Paketlogistik (KEP-Branche) ist ein wesentlicher Bestandteil urbaner Güterwirtschaftsverkehre und verzeichnet seit vielen Jahren ein stark steigendes Sendungsaufkommen, getrieben durch den Versandhandel<sup>1</sup>. Die damit stetig zunehmenden Zustellverkehre auf der letzten Meile sind somit repräsentativ für unvermeidbare Wirtschaftsverkehre in urbanen und suburbanen Räumen, die möglichst nachhaltig gestaltet werden müssen. Für eine nachhaltige Stadt- und Ballungsraumlogistik ist es von großer Bedeutung, nicht ausschließlich auf das Substitutionsprinzip zu setzen, d.h. auf batterieelektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge<sup>2</sup>. Schließlich werden damit zwar schädliche Emissionen vermieden und ökologische Vorteile erzielt, die sozialen Schadwirkungen des Wirtschaftsverkehrs bleiben aber bestehen, so die Inanspruchnahme großer Verkehrsflächen und die Gefahren für schwächere Verkehrsteilnehmer. Kommunen setzen daher verstärkt auf das Konsistenzprinzip, also auf den Einsatz kleiner und ungefährlicher Verkehrsmittel; national auf elektrisch unterstützte, mehrspurige Lastenräder<sup>3</sup> und international auf Light Electric Vehicle<sup>4</sup>. Für einen logistischen Nachteilsausgleich dieser kleinen Verkehrsmittel gegenüber konventionellen Nutzfahrzeugen hinsichtlich Nutzlast, Nutzvolumen und Reichweite beim Einsatz in der KEP-Branche hat sich das Mikro-Depot-Konzept erfolgreich etabliert<sup>5 6</sup>, welches jedoch einen Bedarf an logistischer Nutzfläche für einen zusätzlichen Sendungsumschlag auf Lastenräder in den Zustellgebieten verursacht<sup>7 8</sup>. Dieser nicht unerhebliche Flächenbedarf im öffentlichen oder privaten Raum ist ein Verfügbarkeitsproblem und somit limitierender Faktor für das Mikro-Depot-Konzept, so dass die logistischen Potentiale des Lastenradeinsatzes in der KEP-Branche auf der letzten Meile nicht vollständig nutzbar sind. Einen derzeit viel diskutierten Ausweg aus diesem Dilemma bietet, als eine Form des Vorsorgeprinzips, die kooperative logistische Nutzung von öffentlichen Nahverkehrssystemen. Als Sonderform des Kombinierten Verkehrs soll hier der Hauptlauf mit ÖPNV-Verkehrsmitteln und der Nachlauf mit logistikgerechten Lastenrädern erfolgen. Die bekannten Konzepte dieses Vorsorgeprinzips unterscheiden zwischen exklusiver logistischer Nutzung von ÖPNV-Verkehrsmitteln einerseits (so z.B. Gütertram-Lösungen<sup>9</sup>) und

---

<sup>1</sup> Vgl. BIEK e.V. (2023)

<sup>2</sup> Vgl. Bogdanski (2019), S. 37

<sup>3</sup> Vgl. Douglas, Martyn; Schubert, Tim; Schuhmacher, Thomas (2020), S. 34

<sup>4</sup> Bogdanski; Liu (2021), S. 15

<sup>5</sup> Vgl. Bogdanski (2015), S. 52ff.

<sup>6</sup> Vgl. Bogdanski (2017), S. 63ff.

<sup>7</sup> Vgl. Stiehm; Rüdiger; Gade; u. a. (2019)

<sup>8</sup> Vgl. Mauch; Weiß; Wohlhüter; u. a. (2021)

<sup>9</sup> Vgl. Schocke; Schäfer; Höhl; u. a. (2020)

einem Personen-/Güter-Mischbetrieb andererseits<sup>10 11</sup>. Beide Ansätze lassen sich als hohe Integration von öffentlichen Nahverkehrssystemen in die logistischen Prozesse der letzten Meile bezeichnen, mit derzeit hohen rechtlichen, praktischen und ökonomischen Hemmnissen einer zeitnahen Umsetzung in die verkehrliche Praxis. Im weiteren Verlauf dieses Beitrags soll daher der Frage nachgegangen werden, wie eine wesentlich leichter umsetzbare, niedrige Integration von ÖPNV-Verkehrsinfrastrukturen in die letzte Meile der KEP-Branche erfolgen kann, ohne die logistische Nutzung von ÖPNV-Verkehrsmitteln. Der Fokus liegt auf der Nutzung von Haltestellen des Verkehrssystems Bus, da dieses in urbanen Räumen durch ein sehr dichtes Netz auf dem Verkehrsträger Straße und eine logistische Barrierefreiheit im Vergleich zu Straßenbahn, S- und U-Bahn gekennzeichnet ist<sup>12</sup>. Es handelt sich um das sog. Haltestellenkonzept, bei dem vorkommissionierte Wechselbehälter an Bushaltestellen in logistisch relevanten Zustellgebieten von motorisierten KEP-Transportern auf Lastenräder für den Nachlauf umgeschlagen werden sollen. Dabei lässt sich das Projektvorgehen der Machbarkeitsuntersuchung in fünf aufeinander aufbauende Analysegebiete einteilen, welche in dieser Zusammenfassung im groben beschrieben werden sollen. Für eine ausführliche Beschreibung ist auf das jeweilige Kapitel des Abschlussberichtes zu verweisen.

## Projektvorgehen

### 1. Prozessabläufe

- *Ziel:* Ausarbeitung von Prozessabläufen und Prozessvarianten des Haltestellenkonzeptes
- *Vorgehen:* Experteninterviews mit KEP-Unternehmen

### 2. Haltestellenanalyse

- *Ziel:* Kriterienbasierte Identifikation von geeigneten Haltestellen für den Prozessablauf
- *Vorgehen:* 2-Step Klassifizierungsmechanismus in Python basierend auf einem Kriterienkatalog zur Einteilung aller Haltestellen in geeignete vs. ungeeignete Haltepunkte
- *Voraussetzungen:* Daten zu den Haltepunkten, welche die Kriterien des Kriterienkataloges (vgl. Kapitel 3) abbilden, z.B. durch: Haltestellenkataster, Fahrplandaten (idealerweise Echtzeitdaten), ggf. zusätzliche Erfassung von Daten durch eine Luftbildanalyse (Google Satellitenbild/Google Street View)

---

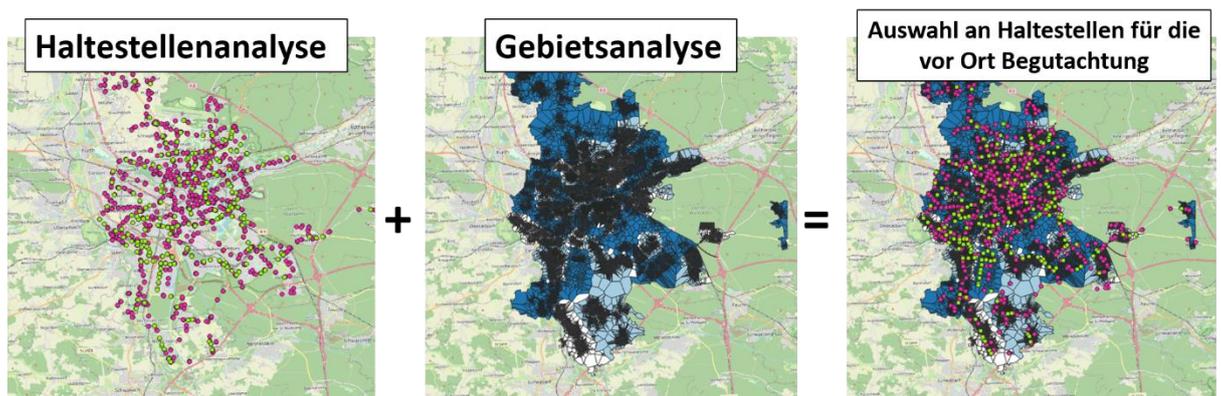
<sup>10</sup> Vgl. Bogdanski; Cailliau (2022a)

<sup>11</sup> Vgl. Bogdanski; Cailliau (2022b)

<sup>12</sup> Vgl. Bogdanski; Cailliau (2022b), S. 49ff.

### 3. Makroskopische Gebietsanalyse

- *Ziel:* Identifikation von Stadtgebieten mit höchstem Potential für eine Lastenradzustellung
- *Vorgehen:* makroskopische Analyse durchgeführt durch Urban Logistics Solutions
- *Voraussetzungen:* Gebietsspezifische Daten, d.h. Adressdaten, Informationen zu Gewerbeadressdaten (IHK-Daten), Einwohnerstatistiken



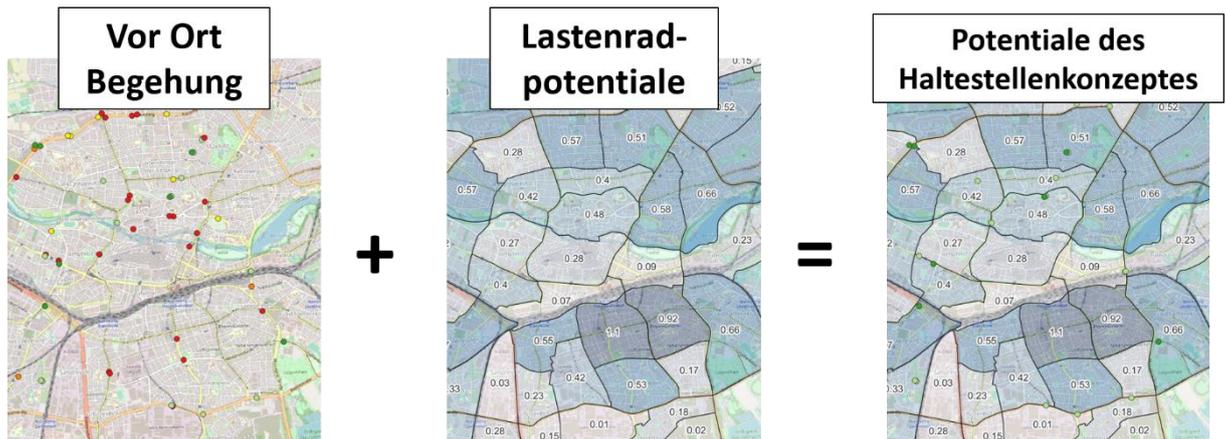
→ Basierend auf den Ergebnissen der Haltestellenanalyse und der makroskopischen Gebietsanalyse werden für die vor Ort Begutachtung geeignete Haltepunkte ausgewählt, welche in Gebieten mit höchstem Potential für eine Lastenradzustellung liegen.

### 4. Vor Ort Begutachtung von Haltestellen

- *Ziel:* Abschließende Bewertung der vorausgewählten Haltepunkte
- *Vorgehen:* systematische Begutachtung und Vermessung vor Ort
- *Voraussetzungen:* standardisierter Fragebogen zur Datenerhebung, Tablet, Maßband

### 5. Mikroskopische Gebietsanalyse

- *Ziel:* Ermittlung konkreter Lastenradpotentiale in Gebieten um geeignete Haltestellen und erste Ableitungen möglicher Tour Varianten
- *Vorgehen:* mikroskopische Gebietsanalyse durchgeführt durch Urban Logistics Solutions
- *Voraussetzungen:* idealerweise aggregierte Sendungsstrukturdaten der KEP-Unternehmen, Alternativ Modellierung von Sendungsstrukturdaten möglich



→ Basierend auf der finalen Eignung einer Haltestelle für den Prozessablauf durch die vor Ort Begutachtung und der Ermittlung der umliegenden Lastenradpotentiale durch die mikroskopische Gebietsanalyse lassen sich das Gesamtpotential des Haltestellenkonzeptes für eine Kommune berechnen, sowie konkrete Tourbeispiele für KEP Unternehmen ableiten.

## 2 Prozessabläufe

In dem Projekt wurden verschiedene Prozessabläufe des Haltestellenkonzeptes untersucht und mit Experten der KEP-Branche diskutiert. Anhand von Experteninterviews wurden detaillierte Abläufe herausgearbeitet, welche sich an die aktuellen Prozesse der Branche anpassen.

Bei der **niedrigen ÖPNV-Integration** sollen Bushaltestellen im Stadtgebiet zum Warenumschlag genutzt werden. Dabei kann zwischen einer Milkrun- und einer Tagestour-Variante unterschieden werden. Beide Optionen können asynchron oder synchron durchgeführt werden. Im synchronen Modell treffen sich Transporter und Lastenrad an einer Haltestelle für eine direkte Wechselcontainer Übergabe. Im asynchronen Modell bewegen sich die beiden Fahrzeuge zeitversetzt. Der Wechselcontainer kann an diebstahlsicheren Stellplätzen, beispielsweise in abschließbaren Boxen, an den Bushaltestellen abgestellt werden.

Für eine **Tagestour** werden alle Pakete einer Tour in einen einzelnen Container geladen, der dem entsprechend groß sein muss. Beim asynchronen Ablauf (vgl. Abbildung 1) fährt der Transporter zur Zielhaltestelle, tauscht ggf. einen dort abgestellten leeren Wechselcontainer mit dem neu gepackten und fährt direkt zurück ins Depot. Das Lastenrad fährt dieselbe Haltestelle an, der leeren Wechselcontainer vom Vortag wird abgestellt und der Aktuelle aufgeladen. Das Rad ist dann direkt bereit für die Tagestour. In der synchronen Variante (vgl. Abbildung 2) treffen sich Transporter und Lastenrad direkt an der Zielhaltestelle und tauschen dort

den jeweils vollen und leeren Wechselcontainer aus. Der Transporter fährt anschließend direkt zurück ins Depot, während mit dem Fahrrad die Ausliefertour startet.

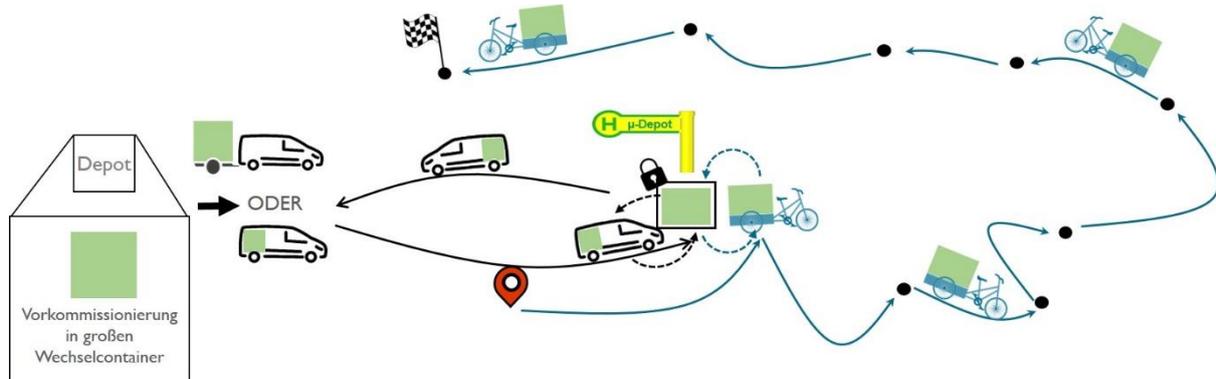


Abbildung 1: Niedrige ÖPNV-Integration, asynchrone Tagestour

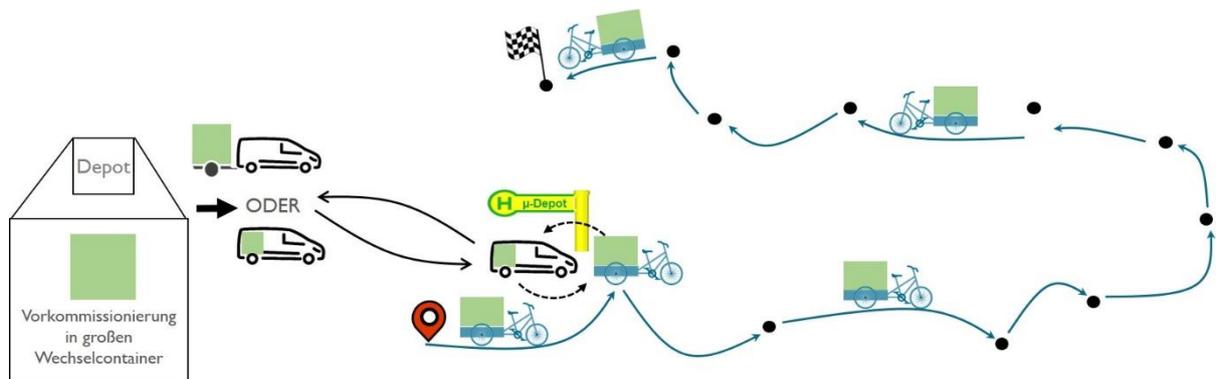


Abbildung 2: Niedrige ÖPNV-Integration, synchrone Tagestour

Neben der Tagestour, bei der ein Wechselbehälter je Tour gepackt und umgeschlagen werden muss, soll auch eine **Milkrun** Variante mit mehreren Wechselbehältern und mehreren Umschlagepunkten betrachtet werden. Dabei ist der Begriff Milkrun an den Beruf des Milchmanns angelehnt, der bei der Anlieferung voller Milchflaschen die geleerten gleichzeitig abholt. In der Logistik wird dieser Begriff für das Konzept einer Rundfahrt, auf der Ware sowohl geliefert als auch abgeholt wird, verwendet.<sup>13</sup>

Im Kontext des Haltestellenkonzeptes soll der Milkrun bei niedriger ÖPNV-Integration, wie in Abbildung 3 und Abbildung 4 zu sehen ist, ablaufen. Nachdem die Ware über den Nachtsprung im Zieldepot angeliefert wird, wird sie dort vorsortiert. Ware, die für die Zustellung mittels Milkrun vorgesehen ist, wird entsprechend der geplanten Tour in kleine Wechselcontainer sortiert. Bei der asynchronen Version (vgl. Abbildung 3) werden die Wechselcontainer mit einem KEP-

<sup>13</sup> Vgl. Tripp (2021), S. 177

Transporter an die vorgesehenen Haltestellen gebracht. An diesen werden gegebenenfalls vorhandene, leere Wechselcontainer eingesammelt und volle Wechselcontainer hinterlegt. Nach Abschluss der Tour fährt der Transporter mit den leeren Wechselcontainern zurück zum Depot. Das Lastenrad fährt entsprechend seiner Tour die Haltestellen an, nimmt den Wechselcontainer auf und liefert die darin verwahrten Pakete aus. Ist der Wechselcontainer leer, wird die nächste Haltestelle angefahren, wo der leere mit einem vollen Wechselcontainer ausgetauscht wird. Dies wiederholt sich an mehreren Haltestellen, bis die Tour beendet und alle Pakete ausgefahren sind. In der synchronen Variante (vgl. Abbildung 4) bringt ebenfalls ein KEP-Transporter die Wechselcontainer zur Haltestelle. Dieser trifft sich hier direkt mit dem Lastenrad, das den Wechselcontainer übernimmt und gegebenenfalls einen leeren Wechselcontainer an den Transporter übergibt. Während der Ausliefertour bewegt sich der Transporter weiter zum nächsten Treffpunkt. An diesem trifft er wieder auf das Lastenrad. Der leere Wechselcontainer wird mit dem nächsten vollen getauscht und die Ausliefertour kann mit dem Lastenrad fortgesetzt werden. Dieses Prozedere wiederholt sich so lange, bis die Ausliefertour beendet ist. Diese synchrone Prozessvariante des Milkrun wird jedoch aufgrund des hohen logistischen und organisatorischen Aufwandes als unwahrscheinlich ausgeschlossen.

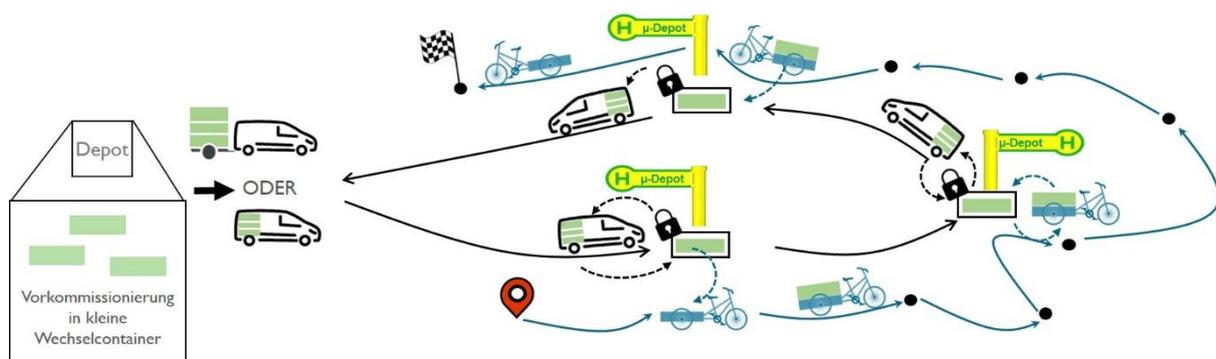


Abbildung 3: Niedrige ÖPNV-Integration, asynchroner Milkrun

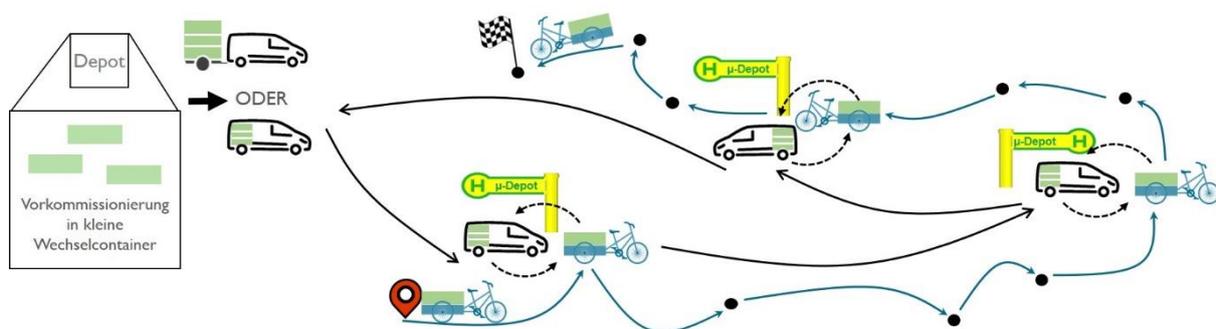


Abbildung 4: Niedrige ÖPNV-Integration, synchroner Milkrun

### **3 Haltestellenanalyse**

Ein wichtiger Bestandteil des Projektes ist es, geeignete Haltestellen für die Prozessvarianten zu identifizieren. Da die konzeptionelle Eignung einer Haltestelle abschließend nur durch eine vor Ort Besichtigung validiert werden kann, ist es wichtig, aus den Bushaltestellen im Stadtgebiet eine kriterienbasierte Vorauswahl zu treffen. Hierfür wurden systematische und auch auf andere Städte übertragbare Datenanalysen entwickelt, die drei verschiedene Datenquellen nutzen. Diese sind Fahrplandaten und Haltestellenkataster der Verkehrsbetriebe sowie Luftbilddaten. Basierend auf den vorhandenen Daten und den konzeptionellen Anforderungen wurde ein Kriterienkatalog mit insgesamt 19 quantitativen und qualitativen Kriterien erstellt und ein zweistufiges Klassifizierungsverfahren entwickelt. Dabei unterscheidet der Kriterienkatalog zwischen sog. Muss- und Kann-Kriterien, welche sich je Prozessvariante unterscheiden können. Im Folgenden wird der entwickelte Kriterienkatalog anhand ausgewählter Kriterien für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour vorgestellt.

#### **Kriterienkatalog und Klassifizierungsmechanismus**

Die Einteilung der Haltepunkte hinsichtlich ihrer Eignung für die Prozessvariante basiert auf einem Kriterienkatalog und einem zweistufigen Klassifizierungsmechanismus (vgl. Abbildung 5). Dabei werden die Haltepunkte im ersten Schritt basierend auf sog. Muss-Kriterien in geeignete vs. ungeeignete Haltestellen unterteilt. Im zweiten Schritt werden geeignete Haltepunkte basierend auf sog. Kann-Kriterien weiter differenziert und in drei Unterklassen „sehr gut“, „gut“ und „befriedigend“ geeignet priorisiert. Während der Klassifizierungsmechanismus den festen Rahmen der Haltestellenanalyse bildet, können sich die angewendeten Kriterien je Prozessvariante unterscheiden. Neben der Einteilung in Muss- bzw. Kann-Kriterien wird im Kriterienkatalog eine inhaltliche Zuordnung der Kriterien in Fahrplaneigenschaften (FPE), Haltestelleneigenschaften (HSE) und Verkehrseigenschaften (VE) genutzt. Während die Einteilung in Muss- bzw. Kann-Kriterium Einfluss auf den Klassifizierungsmechanismus nimmt, dient die inhaltliche Zuordnung lediglich der Struktur des Kriterienkataloges.

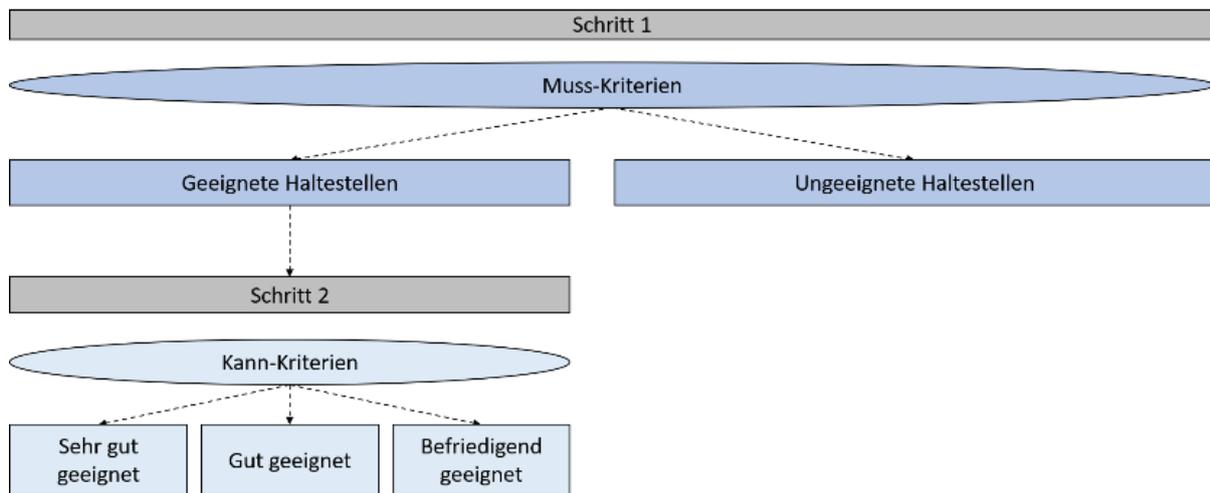


Abbildung 5: Darstellung Klassifizierungsmechanismus

Das Ziel des **ersten Schritts** ist eine Einteilung aller Haltepunkte in die zwei Kategorien geeignete Haltestelle und ungeeignete Haltestelle. Für diese erste Einteilung werden Muss-Kriterien formuliert, welche die minimalen Anforderungen an die Haltestelle für den entsprechenden Prozessablauf definiert. So ist beispielsweise die freie Zeit zwischen der Ankunft bzw. Abfahrt zweier ÖPNV-Busse an der Haltestelle entscheidend, ob ein KEP-Transporter ausreichend Zeit hat, um diesen freien Zeitslot für das Ausladen eines Wechselbehälters zu nutzen. Gleichzeitig spielen Eigenschaften der Haltestelle wie Tiefe und Länge eine entscheidende Rolle, ob der Haltepunkt grundsätzlich geeignet erscheint. Die Kriterien werden daher auch als Muss-Kriterien bezeichnet und sind ein hartes K.O.-Kriterium. Jedes Muss-Kriterium ist gleichwertig und die Nicht-Erfüllung von bereits einem Muss-Kriterium führt zum Ausschluss des Haltepunktes bzw. der Einteilung in die Kategorie „ungeeignete Haltestelle“. Ist eine Haltestelle beispielsweise ausreichend groß, weil sie sowohl in der Länge als auch in der Tiefe den definierten Anforderungen entspricht, aber die freie Zeit zwischen zwei Fahrten für den Umschlagsprozess ist zu kurz, kann die Haltestelle nie geeignet sein. Auch in dem umgekehrten Fall, indem eine Haltestelle zwar einen großen freien Zeitslot aufweist, aber entweder in Tiefe oder Länge nicht die notwendigen Grenzwerte erreicht, ist die Haltestelle für den Prozessablauf auszuschließen. Tabelle 1 zeigt die acht festgelegten Muss-Kriterien für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour. In Nürnberg führt dies beispielsweise zum Ausschluss von ca. 49,8% der untersuchten Haltepunkte, die übrigen ca. 50,2% werden als geeignet eingestuft. In der Mittelstadt Neumarkt i.d.OPf werden ca. 73% der Haltepunkte als ungeeignet und ca. 27% als geeignet eingestuft. Diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich vor allem auf das Kriterium der Haltestellentiefe zurückführen, da die Haltestellen im kleineren Neumarkt auch viel häufiger weniger Fläche zur Verfügung haben als in der Großstadt Nürnberg.

Nr.	Beschreibung kurz	Beschreibung lang	Definition	
Fahrplaneigenschaften				
FPE.1.	Zeitslots	Ausreichend freie Zeit zwischen dem Halt zweier Busse an den Haltestellen um einen Wechselbehälter aus Transporter auszuladen und zu befestigen.	<p>Ist erfüllt, wenn entweder FPE.1a oder FPE.1b oder FPE.1c erfüllt ist.</p> <p><u>FPE.1a</u>: Ist erfüllt, wenn jeweils montags – samstags* <b>kein Halt</b> in dem Zeitfenster von 8.00 Uhr bis 10.59Uhr (3h) stattfindet und die Bushaltestelle entsprechend den gesamten Zeitraum frei ist.</p> <p><u>FPE.1b</u>: Ist erfüllt, wenn montags – samstags* nur <b>ein Halt</b> im Zeitfenster von 8.00 Uhr bis 10.59Uhr (3h) stattfindet und die Bushaltestelle entsprechend große Zeitslots aufweist.</p> <p><u>FPE.1c</u>: Ist erfüllt, wenn jeweils <b>montags – samstags*</b> (saisonunabhängig), im <b>Durchschnitt mind. 3 freie Zeitslots</b> von <b>mind. 10 Minuten</b> im Zeitfenster <b>von 8.00 Uhr -10.59 Uhr</b> (3h) vorhanden sind.</p> <p>*Feiertage entsprechen Sonntagen und werden ebenfalls ausgeschlossen.</p> <p>Datengrundlage:</p> <p>Nürnberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Jahr an VAG Echtzeitdaten</li> <li>• <b>IST</b>-Zeitdifferenz zwischen Abfahrtszeit eines Busses und Ankunftszeit des nächsten Busses</li> </ul> <p>Neumarkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VGN-Soll-Fahrplandaten</li> <li>• <b>Soll</b>-Zeitdifferenz zwischen Abfahrtszeit eines Busses und Ankunftszeit des nächsten Busses</li> </ul>	muss
FPE.2	Zeitslots - Retoure	Ausreichend freie Zeit zwischen dem Halt zweier Busse an den Haltestellen um einen Wechselbehälter in den Transporter einzuladen.	<p>Ist erfüllt, wenn entweder FPE.2a oder FPE.2b oder FPE.2c erfüllt ist.</p> <p><u>FPE.2a</u>: Ist erfüllt, wenn jeweils montags – samstags* <b>kein Halt</b> in dem Zeitfenster von 15.00 Uhr bis 17.59Uhr (3h) stattfindet und die</p>	

			<p>Bushaltestelle entsprechend den gesamten Zeitraum frei ist.</p> <p><u>FPE.2b:</u> Ist erfüllt, wenn montags – samstags* nur <b>ein Halt</b> im Zeitfenster von 15.00 Uhr bis 17.59Uhr (3h) stattfindet und die Bushaltestelle entsprechend große Zeitslots aufweist.</p> <p><u>FPE.2c:</u> Ist erfüllt, wenn jeweils <b>montags – samstags*</b> (saisonunabhängig), im <b>Durchschnitt mind. 3 freie Zeitslots</b> von <b>mind. 10 Minuten</b> im Zeitfenster <b>von 15.00 Uhr -17.59 Uhr (3h)</b> vorhanden sind.</p> <p>*Feiertage entsprechen Sonntagen und werden ebenfalls ausgeschlossen.</p> <p>Datengrundlage:</p> <p>Nürnberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Jahr an VAG Echtzeitdaten</li> <li>• <b>IST</b>-Zeitdifferenz zwischen Abfahrtszeit eines Busses und Ankunftszeit des nächsten Busses</li> </ul> <p>Neumarkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VGN-Soll-Fahrplandaten</li> <li>• <b>Soll</b>-Zeitdifferenz zwischen Abfahrtszeit eines Busses und Ankunftszeit des nächsten Busses</li> </ul>	
<b>Haltestelleneigenschaften</b>				
HSE.1	Hast. Tiefe	Ausreichende Tiefe an Haltestelle um einen Wechselbehälter über die Seitentür eines Transporters (mittels Rampe/Hebebühne/Seilzug) auszuladen.	<p>Ist erfüllt, wenn die Tiefe der Haltestelle entweder an Tür 1 oder Tür 2 <b>mind. 190 cm</b> beträgt.</p> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	muss
HSE.2	Hast. Länge	Ausreichende Länge an Haltestelle, um Wechselbehälter auf das Lastenrad aufzuladen.	<p>Ist erfüllt, wenn Länge an Haltestelle <b>mind. 15 m</b>.</p> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	muss
HSE.3	Sicherungsfläche für Wechselbehälter	Geeignete Fläche an der Haltestelle vorhanden, um einen Wechselbehälter abzustellen und für die spätere Abholung zu sichern.	<p>Ist erfüllt, wenn eine nutzbare Fläche von mind. 120cmx80cm vorhanden ist.</p> <p>Datengrundlage:</p>	muss

			<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur durch Begehung vor Ort</li> </ul>	
HSE.4	Reine Bushaltestelle	Reine Bushaltestelle, um zusätzliche Verkehrsbelastung durch Straßenbahnen zu umgehen.	<p>Ist erfüllt, wenn Haltestelle nur von ÖPNV-Bussen angefahren wird und nicht zusätzlich auch Straßenbahnhaltestelle ist.</p> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Luftbildanalyse</li> </ul>	muss
HSE.5	Bodenbelag Haltestelle	Gut berollbarer Bodenbelag an der Haltestelle, um leichtes und schnelles rollen des Wechselbehälters zu gewährleisten.	<p>Ist erfüllt, wenn Variable Bodenbelag an der Aufstellfläche der Haltestelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Berollbares Pflaster == ja  </li> <li>Asphalt == ja  </li> </ul> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	
Verkehrseigenschaften				
VE.1	Kein blockierter Verkehr	Kein Blockieren der Straße, wenn ein Transporter an einer Haltestelle hält, d.h. eine Überholung ist jederzeit möglich.	<p>Ist erfüllt, wenn eine der folgenden Variablen zutrifft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überholung ohne Fahrbahnwechsel möglich == ja  </li> <li>Überholung über zweite eigene Fahrbahn == ja  </li> <li>Überholung über Gegenfahrbahn möglich == ja  </li> <li>Sonstige Überholung == ja &amp; Kein Verkehr == ja</li> </ul> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Luftbildanalyse</li> </ul>	muss

**Tabelle 1: Muss-Kriterien für Schritt 1 der Haltestellenklassifizierung für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour**

Im **zweiten Schritt** der Haltestellenanalyse werden nun ausschließlich Haltestellen betrachtet, welche in Schritt 1 als geeignet identifiziert wurden. Diese bereits reduzierte Anzahl an Haltestellen werden basierend auf den Kann-Kriterien bewertet und in drei Unterklassen sehr gut, gut und befriedigend geeignet differenziert. Entgegen der Muss-Kriterien führt es nicht zum Ausschluss der Haltestelle, wenn ein Kann-Kriterium nicht erfüllt wird. Jedoch kann ein Kann-Kriterium als wünschenswert angesehen werden, sodass die Haltestelle mit der Erfüllung von Kann-Kriterien Pluspunkte sammelt, welche der Haltestelle in Ihrer Einordnung in die drei Klassen sehr gut, gut bzw. befriedigend geeignete Haltestelle zugutekommt. Dabei werden die verschiedenen Kann-Kriterien unterschiedlich stark gewichtet, um die Bedeutung einzelner Kann-Kriterien hervorzuheben. Die Gewichte der Kann-Kriterien werden eingeteilt in hoch (5

Punkte), mittel (3 Punkte) und niedrig (1 Punkt). Erfüllt eine Haltestelle also ein hoch gewichtetes Kann-Kriterium bekommt sie 5 Punkte, erfüllt sie ein mittel gewichtetes Kann-Kriterium erhält sie zusätzlich 3 Punkte. Die Summe der Gesamtpunktzahl dient der Einordnung in die drei Klassen geeigneter Haltestellen. Während alle in Schritt 1 als geeignet identifizierten Haltestellen grundsätzlich für den Prozessablauf in Frage kommen, sind sehr gut geeignete oder gut geeignete Haltepunkte solchen, welche nur befriedigend geeignet sind, vorzuziehen. Dabei liegt die maximal erreichbare Punktzahl bei 33 Punkten. Sehr gut geeignete Haltepunkte müssen mindestens 22 Punkte erreichen. Haltepunkte, die zwischen 11 und 21 Punkten erzielen, werden der Gruppe gut geeignet zugeordnet und alle Haltepunkte mit 10 oder weniger Punkten sind befriedigend geeignet. Tabelle 2 zeigt die 11 festgelegten Kann-Kriterien für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour, sowie deren zugeordnete Gewichtung.

In Nürnberg führt dies zu einer Verteilung von 7,3% sehr gut geeignet, 35,5% gut geeignet und ebenfalls 7,3% befriedigend geeigneten Haltepunkten, bezogen auf alle untersuchten Haltepunkte. Neumarkt hat 4,3% sehr gut geeignete, 12,45% gut geeignete und 10,3% befriedigend geeignete Haltepunkte.

Nr.	Beschreibung kurz	Beschreibung lang	Definition	
Fahrplaneigenschaften				
FPE.3	Zuverlässigkeit/ Pünktlichkeit	Hohe Zuverlässigkeit einer Haltestelle, sodass selten mit Verspätungen des ÖPNV-Bus an Haltestellen zu rechnen ist und folglich die Einhaltung der freien Zeitslots wahrscheinlich ist.	<p>Ist erfüllt, wenn im Jahresdurchschnitt an einer Haltestelle <b>mind. 80%</b> der Fahrten von <b>Montag – Samstag*</b> im Zeitfenster <b>von 8.00 Uhr -10.59 Uhr</b> (3h) pünktlich waren.</p> <p>Dabei wird eine Fahrt als pünktlich bezeichnet, wenn die Zeitdifferenz zwischen IST- und SOLL Abfahrtszeit an der Haltestelle <math>\leq</math> <b> 60 </b> Sekunden beträgt.</p> <p>*Feiertage entsprechen Sonntagen und werden ebenfalls ausgeschlossen.</p> <p>Datengrundlage:</p> <p>Nürnberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Jahr an VAG Echtzeitdaten</li> <li>• Zeitdifferenz zwischen IST- und SOLL-Abfahrtszeit eines Halts an der Haltestelle</li> </ul> <p>Neumarkt:</p> <p>Dieses Kriterium kann für Neumarkt nicht angenommen werden,</p>	kann  hoch

			da keine Echtzeitinformationen über die tatsächlichen Abfahrten und somit mögliche Verspätungen vorhanden sind.	
FPE.4	Zuverlässigkeit/ Pünktlichkeit - Retoure	Hohe Zuverlässigkeit einer Haltestelle, sodass selten mit Verspätungen des ÖPNV-Bus an Haltestellen zu rechnen ist und folglich die Einhaltung der freien Zeitslots wahrscheinlich ist.	<p>Ist erfüllt, wenn im Jahresdurchschnitt an einer Haltestelle <b>mind. 80%</b> der Fahrten von <b>Montag – Samstag*</b> im Zeitfenster <b>von 15.00 Uhr -17.59 Uhr (3h)</b> pünktlich waren.</p> <p>Dabei wird eine Fahrt als pünktlich bezeichnet, wenn die Zeitdifferenz zwischen IST- und SOLL Abfahrtszeit an der Haltestelle <b>≤  60 </b> Sekunden beträgt.</p> <p>*Feiertage entsprechen Sonntagen und werden ebenfalls ausgeschlossen.</p> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Jahr an VAG Echtzeitdaten</li> <li>• Zeitdifferenz zwischen IST- und SOLL-Abfahrtszeit eines Halts an der Haltestelle</li> </ul>	kann  niedrig
<b>Haltestelleneigenschaften</b>				
HSE.6	Bordsteinhöhe	Ausreichend hoher Bordstein, um ein Ausladen des Wechselbehälters unter arbeitsschutzrechtlich zugelassenem Kraftaufwand durchzuführen.	<p>Ist erfüllt, wenn Bordsteinhöhe an Tür 1 oder Tür 2 <b>≥ 10 cm ist.</b></p> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	Kann mittel
HSE.7	Hintere Haltestellenbegrenzung	Keine „feste“ Begrenzung hinter der Haltestelle.	<p>Ist erfüllt, wenn Variable Art der hinteren Haltestellenbegrenzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grün-/Acker-/Freifläche == ja</li> <li>•  </li> <li>• Fahrradweg == ja  </li> <li>• Gehweg == ja</li> </ul> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	Kann  mittel
HSE.8	Barrierefreie Erreichbarkeit	Barrierefreie Erreichbarkeit der Haltestelle	<p>Ist erfüllt, wenn Variable</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barrierefreie Erreichbarkeit der Haltestelle = ja</li> </ul> <p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	Kann  mittel

HSE.9	Belag des öffentlichen Wegenetzes zur Haltestelle	Gut befahrbarer Weg zur Haltestelle	Ist erfüllt, wenn Variable Belag des öffentlichen Wegenetzes zur Haltestelle:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• berollbares Pflaster == ja  </li> <li>• Asphalt == ja  </li> <li>• Beton == ja</li> </ul> Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	Kan n  Mit tel
HSE.1 0	Extra Freifläche		Ist erfüllt, wenn Variable:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extra Freifläche == ja</li> </ul> Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftbildanalyse</li> </ul>	Kan n  hoch
HSE.1 1	Warteunterstand	Definierte Fläche für Fahrgäste, was die Konkurrenz zwischen wartenden Fahrgästen und Lastenrad/Wechselbehälter reduziert.	Ist erfüllt, wenn Variable:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warteunterstand == ja</li> </ul> Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• VAG Haltestellenkataster</li> </ul>	Kan n  nied rig
Verkehrseigenschaften				
VE.2	Verkehrsfluss	Keine Behinderung des Verkehrsflusses bei Halt von Transporter an Bushaltestelle, beispielsweise durch eine eigene Busspur, eine Haltestellenbucht, eine separate Straßenführung oder einen Busbahnhof.	Ist erfüllt, wenn Variable:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Verkehrsflussbehinderung == ja</li> </ul> Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftbildanalyse</li> </ul>	Kan n  hoch
VE.3	Radweg	Anwesenheit eines Fahrradweges in direkter Umgebung einer Bushaltestelle, um leichtes Fortfahren des Lastenrades zu ermöglichen.	Ist erfüllt, wenn eine der folgenden Variablen zutrifft:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radweg, auf Gehweg davor == ja  </li> <li>• Radweg, auf Gehweg dahinter == ja  </li> <li>• Radweg, auf Straße == ja  </li> <li>• Mischweg == ja</li> </ul> Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftbildanalyse</li> </ul>	Kan n  mit tel
VE.4	Verkehr	Haltestelle an Straße, an welcher wenig Verkehr zu erwarten ist.	Ist erfüllt, wenn Variable:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenig Verkehr zu erwarten == eher ja</li> </ul>	Kan n

			Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftbildanalyse</li> </ul>	niedrig
--	--	--	---	---------

Tabelle 2: Kann-Kriterien für Schritt 2 der Haltestellenklassifizierung für die niedrige Integration mit asynchroner Tagestour

## 4 Makroskopische Gebietsanalyse

Im Zuge der makroskopischen Analyse wird das gesamte Stadtgebiet betrachtet, um ergebnisoffen alle möglichen räumlichen Bereiche identifizieren zu können, die aufgrund der Strukturdatenanalyse ein entsprechendes Potenzial für die Umsetzung der ÖPNV-Integration aufzeigen. Dabei wird zunächst eine Potenzialanalyse anhand statistischer Daten durchgeführt, die auf der Nearest-Neighbor- und Clusteranalysen basiert. Mit einer solchen Untersuchung der Gebiete der Stadt Nürnberg und Neumarkt wurde der externe Partner Urban Logistics Solutions (ULS) beauftragt. Mit Hilfe der durchgeführten Clusteranalyse können auf Grundlage von Strukturdaten und den stadtgeographischen Gegebenheiten die Gebiete identifiziert werden, in denen das Potenzial für eine nachhaltige Paketlogistik mittels der ÖPNV-Integration am höchsten ist. Darüber hinaus können durch dieses Verfahren alle Gebiete ausgewiesen werden, die sich perspektivisch für die Umsetzung des Konzepts aus der Sichtweise der stadtstrukturellen Gegebenheiten eignen.

Die Funktionsweise der Gebietsanalyse ist äußerst komplex und soll an dieser Stelle nicht in vollem fachlichem Umfang dargestellt werden. Dennoch ist es für das Verständnis und der besseren Nachvollziehbarkeit der Methode hilfreich, einige grundsätzliche Bausteine der Herangehensweise zu erläutern:

- Die Analyse wird auf Adressebene durchgeführt, sodass die betrachteten Elemente alle Adressen innerhalb der jeweiligen Untersuchungsgebiete einbezieht.
- Den Adressen werden Attribute aus den sozialstrukturellen Gegebenheiten (Einwohnerzahl, Anzahl der Haushalte, Funktion der Adresse wie Wohnen, Gewerbe, etc.), o.ä. zugewiesen.
- Bei der Analyse werden die Entfernungen der jeweiligen Adressen zueinander berücksichtigt.
- Die Analyse der einzelnen Adressen legt die Art der Cluster (unterschiedliche Farbgebung der einzelnen Adressen) durch den Vergleich der Attribute der jeweiligen Adressen zueinander, fest. Dabei gibt es beim Vergleich fünf Arten der Cluster.

1. **High-High** – die untersuchte Adresse hat in den betrachteten Attributen der Stadtstrukturdaten bzw. der geographischen Voraussetzungen selbst eine **hohe** Ausprägung und ist dabei gleichzeitig von Nachbarn umgeben, die ebenfalls eine **hohe** Ausprägung in den betrachteten Attributen besitzen. Dies lässt auf ein hohes Potenzial schließen
2. **High-Low** – die untersuchte Adresse hat in den betrachteten Attributen selbst eine **hohe** Ausprägung und ist dabei gleichzeitig von Nachbarn umgeben, die eine **geringe** Ausprägung in den betrachteten Attributen besitzen. Dies lässt auf ein mittleres Potenzial schließen
3. **Low-High** – die untersuchte Adresse hat in den betrachteten Attributen selbst eine **geringe** Ausprägung und ist dabei gleichzeitig von Nachbarn umgeben, die eine **hohe** Ausprägung in den betrachteten Attributen besitzen. Dies lässt auf ein mittleres Potenzial schließen
4. **Low-Low** – die untersuchte Adresse hat in den betrachteten Attributen selbst eine **geringe** Ausprägung und ist dabei gleichzeitig von Nachbarn umgeben, die eine **geringe** Ausprägung in den betrachteten Attributen besitzen. Dies lässt auf ein geringes Potenzial schließen
5. **Neutral** – die untersuchte Adresse weist weder in dem einen noch in dem anderen untersuchten Attribut eine hohe oder geringe Ausprägung aus und ist daher neutral zu bewerten, sozusagen weder ein besonders hohes oder niedriges Potenzial

Nach Durchführung der statistischen Berechnungen können die unterschiedlichen Arten der Cluster durch die entsprechende Farbgebung visualisiert werden. Grundsätzlich lässt sich sagen:

- Umso mehr high-high-Cluster zu finden sind, desto besser eignet sich das untersuchte Gebiet.
- Treten diese high-high Cluster in gehäufte Form in (un)mittelbarer Nähe zueinander auf, dann steigt das Gesamtpotenzial, nachhaltige Stadtlogistik umzusetzen.
- Umso mehr high-low oder low-high Cluster sich bilden, desto differenzierter muss die Bewertung innerhalb des Gesamtgebiets vorgenommen werden.
- Bei der Häufung vieler low-low Cluster ist das Potenzial innerhalb der Region gering.
- Die neutralen Cluster sind aus statistischer Sicht nicht signifikant, was bedeutet, dass die Gebiete weder als besonders geeignet, noch als besonders ungeeignet einzustufen sind

Die Ergebnisse aus der makroskopischen Gebietsanalyse werden mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) grafisch aufbereitet und können am Beispiel der Stadt Nürnberg der nachfolgenden Abbildung (vgl. Abbildung 6) entnommen werden.

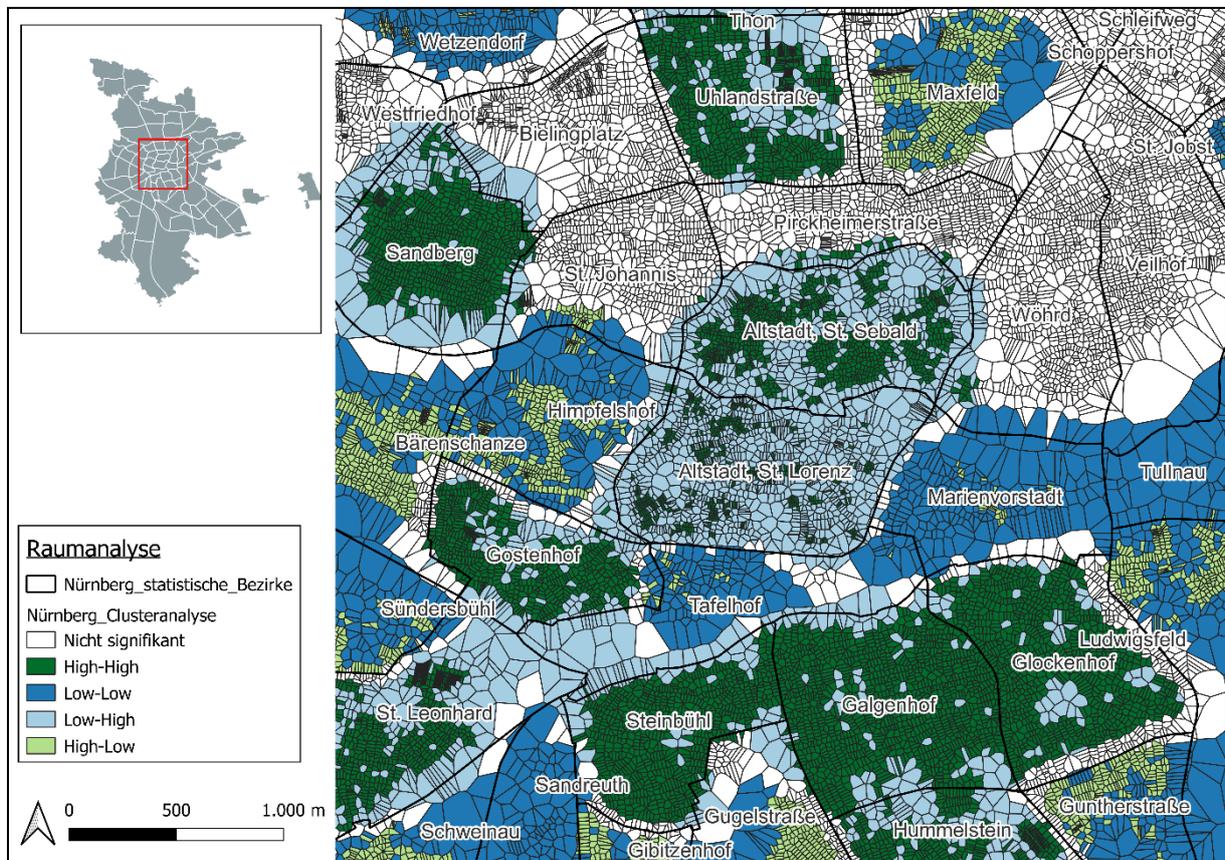
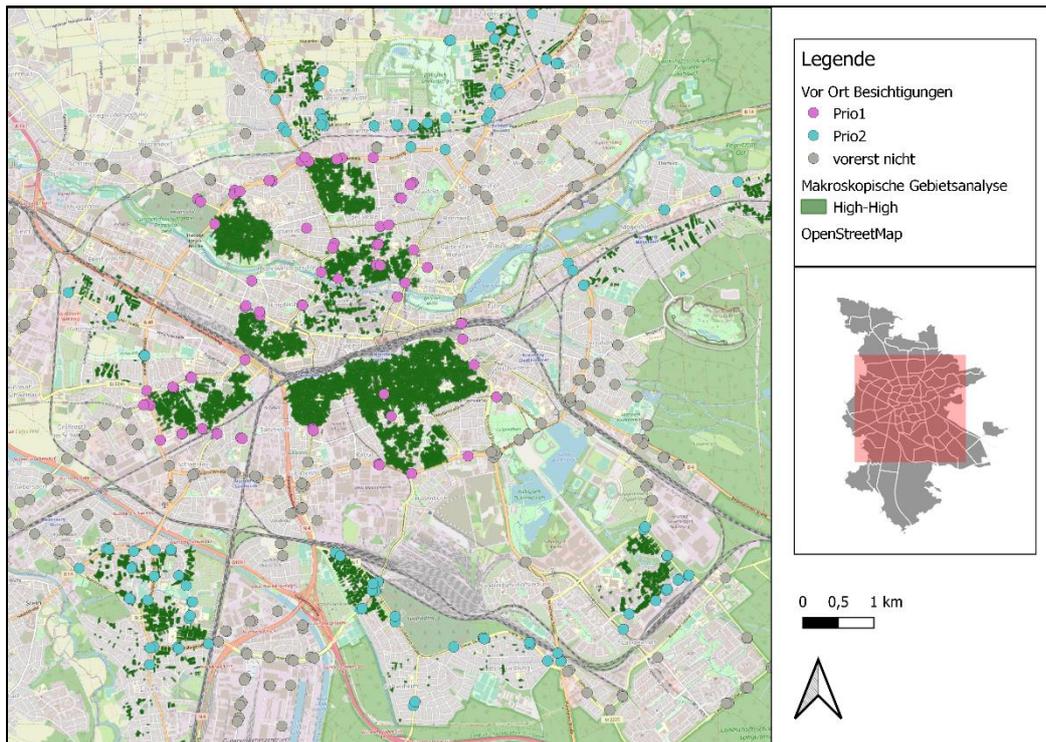


Abbildung 6: Statistische Raumanalysen zur Ermittlung des Lastenradpotenzials (Ausschnitt)

## 5 Vor Ort Begutachtung der Haltestellen

Die abschließende Eignung einer Haltestelle für den Prozessablauf kann nur durch eine vor Ort Begutachtung festgestellt werden. So werden die tatsächlichen Gegebenheiten einer Haltestelle erfasst und die Möglichkeit von veralteten oder fehlerhaften Informationen in den Daten erkannt. Außerdem können individuelle bauliche Eigenschaften an oder um eine Haltestelle erkannt werden, für welche in den Daten keine Hinweise hinterlegt sind oder keine standardisierte Variable existiert. Die in Kapitel 3 und Kapitel 4 beschriebenen Analysen, Haltestellenanalyse und makroskopische Gebietsanalyse, dienen nun zur Vorauswahl der vor Ort Besichtigung und reduzieren die Gesamtanzahl an zu besichtigenden Haltestellen im Stadtgebiet.



**Abbildung 7: Auswahl von Haltestellen zur vor Ort Besichtigung Nürnberg (Ausschnitt)**

Es werden diese Haltestellen besichtigt, welche durch die Haltestellenanalyse als geeignet eingestuft werden und sich in solchen Gebieten befinden, welche durch die makroskopische Gebietsanalyse ein hohes Potential für eine Lastenradzustellung zeigen (high-high Cluster). Diese Auswahl findet grafisch statt, d.h. die Ergebnisse beider Analysen werden in eine Karte übereinandergelegt und dann diese Haltepunkte ausgewählt, welche sich entweder direkt innerhalb von high-high Clustern oder in unmittelbarer Umgebung befinden (vgl. Abbildung 7). Diese vorausgewählten Haltepunkte werden systematisch besichtigt und vermessen. Anhand eines standardisierten Fragebogens, welcher über ein mitgeführtes Tablet online aufgerufen werden kann, werden für alle besichtigten Haltepunkte die gleichen Daten erfasst und so eine umfassende Datenbank bezüglich der besichtigten Haltestellen aufgebaut. Der große Vorteil dieser Erfassung ist, dass die Daten direkt in digitaler Form vorliegen und das im Online Fragebogen die vorhandenen Daten, also beispielsweise die hinterlegten Informationen zu Haltestelleneigenschaften oder Variablen der Luftbildanalyse je Haltestelle angezeigt werden können. Dadurch können die vorhandenen Informationen direkt vor Ort mit den tatsächlichen Gegebenheiten abgeglichen, überprüft und ggf. korrigiert werden.

Der Fragebogen ist dabei wie folgt aufgebaut:

1. Auswahl des Haltepunktes
2. Überprüfung der Fahrplandaten
3. Überprüfung der Luftbilddaten

4. Überprüfung der Haltestellenkatasterdaten
5. Maße & Zusatzinformationen erfassen
6. Vor Ort Bewertung für die niedrige Integration synchron und asynchron
7. Mögliches Potential bei aktuell ungeeigneter Haltestelle

Die erfassten Daten ermöglichen eine erneute Vergleichbarkeit der Standorte anhand desselben Bewertungsschemas. Ziel der vor Ort Begehung ist zum einen die Kontrolle und ggf. Berichtigung der vorhandenen Daten und die Erfassung der Maße einer Haltestelle, aber auch die fotografische Dokumentation der Haltestelle, sowie eine abschließende Beurteilung hinsichtlich der Eignung für den Prozessablauf bei niedriger ÖPNV-Integration.

In Nürnberg werden beispielsweise 173 Haltestellen und in Neumarkt 37 Haltestellen besichtigt. Davon müssen in Nürnberg für die asynchrone Prozessvariante nochmals 48,13% und in Neumarkt 56,8% der Haltestellen ausgeschlossen werden. Die Hauptgründe sind dabei zunächst fehlerhafte bzw. veraltete Daten, vor allem bei der Luftbildanalyse. Das bedeutet, die Haltestelle hätte mit aktuelleren Daten bereits im Vorhinein ausgeschlossen werden können. Ein weiterer Grund ist ein zu kreuzender Fahrradweg, würde der Fahrradweg beim Ausladevorgang blockiert werden, wurde das vom Team aufgrund des hohen Unfallrisikos als Ausschlusskriterium eingestuft. In dieselbe Kategorie fällt eine zu unübersichtliche Verkehrslage oder zu viel Verkehr in Kombination mit einer fehlenden Haltebucht. Haltestellen, die sich direkt an viel befahrenen Straßen oder Kreuzungen befinden und bei denen der Transporter auf der Straße halten müsste wurden ebenfalls als zu hohes Unfallrisiko eingestuft. Der letzte Grund für den Ausschluss von Haltestellen war deren Fläche, in der asynchronen Variante vor allem das Fehlen geeigneter Abstell- und Sicherungsfläche für den Wechselcontainer, welche im Kriterienkatalog als Muss-Kriterium formuliert wurde.

## **6 Mikroskopische Gebietsanalyse**

Nachdem die finale Bewertung der Haltepunkte vorliegt, sollen nun die möglichen Potentiale an den Haltestellen und den umliegenden Gebieten ermittelt werden. Dazu wurde neben der makroskopischen auch eine mikroskopische Gebietsanalyse von dem externen Partner ULS durchgeführt.

Bei der mikroskopischen Analyse werden die ermittelten Sendungsströme der KEP-Dienstleister geographisch lokalisiert und mit den gebietsbezogenen Auslieferarealen in Einklang ge-

bracht. Durch die Kombination von Daten hinsichtlich der Sendungsmengen und den Ergebnissen der makroskopischen Analyse können durch die Schnittmenge der beiden Analyseebenen die wirtschaftlich zu betreibenden Gebiete für die Auslieferung mit Lastenrädern bzw. elektrisch betriebenen Kleinfahrzeugen ausgewiesen werden.

Für eine grundlegende Analyse hinsichtlich der Abschätzung der Lastenräder bzw. deren grundlegend wirtschaftliches Potenzial sind Sendungsstrukturdaten der KEP-Unternehmen erforderlich, fehlende Daten müssen ergänzt werden. Die fehlenden Sendungsdaten werden über ein speziell entwickeltes Verfahren berechnet und über ein Verteilungsmodell den statistischen Bezirken zugewiesen. Dabei können die Sendungsdaten auf kleinteilige Gebietszuschnitte kalibriert werden. Dieses Modell benutzt unter anderem demographische Strukturdaten, Handelsdaten und wirtschaftliche Kennzahlen sowie auch Kennwerte aus Veröffentlichungen und Studien aus der KEP-Branche, um Metadaten für den jeweiligen KEP-Dienstleister zu erzeugen.

Insgesamt wird das Verfahren zur Abschätzung des Sendungsaufkommens und der anschließenden Verteilung unter anderem mit folgenden Daten angereichert:

- Datengrundlage aus Veröffentlichungen und Studien (u.a. KEP-Studie 2023, Schlautmann 2017, Barthelmes et al., 2023)
- Validierung der Abschätzung durch die von den KEP-Dienstleistern bereitgestellten aggregierten Daten (inkl. bezirksspezifischer logistischer Kennzahlen sowie spezifische Leistungsgrößen)
- Daten von Gewerbetreibenden (Branche, Beschäftigungsgrößenklasse, Handelsregisterunternehmen, Kleingewerbetreibende) mit Hilfe der Datensätze, welche seitens der IHK Mittelfranken und IHK Regensburg zur Verfügung gestellt wurden

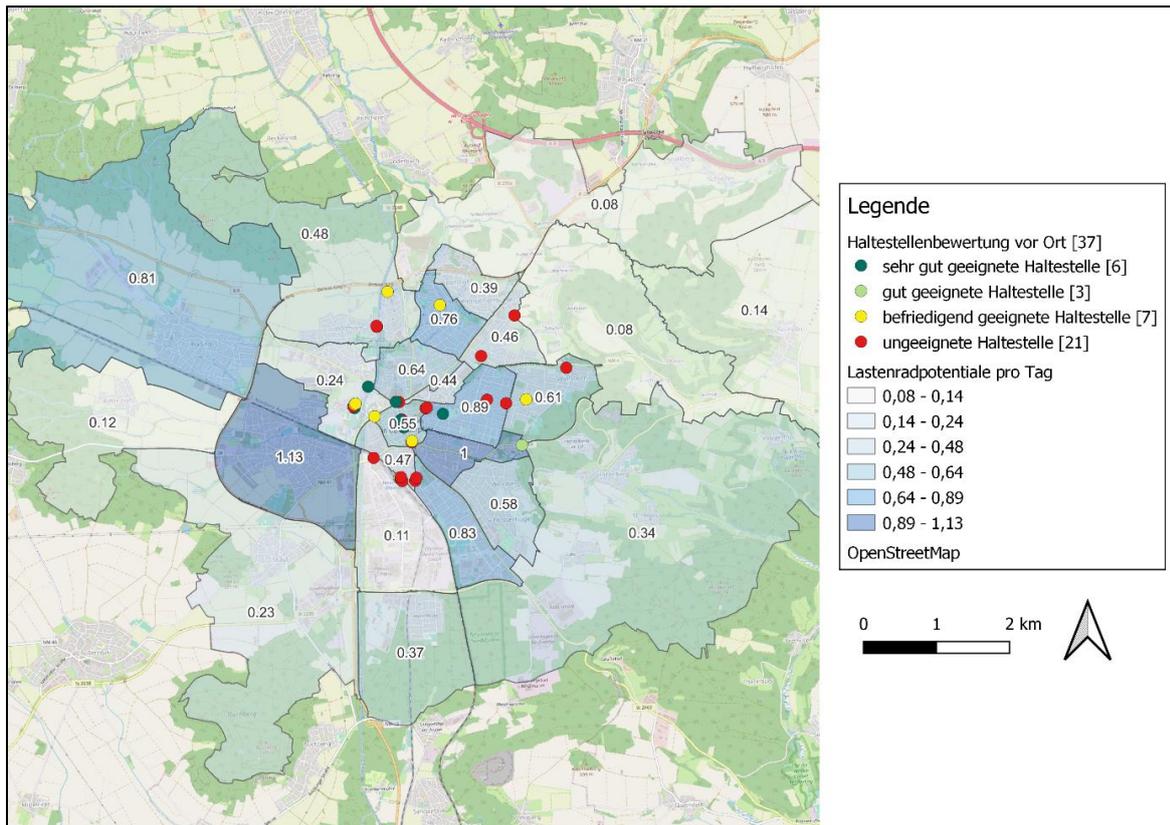
Je mehr Daten zur Verfügung stehen, desto genauer sind die Ergebnisse der mikroskopischen Analyse und das „Unschärfefenster“ wird folglich kleiner. Dieses Unschärfefenster wird in den Berechnungen für jedes KEP-Unternehmen (DPDHL, DPD, UPS, GLS und Hermes) durch zwei Szenarien eingefasst und abgebildet. Die zwei Szenarien (Minimum und Maximum) bilden einen oberen und unteren Erwartungswert, in deren Grenzen sich das reale Sendungsaufkommen der KEP-Dienstleister bewegen könnte. Dadurch kann für jeden statistischen Bezirk und KEP-Dienstleister Abschätzungen über die

- Anzahl Pakete
- Anzahl Stopps
- Anzahl Transporter IST-Situation

- Kosten der konventionellen Auslieferung
- Anzahl der Lastenräder, die innerhalb des Gebietes wirtschaftlich eingesetzt werden können
- Anzahl der verbleibenden Transporter, die aufgrund logistischer und ökonomischer Gründe erhalten bleiben müssen
- Kosten der Auslieferung

getroffen werden. Um nun die fehlenden KEP-Daten zu berechnen bzw. sich den beiden Szenarien zu nähern, müssen Annahmen getroffen werden, z.B., dass die Marktanteile der KEP-Dienstleister innerhalb der statistischen Bezirke nicht abweichend zum denen des Gesamtmarktes sind bzw. werden die von den KEP-Dienstleistern bereitgestellten Daten dazu verwendet, die Marktanteile des Gesamtmarktes aus der Literatur entsprechend anzupassen. Um hier die Regeln des Datenschutzes einzuhalten, wird bei der Ergebnisdarstellung darauf geachtet, dass keine wettbewerbsrelevanten Kennzahlen veröffentlicht werden. Hierdurch können entweder Ergebnisse in konsolidierter (alle KEP-Dienstleister), relativer oder verfremdeter Form dargestellt werden. Weiterhin wird sowohl beim unteren als auch beim oberen Erwartungswert ein durchschnittlicher Wochentag abgebildet. Extremwerte im Sendungsaufkommen, wie sie innerhalb des Wochenverlaufs vorkommen können, sind genauso wie Sonderaktionen (bspw. Black-Friday) gesondert zu betrachten. In der Praxis werden diese Sendungsextreme durch ein agiles Betriebsmanagement und durch entsprechende Zusatztouren der KEP-Dienstleister ausgeglichen.

Vor allem die Ergebnisvariable „Anzahl der Lastenräder“ je Gebiet ist für die Ermittlung eines Gesamtpotentials des Haltestellenkonzeptes relevant. Die Ergebnisse der finalen Begutachtung der Haltestellen vor Ort, sowie die Lastenradpotentiale je Gebiet können nun grafisch in einer Karte dargestellt werden (vgl. Abbildung 8).



**Abbildung 8: Darstellung des Lastenradpotentials pro Tag – unterer Erwartungswert aller KEP-Dienstleister in Neumarkt**

Erfahrungsgemäß ist ein Radius von 1,6 km während einer Tagestour von einem Lastenrad erreichbar. Wenn dieser Radius auf der Karte um einen geeigneten Haltepunkt gelegt wird, lässt sich erkennen, wie viele Lastenräder in der unmittelbaren Umgebung der geeigneten Haltestelle eingesetzt werden könnten und wie viele Wechselbehälter an diese Haltestellen geliefert werden müssten. Des Weiteren kann über den Radius dargestellt werden, welche Stadtgebiete überhaupt durch das Haltestellenkonzept erreichbar und welche Stadtgebiete nicht belieferbar sind (vgl. Abbildung 9). Hieraus lässt sich ein potentiell theoretisches Gesamtpotential des Haltestellenkonzeptes für das Stadtgebiet ermitteln. In den bei der Machbarkeitsstudie untersuchten Städten Nürnberg und Neumarkt wurde folgendes Potential ermittelt:

**Nürnberg:** Von den gesamt ermittelten 140,5 Lastenrädern pro Tag verbleiben in den über das Haltestellenkonzept erreichbaren Gebiete 120,9 Lastenräder pro Tag. Damit sind über das Haltestellenkonzept ca. 86% des theoretisch möglichen Lastenradpotentials abdeckbar.

**Neumarkt:** Von den gesamt ermittelten 11,74 Lastenrädern pro Tag verbleiben in den über das Haltestellenkonzept erreichbaren Gebiete 9,09 Lastenräder pro Tag. Damit sind über das Haltestellenkonzept ca. 77% des theoretisch möglichen Lastenradpotentials abdeckbar.

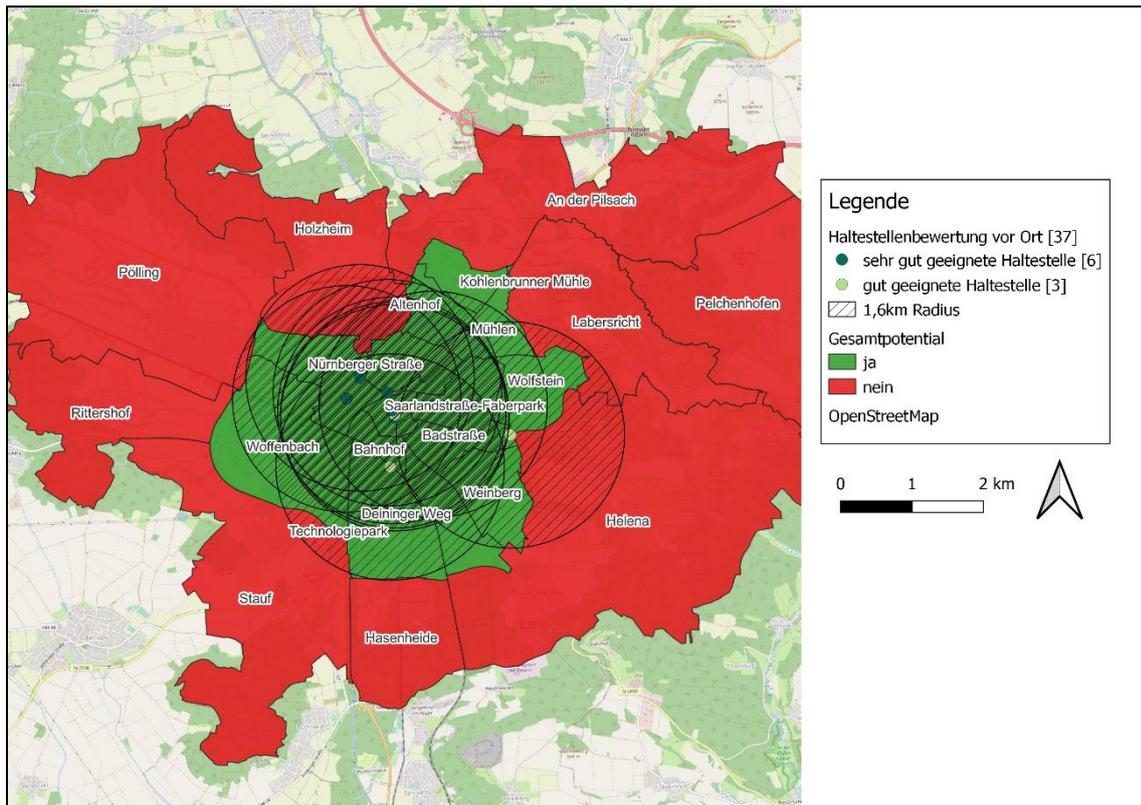


Abbildung 9: Ermittlung des Gesamtpotentials des Haltestellenkonzeptes für Neumarkt

## 7 Fazit

Die zentrale Forschungsfrage lautete, wie ein nachhaltiger, effizienter Einsatz von logistikgerechten Lastenrädern auf der letzten Meile der KEP-Branche ermöglicht werden kann, ohne auf das bereits etablierte Mikro-Depot-Konzept zurückzugreifen. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben deutlich gezeigt, dass die Verfügbarkeit von Mikro-Depot-Standorten in wirtschaftsgeographisch geeigneten Zustellgebieten einen limitierenden Faktor für die weitere Etablierung nachhaltiger Lastenradlogistik darstellt. Nicht zu vergessen ist auch die erforderliche Wirtschaftlichkeit der Mikro-Depot-Konzepte; die begünstigenden Faktoren, wie geringere Vollkosten des Lastenradeinsatzes, werden teilweise kompensiert durch zusätzliche Prozesskosten der erforderlichen Mikro-Depot-Vorlauf tour und die Kosten der zusätzlichen Umschlagsprozesse, in der Hauptsache jedoch durch die fixen Miet- bzw. Pachtkosten des Mikro-Depots. Auch wenn Ansätze einer kooperativen Nutzung von Mikro-Depots mancherorts zu einer Skalierung der Fixkosten für die Beteiligten führte, ist das theoretisch mögliche Potential des Lastenradeinsatzes auf der letzten Meile bundesweit aus den genannten Gründen in der Praxis bei weitem nicht ausgeschöpft.

In der aktuellen Forschung werden als Alternativen zum Mikro-Depot-Konzept als Voraussetzung für einen Lastenradeinsatz auf der letzten Meile die ÖPNV-Verkehrssysteme auf ihre

logistische Eignung im Sinne eines Kombinierten Verkehrs bereits umfassend untersucht, der Fokus liegt dabei stets auf der logistischen Nutzung der ÖPNV-Verkehrsmittel. Hierbei gibt es hohe rechtliche, prozessuale und wirtschaftliche Hürden zu überwinden, so dass es noch nirgends zu einem relevanten Praxiseinsatz kam. In Abgrenzung dazu unterscheidet die vorgelegte Machbarkeitsstudie eine hohe Integration der ÖPNV-Verkehrssysteme in die letzte Meile, also die logistische Nutzung von ÖPNV-Verkehrsmitteln, und eine niedrige Integration, also die logistische Nutzung von Infrastrukturen wie Haltestellen und Bahnhöfe im Sinne eines Kombinierten Verkehrs.

Für die Machbarkeitsstudie ging das PedeListics-Team von einer Substitution der Mikro-Depots durch eine niedrige ÖPNV-Integration nach dem Vorsorgeprinzip aus, d.h. einer kooperativen und temporären logistischen Nutzung vorhandener ÖPNV-Infrastrukturen. Die Wahl fiel auf das ÖPNV-Verkehrssystem Bus, weil der Verkehrsträger Straße kompatibel zum KEP-Verkehrssystem und das Verkehrssystem Bus mit seinen Haltestellen ubiquitär verfügbar ist. Bushaltestellen sollen also Mikro-Depots substituieren, indem dort vorkommissionierte, lastenradfähige Wechselbehälter in freien Zeitfenstern von motorisierten KEP-Zustellfahrzeugen auf logistikgerechte Lastenräder umgeschlagen werden. Dazu wurden Prozessvarianten erarbeitet, mit Experten validiert und ein umfangreicher Kriterienkatalog zur Prüfung der logistischen Eignung von Bushaltestellen entwickelt. Auf der Grundlage von verfügbaren quantitativen und qualitativen Informationen konnten je nach Prozessvariante aus 1.604 Bushaltestellen in Nürnberg bis zu 97 Bushaltestellen als logistisch geeignet identifiziert und in Neumarkt aus 261 Bushaltestellen bis zu 25 Bushaltestellen als logistisch geeignet identifiziert werden. Wenn man bedenkt, dass in Nürnberg bisher nur zwei praxisrelevante Mikro-Depot-Standorte identifiziert werden konnten und in Neumarkt bisher kein einziger realisiert wurde, ist das ein sehr beachtliches Ergebnis; auch die erforschte Akzeptanz des Haltestellenkonzeptes seitens der operativen VAG-Mitarbeiter kann als akzeptabel eingestuft werden.

Insgesamt wurde die Forschungsfrage umfassend beantwortet, wie im Sinne einer niedrigen ÖPNV-Integration in die letzte Meile der KEP-Logistik konzeptionell geeignete Bushaltestellen am Beispiel der Städte Nürnberg und Neumarkt systematisch und nachvollziehbar quantitativ und qualitativ identifiziert werden können bzw. welches relevante Lastenradpotential auf der letzten Meile der KEP-Branche sich ohne Mikro-Depot-Konzept daraus ableiten lässt. Die vorgestellte, systematische Vorgehensweise ist grundsätzlich auf jede andere Stadt übertragbar und müsste ggf. lediglich auf die lokal verfügbaren Datenquellen adaptiert werden.

Ein an die durchgeführte Machbarkeitsstudie idealerweise anschließendes Pilotprojekt zur praktischen Umsetzung der Ergebnisse sollte zwei grundlegende Ziele verfolgen. **Erstes Ziel** muss es sein, die erarbeiteten theoretischen Grundlagen der niedrigen ÖPNV-Integration mit

dem Haltestellenkonzept in den Städten Nürnberg und Neumarkt durch Pilotversuche zu validieren, weiterzuentwickeln und schlussendlich dauerhaft in die Praxis umzusetzen. Das Pilotprojekt sollte nachweisen, dass das entwickelte Konzept der niedrigen ÖPNV-Integration direkt genutzt werden kann, um den KEP-Logistikprozess im urbanen Raum effizienter und nachhaltiger zu gestalten und hierdurch sowohl das Verkehrsaufkommen als auch Flächenverbrauch und Schadstoffbelastung zu reduzieren. Das Haltestellenkonzept soll über Nürnberg und Neumarkt hinaus auch auf andere Städte übertragbar sein. Als Voraussetzung für eine praktische Umsetzung des Haltestellenkonzepts muss eine Software in Form einer Smartphone-App als Echtzeit-Kommunikationsschnittstelle zwischen ÖPNV und KEP-Dienstleistern entwickelt werden, um freie Zeitfenster an logistisch geeigneten Bushaltestellen definiert nutzen zu können und die störungsfreie zeitliche Koordination zwischen Linienbus, KEP-Transporter und Lastenrad zu ermöglichen; diese App soll frei verfügbar sein. Die beteiligten Lastenradhersteller sollen ihre verfügbaren Modelle mit Wechselbehältern validieren und verbessern; die beteiligten KEP-Unternehmen sollen die Prozessvarianten validieren und als Voraussetzung für den praktischen Erfolg die logistischen Prozesse für eine Vorkommissionierung der Lastenrad-Wechselbehälter in den KEP-Depots ertüchtigen. Schlussendlich sollen über ein erfolgreiches Pilotprojekt die für einen dauerhaften Praxiseinsatz erforderlichen kommunalen Genehmigungen für die kooperative Nutzung von Bushaltestellen nach dem Haltestellenkonzept modellhaft erwirkt werden.

**Zweites Ziel** eines solchen Pilotprojektes ist die konzeptionelle Vorbereitung einer hohen ÖPNV-Integration in die KEP-Zustellprozesse als kombinierten Verkehr mit ÖPNV-Verkehrsmitteln. Ausgegangen wird dabei von einem Personen-Güter-Mischbetrieb des ÖPNV<sup>14</sup> und nicht von exklusiven „Güterlinien“. Hierfür sollen einerseits die Umschlagsprozesse und der Transport von lastenradfähigen Wechselbehältern im Hauptlauf mit Linienbussen oder Lastenanhängern an Linienbussen einschließlich des dafür notwendigen Vorlaufs vom KEP-Depot zu Starthaltestellen in Nürnberg und in Neumarkt theoretisch und versuchsweise praktisch unter Berücksichtigung der Rechtslage untersucht werden, um weiteren Handlungsbedarf aufzuzeigen.

---

<sup>14</sup> Bogdanski; Cailliau (2022a)

## 8 Literaturverzeichnis

- BIEK e.V. (2023): BIEK - Paketbranche meistert turbulente Zeiten: Mit rund 4,2 Mrd. transportierten Sendungen im Jahr 2022 deutlich über Vor-Corona-Niveau. URL <https://www.biek.de//presse/meldung.html>, abgerufen am 11. Januar 2024.
- Bogdanski, Ralf (2015): NACHHALTIGE STADTLOGISTIK DURCH KURIER-, EXPRESS-, PAKETDIENSTE - Studie über die Möglichkeiten und notwendigen Rahmenbedingungen am Beispiel der Städte Nürnberg und Frankfurt am Main. Berlin, Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. Studie.
- Bogdanski, Ralf (2017): INNOVATIONEN AUF DER LETZTEN MEILE - Bewertung der Chancen für die nachhaltige Stadtlogistik von morgen. Berlin, Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. Studie.
- Bogdanski, Ralf (Hrsg.) (2019): Nachhaltige Stadtlogistik: warum das Lastenfahrrad die letzte Meile gewinnt. 1. Auflage Aufl., München, Huss.
- Bogdanski, Ralf und Cailliau, Cathrin (2022a): KEP UND ÖPNV: CHANCE FÜR DIE LETZTE MEILE? Untersuchung zur Nutzung von öffentlichen Nahverkehrssystemen für den Pakettransport auf der letzten Meile. Berlin, Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.
- Bogdanski, Ralf und Cailliau, Cathrin (2022b): Kombiniertes KEP-Verkehr mit öffentlichen Nahverkehrsmitteln: Einsatz auf der letzten Meile in Ballungsräumen. Wiesbaden [Heidelberg], Springer Gabler.
- Bogdanski, Ralf und Liu, Tong (2021): Light Electric Vehicles for a Green Transport Transition Regulatory Approaches, Managerial Challenges and Market Potentials in Germany and China. Beijing, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Douglas, Martyn; Schubert, Tim; und Schuhmacher, Thomas (2020): Urbane Logistik – Herausforderungen für Kommunen: Auswertung und Ergebnisbericht einer Online-Befragung. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt.
- Mauch, Lars; Weiß, Fabio; Wohlhüter, Manuela; u. a. (2021): Micro-Hubs für eine nachhaltige City-logistik | Erfahrungen aus dem Pilotprojekt Logspaze in Stuttgart. Fraunhofer IAO.
- Schocke, Kai-Oliver; Schäfer, Petra; Höhl, Silke; u. a. (2020): Bericht zum Forschungsvorhaben „LastMileTram - Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main“. Frankfurt am Main, Frankfurt University of Applied Sciences.
- Stiehm, Sebastian; Rüdiger, David; Gade, Andreas; u. a. (2019): Handbuch zur Entwicklung von Mikro-Depots in kleineren Großstädten am Beispiel der Kommunen Krefeld, Mönchengladbach und Neuss. agiplan GmbH, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik.
- Tripp, Christoph (2021): Distributions- und Handelslogistik: Netzwerke und Strategien der Omnichannel-Distribution im Handel. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.