



S O C I A L   E C O L O G Y   W O R K I N G   P A P E R   1 7 9

**Doris Virág**

**Das Verkehrssystem  
im Stock-Flow-Service-Nexus.  
Analyse der Materialbestände und -flüsse  
für verschiedene Formen von Mobilität in Wien**

Doris Virág (2019):

Das Verkehrssystem im Stock-Flow-Service-Nexus.  
Analyse der Materialbestände und -flüsse für verschiedene Formen  
von Mobilität in Wien

Social Ecology Working Paper 179  
Vienna, May 2019

ISSN 1726-3816

Social Ecology Working Papers  
Editorial Board: Christoph Görg, Barbara Smetschka, Helmut Haberl  
[sec.workingpapers@boku.ac.at](mailto:sec.workingpapers@boku.ac.at)

Institute of Social Ecology Vienna (SEC)  
Department of Economics and Social Sciences (WiSo)  
University of Natural Resources & Life Sciences, Vienna (BOKU)  
Schottenfeldgasse 29  
1070 Vienna, Austria  
<https://boku.ac.at/wiso/sec>

© 2019 by Institute of Social Ecology Vienna

# **Das Verkehrssystem im Stock-Flow-Service-Nexus**

Analyse der Materialbestände und -flüsse  
für verschiedene Formen von Mobilität in Wien\*

von

Doris Virág, MA

*\* Masterarbeit verfasst am Institut für Soziale Ökologie, Studium der Sozial- und Humanökologie. Diese Arbeit wurde von Univ.-Prof. Dr. Fridolin Krausmann betreut. Die vorliegende Fassung ist eine geringfügig überarbeitete Version der Masterarbeit.*



## Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Materialbestand des Wiener Verkehrssystems untersucht, differenziert nach Materialien, Funktionen und Bestandsarten. Die bestandsgetriebene oder „Bottom-Up“-Bilanzierung von 24 Bestandselementen liefert einen statischen Überblick über die städtische Verkehrsinfrastruktur für ein exemplarisches Jahr im Zeitraum 2010-2018. Betrachtet werden Verkehrsflächen, Parkinfrastrukturen, Brücken, Tunnel, das öffentliche Verkehrsnetz inkl. S-Bahn und Regionalzug, U-Bahn, Tram, Buslinien, sowie weitere Elemente wie Beleuchtung, Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen. Dazu kommen Fahrzeuge (PKW), Fahrräder, E-Bikes und das Leihradsystem Citybike. Der Gesamtbestand der Verkehrsinfrastruktur beträgt 101,1 Mio. Tonnen, davon besteht ein Großteil von 95 % (96,4 Mio. Tonnen) aus nicht-metallischen Mineralien, hauptsächlich Gestein und Schotter. Weitere 4 % der Bestände setzen sich aus Metallen zusammen, wobei Stahl die größte Rolle spielt. 99 % aller Bestände sind passive Strukturen, die keine Energie umwandeln, unter ihnen sind die Verkehrsflächen mit der Hälfte des Gesamtbestandes (52,1 Mio. Tonnen) maßgeblich. Der motorisierte Individualverkehr nutzt insgesamt 70 % aller Bestände und ihm ist auch der Großteil (77 %) der laufenden Materialflüsse für Bestandserhaltung zuzuschreiben. Der öffentliche Verkehr nutzt ca. 19 % und die Mobilität zu Fuß – durch die Größe und Materialintensität der Gehsteigflächen – ca. 9 % der Gesamtbestände. Die Ergebnisse der Materialbestandsanalyse werden mit Daten zur Mobilität und zum Endenergieverbrauch in Beziehung gesetzt. Der motorisierte Individualverkehr hat mit 2,29 MJ/Personenkilometer den höchsten Endenergieverbrauch, der öffentliche Verkehr zeigt mit 463 Personenkilometern pro Tonne Bestand die höchste Nutzungsintensität der Bestände. Bei Mobilität zu Fuß und per Fahrrad kommen die höchsten Materialflüsse (0,26 bzw. 0,28 kg) auf einen Personenkilometer, was vor allem an der überdimensionierten und für den motorisierten Individualverkehr angepassten Materialintensität der Bestände, sowie der Rolle der Fußgängerinfrastruktur als Basis für alle Mobilitätsformen in einer Stadt liegt.

## Abstract

In this thesis, the material stock of the mobility infrastructure of the city of Vienna is analysed, covering 24 inventory elements and providing a static overview of the urban transport infrastructure for an exemplary year within the period 2010-2018. The results of the stock-driven or bottom-up analysis are grouped into material type, function and stock type categories. Elements of the analysis are all types of traffic surfaces, parking facilities, bridges, tunnels and the public transport system including train, subway, tram and bus lines as well as other elements such as the municipal lighting system, road markings and traffic signs. In addition to that, vehicles such as cars, bicycles, e-bikes and bikes of the rental system Citybike are included. The total amount of mobility stock is 101.1 m tons, of that a major part of 95 % (96.4 m tons) consists of non-metallic minerals such as stone and gravel. 4 % of all stock consists of metals, mostly of steel. Of all stock, 99 % is considered as passive stock, which does not convert energy, among which traffic surfaces account to 52.1 m tons and therefore have the greatest share. Motorized individual transport uses 70 % of all stock and the majority (77%) of the current material flows for stock maintenance can be attributed to this form of mobility. Public transport uses 19 % and pedestrian traffic – due to the size and material intensity of the pavement areas – 9 % of the total stock. The results of the material stock analysis are correlated with data on mobility and energy consumption. Motorized individual traffic has the highest energy consumption of 2.29 MJ/person-kilometre, public transport has the highest intensity of stock use with 463 person-kilometres per tonne of stock. For mobility on foot and by bicycle, the highest material flows (0.26 and 0.28 kg respectively) can be attributed to one person-kilometre, which is mainly due to the oversized material intensity of the stock, adapted to car traffic, and the role of the pedestrian infrastructure as the basis for all forms of mobility in a city.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>8</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>9</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>10</b>
<b>2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....</b>	<b>12</b>
2.1 MATERIALBESTÄNDE UND DEREN ZUSAMMENSETZUNG .....	12
2.1.1 <i>Funktionen der gesellschaftlich genutzten Materialbestände.....</i>	<i>12</i>
2.1.2 <i>Forschung zu Materialbeständen.....</i>	<i>13</i>
2.1.2.1 <i>Städtische Bestände und Verkehrsinfrastruktur .....</i>	<i>14</i>
2.2 MATERIALBESTÄNDE IM STOCK-FLOW-SERVICE NEXUS .....	16
2.2.1 <i>Das Verkehrssystem im sozial-ökologischen Kontext .....</i>	<i>16</i>
2.2.1.1 <i>Materialbestand und Flächenverbrauch .....</i>	<i>17</i>
2.2.1.2 <i>Material- und Energieverbrauch .....</i>	<i>17</i>
2.2.1.3 <i>Emissionen.....</i>	<i>18</i>
2.2.1.4 <i>Das Service „Mobilität“ im Zusammenhang mit Infrastruktur .....</i>	<i>18</i>
2.2.1.5 <i>Soziale und monetäre Kosten .....</i>	<i>19</i>
2.2.1.6 <i>Prognose für den Verkehrssektor .....</i>	<i>20</i>
2.3 VERKEHR UND MOBILITÄT IN WIEN .....	21
2.3.1 <i>Mobilität und Modal Split der BewohnerInnen .....</i>	<i>21</i>
2.3.1.1 <i>EinpendlerInnen nach Wien.....</i>	<i>23</i>
2.3.2 <i>Energieverbrauch des Verkehrs in Wien.....</i>	<i>24</i>
2.3.3 <i>Emissionen des Wiener Verkehrssektors .....</i>	<i>24</i>
2.3.4 <i>Prognosen für den Verkehr in Wien und der Ostregion.....</i>	<i>25</i>
<b>3 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESE.....</b>	<b>26</b>
<b>4 METHODEN .....</b>	<b>27</b>
4.1 MATERIALFLUSSANALYSE .....	27
4.1.1 <i>Analyse von Materialbeständen .....</i>	<i>28</i>
4.1.2 <i>Laufende Materialflüsse im Zusammenhang mit Materialbeständen.....</i>	<i>29</i>
4.2 FORSCHUNGSVORHABEN UND ABGRENZUNG .....	32
4.2.1 <i>Abgrenzung des Forschungsvorhabens.....</i>	<i>32</i>
4.2.1.1 <i>Abgrenzung der Bestandserfassung.....</i>	<i>32</i>
4.2.1.2 <i>Abgrenzung der Erfassung von Materialflüssen.....</i>	<i>33</i>
4.2.1.3 <i>Abgrenzung der Erfassung von Mobilität.....</i>	<i>34</i>
4.2.1.4 <i>Weitere Abgrenzungen .....</i>	<i>34</i>
4.2.2 <i>Datengrundlagen &amp; Vorgangsweise .....</i>	<i>35</i>
<b>5 TEILERGEBNISSE: MATERIALINTENSITÄTEN, BESTÄNDE UND FLÜSSE .....</b>	<b>38</b>
5.1 STRAßENBASIERTER VERKEHR .....	38
5.1.1 <i>Flächen und deren Nutzung .....</i>	<i>38</i>
5.1.2 <i>Materialbestand der Verkehrsflächen.....</i>	<i>40</i>
5.1.2.1 <i>Materialintensität .....</i>	<i>41</i>
5.1.2.2 <i>Materialbestände in Wien .....</i>	<i>43</i>
5.1.2.3 <i>Materialflüsse für Bestandsveränderung.....</i>	<i>44</i>
5.1.2.4 <i>Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....</i>	<i>44</i>

5.1.3	<i>Stellplätze für PKW und Fahrräder</i> .....	45
5.1.3.1	Öffentliche Parkplätze für PKW.....	45
5.1.3.2	Private Parkplätze .....	46
5.1.3.3	Platzbedarf der PKW-Stellplätze auf öffentlichen Straßen.....	47
5.1.3.4	Platzbedarf der Fahrradstellplätze auf öffentlichen Straßen .....	47
5.1.4	<i>Parkhäuser und Tiefgaragen</i> .....	47
5.1.4.1	Materialintensität .....	48
5.1.4.2	Materialbestände.....	49
5.1.4.3	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	49
5.1.5	<i>Beleuchtung und Signalgeber</i> .....	49
5.1.5.1	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	51
5.1.6	<i>Kleinere Bestände und Flüsse des Straßenverkehrs</i> .....	52
5.1.6.1	Bodenmarkierungen .....	52
5.1.6.2	Verkehrsschilder .....	52
5.1.7	<i>Schätzung der Brücken</i> .....	53
5.1.7.1	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	53
5.1.8	<i>Schätzung der Tunnel</i> .....	53
5.1.8.1	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	53
5.1.9	<i>Fahrzeuge</i> .....	54
5.1.9.1	PKW .....	54
5.1.9.2	Fahrräder, E-Bikes und Citybike .....	55
5.2	<b>ÖFFENTLICHER VERKEHR DER ÖBB UND WIENER LINIEN</b> .....	56
5.2.1	<i>U-Bahn</i> .....	56
5.2.1.1	Netz.....	56
5.2.1.2	U-Bahn-Züge .....	57
5.2.2	<i>Straßenbahn</i> .....	58
5.2.2.1	Netz.....	58
5.2.2.2	Straßenbahn-Züge.....	59
5.2.3	<i>Linienbusse</i> .....	60
5.2.3.1	Nutzung der Fahrbahnfläche.....	60
5.2.3.2	Materialbestand der Busse .....	60
5.2.3.3	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	61
5.2.4	<i>ÖBB-Postbus</i> .....	61
5.2.4.1	Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung .....	61
5.2.5	<i>Zug- und S-Bahn</i> .....	61
5.2.5.1	Netz der ÖBB.....	61
5.2.5.2	Züge und S-Bahnen .....	63
<b>6</b>	<b>DER STOCK-FLOW-SERVICE NEXUS DES WIENER VERKEHRSSYSTEMS: MATERIALBESTÄNDE, MATERIAL- UND ENERGIEFLÜSSE UND MOBILITÄT</b> .....	<b>64</b>
6.1	ZUSAMMENFASSUNG DER MATERIALINTENSITÄTEN UND NUTZUNGSDAUERN .....	64
6.2	GESAMTBESTÄNDE UND JÄHRLICHE MATERIALFLÜSSE .....	66
6.2.1	<i>Vergleich der Bestände in Wien mit Daten aus der Literatur</i> .....	68
6.2.2	<i>Materialzusammensetzung und Nutzung der Bestände</i> .....	68
6.2.3	<i>Laufende Materialflüsse</i> .....	72
6.3	EXKURS: DYNAMIK INNERHALB DER SYSTEMGRENZE BEI ERFASSUNG DES STOCK-FLOW-SERVICE NEXUS DER MOBILITÄT .....	75
6.4	MOBILITÄT IN WIEN.....	76

6.4.1	<i>Mobilität der Wiener Bevölkerung</i> .....	76
6.4.2	<i>Schätzung der nicht erfassten Mobilität im Wiener Stadtgebiet</i> .....	79
6.4.2.1	EinpendlerInnen.....	79
6.4.2.2	TouristInnen lt. Nächtigungsstatistik.....	79
6.4.2.3	Nicht-erfasste Fußwege auf einem Weg mit einem anderen Hauptverkehrsmittel.....	79
6.4.3	<i>Gesamte Mobilität im Stadtgebiet</i> .....	80
6.5	ENERGIEVERBRAUCH DIVERSEER MOBILITÄTSFORMEN .....	82
6.5.1	<i>Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs</i> .....	82
6.5.2	<i>Energieverbrauch des öffentlichen Verkehrs</i> .....	83
6.6	GEGENÜBERSTELLUNG VERSCHIEDENER MOBILITÄTSFORMEN .....	84
6.7	UNSICHERHEIT DER ERGEBNISSE .....	87
6.7.1	<i>Bewertung der Unsicherheit der einzelnen Materialbestände</i> .....	87
6.7.2	<i>Bewertung der Unsicherheit der laufenden Materialflüsse</i> .....	90
<b>7</b>	<b>CONCLUSIO</b> .....	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>96</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteil an Wegen je Hauptverkehrsmittel in Wien im Vergleich mit Gesamtösterreich .....	22
Abbildung 2: Anteil der Verkehrsleistung je Hauptverkehrsmittel in Personenkilometern in Wien im Vergleich mit Gesamtösterreich .....	23
Abbildung 3: Aufteilung der befestigten Verkehrsflächen in Wien nach Nutzungswidmung.	40
Abbildung 4: Beispiel für einen Regelquerschnitt Asphaltbelag LK 10.....	41
Abbildung 5: Materialintensitäten diverser Verkehrsflächen in Tonnen/m <sup>2</sup> .....	42
Abbildung 6: Vergleich von Materialintensitäten in 1.000 Tonnen pro km Straßenlänge .....	42
Abbildung 7: Materialbestände in Wien nach Nutzung, Fläche und Material gesplittet .....	44
Abbildung 8: Materialintensitäten diverser Gebäudetypen in Tonnen/m <sup>3</sup> im Vergleich.....	48
Abbildung 9: Materialbestand öffentlicher Parkhäuser und Tiefgaragen in Wien in Mio. Tonnen .....	49
Abbildung 10: Materialbestände der Beleuchtungsinfrastruktur in Wien in 1.000 Tonnen ...	51
Abbildung 11: Flächenproportionale Darstellung der Materialbestände im Wiener Verkehrssystem .....	66
Abbildung 12: Aufteilung (Split) der Materialbestände des Verkehrssystems.....	69
Abbildung 13: Jährliche Materialflüsse für die Erhaltung und Erneuerung aktiver und passiver Bestände im Vergleich; Mio. Tonnen (a) bzw. prozentuelle Aufteilung auf einzelne Bestände (b) .....	74
Abbildung 14: Gesamte Mobilität in Wien in Milliarden Personenkilometern pro Jahr inkl. Schätzung der Strecken von PendlerInnen, TouristInnen und der vernachlässigten Fußwege .....	81
Abbildung 15: Gegenüberstellung der Nutzungsintensität von Beständen (a), der laufenden Materialflüsse pro Pkm (b) und der Endenergieflüsse/Pkm (c) verschiedener Mobilitätsformen.....	85
Abbildung 16: Darstellung des Verkehrssystems inkl. seiner Material- und Energieflüsse und seines Services "Mobilität" als Stock-Flow-Service Nexus .....	85
Abbildung 17: Aufteilung der gesamten Fußwege lt. Erhebung plus angenommener Unterschätzung auf die Mobilitätsart des Hauptverkehrsmittels, das für den Weg benutzt wurde .....	86
Abbildung 18: Anteil der Ergebnisse diverser Robustheitsstufen am Gesamtergebnis .....	91

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Endenergieverbrauch des Landverkehrs und des öffentlichen Verkehrs in Wien 2015 nach verschiedenen Energieträgern in GWh .....	24
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Methoden der Materialbestandsanalyse.....	29
Tabelle 3: Unterscheidung struktureller (nicht renovierbarer) und nicht-struktureller (renovierbarer) Komponenten diverser Materialbestände .....	31
Tabelle 4: Angabe der Berechnung laufender Materialflüsse für die verschiedenen Bestände .....	33
Tabelle 5: Datengrundlagen und Prozess der Ermittlung von Materialbeständen und -flüssen des Verkehrssystems .....	35
Tabelle 6: Verkehrsflächen in Wien in Quadratmetern .....	38
Tabelle 7: Gesamtsumme der Materialbestände von Verkehrsflächen in Wien in Tonnen und Anteile der Flächen mit Nutzung durch andere Mobilitätsformen je Kategorie .....	43
Tabelle 8: Materialintensitäten von Parkhäusern und Tiefgaragen in kg/m <sup>3</sup> .....	48
Tabelle 9: Mengen und Bestände in Tonnen der diversen Elemente des Beleuchtungssystems Wiens.....	50
Tabelle 10: Materialbestand der in Wien zugelassenen PKW sowie Materialflüsse/Jahr in Tonnen .....	54
Tabelle 11: Materialbestände des U-Bahn-Netzes in Wien gesamt in 1.000 Tonnen und in Tonnen/m Strecke inkl. Verlängerung der U1 um 5 Stationen .....	56
Tabelle 12: Materialintensitäten und Gesamtbestand der Wiener U-Bahn-Züge.....	58
Tabelle 13: Materialintensität des Wiener Tram-Netzes.....	59
Tabelle 14: Materialintensitäten und Gesamtbestände der Straßenbahnzüge in Wien in Tonnen .....	59
Tabelle 15: Materialintensitäten und Gesamtbestand der Wiener Busse in Tonnen .....	61
Tabelle 16: Materialintensitäten für das Schienennetz in Tonnen pro Kilometer Streckenlänge .....	62
Tabelle 17: Gesamtbestände des Schienennetzes in Wien in Tonnen.....	62
Tabelle 18: Übersicht der Materialintensitäten, Hauptbestandteile und Nutzungsdauern der wichtigsten Bestände des Verkehrssystems in Wien .....	65
Tabelle 19: Gesamtbestände (absolut und pro Kopf) und jährliche Materialflüsse (absolut und in % des Bestandes) des Verkehrssystems in Wien .....	67
Tabelle 20: Zusammensetzung der Materialbestände aus den vier Materialgruppen in Tonnen .....	70
Tabelle 21: Materialbestand der PKW, die durch EinpendlerInnen täglich ins Stadtgebiet kommen sowie Materialflüsse/Jahr in Tonnen für diese Fahrzeuge.....	76
Tabelle 22: Gegenüberstellung der Ergebnisse diverser Erhebungen von Personenmobilität in Wien in Mio. Personenkilometer pro Jahr .....	77
Tabelle 23: Schätzung der durch die Beschränkung auf das Hauptverkehrsmittel nicht erfassten Fußwege in Mio. km in Wien 2013/14 .....	80
Tabelle 24: Gegenüberstellung der Ergebnisse von Materialbestand, Material- und Energiefluss nach Mobilitätsleistung mit verschiedenen Verkehrsmitteln .....	84
Tabelle 25: Schema der Robustheitsbewertung von Daten zu Materialbeständen .....	87
Tabelle 26: Bewertung der Unsicherheit der Ergebnisse verschiedener Materialbestände ...	88
Tabelle 27: Schema der Robustheitsbewertung von Lebensdauern.....	90
Tabelle 28: Bewertung der Robustheit von Daten zu Lebensdauern und laufenden Materialflüssen.....	90

# 1 Einleitung

Die Menschheit transformiert die Erde. Vor allem in den letzten Jahrzehnten haben die gesellschaftlichen Auswirkungen auf die Umwelt in einem Ausmaß zugenommen (Pfister, 1994), das den Planeten in vielen Bereichen an seine Grenzen der Fähigkeit, eine menschenfreundliche Atmosphäre aufrecht zu erhalten, bringt (Lenton et al., 2008; Steffen et al., 2015). Die Einwirkungen der Menschheit auf ihre Umwelt sind so wirkungsvoll und werden das auch noch für einige Jahrtausende bleiben, dass eine Diskussion um die Bezeichnung des aktuellen geologischen Zeitalters als „Anthropozän“ entbrannt ist (Crutzen, 2002; Lövbrand et al., 2015). Viele Staaten und Institutionen erkennen inzwischen die verheerenden Wirkungen unseres Lebensstils auf die Erde an, die UN versucht durch das Paris-Abkommen die Erderwärmung unter 2 °C zu halten und durch das Sustainable Development Goals (SDGs) Programm Verbesserungen in verschiedenen Bereichen des sozial-ökologischen Systems zu erzielen.

Viele der zunehmend auch global erkennbaren Umweltveränderungen durch den Menschen können mit dem Konzept des sozialen Metabolismus (Fischer-Kowalski, 1998) beschrieben werden, welches die Extraktion und gesellschaftliche Verwendung von Ressourcen sowie deren Entsorgung zurück in die Senken der Natur erfasst. Die globalen Ressourcenflüsse, sowohl auf Extraktions- als auch auf Abfallseite, wurden vor allem seit den 1950er Jahren immer größer (Lövbrand et al., 2015). Nicht nur das, auch die Zirkularität, also die Möglichkeit in einer „Circular Economy“ Materialien im Kreis zu führen, so der Erschöpfung von Ressourcen entgegenzuwirken und die Umweltauswirkungen zu minimieren, ist global auf einem niedrigen Niveau (Haas et al., 2015). Dies lässt sich vor allem durch zwei Phänomene erklären: Erstens nutzt die Menschheit eine beachtliche Menge an fossilen Energieträgern, welche für die Energiegewinnung verbrannt werden und als Emissionen in die Atmosphäre gelangen. Dieser große Materialfluss kann grundsätzlich nicht zirkulär geführt werden, denn der Kohlenstoff in der Atmosphäre kann nicht als neuer Brennstoff gewonnen werden. In Österreich machte im Jahr 2014 der Anteil der fossilen Energieträger am gesamten prozessierten – also extrahierten und netto importierten – Material rund 12 % aus (Jacobi et al., 2018). Zweitens wird ein beachtlicher Teil der gesellschaftlich genutzten Materialien in Form von metallischen und vor allem auch nicht-metallischen Mineralien in Materialbestände wie Straßen und Häuser umgewandelt und damit langfristig im System gebunden. 2014 waren das in Österreich 55 % des gesamten prozessierten Materials (Jacobi et al., 2018). Da diese Materialien im System akkumulieren und die Bestände immer noch wachsen, wirken auch diese Prozesse einer Verbesserung der Kreislaufschließung entgegen (Haas et al., 2015). Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht verwunderlich, dass Bemühungen die Ressourceneffizienz zu steigern nicht ausreichend wirksam sind, um die Umweltauswirkungen des gesellschaftlichen Lebens im erforderlichen Ausmaß zu verringern. Dazu kommt, dass Effizienzgewinne durch Wirtschaftswachstum und Rebound Effekte überkompensiert werden (Haberl et al., 2017; Steinberger et al., 2013).

Das auf fossilen Brennstoffen basierende Energiesystem ist durch die öffentliche Debatte über Emissionen und den damit zusammenhängenden Klimawandel bereits seit einigen Jahren im Fokus der Aufmerksamkeit. Die Debatte über nachhaltige Entwicklung im Bereich der Ressourcennutzung galt oft nur den Materialflüssen und ihrer Bereitstellung bzw. Entsorgung. Materialbestände wie Infrastrukturen genauer zu betrachten ist allerdings mindestens genauso bedeutsam für das Verständnis sozial-ökologischer Implikationen. Materialbestände werden nun zunehmend wahrgenommen und hinsichtlich ihrer Bedeutung in der Gestaltung einer nachhaltigen Lebensweise untersucht (Haberl et al., 2017; Krausmann et al., 2017b; Schiller, 2007).

Die Entkopplung von globalem Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum, wie auch vom United Nations Environment Program (UNEP) Report gefordert, ist nur möglich, indem die Leistungen oder Services, die die Gesellschaft fordert – wie zum Beispiel beheizte Wohnfläche, Mobilität, medizinische Versorgung – von Beständen entkoppelt und des Weiteren Materialbestände von -flüssen entkoppelt werden. Dazu müssten aktuelle Materialbestände intensiver genutzt, deren Lebensdauer verlängert und die Bestände auch im Hinblick auf ihre potentielle Wiederverwertung effizienter designt werden. Eine verbesserte Wissensbasis über die Dynamiken zwischen Materialbeständen, Wohlstand und Ressourcenverbrauch sowie über die Muster der Verteilung von Materialbeständen ist nötig, um Strategien zu entwickeln, die die Gesellschaft zu einer Circular Economy führen können (Krausmann et al., 2017b). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Aspekt der Materialbestände und leistet einen Beitrag zum besseren Verständnis deren Größe, Zusammensetzung und Verwendung und den weiteren sozial-ökologischen Auswirkungen, die mit gesellschaftlichen Beständen in Verbindung stehen. Das Verkehrssystem soll dabei als Materialbestand erfasst und mit laufenden Materialflüssen für Bestandserhaltung sowie mit dem Service der Mobilität, das es zur Verfügung stellt, im Zusammenhang gezeigt werden.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Materialbestände und deren Zusammensetzung

Die Extraktion, Entnahme und Entsorgung von Material sind Bewegungen von Ressourcen in Form von Flüssen über einen bestimmten Zeitraum hinweg. Einige wissenschaftliche Publikationen im Feld der Industrial Ecology beschäftigen sich mit der Entwicklung und den Bewegungen dieser Flüsse. Materialflüsse, die über die Zeit hinweg akkumulieren und ein Reservoir an gespeicherter Masse innerhalb eines sozio-ökonomischen Systems bilden, welches in Gewichtseinheiten gemessen werden kann, werden als gesellschaftlicher Materialbestand bezeichnet (Brunner und Rechberger, 2016). Ein Materialbestand ist daher eine Materialmenge zu einem bestimmten Zeitpunkt. Typischerweise werden die Materialflüsse für den Zeitraum eines Jahres gemessen, daher werden Produkte und Gebäude dann als Bestände bezeichnet, wenn sie länger als ein Jahr bestehen bleiben (Fischer-Kowalski et al., 2011).

Es besteht eine beachtliche Akkumulation von Materialien in Form gesellschaftlich nutzbarer Bestände – ungefähr die Hälfte aller Materialien, die global extrahiert werden, dienen dem Aufbau oder der Erneuerung von Beständen, die sich in Verwendung befinden<sup>1</sup> und über Jahre oder sogar Jahrhunderte hinweg in unseren sozioökonomischen Systemen verbleiben (Krausmann et al., 2017b). Materialbestände umfassen die "verbaute Umwelt", welche aus Infrastruktur und Gebäuden besteht, sowie alle anderen Artefakte, wie Maschinen und langlebige Konsumgüter. Gemeinsam mit Menschen und dem Bestand an Nutzvieh und anderen domestizierten Tieren bilden diese Gegenstände den gesamten Materialbestand der Gesellschaft (Fischer-Kowalski, 2011; Fischer-Kowalski et al., 2011).

*Im Folgenden wird der Begriff "Materialbestand" synonym für die Bestände, die sich im gesellschaftlichen Gebrauch befinden, genutzt und bezieht sich nicht auf Lebewesen.*

#### 2.1.1 Funktionen der gesellschaftlich genutzten Materialbestände

Die Materialbestände einer Gesellschaft erfüllen viele Funktionen im gesellschaftlichen Metabolismus und bieten der Gesellschaft diverse Services (Fishman et al., 2014; Krausmann et al., 2017b; Müller, 2006; Tanikawa et al., 2015; Weisz et al., 2015), welche nicht allumfassend beschrieben werden können. Pauliuk und Müller geben einen Überblick ohne Anspruch auf Vollständigkeit und unterscheiden sechs verschiedene Rollen von Materialbeständen im gesellschaftlichen Metabolismus (Pauliuk und Müller, 2014):

1. **Angebot von Services für Endkonsumenten und Industrien**  
Dazu zählen zum Beispiel Behausung, Transport oder Kommunikation.
2. **Kapital- und Ressourcenspeicherung**  
Zwischen 10 % und 40 % des ökonomischen Outputs fließen in den Aufbau und in die Instandhaltung von Materialbeständen.
3. **Bestimmung von Dynamiken des sozialen Metabolismus**  
Gesellschaftlich genutzte Materialbestände sind die Grundlage für Produktion und

---

<sup>1</sup> Materialbestände oder „material stocks“ werden auch als „in-use-stocks“ bezeichnet, um sie von Beständen abzugrenzen, die keinen gesellschaftlichen Nutzen mehr erfüllen („hibernating stocks“).

Konsum. Daher erzeugen Bestände neue Flüsse von Material (Fishman et al., 2014; Krausmann et al., 2017b).

4. **Indikator für den Wohlstand einer Gesellschaft**

Materialbestände zeigen, wie viel Kapital eine Gesellschaft angehäuft hat und könnten andere Flussgrößen wie das BIP als Indikator für Wohlstand ergänzen.

5. **Bestimmung des Konsums**

Ein Service wird erst durch einen Bestand mit seinem nötigen Energie- und Materialfluss verbunden. So kann zum Beispiel das Benzin nur durch den Bestand des Autos als Fortbewegungsmittel dienen.

6. **Gestaltung von Städten**

Die räumliche Verteilung von Beständen beeinflusst die Behausungsdichte, die Erreichbarkeit bzw. Distanzen diverser Einrichtungen und die Wahl des Transportmittels in einer Stadt und gestaltet das Stadtbild maßgeblich.

Gesellschaftliche Materialbestände erfüllen eine Vielzahl wichtiger und für viele Bereiche relevanter Funktionen. Besonders interessant ist in diesem Kontext allerdings ihre Bedeutung für den gesellschaftlichen Metabolismus, da dies nicht nur eine Funktion ist, aus der die Gesellschaft unmittelbaren Nutzen zieht, sondern ein Charakteristikum, das für die Dynamiken von zukünftigen Material- und Energieflüssen und damit für das Vermögen einer Gesellschaft, auf eine nachhaltige Art und Weise zusammenzuleben, bestimmend ist. Daher wird im Folgenden auf diesen Aspekt noch genauer eingegangen.

### **2.1.2 Forschung zu Materialbeständen**

Es besteht ein wachsendes Interesse wissenschaftlicher Forschung an Materialbeständen. Arbeiten zu Infrastrukturen sollen den laufenden Bedarf an Material und Energie für den Betrieb des Bestandes, die Lebensdauern verschiedener Bestandstypen oder die in der Endnutzungsphase anfallenden Materialien in deren Quantität und Qualität aufzeigen. Einen Überblick über globale Materialbestände geben Krausmann et al. (2017b).

Da Materialbestände global verstreut lokalisiert sind und die Datenlage zu ihrer Größe, Verteilung und Zusammensetzung noch nicht besonders gut ist, fokussieren viele Forschungen auf Quantifizierung bestimmter Teile von Materialbeständen. Es wurden bereits einige Publikationen über Bestände einzelner Substanzen oder Materialien, meist bestimmter Metalle wie Eisen und Stahl (Liang et al., 2014; Müller et al., 2006; Pauliuk et al., 2013), Kupfer (Gerst, 2009; Kral et al., 2014), manchmal auch nicht-metallische Materialien wie Zement (Kapur et al., 2008) oder Beton (Woodward und Duffy, 2011) veröffentlicht. Eine weitere Arbeit liefert einen Überblick über Studien zu Baumineralien (Augiseau and Barles, 2017).

Ziel von Analysen sind auch manchmal Materialbestände in dicht bebauten Gebieten mit verhältnismäßig guter Datenlage. So existieren schon Analysen von Materialbeständen wie Wohnhäusern und anderen Gebäuden in Deutschland (Ortlepp et al., 2016a, 2016b; Schebek et al., 2017), Zürich (Aksözen et al., 2017) bzw. Wien (Kleemann et al., 2017), Arbeiten zu deutschen Infrastrukturen (Steger et al., 2011), zu Städten oder bestimmten urbanen Gebäudebeständen in Europa (Brunner et al., 1998; Schiller, 2007) und Japan (Tanikawa und Hashimoto, 2009), zu Materialbeständen und -flüssen in Japan (Tanikawa et al., 2015), in der Schweiz (Stäubli, 2010) oder Österreich (Stark et al., 2003) und zu Straßen- und Gebäudebeständen in der gesamten EU25 (Wiedenhofer et al., 2015). Viele dieser Studien arbeiten mit statistischen Daten zu Materialbeständen, andere mit räumlich expliziten Daten, die eine Lokalisierung der

Bestände erlauben, sowie in manchen Fällen auch eine Analyse über einen längeren Zeitraum hinweg ermöglichen.

### **2.1.2.1 Städtische Bestände und Verkehrsinfrastruktur**

Urbanisierung wird als Hauptverursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen genannt und trägt dadurch zum Klimawandel bei. Vor allem durch Stahl- und Zementproduktion für den Bau städtischer Infrastruktur haben beträchtliche Auswirkungen auf die Umwelt (Shi et al., 2012). Städtische Materialbestände sind auch deswegen bedeutsam, da sie einen wachsenden Speicher an wertvollen Ressourcen, anders ausgedrückt ein Potential für zukünftiges Recycling („Urban Mining“), darstellen. Gleichzeitig sind sie als Quelle von Verschmutzung und gesundheitsschädlichen Materialien eine Gefahr für die Umwelt und müssen daher näher analysiert und verstanden werden (Brunner und Rechberger, 2016).

Im Jahr 1991 wurde eine Materialfluss- und Materialbestandsanalyse für die Stadt Wien mit Fokus auf sechs Substanzen (Kohlenstoff, Stickstoff, Aluminium, Eisen, Zink und Blei), die von besonderer Bedeutung für die Biosphäre bzw. Anthroposphäre sind, durchgeführt. Gebäude und Infrastrukturen machten mit ca. 70 % den größten Teil der Gesamtbestände aus. Die jährliche Zuwachsrate an Beständen wurde auf 1-3 % geschätzt, da in allen untersuchten Materialgruppen die Zuflüsse zum Bestand größer waren als die Abflüsse (d.h. der Abfall) daraus. Der Materialbestand in der Stadt wurde auf insgesamt 350 Tonnen pro Kopf geschätzt, Tendenz steigend (Brunner et al., 1998).

Auch die Verkehrsinfrastruktur als Materialbestand steht oft explizit im Fokus der Forschung, da sie einen großen Teil der Materialbestände abdeckt und ihr Gesamtbestand gut erfassbar ist. Eine Analyse der Materialbestände in Japan hat gezeigt, dass Straßen mit 26 % die zweitgrößte Materialbestandskategorie nach Gebäuden (43 %) in dem dicht besiedelten Land waren. Das Schienensystem hingegen nahm weniger als 4 % des Bestandes ein (Tanikawa et al., 2015). Auch weil Straßen eine hohe Instandhaltungsintensität haben und daher langfristige große Materialflüsse auslösen, sind sie zentraler Bestandteil der Überlegungen über nachhaltige Ressourcennutzung (Wiedenhofer et al., 2015). Mehrere Forscher haben sich in den letzten Jahren mit der Quantifizierung von Materialbeständen der Verkehrsinfrastruktur beschäftigt, zum Beispiel die Modellierung des Straßennetzes im Zeitraum von 1905-2015 in den USA (Miatto et al., 2017), Analysen des U-Bahn-Netzes oder Teilen davon (Gassner et al., 2018a, 2018b; Lederer et al., 2016a, 2016b, 2010) und wie erwähnt die Materialbestandsanalyse von Gebäuden und Straßen in der EU25 (Wiedenhofer et al., 2015).

Dass Straßen und andere Versorgungsinfrastrukturen bei Betrachtung der Nachhaltigkeit und Umweltrelevanz gesellschaftlicher Materialbestände große Bedeutung haben, wird durch einen Blick auf Materialflüsse im Bausektor klar. Ein beachtlicher Teil – im Jahr 1999 immerhin die Hälfte der Materialflüsse im deutschen Bausektor – fließt in den Straßenbau und in andere Tiefbauarbeiten. Dieser Anteil steigt, da das Straßennetz in der Regel weiter ausgebaut wird, Straßen aufgewertet, aber kaum abgebaut werden, im Gegensatz zu Gebäuden. So lange eine Verbindung zum Hauptverkehrsnetz besteht, werden Straßen immerfort instandgehalten, um die Funktion des gesamten Systems aufrecht zu erhalten. Der physische Aspekt der Materialflüsse erlangt jedoch selten Aufmerksamkeit von Entscheidungsträgern, ihr Blick richtet sich eher auf monetäre Aspekte. Es wird auch eine große Investitionssumme öffentlichen Geldes dafür eingesetzt, Infrastrukturen zu schaffen und zu erhalten, weswegen eine Kostenanalyse die Bedeutung dieser Materialbestände bestätigt (Schiller, 2007).

Alternde Bestände benötigen beachtliche Mengen an Materialien für deren Erhalt. Vor allem im Straßen- und Schienennetz fließt ein Großteil der verwendeten Materialien in Reparatur und Bestandserhaltung, während die Materialbestände gleichzeitig weiterhin ausgebaut werden (Wiedenhofer et al., 2015).

Im Jahr 2009 betrug der Materialzufluss in Bestände der EU25 ca. 1.989 Mio. Tonnen, wovon der Erhalt der Straßen mit 930 Mio. Tonnen fast die Hälfte ausmachte. Während zwischen 2004 und 2009 jährlich ca. 1 % Bestandszuwachs erfolgte, verteilten sich die Materialzuflüsse und -abflüsse unterschiedlich auf verschiedene Bestandskategorien: Im Straßensystem fiel vor allem der Materialbedarf für Bestandserhaltung ins Gewicht, während bei Gebäuden eher der Zuwachs an Beständen Materialien benötigte. Auch auf der Output-Seite, also bezüglich Materialabflüssen aus dem Bestand, war das Straßennetz mit 628 Mio. Tonnen Abfall maßgebend. Von allen Outputs aus den gesellschaftlichen Beständen (1.178 Mio. Tonnen) machte das Straßennetz mit 49 % den höchsten Anteil aus. Ein Großteil davon kann recycelt werden (ca. 450 Mio. Tonnen), allerdings ist das meiste dieses recycelten Materials Beton und Asphalt, der bei der Wiederverwendung „downgecycelt“ wird, indem zum Beispiel kleingeschlagener Beton und Ziegel als Ersatz für neuen Sand und Schotter verwendet werden. Dies macht eine zweite Wiederverwendung schwierig. Die Auswirkungen auf Recyclingmöglichkeiten im Lichte der wachsenden Bestände ist ein Themenfeld, das in zukünftiger Forschung im Detail betrachtet werden sollte (Wiedenhofer et al., 2015).

Die Betrachtung des Verkehrssystems kann auch um Vorleistungen des Bestandsaufbaus erweitert werden. Eine Studie berechnete die Treibhausgasemissionen, die durch Bau, Instandhaltung und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur, sowie bei der Herstellung und Instandhaltung der Fahrzeuge für den Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffsverkehr verursacht werden. Diese wurden mit erfolgter Mobilität (Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer) in Beziehung gesetzt. Die Ergebnisse zeigten, dass bei allen Verkehrsmitteln relevante Anteile der Gesamtemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auf den Bau, Instandhaltung und Betrieb von Infrastruktur und Fahrzeugen entfallen. Im Personennahverkehr waren es 12-26 %, im Personenfernverkehr 10-29 % und im Güterverkehr 4-29 % (Motschall und Bergman, 2015).

Eine andere Studie berechnete den ökologischen Fußabdruck verschiedener Arten des öffentlichen Transports durch das Unternehmen Wiener Linien & Co KG. U-Bahn, Straßenbahn und Bus in Wien wurden bewertet - hinsichtlich ihres direkten sowie indirekten Landverbrauchs, um die benötigte Energie und Ressourcen bereitzustellen sowie das entstandene CO<sub>2</sub> zu kompensieren. Diese Analyse bezog in einem Lifecycle-Ansatz nicht nur die Verkehrsinfrastruktur sondern auch administrative Gebäude, Garagen, Reinigungsgeräte sowie kurzlebige Güter wie Werkzeuge, Abfälle von Fahrgästen und die Energie zum Betrieb der Verkehrsmittel und zur Beheizung der Gebäude mit ein (Gassner et al., 2018b).

## **2.2 Materialbestände im Stock-Flow-Service Nexus**

Eine sozial-ökologische Transformation hin zu einem neuen sozial-metabolischen Regime, das von nachhaltigeren Konsummustern geprägt ist, benötigt ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Materialbeständen und -flüssen, vor allem aufgrund der langfristigen Pfadabhängigkeiten, die Bestände erzeugen können (Krausmann et al., 2017b; Pauliuk und Müller, 2014). Die gesellschaftlichen Materialbestände spielen eine zentrale Rolle in der Entwicklung des zukünftigen Ressourcenbedarfs. Sie benötigen nicht nur für ihren Aufbau Material und Energie, sondern auch bei ihrer Instandhaltung und bei der Entsorgung am Ende ihrer Nutzungsdauer. Außerdem löst ihre Nutzung meist kontinuierlich neue Material- bzw. Energieflüsse aus (Pauliuk und Müller, 2014).

Einige Wissenschaftler rufen nach einer systematischen Ergänzung der aktuellen, flussbasierten Betrachtungsweise des sozialen Metabolismus. Es sollen nicht nur die Materialbestände, sondern auch die Services, welche diese für die Gesellschaft bereitstellen, mit betrachtet werden. Maschinen, Gebäude und andere Artefakte verwandeln für Menschen schwierig nutzbare Ressourcen, z.B. Holz und Öl, in "Services" wie Heizwärme, Beleuchtung oder Fortbewegung. Die Materialbestände bilden, gemeinsam mit den Materialflüssen, die Grundlage für viele Services, die der Gesellschaft zur Verfügung stehen. Durch Zusammenwirkungen von Beständen (Stocks), Material- und Energieflüssen (Flows) in bestimmten Kombinationen entsteht ein Nutzen für die Gesellschaft (Services). Der Ansatz, die Beziehungen zwischen diesen drei Elementen zu analysieren wird auch als "Stock-Flow-Service Nexus Ansatz" bezeichnet (Haberl et al., 2017; Müller, 2006).

Es konnte bereits gezeigt werden, dass die Bebauungsdichte und der Materialverbrauch einer Volkswirtschaft miteinander korrelieren (Schiller, 2007). Die Größe der materiellen Bestände und ihre Nutzungsdauern sind die zwei Faktoren, die den Materialverbrauch für Bestandserhaltung am stärksten beeinflussen. Die Dynamiken der genutzten, gesellschaftlichen Bestände werden als Schlüssel zu Dematerialisierung und Dekarbonisierung verstanden. Auch der Zusammenhang zwischen Beständen und sozialem Fortschritt sowie gesellschaftlicher Entwicklung wurde gezeigt (Wiedenhofer et al., 2019). Um daher den gesellschaftlichen Materialverbrauch zu verringern, müsste das Wachstum der Bestände gestoppt und ihre Lebensdauern verlängert werden (Wiedenhofer et al., 2015). Das 20. Jahrhundert ist jedoch von massivem Bestandsaufbau geprägt. Ähnlich wie das BIP sind Materialbestände über das letzte Jahrhundert gewachsen, eine Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Materialverbrauch ist nicht in Sicht. Ein stabiler Zustand oder gar ein zirkuläres Wirtschaftssystem wären erst bei einer Stabilisierung von Materialbeständen bzw. in einigen Regionen sogar nur bei einem Rückgang ebendieser möglich, da die jährlichen Materialflüsse reduziert werden müssten (Krausmann et al., 2017).

### **2.2.1 Das Verkehrssystem im sozial-ökologischen Kontext**

Das Verkehrssystem hat in Bezug auf die Umweltauswirkungen gesellschaftlichen Lebens nicht nur als Materialbestand Relevanz. Wie bereits erläutert, sind vor allem auch die mit einem Bestand in Verbindung stehenden Material- und Energieflüsse durch Bestandserhaltung, aber vor allem auch durch Nutzung (Services) der Bestände zu beachten. Der Verkehrs- und Transportsektor ist global für fast ein Drittel der verbrauchten Energie verantwortlich, trägt maßgeblich zur Produktion klimaschädlicher Treibhausgase bei und verursacht andere gesund-

heits- und umweltschädliche Emissionen wie Stickoxide und Kohlenmonoxid. In der nachhaltigen Stadtentwicklung, die klimaschonende Umstrukturierung im Blick hat, ist dieser Sektor daher ein wichtiger Ansatzpunkt (Lederer et al., 2016b). Auch die Sustainable Development Goals (SDGs) beschäftigen sich in mehreren Punkten mit diesem Thema, zum Beispiel unter Ziel 11 (Nachhaltige Städte), Ziel 9 (Infrastruktur), Ziel 13 (Bekämpfung des Klimawandels) und in vielen Querverbindungen der Unterziele und Indikatoren (BMVIT, 2019).

*Da der Fokus dieser Arbeit auf Materialbeständen und -flüssen des Verkehrssystems liegt, gibt dieses Kapitel nur einen kurzen Überblick - es kann nicht umfassend auf alle Effekte des Verkehrssektors auf die Gesellschaft eingegangen werden. Da sich die vorliegende Forschung auf Wien bezieht, werden im Folgenden auch nur Daten für Österreich bzw. Wien genannt.*

### **2.2.1.1 Materialbestand und Flächenverbrauch**

Das Verkehrssystem ist ein Materialbestand von beachtlicher Größe. 2010 hatte das österreichische Straßennetz eine Länge von 114.590 km, dies entspricht 13,7 m Straße pro Einwohner. In den meisten Bundesländern liegt die Straßenlänge pro Einwohner zwischen 10 und 20 m, nur in Wien ist dieser Wert mit rund 1,7 m pro Einwohner durch die Siedlungsdichte deutlich niedriger. Das Schienennetz der ÖBB hat eine Länge von 4.985 km, Privatbahnen-Netze kommen noch dazu. Pro Einwohner in Österreich bestehen 0,7 m Schienennetz (Stand 2010). Dazu kommt noch das Wasserstraßennetz mit der Donau als bedeutendster Wasserstraße von 350 km. Ein weiterer Bestandteil des Verkehrssystems sind die 6 Flughäfen, 37 Zivilflugplätze und 63 Hubschrauberlandeplätze (BMVIT, 2011).

Beachtlich ist auch der Flächenverbrauch durch den Verkehr. In Österreich werden 2,5 % der gesamten Landesfläche bzw. 6 % der Dauersiedlungsfläche für Verkehrszwecke genutzt, das entspricht 2.097 km<sup>2</sup> (BMVIT, 2012; Statistik Austria, 2019). In Wien liegt der Anteil der Verkehrsfläche an der Gesamtfläche sogar bei 15 % (MA 23, 2017). Gerade in urbanen Räumen wirkt der hohe Flächenverbrauch mehrspuriger Fahrzeuge der Lebensqualität von StadtbewohnerInnen entgegen. Statt Platz für den motorisierten Individualverkehr zu schaffen, wäre allerdings vor allem im Hinblick auf steigende Temperaturen durch den Klimawandel wichtig, Aufenthalts- und Grünräume in der Stadt auszuweiten (Haas et al., 2018).

### **2.2.1.2 Material- und Energieverbrauch**

Das Verkehrssystem dient in erster Linie dem privaten und gewerblichen Personen- und Gütertransport. Da dieser in den allermeisten Fällen durch fossile Brennstoffe angetrieben wird, zeigen sich an diesem Stock-Flow-Service-Nexus von Verkehrssystem, Material-/Energieverbrauch und Mobilität beide Hindernisse der Zirkularität einer Wirtschaft – Einsatz fossiler Brennstoffe und Anhäufung von Materialbeständen – in besonderem Ausmaß.

Der Verkehrssektor ist mit einem Drittel des Gesamtenergieverbrauches auch der größte Energiekonsument Österreichs. 87 % dieses Energieverbrauchs werden dabei durch den Straßenverkehr verursacht und vorwiegend durch Erdöl gedeckt, seit 1990 steigen diese Werte kontinuierlich an. Erd- und Flüssiggas sowie Elektrizität haben mit jeweils ca. 3 % sehr geringe Anteile an der Deckung des Energiebedarfs im Verkehr (BMVIT, 2012).

Das Umweltbundesamt berechnet den Energieverbrauch verschiedener Verkehrsmittel pro zurückgelegtem Personenkilometer (Pkm) und aktualisiert einige dieser Werte laufend. Für

den Durchschnitts-PKW wird ein Energieverbrauch von 0,59 kWh/Pkm (bei Besetzungsgrad 1,15), für den Schienenverkehr 0,11 kWh/Pkm und für den öffentlichen Linienbus 0,16 kWh/Pkm angegeben (Umweltbundesamt, 2018). Aus einer älteren Version der Berechnung sind auch die Werte für Straßenbahn (0,08 kWh/Pkm) und U-Bahn (0,02 kWh/Pkm) bekannt (Umweltbundesamt, 2009). Zu beachten ist, dass diese Werte sich nicht auf ein urbanes Gebiet beziehen, sondern allgemeine Durchschnittswerte darstellen. In einer Stadt würde man tendenziell mit einem höheren Energiebedarf für den motorisierten Individualverkehr durch erhöhtes Stauaufkommen und Stop-and-Go-Verkehr rechnen. Es werden außerdem nur direkte Energieeinsätze für die Fortbewegung erfasst, Beleuchtung, Heizung bzw. Kühlung und Betrieb von Haltestellen sind daher nicht berücksichtigt (Fritz, 2019).

### **2.2.1.3 Emissionen**

Auch die **klimarelevanten Emissionen** des Verkehrssektors sind hinsichtlich der fortschreitenden Erderwärmung problematisch. Gerade in Österreich ist der Verkehrssektor ein wichtiger Ansatzpunkt für die **Reduktion von klimaschädlichen Gasen** in der Atmosphäre. 29 % der Treibhausgasemissionen sind auf den Verkehr zurückzuführen (Haas et al., 2018). Österreich hat sich verpflichtet<sup>2</sup>, seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 16 % gegenüber 2005 zu senken, bis 2050 soll eine Reduktion der verkehrsbedingten Treibhausgase von mindestens 60 % erreicht werden (BMVIT, 2012). Seit 1990 sind die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors jedoch um 67 % gestiegen. Der Straßenverkehr und besonders der PKW-Verkehr ist hauptverantwortlich für die klimarelevanten Emissionen mit einem Anteil des Personenverkehrs von 56 % und einem Anteil des Gütertransports von 44 % (Haas et al., 2018; Umweltbundesamt, 2019).

Die Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrssektor in Österreich stiegen zwischen 2000 und 2010 von 18,7 auf 22,1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente an, ein Zuwachs von 20 %. Zu beachten ist, dass ca. 6,9 Mio. Tonnen davon auf den sogenannten Tanktourismus zurückzuführen sind, das heißt durch in Österreich gekauften Treibstoff im Ausland generiert wurden. Der Anteil des Straßenpersonenverkehrs an diesen Emissionen lag 2010 bei 12,6 Mio. Tonnen, während der Straßengüterverkehr 9,2 Mio. Tonnen verursachte (BMVIT, 2012). Des Weiteren war der Verkehr in Österreich im Jahr 2015 einer der größten Verursacher von Staub-Emissionen (23,8 %), NO<sub>x</sub>-Emissionen (51 %) und CO-Emissionen (15,2 %) und spielt auch bei der Ausbringung weiterer Schadstoffe wie flüchtigen organischen Verbindungen, Kadmium und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) sowie Dioxin eine Rolle (Umweltbundesamt, 2017).

### **2.2.1.4 Das Service „Mobilität“ im Zusammenhang mit Infrastruktur**

Die vom Verkehrssektor ausgelösten Material- und Energieflüsse stehen mit den Services, die das Verkehrssystem der Gesellschaft anbietet, das heißt mit dem tatsächlichen Ausmaß an Mobilität bzw. Transportaktivität, wie zurückgelegten Personen- oder Tonnenkilometern, in Zusammenhang. Wie viele und wie lange Wege mit welchen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden, ist daher von Interesse, was durch ein besseres Verständnis des Mobilitätsverhaltens erfasst werden kann.

---

<sup>2</sup> "Effort Sharing" - Entscheidung (406/2009/EG)

Die „3Ds“ Dichte, Diversität und Design sind Einflussfaktoren für das Mobilitätsverhalten, wie in einer Faktorenanalyse von Cervero und Kockelman (1997) in San Francisco gezeigt wurde. Unter „Dichte“ werden dabei Bevölkerung, Beschäftigte und zur Verfügung stehende Jobs pro Fläche zusammengefasst. „Diversität“ bezieht sich auf unterschiedliche Flächennutzungsformen und -intensitäten, auf die Mischung verschiedener Aktivitätszentren und wirtschaftlicher Einrichtungen auf einer bestimmten Fläche und auf die Nähe von Wohneinrichtungen und Einkaufsmöglichkeiten. Die Variable „Design“ fasst Straßenkreuzungen, Autobahnkilometer, Sackgassen, Straßenbreiten und Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie Infrastrukturen für den Fußgänger- und Radverkehr sowie Parkeinrichtungen zusammen. Dichte, diverse Flächennutzung und fußgängerorientiertes Design stehen generell mit niedrigeren Weghäufigkeiten und weniger Wegen im motorisierten Individualverkehr in Zusammenhang. Die Bebauung in ihren unterschiedlichen Dimensionen hat also zumindest moderaten Einfluss auf das Mobilitätsverhalten (Cervero und Kockelman, 1997).

Zusätzlich zeigt die umfassende Betrachtung des Phänomens „Mobilität“ als Bündel sozialer Praktiken ein noch komplexeres Bild. Shove et al. (2015) beschreiben die Beziehung zwischen Infrastrukturen und Bündeln sozialer Praktiken anhand des Beispiels von Automobilität. Eine Praxis wird dabei nach dem Drei-Elemente-Modell von Shove et al. (2012) als aktive Integration von Material, Bedeutung und Kompetenzen verstanden. Mobilität erfolgt nicht nur um seiner selbst willen, sondern aufgrund von anderen Aspekten des täglichen Lebens. Dahinter stehen also verschiedene, miteinander verbundene soziale Praktiken, wie Arbeit oder Schulbesuche, Einkaufen, Familienbesuche etc. Diese sind in materielle Strukturen eingebettet, in Infrastrukturen, die teilweise mehreren Praktiken gleichzeitig dienen. Um Mobilität zu verstehen, ist daher eine Betrachtung der verschiedenen Bereiche des täglichen Lebens und deren Beziehungen zu Infrastrukturen nötig.

#### **2.2.1.5 Soziale und monetäre Kosten**

Bei ganzheitlicher Betrachtung von Mobilität sind auch die sozialen Kosten und gesamtwirtschaftlichen Aspekte des Verkehrssektors nicht zu vernachlässigen. Nicht nur die Kohlendioxid-Emissionen, auch andere Luftschadstoffe, die der Verkehr mit verursacht, haben problematische Folgen. Besonders Feinstaub, Ozon und Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), welche schädliche Auswirkungen auf Gesundheit und Ökosystem haben, liegen immer noch zu hoch (BMVIT, 2012). Schadstoffe in der Luft können bei Menschen Kurzzeiteffekte sowie Langzeitschädigungen verursachen. Dazu zählen Entzündungen der Atemwege, die Förderung von Allergien und Asthma, die Beeinträchtigung der Lungenfunktion, die Steigerung der Infektanfälligkeit, die Erhöhung des Krebsrisikos und die Verringerung der durchschnittlichen Lebenserwartung je nach Wohnort um ein paar Monate (Umweltbundesamt, 2017). Schwermetalle in gewissen Konzentrationen haben toxische Wirkung auf verschiedene Lebewesen. Schwefel- und Stickstoffverbindungen versauern Gewässer und Böden und Stickstoffverbindungen können diese überdüngen, wenn sie übermäßig ausgebracht werden (Umweltbundesamt, 2017).

Neben den bereits erwähnten Faktoren spielen zum Beispiel Geräusch- und Stressbelastung eine Rolle. Lärm kann verschiedene gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen. Diverse Gesetze und Verordnungen wie das Umgebungslärmschutzgesetz regeln Maßnahmen gegen Lärm auch durch Verkehr. Trotzdem geben über 40 % aller Befragten in Österreich an, sich durch Lärm belästigt zu fühlen. Eine Hauptquelle dieser Belastung ist der Verkehr (Haas et al., 2018). Auch der Faktor Zeit ist hier zu berücksichtigen: Als durchschnittliche PKW-FahrerIn

in Wien und Umgebung verbringt man ca. 240 Stunden jährlich im Stau (BMVIT, 2012) Natürlich spielen auch andere soziale Kosten eine Rolle, etwa das Leid, dass durch Unfälle mit Personenschaden entsteht. Autogerecht gestaltete Städte verschlechtern auch die sozialen Kontakte und damit das Wohlbefinden und können sogar mit erhöhter Kriminalität in Verbindung gebracht werden (Haas et al., 2018).

Des Weiteren sind auch die monetären Aufwendungen für den Verkehr erheblich. Der österreichische Staat wendet ca. vier Milliarden Euro pro Jahr für den Verkehrssektor auf, Haushalte verwenden ca. 15 % ihres Budgets für Mobilität. Dazu kommen die volkswirtschaftlichen Kosten von verkehrsbedingten Unfällen, welche in Österreich 2008 ca. sieben Milliarden Euro ausmachten – inkl. einer Schätzung für menschliches Leid durch Unfälle mit Personenschäden (BMVIT, 2012). Eine aktuelle Studie über den Verkehr in Graz, Linz und Wien konnte zeigen, dass eine Veränderung des Modal Splits<sup>3</sup> zu Gunsten des Verkehrs zu Fuß und per Fahrrad durch die gesteigerte physische Aktivität, die verbesserte Luftqualität und die niedrigeren Kosten durch die vermehrte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel die Morbidität und Mortalität in der Bevölkerung senken könnten. Mit der Reduktion von Treibhausgasemissionen würde also auch ein Wohlstandszuwachs einhergehen (Wolkinger et al., 2018).

#### **2.2.1.6 Prognose für den Verkehrssektor**

Zwischen 1990 und 2009 stieg die Verkehrsleistung im Personenverkehr um 20 % im Schienen- und 30 % im Straßenverkehr. Im Jahr 2009 betrug die Verkehrsleistung in Österreich auf der Schiene 10 Mrd. und auf der Straße 72 Mrd. Personenkilometer (BMVIT, 2011). Die Steigerung des Verkehrsaufkommens für Personenverkehr in Österreich wird bis 2025 mit 25 % prognostiziert. 73 % der Personenverkehrsleistung werden derzeit mit dem PKW erbracht, 24 % mit öffentlichen Verkehrsmitteln und 3 % zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad. Für den Güterverkehr wird eine Steigerung von 32 auf 79 Mrd. Tonnenkilometer erwartet (BMVIT, 2012).

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) prognostiziert in seinem Bericht eine Entkopplung der Verkehrsemissionen von den Verkehrsleistungen durch technologischen Fortschritt. Diese Verbesserung bezieht sich allerdings eher auf bestimmte Schadstoffemissionen. Im Bereich der Kohlenstoffdioxid-Emissionen werden nur geringe Verbesserungen erwartet, was eine weitere Steigerung der Treibhausgasemissionen bis 2025 zur Folge hätte (BMVIT, 2012).

---

<sup>3</sup> Der Modal-Split beschreibt den Wegeanteil, der an Werktagen in den fünf häufigsten Mobilitätsformen – zu Fuß, per Fahrrad, öffentlich und im motorisierten Individualverkehr – zurückgelegt wird. (siehe nähere Erläuterung im Kapitel 2.3.1)

## **2.3 Verkehr und Mobilität in Wien**

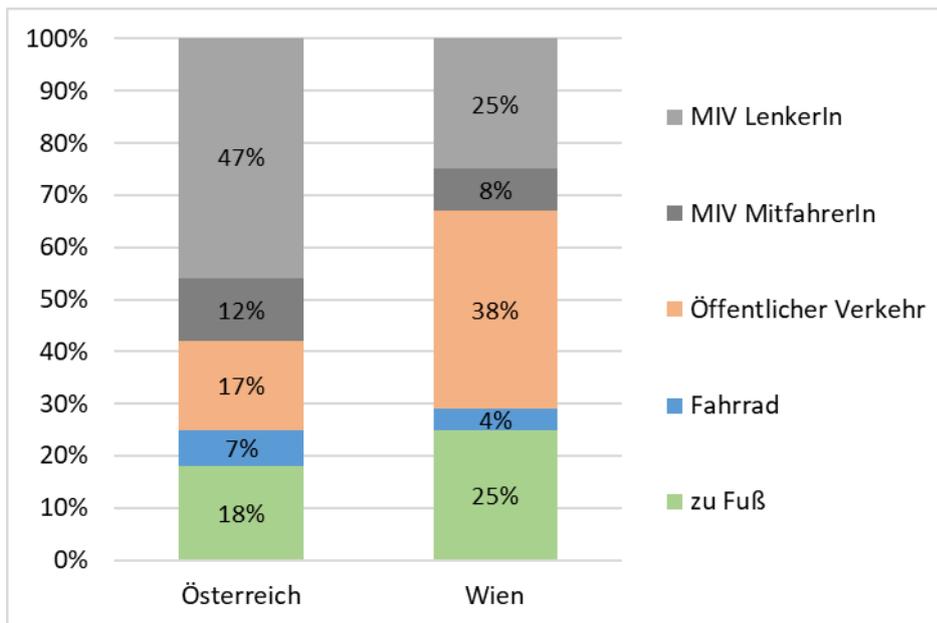
### **2.3.1 Mobilität und Modal Split der BewohnerInnen**

Der Verkehr in Wien unterscheidet sich deutlich von jenem in anderen Bundesländern (siehe auch Abbildung 1), da die urbane Infrastruktur der Großstadt ein anderes Mobilitätsverhalten ermöglicht und verlangt als in ruralen Gebieten. Während in den meisten Bundesländern der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) zwischen 40 % und 50 % liegt und über die letzten Jahrzehnte hinweg kontinuierlich angestiegen ist, hat in Wien der öffentliche Verkehr (ÖV) wesentlich größere Anteile und der motorisierte Individualverkehr nimmt sogar ab. Dies liegt unter anderem an den besseren Anbindungen und den vergleichsweise geringen Kosten für öffentlichen Verkehr – die Jahreskarte in Wien kostet 365,-- Euro (BMVIT, 2012). Auch der Radverkehrsanteil und Fußgängerverkehr nimmt mit der Besiedlungsdichte zu (BMVIT, 2016).

Im Jahr 2013/14 wurde die seit 1995 erste österreichweite Mobilitätserhebung durchgeführt. Darin wurden über ein Jahr verteilt Daten einer Stichprobe von Haushalten erhoben, welche zufällig aus dem Melderegister gezogen wurde. 17.070 Datensätze daraus, welche Aussagen über 28.220 Personen enthielten, waren verwertbar und ermöglichten Auswertungen zur Wahl des Hauptverkehrsmittels und zu den zurückgelegten Strecken pro Tag pro Person (Personenkilometern). Laut dieser Erhebung sind in Wien 84 % aller Personen mobil. Die mittlere Tageswegehäufigkeit beträgt 2,9 Wege/Tag allgemein bzw. 3,4 Wege/Tag unter mobilen Personen, die durchschnittliche Dauer der Wege liegt bei 80 Minuten/Tag allgemein bzw. 95 Minuten/Tag bei mobilen Personen. Die mittlere Tageswegelänge liegt in Wien bei 28,1 km/Tag allgemein bzw. 33,2 km/Tag bei mobilen Personen, mit einer durchschnittlichen Dauer von 28 Minuten und einer durchschnittlichen Länge von 9,9 km je Weg. Die mittleren Weglängen liegen zu Fuß bei 1,2 km, mit dem Rad bei 3,4 km, als MIV-LenkerIn bei 15 km, als MIV-MitfahrerIn bei 16 km, im öffentlichen Verkehr bei 11 km und mit sonstigen Verkehrsmitteln bei 46 km pro Weg (BMVIT, 2016).

Die Ergebnisse dieser Erhebung werden oft als Modal-Split dargestellt. Dieser beschreibt den Wegeanteil, der mit den fünf Hauptverkehrsmitteln zurückgelegt wird – zu Fuß, per Fahrrad, ÖV und MIV (LenkerIn bzw. MitfahrerIn). Die zurückgelegten Wege werden nach benutztem Hauptverkehrsmittel kategorisiert, dabei wird nur die Mobilität der BewohnerInnen mit einbezogen – die Bewegungen von PendlerInnen und BesucherInnen sind meist nicht inkludiert.

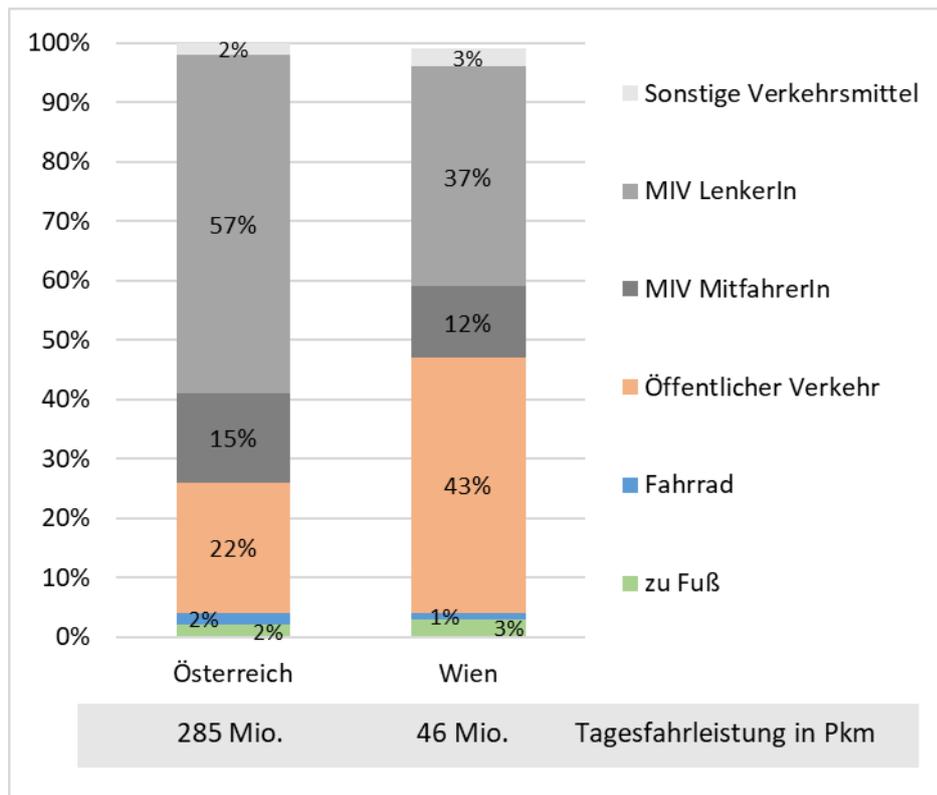
Der Modal Split der Stadt Wien wird in diversen Berichten mit etwas unterschiedlichen Werten angegeben. Laut der Untersuchung im Auftrag des BMVIT im Jahr 2013/14 lag die Aufteilung bei 25 % FußgängerInnen, 4 % RadfahrerInnen, 25 % PKW-FahrerInnen und 8 % MitfahrerInnen sowie 38 % NutzerInnen des öffentlichen Verkehrs an Werktagen. Im Bereich der öffentlichen Verkehrsmittel waren Straßenbahn und U-Bahn mit insgesamt 30 % die wichtigsten Fortbewegungsmittel, Bus und Zug/Schnellbahn machten nur je 4 % der gesamten ÖV-Wege aus. Je nach Wegezweck unterscheiden sich die Modal Splits erheblich, so liegt der Anteil des MIV bei dienstlichen Wegen, bei Arbeitswegen und zur Begleitung von Personen bei 60-70 %, Schulwege werden zu 49 % mit dem ÖV zurückgelegt und Wege zum Einkaufen oder in der Freizeit werden zu 25 % bzw. 30 % zu Fuß zurückgelegt (BMVIT, 2016).



**Abbildung 1: Anteil an Wegen je Hauptverkehrsmittel in Wien im Vergleich mit Gesamtösterreich**  
Eigene Darstellung; Daten: (BMVIT, 2016)

Der **langfristige Trend in Wien zeigt ein Wachsen des ÖV und Radverkehrs** und ein Schrumpfen des MIV. 2006 überholte der Sektor "öffentlicher Verkehr" mit 35 % erstmals den motorisierten Individualverkehr und liegt nun im Vergleich zu anderen Städten mit ähnlichem Motorisierungsgrad hoch. Die Fahrleistungen, also die zurückgelegten Wege mit MIV im Raum Wien, steigen jedoch tendenziell an (Magistrat der Stadt Wien, 2009). Die Zunahme des öffentlichen Verkehrs ist auch in Zusammenhang mit der Preisreduktion für die Jahreskarte in Wien, dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs und der Parkraumbewirtschaftung zu sehen (Haas et al., 2018).

Zu beachten ist, dass sich der Modal Split, also der Anteil an Wegen, von der Verkehrsleistung je Hauptverkehrsmittel unterscheidet. Dadurch, dass zu Fuß und mit dem Rad in der selben Zeit kürzere Strecken zurückgelegt werden können, als mit dem motorisierten Individualverkehr und mit dem öffentlichen Verkehr, verschiebt sich die Aufteilung bei Betrachtung der Streckenlängen, wie in Abbildung 2 ersichtlich.



**Abbildung 2: Anteil der Verkehrsleistung je Hauptverkehrsmittel in Personenkilometern in Wien im Vergleich mit Gesamtösterreich**

Eigene Darstellung; Daten: (BMVIT, 2016)

Insgesamt wurden 2013/14 pro Jahr in Wien 18.222 Mio. Personenkilometer zurückgelegt. Der motorisierte Individualverkehr (LenkerInnen und BeifahrerInnen) machte mit 9.537 Mio. Personenkilometern den höchsten Anteil aus, gefolgt vom öffentlichen Verkehr mit 7.039 Mio. Personenkilometern (BMVIT, 2016). Die genannten Daten über die Mobilität der WienerInnen liefern keinen vollständigen Überblick über die Mobilität im Stadtgebiet, da EinpendlerInnen und BesucherInnen nicht mitgerechnet wurden.

### 2.3.1.1 EinpendlerInnen nach Wien

Zusätzlich zur Mobilität der BewohnerInnen ist in einer Stadt wie Wien auch das Verkehrsaufkommen durch den Einpendelverkehr nicht zu vernachlässigen. Einen guten Einblick in das Ausmaß des EinpendlerInnen-Verkehrs bietet die Kordonerhebung (2011) des Planbüro Ost. In dieser Erhebung wurden Menschen, die an einem Werktag im April oder Mai 2008 die Stadtgrenze überquerten, zu ihrem Pendelverhalten befragt, die Nettostichprobe lag bei 5 % im motorisierten Individualverkehr und bei 15 % im öffentlichen Verkehr (Rittler, 2011).

Die Zahl der EinpendlerInnen nach Wien stieg über die letzten Jahre hinweg besonders schnell an. Während 1991 noch 136.000 Personen und im Jahr 2001 bereits 208.000 Menschen mit verschiedenen Verkehrsmitteln täglich aus einem anderen Bundesland nach Wien kamen, so waren es 2008 schon 527.600 Personen. Der Anteil der Personen, die dazu den MIV nutzen, stieg auch. 2001 lag er noch bei knapp zwei Drittel, 2008 nutzten 79 % den motorisierten Individualverkehr und nur 21 % pendelten mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Ca. 183.000 der Personen, die die Stadtgrenze einwärts überqueren, sind Erwerbstätige die zu ihrem Arbeitsplatz pendeln (Magistrat der Stadt Wien, 2009; Rittler, 2011).

### 2.3.2 Energieverbrauch des Verkehrs in Wien

Der Landverkehr hat 2015 in Wien einen Endenergieverbrauch von 19.993 kWh (71.975 Megajoule)/Kopf bzw. 13.335 GWh (48.006 Terajoule<sup>4</sup>) insgesamt, was ca. 36 % des gesamten Energieverbrauchs der Stadt entspricht. Der Verkehrssektor der Stadt Wien hat seinen Energieverbrauch zwischen 1995 und 2015 um 37 % gesteigert (MA 20, 2017). Die Verluste bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie liegen mit 65 % der eingesetzten Energie weit höher als in anderen Sektoren. Nur etwa ein Drittel der eingesetzten Energie, ca. 6.377 GWh (23.000 TJ), wird tatsächlich in Bewegungsenergie umgewandelt (MA 20, 2017).

Tabelle 1 zeigt den Verbrauch diverser Energieträger durch den Verkehr in Wien. Treibstoffe und Mineralöle (Benzin, Diesel, sonstige Produkte der Erdölverarbeitung) werden fast zur Gänze vom Sektor Verkehr konsumiert. Diesel hat mit 66 % den Hauptanteil der Energieträger im Landverkehr und lieferte im Jahr 2015 ca. 8.746 GWh (31.486 TJ), gefolgt von Benzin mit 21 % (2.790 GWh bzw. 10.044 TJ). Der Verkehrssektor hat auch einen kleinen Anteil am Verbrauch elektrischer Energie, dieser lag bei 4 % (598 GWh bzw. 2.153 TJ) im Jahr 2015. Der Endenergieverbrauch des öffentlichen Verkehrs der Wiener Linien und Eisenbahn beträgt ungefähr 820,64 GWh (2.954 TJ) pro Jahr. Es kommt vor allem elektrische Energie zum Einsatz, die 71 % der Energie bereitstellt. Gas ist mit 16 % der zweitwichtigste Energieträger im öffentlichen Verkehr, gefolgt von Diesel mit 13 % (MA 20, 2017).

**Tabelle 1: Endenergieverbrauch des Landverkehrs und des öffentlichen Verkehrs in Wien 2015 nach verschiedenen Energieträgern in GWh**

Daten: (MA 20, 2017)

	Landverkehr		Öffentlicher Verkehr (Wiener Linien & Eisenbahn)	
	[GWh]	[%]	[GWh]	[%]
Benzin	2.790,0	21%	0,1	0%
Biodiesel	581,0	4%		0%
Bioethanol	107,0	1%		0%
Biogene Brenn- und Treibstoffe		0%	3,8	0%
Diesel	8.746,0	66%	105,1	13%
Elektrische Energie	598,0	4%	582,9	71%
Flüssiggas	136,0	1%	128,7	16%
Naturgas	30,0	0%		0%
Sonst. Biogene flüssig	347,0	3%		0%
Steinkohle	0,1	0%	0,1	0%
<b>Gesamt</b>	<b>13.335,1</b>	<b>100%</b>	<b>820,7</b>	<b>100%</b>

### 2.3.3 Emissionen des Wiener Verkehrssektors

In Wien lebten im Jahr 2012 ca. 20 % der österreichischen Bevölkerung. Der Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen des Landes liegt bei 11 %, damit emittiert Wien pro Kopf weniger als der Durchschnitt Österreichs. Der Verkehr hat in diesem Bundesland einen überdurchschnittlich hohen Anteil der Gesamtemissionen, er ist mit einem Beitrag von 39 % der

<sup>4</sup> 1 Terajoule = 10<sup>12</sup> Joule = 3,6 GWh

Hauptverursacher. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) macht mit 93 % den größten Anteil der Treibhausgasemissionen aus. Die klimarelevanten Treibhausgasemissionen in Wien stiegen von 1990 bis 2012 um 3,2 % auf 8,4 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, wobei der Verkehrssektor die größte Emissionssteigerung auslöste (Umweltbundesamt GmbH, 2014).

Nach unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden ergeben sich verschiedene absolute Mengen an Emissionen des Sektors Verkehr. Nach der BLI<sup>5</sup>-Methode, welche auf den in Wien abgegebenen Mengen an Energieträgern basiert und damit den Tanktourismus beinhaltet, allerdings PendlerInnen und BesucherInnen zumindest teilweise außen vor lässt, liegt der Wert bei 3.355.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Nach emikat.at<sup>6</sup>-Methode, die auf den in Wien zurückgelegten Wegen basiert, wären es nur 1.593.000 CO<sub>2</sub>-Äquivalente (MA 20, 2017).

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen, für die der Verkehr mit einem Anteil von 79 % Hauptverursacher ist, nahmen zwischen 1990 und 2012 um 22 % ab, auch die Ammoniak (NH<sub>3</sub>)-Emissionen sanken um 25 %. Hauptgrund dafür war der Trend zu dieselbetriebenen PKW in den 90er Jahren. Auch für die Feinstaubemissionen (PM) der Stadt ist der Sektor Verkehr fast zur Hälfte verantwortlich. Diese sanken von 2000-2012 um 25 % (Umweltbundesamt GmbH, 2014).

### **2.3.4 Prognosen für den Verkehr in Wien und der Ostregion**

Da Wien durch sein Verkehrsnetz stark mit dem Umland verbunden ist und der Einpendelverkehr eine relevante Rolle für die Verkehrssituation in der Stadt spielt, sind nicht nur Prognosen für Wien, sondern für die gesamte Ostregion inkl. Niederösterreich und Burgenland von Interesse. Die Bevölkerungsprognose (2006-2031) der Statistik Austria zeigt ein erwartetes Bevölkerungswachstum um ca. 443.000 EinwohnerInnen in der Ostregion, dies wäre eine Steigerung von 13 % gegenüber 2009. Davon läge der EinwohnerInnenzuwachs in der Stadtregion Wien inkl. der angrenzenden Bezirke Mödling, Korneuburg, Tulln, Bruck a. d. Leitha, Baden, Gänserndorf und Wolkersdorf bei rund 412.000 EinwohnerInnen (+17 %). Im Stadtgebiet würden davon 286.000 Menschen hinzukommen. Auf längere Sicht wird die Einwohnerzahl Wiens noch weiter steigen, auch wenn das Ausmaß des Bevölkerungswachstums langsam abnimmt. 2036 prognostiziert man einen neuen historischen Höchststand von 2.083.630 EinwohnerInnen (MA 23, 2018). Diese Prognosen deuten auf eine zu erwartende Verschärfung der Verkehrssituation in der Ostregion hin (Magistrat der Stadt Wien, 2009).

---

<sup>5</sup> Bundesländer-Inventurbericht

<sup>6</sup> Emissionskataster, Energiekataster zur Verwaltung emissionsrelevanter Informationen: emikat.at

### 3 Fragestellung und Hypothese

Die vorliegende Forschungsarbeit soll einen Einblick in die Verknüpfung des Services „Mobilität“ mit gesellschaftlichen Materialbeständen, Material- und Energieflüssen geben. Wie dargestellt, ist der Verkehrssektor vor allem in industrialisierten Ländern wie Österreich für einen großen Anteil des Energieverbrauchs und der Emissionen verantwortlich. Die Verkehrsinfrastruktur hat eine große Ausdehnung erreicht und der Personenverkehr, vor allem Einpendelverkehr in die Stadt, nimmt zu. Das Verkehrssystem aus sozial-ökologischer Perspektive besser zu verstehen ist daher ein wichtiger Schritt für die Forschung. Besonders selten wird bislang noch der Blick auf Materialbestände und die damit zusammenhängenden Materialflüsse für Bestandserhaltung geworfen. Diese Analyse hat das Ziel, eine spezifische gesellschaftliche Aktivität bzw. infrastrukturelle Serviceleistung mit den dafür notwendigen Beständen und Flüssen in Beziehung zu setzen und leistet damit einen Beitrag zum besseren Verständnis des Stock-Flow-Service Nexus.

Als Beispiel einer wachsenden Stadt wurde für diese Arbeit Wien ausgewählt. Die Datenverfügbarkeit für Wiener Infrastrukturen ist im Vergleich zu anderen Städten relativ hoch und die Durchführung der Forschungsarbeit im Forschungsgebiet erleichtert den Zugang zu Daten und den Kontakt zu lokalen ExpertInnen. Dazu kommt, dass bereits verschiedene Studien zu Materialflüssen und -beständen in Wien sowie in teilweise vergleichbaren europäischen Städten durchgeführt wurden, auf die aufgebaut werden kann bzw. die für eine Diskussion der Ergebnisse herangezogen werden können.

Um den Stock-Flow-Service-Nexus in dieser Fallstudie zu analysieren werden folgende Forschungsfragen gestellt, die jeweils einen Aspekt des Nexus beschreiben.

- 1. Welche Masse und welche Zusammensetzung hat der Materialbestand, der für Mobilität im Wiener Stadtgebiet vorhanden ist?**
- 2. Welche Material- und Energieflüsse pro Jahr sind mit dem Verkehrssystem und mit der Mobilität in Wien verbunden?**
- 3. Wie unterscheiden sich verschiedene Formen von Mobilität hinsichtlich der Nutzung von Materialbeständen, Material- und Energieflüssen?**

Hypothesen zu diesem Forschungsvorhaben sind folgende:

- I. Der Materialbestand für den öffentlichen Verkehr wird ungefähr gleich intensiv genutzt wie jener für den motorisierten Individualverkehr.
- II. Die höchsten jährlichen Materialflüsse für Bestandserhaltung sind mit dem Bestand der Straßenflächen verbunden.
- III. Zufußgehen und Radfahren sind hinsichtlich ihres Materialbestands und des jährlichen Material- und Endenergieverbrauches die effizientesten Fortbewegungsmittel.

## 4 Methoden

Der gesellschaftliche Umgang mit natürlichen Ressourcen ist Kernthema der Sozialen Ökologie. Im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung sind nicht nur die Extraktion von Materialien aus der Natur, sondern auch deren gesellschaftliche Verwendung, Wiederverwendung und Entsorgung bzw. Rückführung in die Natur in veränderter Form, von Bedeutung.

### 4.1 Materialflussanalyse

Grundlage für die Erfassung von Materialien im gesellschaftlichen Stoffwechsel ist die Materialflussanalyse (MFA), welche die Bewegungen sämtlicher Materialflüsse mit der Ausnahme von Wasser – also Biomasse, fossile Materialien, Metalle sowie nicht-metallische Materialien – erfasst. Die Materialflussanalyse erlaubt, die Auswirkungen gesellschaftlicher Aktivitäten auf die Umwelt zu verstehen und ist daher ein ergänzendes Instrument der traditionellen Ressourcenmanagement-Ansätze (Brunner et al., 1998). Die nationale Materialflussrechnung (economy-wide MFA) erfasst neben der Extraktion auch den Handel, den Bestand, die Abfälle und Emissionen in einem Massenbilanzierungsansatz (Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik): Der Materialzufluss in einem System muss immer gleich sein dem Materialabfluss plus Veränderungen in Materialbeständen im System (Krausmann et al., 2017a).

Daten über die Extraktion verschiedener Stoffgruppen in verschiedenen Regionen der Erde sind weitgehend vorhanden und sogar über mehrere Jahrzehnte in die Vergangenheit rekonstruierbar. Nach der Phase methodischer Harmonisierung ab dem Jahr 2000 hat die Materialflussanalyse durch die Implementierung von MFA-Indikatoren in offizielle Berichte nationaler und internationaler Organisationen wie dem Japanischen Umweltministerium, der Europäischen Union, der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), sowie dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) an Bedeutung und Bekanntheit gewonnen. Seit 2011 haben EU-Mitgliedsstaaten die Pflicht, MFA-Daten zu berichten, einige Staaten benutzen MFA-Indikatoren für ihre Richtlinienformulierung und auch im International Resource Panel des UN-Umweltprogramms spielt MFA eine wichtige Rolle (Krausmann et al., 2017a; Wiedenhofer et al., 2019).

Die Materialflussanalyse ist eine bewährte Analysemethode in der sozial-ökologischen Forschung und hat die Sammlung von Materialflussdaten in Zeitreihen ermöglicht, Materialbestände standen dabei noch selten im Zentrum der Aufmerksamkeit und wurden meist nur als Bilanzierungsposten für Zu- und Abflüsse von Material dargestellt (Tanikawa et al., 2015). Der bisherige Fokus auf Materialflüsse ist vermutlich auch dadurch zu erklären, dass Extraktionsdaten auf nationaler Ebene leichter verfügbar sind und auch wichtige Informationen bzgl. der Erschöpfung von Ressourcen liefern. Materialbestände hingegen sind schwieriger zu beziffern und ihre Relevanz ist für Entscheidungsträger oft weniger klar. Daher ist die Analyse von nationalen Beständen in der Industrial-Ecology-Literatur immer noch selten zu finden (Fishman et al., 2014). Eine Weiterentwicklung der Methode wäre notwendig, um ihre Relevanz für Wissenschaft und Entscheidungsträger zu erhöhen (Fishman et al., 2014; Tanikawa et al., 2015).

### **4.1.1 Analyse von Materialbeständen**

Zunehmend erscheinen nun Studien, die sich mit der Analyse von Materialbeständen beschäftigen. Bestimmte Materialien oder Substanzen sowie verschiedene Bestandstypen auf lokaler, nationaler oder globaler Ebene werden immer öfter zum Fokus neuer Forschung (Wiedenhofer et al., 2019). Eine Übersicht über die bisher entstandenen Arbeiten liefern zum Beispiel Augiseau und Barles, welche 31 wissenschaftliche Publikationen von Materialfluss- und/oder Materialbestandsanalysen in sechs Typen unterscheiden und Infrastruktur als den größten Materialbestand in seiner Bedeutung hervorheben (Augiseau und Barles, 2017). Einen Überblick über Metallbestände liefert auch eine Analyse von über 60 dynamischen Materialflussanalysen von Müller et al. (2014) sowie Tanikawa et al. (2015), die eine Typologie von Materialbestandsanalysen vornehmen, welche hier als Orientierung dient. Im jungen Forschungsfeld der Materialbestandsanalyse werden derzeit verschiedenste Methoden zur Erfassung der Bestände angewendet, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig macht und den Fortschritt im Bereich der Materialbestandsforschung behindert (Tanikawa et al., 2015). Die Autoren fassen diverse Ansätze für Materialbestandsanalysen in vier Kategorien zusammen:

#### **1. Bottom-Up Bilanzierung**

Ein Inventar an Beständen in einem definierten Gebiet zu einem gegebenen Zeitpunkt dient als Startpunkt. Ist dieses erfasst, so kann es mittels Materialintensitätskoeffizienten in Masseinheiten umgerechnet werden.

#### **2. Remote-Sensing-Ansatz**

Dieser Ansatz stützt sich auf Satellitenbilder über gesellschaftliche Bestände und deren geografische Verteilung in einem bestimmte Gebiet zu einem bestimmten Zeitpunkt. Vor allem in Gebieten, in denen keine, oder sehr schlechte statistische Daten über Materialflüsse und -bestände vorliegen, ist diese Analysemethode hilfreich.

#### **3. Top-Down Bilanzierung**

In dieser Bilanzierungsmethode werden die erfassten Materialflüsse, die in Materialbestände über eine bestimmte Zeit hinweg einfließen, kumuliert, während der Materialbestand über diese Zeitspanne statistisch abgeschrieben wird, das heißt ein Materialabfluss (Outflow) für jedes Jahr angenommen wird. Die Methode ist sehr gut kompatibel mit der etablierten nationalen Materialflussanalyse und der Detailgrad hängt maßgeblich von der angenommenen Abschreibungskurve ab.

#### **4. Nachfragegesteuerte Modellierung**

Hier dient ein Modell über die Nachfrage von bestimmten Objekten über eine Zeitspanne hinweg dazu, den Materialbestand zu schätzen. Auch bei dieser Methode sind Daten zu Materialintensitäten sowie Lebensdauern von diversen Beständen nötig, um die Bestände modellieren zu können. Für jede Verbrauchskategorie sind separate Indikatoren nötig, um akkurate Schätzungen machen zu können.

**Tabelle 2: Gegenüberstellung der Methoden der Materialbestandsanalyse**  
Eigene Darstellung; Daten: Tanikawa et al. (2015)

	<b>Bottom-Up Bilanzierung</b>	<b>Remote Sensing-Ansätze</b>	<b>Top-Down Bilanzierung</b>	<b>Nachfragegesteuerte Modellierung</b>
<b>Zeitraumen</b>	statisch		dynamisch	
<b>Ausgangspunkt</b>	<b>Materialbestände</b>		<b>Materialflüsse</b>	
<b>kritische Daten</b>	Inventar der Bestände, Materialintensitäten	klare Satellitenbilder, Materialintensitäten	Materialflussdaten, Lebensdauern, Abschreibungskurven	Nachfragedaten, Materialintensitäten, Lebensdauern, Abschreibungskurven
<b>Vorteile</b>	detaillierte Bestandsaufnahme und Differenzierung von Bestandstypen	geografische Verteilung, detaillierte Bestandsaufnahme, weniger Ausgangsdaten benötigt	integrierbar mit nationaler MFA, Zeitreihen, Prognosen möglich	Simulationsoptionen durch Verknüpfung mit sozioökonomischen Daten
<b>Beispiele</b>	Tanikawa et al. 2015, Bestände Japan	Liang et al. 2014, Stahl in China	Hashimoto et al. 2007, japanische Infrastruktur	Müller 2006, Wohngebäude NL

Die Bottom-Up oder bestandsgetriebene Methode zur Bewertung der Materialbestände, die auch in dieser Arbeit Anwendung findet, kann laut Tanikawa et al. 2015 mit folgender Formel beschrieben werden:

$$MS_{m,i,t} = INV_{i,t} * MI_{m,i,t}$$

MS ist dabei die Gesamtmasse an Beständen, m alle Bestände des Typs i im Jahr t, INV das Inventar der Gegenstände von Typ i in Jahr t und MI die Materialintensität des Gegenstandes, also die Menge an Material m in einer Einheit des Gegenstandes Typ i.

Die größten Herausforderungen in dieser Analyseverfahren sind laut Tanikawa et al. (2015) die Datenverfügbarkeit sowie die Definition der zu erfassenden Gegenstände.

#### **4.1.2 Laufende Materialflüsse im Zusammenhang mit Materialbeständen**

Im Zusammenhang mit Materialbeständen stehen auch immer Materialflüsse. Bei einem bereits vorhandenen Materialbestand wie dem Verkehrssystem Wiens, liegt der Materialfluss, der für den Aufbau benötigt wurde, bereits in der Vergangenheit und zeigt sich kumuliert als Materialbestand. Über die Nutzung hinweg werden allerdings weitere Materialflüsse ausgelöst. Wiedenhofer et al. (2015) unterscheidet folgende Arten von laufenden Materialflüssen:

##### **1. Flüsse für Bestandsveränderung**

Diese Flüsse verändern den Gesamtbestand durch einen Zu- oder Abfluss in Gewichtseinheiten. Der Gesamtbestand wird größer oder kleiner und sein Serviceangebot verändert sich. Ein Beispiel wäre der Bau einer neuen Straße oder die Anschaffung eines zusätzlichen PKW.

## 2. Flüsse für Bestandserhaltung

Die Erhaltung des Bestandes (maintenance) beinhaltet alle Materialzuflüsse die benötigt werden, um den Bestand in seiner Größe, trotz Alterung und Materialabflüssen am Ende der Lebensdauer, konstant zu halten. Dies umfasst zwei Komponenten:

### a. Flüsse für Renovierung nicht-struktureller Komponenten

Diese fallen während der Lebensdauer eines Bestandes an, wenn einzelne Komponenten im Bestand ersetzt werden, aber kein kompletter Austausch eines Bestandes erfolgt. Beispiele wären die Abtragung und neue Auftragung der obersten Straßenschicht oder der Wechsel abgefahrener Reifen eines PKW. Um Renovierungsflüsse zu berechnen müssen Anzahl und Materialzusammensetzung aller austauschbaren Komponenten und deren Austauschhäufigkeiten bekannt sein.

### b. Ersatz der Bestände, die am Ende ihrer Lebensdauer abgerissen und aus der Nutzung genommen werden

Diese Materialflüsse beschreiben einen gänzlichen Austausch eines Bestandes gegen einen neuen Bestand, wobei sich die Masse des Bestandes nicht verändert. Ein Beispiel ist der Austausch der gesamten Straße inkl. aller Schichten. Dieser Materialfluss für Ersatz berechnet sich aus der Anzahl an Materialbeständen, deren Lebensdauer am Ende angelangt ist, multipliziert mit ihrer Materialintensität. Diese Berechnung setzt voraus, dass die Materialbestände inkl. Materialintensitäten, deren Lebensdauern und deren Errichtungsjahr bekannt sind. Für ein Durchschnittsjahr innerhalb der Lebensdauer des Gesamtbestandes kann der Materialbedarf für Ersatz durch Division des Bestandes durch seine Lebensdauer angegeben werden.

Der Materialabfluss, also die Menge an Material, die als Abfall aus den Beständen entnommen wird, wenn diese abgetragen, ersetzt oder renoviert werden, ergibt sich aus diesen Berechnungen als Summe aller Abflüsse von Material aus dem Bestand durch Bestandsverkleinerung, Renovierung oder Ersatz. Dieses steht auch potentiell als Recyclingmaterial zur Verfügung.

Im Folgenden werden die Materialflüsse im Zusammenhang mit den wichtigsten Beständen des Verkehrssystems nach der oben dargelegten Kategorisierung von Wiedenhofer et al. (2015) aufgelistet. Für jeden Bestand sind in Tabelle 3 strukturelle Komponenten, die nur ersetzt werden können, und nicht-strukturelle Komponenten, die renoviert werden können, unterschieden. Die Darstellung listet nur die Hauptkomponenten der Bestände, erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und richtet sich nach dem zu erwartenden häufigsten Fall, in Einzelfällen können Komponenten auch anders kategorisiert werden.

**Tabelle 3: Unterscheidung struktureller (nicht renovierbarer) und nicht-struktureller (renovierbarer) Komponenten diverser Materialbestände**

Eigene Einschätzungen und Expertenschätzungen lt. angegebenen Quellen

<b>Materialbestand</b>	<b>Nicht-strukturelle Komponenten (Renovierung)</b>	<b>Strukturelle Komponenten (nur Ersatz möglich)</b>
<b>Verkehrsflächen, Parkplätze</b>	Austausch der obersten Schichten mit kürzester Lebensdauer sowie Aufgrabung zu anderen Zwecken (z.B. Leitungserneuerung)	Austausch der mittleren und unteren Schichten in langen Zeitintervallen
<b>Parkhäuser, Tiefgaragen</b>	Putze, Estriche, Mörtel, Wärmedämmstoffe, Dachdeckungen, Beläge, Dichtungsbahnen (ca. 9 %) (IÖR, 2018)	Betone, Mauersteine, Bauplatten, Schüttungen, Metalle (ca. 91 %) (IÖR, 2018)
<b>PKW</b>	Reifen, Fenster, Einzelteile	Fahrzeugkorpus, große Komponenten deren Austausch kostspielig ist
<b>Fahrräder</b>	Reifen (11 %), Licht, Kette, Einzelteile	Rahmen (ca. 53 %)
<b>E-Bikes</b>	Reifen (7 %), Licht, Kette, Akku	Rahmen (ca. 42 %)
<b>U-Bahn-Netz</b>	Aluminium, Kupfer, Schotter (ca. 3 %) (Lederer et al., 2016a)	Beton, Stahl, Eisen, Ziegel (ca. 97 %) (Lederer et al., 2016a)
<b>U-Bahn-Züge</b>	Einzelne Komponenten wie Fenster, Haltegriffe, Pläne etc.	Fahrzeugkorpus, große Komponenten deren Austausch kostspielig ist
<b>Tram Netz</b>	Oberleitungen, Elemente von Haltestellen	Schienen, Masten, Bodenplatten
<b>Tramwägen</b>	Einzelne Komponenten wie Fenster, Haltegriffe, Pläne etc.	Fahrzeugkorpus, große Komponenten deren Austausch kostspielig ist
<b>Linienbusse, Postbusse</b>	Einzelne Komponenten wie Fenster, Haltegriffe, Reifen, Pläne etc.	Fahrzeugkorpus, große Komponenten deren Austausch kostspielig ist
<b>Schienennetz der ÖBB</b>	Oberleitungsmasten und -draht, Schienen, Schwellen, Signaltechnik (ca. 16 %)	Unterwerke, Bahnschotter, Bahnhöfe abgesehen von einzelnen Komponenten
<b>Züge, S-Bahnen</b>	Einzelne Komponenten wie Fenster, Haltegriffe, Pläne etc.	Fahrzeugkorpus und große Komponenten deren Austausch kostspielig ist
<b>Beleuchtung</b>	Leuchten, Leuchtmittel, Signalgeber, Schaltkasten, Steuergerät, beleuchtete Verkehrszeichen	Masten, Kabel, Spanndrähte und Befestigungen, Betonfundamente
<b>Tunnel</b>		nur Ersatz
<b>Brücken</b>		nur Ersatz
<b>Bodenmarkierungen</b>	nur Renovierung (Teil der Straße)	
<b>Verkehrszeichen</b>		nur Ersatz

Der Fokus der Arbeit liegt nicht auf den laufenden Materialflüssen im Zusammenhang mit Bestandsveränderungen, daher werden diese Werte nur ergänzend angeführt. Es wird ein statischer Blick auf die Bestände geworfen und nicht auf längerfristige Dynamiken. Der theoretische, durchschnittliche, jährliche Materialinput, der erforderlich ist um die aktuellen Bestände langfristig zu erhalten, wird bestimmt um das Bild zu vervollständigen. Dieser wird auch als jährlicher Materialabfluss aus den Beständen verstanden.

## **4.2 Forschungsvorhaben und Abgrenzung**

In der vorliegenden Arbeit wird eine Analyse des Verkehrssystems in Wien durchgeführt. Bestände, die der Mobilität im Stadtgebiet dienen, damit zusammenhängende Materialflüsse sowie dadurch zur Verfügung stehenden Services werden erfasst. Ähnlich wie in den Arbeiten von Miatto et al. 2017 oder Tanikawa et al. 2014 wird mit einem statischen, materialbestandsgetriebenen „Bottom-Up“-Ansatz zur Analyse der Materialbestände gearbeitet.

### **4.2.1 Abgrenzung des Forschungsvorhabens**

#### **4.2.1.1 Abgrenzung der Bestandserfassung**

Die Grenzen des Verkehrssystems in Wien sind schwierig festzulegen. Die Stadt ist durch das Verkehrssystem stark mit dem Umland verbunden und nicht davon unabhängig zu sehen. Auch innerhalb der Stadtgrenzen sind Systemgrenzen festzulegen, um die Analyse konsistent durchzuführen. Die Operationalisierung erfolgt mit folgenden Beschränkungen:

- Räumliche Systemgrenze für die Erfassung der Bestände ist die administrative Stadtgrenze (identisch mit dem Bundesland Wien). Diese wird in der Erfassung der Mobilität beibehalten, wenn sich Personen und Bestände über die Stadtgrenze bewegen.
- Es werden die wichtigsten passiven Bestände (wie Straßen- und Schienennetz, Brücken, Tunnel, Garagen) und aktiven Bestände (wie Busse, Züge, Fahrräder, PKW) erfasst. Kleinere Elemente wie etwa 372 Stützmauern und Stiegen-Anlagen, 24 Lärmschutzwände oder andere Sonderobjekte (MA 29, 2019) werden nicht einbezogen. Alternative Fortbewegungsmittel wie Motorräder, Mopeds, (elektrische) Scooter, Longboards, Skateboards, Segways und Inline-Skates werden nicht analysiert.
- Neben den direkt genutzten Infrastrukturen und Fahrzeugen ist eine Reihe an weiteren Infrastrukturen sowie Betriebsmitteln im Hintergrund nötig, um das Verkehrssystem funktionstüchtig zu machen bzw. zu erhalten, wie zum Beispiel Straßenreinigungs- und Streufahrzeuge, administrative Gebäude der Verkehrsbetriebe und -behörden, Werkstätten und Maschinen für Reparaturzwecke und Ausstattung für Verkehrsplanung und -ordnung, für Geschwindigkeitskontrollen bzw. Parkordnungs-Überwachung. Diese werden nicht berücksichtigt, der Fokus liegt auf dem Materialbestand, der direkt für die Fortbewegung bzw. für die Unterbringung der Fortbewegungsmittel benötigt wird, sofern eindeutig abgrenzbar. Betriebsmittel wie Reinigungsmittel, Streusplitt, Salz, Motoröl etc. werden aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit zum Verbrauch und geringer Bedeutung im Gesamtüberblick nicht berücksichtigt.
- Die Gesamtanzahl von 196 Tankstellen in Wien ist bekannt, doch konnten keine Angaben über Größen oder Materialintensitäten erhoben werden. Tankstellen werden daher nicht berücksichtigt.

#### 4.2.1.2 Abgrenzung der Erfassung von Materialflüssen

Die mit dem Verkehrssystem in Zusammenhang stehenden Materialflüsse können nicht direkt erhoben werden, da in den meisten Fällen keine entsprechenden Daten verfügbar sind. Um den Stock-Flow-Service Nexus zu erfassen, wird daher eine Abschätzung der relevantesten Komponenten aus verfügbaren Daten und Annahmen errechnet.

Der Fokus liegt in dieser Arbeit auf den theoretischen, durchschnittlichen, jährlichen Materialflüssen die erforderlich sind, um den aktuellen Bestand langfristig zu erhalten bzw. ihn zu nutzen. Materialflüsse für den Ausbau des Verkehrssystems (Bestandserweiterung), bzw. gegebenenfalls auch aus einer Bestandsabnahme, werden nicht systematisch erfasst und nur ergänzend berücksichtigt. In den relevantesten Kategorien für die Daten verfügbar sind (Verkehrsflächen, PKW, U-Bahn-Netz – siehe Tabelle 4) wird dieser aus den vorhandenen Angaben zu den Bestandsveränderungen über die letzten Jahre hinweg geschätzt, diese Zuflüsse werden jedoch nicht in die Gesamtbetrachtung der laufenden Materialflüsse mit einbezogen.

Im Zuge dieser Analyse wird ein theoretischer jährlicher Materialbedarf für die Erhaltung des aktuellen Bestandsniveaus, berechnet. Dieser wird durch die Abschreibung des für ein Jahr ermittelten Materialbestands über seine Lebensdauer hinweg ermittelt. Die so ermittelten Materialflüsse sind als hypothetischer jährlicher Materialinput bzw. -output im Zusammenhang mit der Bestandserhaltung zu verstehen. Sofern Daten vorhanden waren oder geschätzt werden konnten, wurden auch Renovierungsflüsse mit einbezogen, die sich auf einfacher austauschbare Bestandselemente mit kürzerer Nutzungsdauer beziehen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die einberechneten Materialflüsse, die im Folgenden als „laufende Materialflüsse“ bezeichnet werden.

**Tabelle 4: Angabe der Berechnung laufender Materialflüsse für die verschiedenen Bestände**

	Bestands- veränderung	Laufende Materialflüsse	
		für Renovierung	für Ersatz bis zum Ende der Lebensdauer
<b>Verkehrsflächen</b>	berechnet	inkludiert	inkludiert
<b>Parkinfrastrukturen</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>PKW</b>	berechnet	keine Daten	inkludiert
<b>Fahrräder</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>E-Bikes</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>U-Bahn-Netz</b>	berechnet	inkludiert	inkludiert
<b>U-Bahn-Züge</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Tram Netz</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Tramwägen</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Linienbusse und Postbusse</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Schienennetz der ÖBB</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Züge und S-Bahnen</b>	keine Daten	keine Daten	inkludiert
<b>Beleuchtung</b>	keine Daten	inkludiert	inkludiert
<b>Tunnel</b>	keine Daten	nicht existent	inkludiert
<b>Brücken</b>	keine Daten	nicht relevant	inkludiert
<b>Bodenmarkierungen</b>	nicht relevant	inkludiert	nicht existent
<b>Verkehrszeichen</b>	keine Daten	nicht relevant	inkludiert

Berechnet werden nur die direkt in die Bestände fließenden Materialien. Nicht mit einbezogen werden indirekte Materialflüsse, zum Beispiel der Materialaufwand und die Bestände, die im vorgelagerten Herstellungsprozess der Bestände eingesetzt werden (z.B. Verschleiß, Produktionsmaschinen und Werkzeuge, Fabrikgebäude etc.). Entsprechend beschränkt sich die Betrachtung der Energieflüsse auch auf die für den Fahrzeugbetrieb bzw. Betrieb der Stationen des öffentlichen Verkehrs direkt nötige Energie, während die für die Herstellung und Entsorgung der Bestände benötigte Energie hier nicht berücksichtigt wird (indirekte Energieflüsse). Auch menschliche bzw. tierische Arbeitskraft ist in der Betrachtung von Energieflüssen nicht inkludiert.

#### **4.2.1.3 Abgrenzung der Erfassung von Mobilität**

Mobilität ist ein gesellschaftliches Phänomen mit vielen Auswirkungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht alle betrachtet werden können. In erster Linie geht es hier darum, die Mobilität im Stadtgebiet als Service in einer mess- und vergleichbaren Größe zu erfassen. Aufgrund von Restriktionen durch begrenzte Datenverfügbarkeit und um die Arbeit in einem angemessenen Rahmen zu halten, werden Bestimmte Teile und Aspekte von Mobilität exkludiert.

- Der Fokus liegt auf privater Personenmobilität, der Güterverkehr wird nicht betrachtet und kann mangels Daten nicht beziffert werden, obwohl dieser dieselben Infrastrukturen nutzt. Auch die Mobilität des öffentlichen Dienstes wie z.B. Polizei oder Post werden nicht berücksichtigt. Alle Berechnungen, die Infrastrukturen und deren Materialbedarf in Verbindung mit Mobilität bringen, sind daher nur im Bewusstsein dieser nicht näher betrachteten Akteure des Verkehrssystems zu interpretieren.
- Der Schiffs- und Flugverkehr wird nicht mit einbezogen. Der Flughafen liegt außerhalb der Stadtgrenzen und der Verkehr mit Helikoptern wird abgegrenzt, da er für private Personenmobilität kaum eine Rolle spielt.
- Motive für Mobilität, Emissionen durch den Verkehr, soziale und monetäre Faktoren in Bezug auf den Verkehrssektor sind nicht Teil der Analyse. Der Beschäftigungsfaktor und gesundheitliche Faktoren (z.B.: körperliche Aktivität, Schadstoffbelastung) werden nicht untersucht.

#### **4.2.1.4 Weitere Abgrenzungen**

Die Daten zum Verkehrssystem sowie zur Mobilität stammen aus dem Zeitraum 2010-2018, wobei aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit kein einheitliches Bezugsjahr bestimmt werden konnte. Die Analyse erfolgt daher für ein exemplarisches Jahr aus dem letzten Jahrzehnt, ohne sich auf ein konkretes Jahr beziehen zu können. Da Materialbestände in Wien relativ geringen Änderungen von Jahr zu Jahr unterliegen, dürfte die daraus entstehende Ungenauigkeit gering sein. Mobilitätsdaten werden nur selten erhoben und können daher nur wie verfügbar verwendet werden, wobei neueren Daten der Vorzug gegeben wird.

## 4.2.2 Datengrundlagen & Vorgangsweise

Als Datengrundlagen für die Bestandsberechnung wurden in erster Linie statistische Daten und Kennzahlen der verwaltenden Organe verwendet. Wo keine Daten verfügbar waren oder der Erhebungsaufwand den Rahmen der Arbeit überstiegen hätte, wurden diese durch Expertenschätzungen, Annahmen sowie Durchschnittswerte aus der Literatur ergänzt. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Quellen und Schätzverfahren. Detaillierter wird auf die Vorgangsweise in den einzelnen Kapiteln zu Materialbeständen eingegangen. Ein Überblick über die wichtigsten Materialintensitäten und Lebensdauern erfolgt zusammenfassend am Ende des ersten Ergebniskapitels.

**Tabelle 5: Datengrundlagen und Prozess der Ermittlung von Materialbeständen und -flüssen des Verkehrssystems**

Bestand	Wichtigste Quellen	Ausgangsbasis und Berechnung
<b>Verkehrsflächen, Nutzung</b>	(Ablinger, 2018; Gragger, 2018; Handbichler, 2018; Jaderny, 2018; Kugler, 2018; MA 23, 2017; Wallner, 2018)	<p>Daten über die Ausdehnung der Verkehrsflächen wurden von MA 28 und ASFINAG<sup>7</sup> erhoben, ebenso der Regelaufbau diverser Straßentypen und die Zweckwidmung der Fläche (Fahrbahn, Radweg, Fußgängerzone, Gehsteig). Auch Schätzungen zu der groben Aufteilung der Flächen auf die häufigsten Regelaufbautypen lagen vor. Der Bestand wurde durch die Daten zur Ausdehnung und zu den errechneten Materialintensitäten ermittelt.</p> <p>Durchschnittliche Lebensdauern für die unterschiedlichen Straßenschichten wurden ebenfalls von MA 28 und ASFINAG erhoben und angewendet, um die laufenden Materialflüsse zu berechnen. Da für die unterschiedlichen Schichten eigene Lebensdauern bekannt sind, kann hier eine Unterscheidung in Renovierungs- und Ersatzflüsse erfolgen. Zuflüsse für Bestandserweiterung können aus der Entwicklung der Verkehrsflächen über die letzten Jahre hinweg geschätzt werden.</p>
<b>Brücken</b>	(Gragger, 2018; Gruber, 2018)  (Steger et al., 2011)	<p>Daten zu Brücken in Wien sind nur mangelhaft verfügbar. Die Gesamtanzahl und die Aufteilung auf verschiedene Trägerorganisationen wurden erhoben. Da nur für einen kleinen Teil der Brücken Flächen und Längen bekannt sind (Gragger, 2018), wurden Mittelwerte gebildet und Materialintensität sowie die Lebensdauer aus der Literatur (Steger et al., 2011) benutzt, um den Materialbestand und den laufenden Materialfluss für Erhaltung zu ermitteln. Zur Renovierung sind keine Daten bekannt, es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese Bestandskategorie hauptsächlich Ersatzflüsse benötigt. <i>Die Kategorie der Brücken kann nur als Schätzung verstanden werden.</i></p>
<b>Tunnel</b>	(BMVIT, 2011)	<p>Die Anzahl der Tunnel und Röhren in Wien für das Jahr 2011 sind bekannt. Materialintensität und Lebensdauer wurden der Literatur entnommen (Steger et al., 2011), da keine Wien-spezifischen Daten verfügbar waren. Zum Materialfluss für Renovierung liegen keine Daten vor, es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese Bestandskategorie hauptsächlich Ersatzflüsse benötigt. <i>Die Kategorie der Tunnel kann nur als Schätzung verstanden werden.</i></p>

<sup>7</sup> Die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft ist eine österreichische Infrastrukturgeellschaft und plant, finanziert, baut, erhält, betreibt und bemaht 2.200 Kilometer Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich.

<b>Beleuchtung, Signalgeber</b>	<p>MA 33 (Terzer, 2015; Wötzl, 2018)</p> <p>Homepages der Anbieter technischer Produkte (Meinhart Kabel Österreich GmbH, 2019a, 2019b; Pfeiffer Stahlrohrmaste GmbH, 2019)</p>	<p>Daten zu den Leuchten und deren Tragwerken, Leitungen sowie Signalgebern im Wiener Straßennetz wurden von der MA 33 zur Verfügung gestellt. Mittels Bildung von Durchschnittstypen, Schätzung der Kabellängen aus einem einfachen Modell des Beleuchtungssystems und Ergänzung mit technischen Informationen von Herstellern diverser Komponenten, wurden die Materialbestände mit einem detaillierten Split in Materialgruppen berechnet. Auch Daten zum Austausch und zur Renovierung wurden von MA 33 zur Verfügung gestellt.</p>
<b>Öffentliche Parkflächen, Parkgaragen, Parkplätze</b>	<p>(BMVIT, 2013; Plautz, 2018; ZIS+P Verkehrsplanung, 2014)</p> <p>Websites der größten Garagenanbieter: (APCOA PARKING Austria GmbH, 2018; Best in Parking – Holding AG, 2018; BOE Gebäudemanagement GmbH, 2018; Contipark International Austria GmbH, 2018; Wipark Garagen GmbH, 2018)</p>	<p>Die Anzahl der Parkplätze im öffentlichen Raum wurde von der MA 18 erhoben und durch eine Flächenbedarfsschätzung des BMVIT 2013 in Quadratmeter umgerechnet.</p> <p>Aggregierte Daten zu Parkhäusern und Tiefgaragen sind nicht verfügbar, nur eine Gesamtanzahl ist bekannt. Durch die Auswertung der Parkhaus-, Parkplatz- und Tiefgaragenanzahlen inkl. der jeweiligen Stellplatzzahlen der fünf größten Anbieter Wiens (Apcoa, BOE, Contipark, Wipark, Best in Parking) konnten 60% aller Parkhäuser und Tiefgaragen gezählt und eine durchschnittliche Stellplatzzahl pro Parkhaus und pro Tiefgarage errechnet, sowie die Aufteilung in ober- und unterirdischen Garagen abgeschätzt werden. Diese Daten wurden für ganz Wien hochgerechnet und mit Materialintensitäten des IÖR<sup>8</sup> multipliziert.</p> <p>Zur Nutzungsdauer von Parkhäusern und Tiefgaragen sind keine Auswertungen verfügbar. Die Schätzung des IÖR beläuft sich auf 50 Jahre. Somit wurden laufende Materialflüsse für die Erhaltung der Bestände über die Lebensdauer hinweg errechnet.</p>
<b>Parkgaragen, Parkplätze (privat)</b>	<p>(Plautz, 2018)</p>	<p>Daten zu privaten Parkplätzen und Garagen in Wohnhäusern sind nicht verfügbar und mussten durch eigene Schätzung auf Basis der Daten von MA 18 ergänzt werden.</p>
<b>Fahrzeuge (PKW, Fahrräder, Leihräder Citybike)</b>	<p>(BMVIT, 2013; Dechant, 2018; LeGall, 2018; MA 23, 2017; Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2016; Schimpl, 2018)</p>	<p>Für diese Arbeit wurde nur der private Personenverkehr berücksichtigt. Anzahlen von in Wien zugelassenen PKW wurden erhoben und mittels technischen Daten (Schimpl, 2018) hochgerechnet. Für PKW wurde eine durchschnittliche Zuwachsrate aus den Zulassungen seit 2007 errechnet. Somit wurde ein Materialzufluss für Bestandserweiterung geschätzt. Auch der laufende Materialfluss für Bestandserhaltung wurde über die Lebensdauer errechnet.</p> <p>Anzahlen von Fahrrädern und E-Bikes wurden aus dem Mittelwert mehrerer Angaben geschätzt und mit Materialintensitätsdaten aus Expertenschätzungen (Schimpl, 2018) hochgerechnet. Weitere Daten und Schätzungen für das Leihradsystem „Citybike“ konnten durch persönliche Kommunikation erhoben werden. Andere Fortbewegungsmittel wurden aufgrund der geringen Bedeutung nicht miteinbezogen.</p> <p>Die Berechnung der laufenden Materialflüsse für die Erhaltung des Fahrradbestandes erfolgte auf Basis der Angaben von Statistik Austria, dem BMF (offizielle Abschreibungsdauer), der Stadt Wien und Citybike.</p>

<sup>8</sup> Das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) mit Sitz in Dresden ist eine raumwissenschaftliche Forschungseinrichtung.

<p><b>Kleinere Bestände: Verkehrs-schilder, Bodenmar-kierungen, Fahrrad-Abstellan-lagen etc.</b></p>	<p>MA 18 (Plautz), MA 28; Homepages der Anbieter technischer Produkte (Kommunalbedarf.at, 2018; Paul Jaeger GmbH &amp; Co. KG, 2018; Sauter Edelstahl AG, 2018; Schilder- &amp; Stempelhaus, 2018)</p>	<p>Die Anzahlen diverser kleinerer Verkehrselemente wurden bei MA 18 und MA 28 erhoben und mit Materialintensitäten von Anbietern von Kommunalbedarfsprodukten hochgerechnet.</p> <p>Durch die Angaben technischer Hersteller bzw. der Magistratsabteilungen der Stadt Wien wurden laufende Materialflüsse für Ersatz bzw. Renovierung errechnet.</p>
<p><b>Öffentlicher Verkehr: U-Bahn, Tram, Bus</b></p>	<p>Wiener Linien Betriebsangaben 2017, Studien (Gassner, 2013; Gassner et al., 2018b; Lederer et al., 2016a, 2010)</p>	<p>Generelle Daten zu den Netzen der Wiener Linien sind öffentlich verfügbar. Da das Unternehmen keine weiteren Auskünfte erteilte, wurden fehlende Informationen sowie Materialintensitäten mit Daten aus Studien über die Wiener Linien von Lederer et al. und Gassner et al. ergänzt. Kleinere Elemente wie Straßenbahnschilder, Masten, Wartehäuschen, Bänke etc. konnten nicht berücksichtigt werden.</p> <p>Auch die laufenden Materialflüsse für Ersatz wurden auf Basis von Nutzungsdauern aus den genannten Studien abgeschätzt. Für das U-Bahn-Netz liegt auch eine Schätzung zu den Renovierungsflüssen von Lederer et al. (2016a) vor, mit der ein weiterer Materialfluss für Renovierung berechnet wurde.</p>
<p><b>S-Bahn, Regionalzug und Privatbahnen</b></p>	<p>(Brezina et al., 2015; Gassner et al., 2018b; Moravec, 2019; ÖBB-Holding AG, 2018; Schwarzmaier, 2019; Steger et al., 2011)</p>	<p>Generelle Daten zu den Netzen der ÖBB sind öffentlich verfügbar bzw. wurden durch persönliche Kommunikation erhoben. Problematisch ist die Abgrenzbarkeit für das Stadtgebiet, da meist nur Daten zur Ostregion (inkl. Teilen von Burgenland, Niederösterreich) verfügbar sind. Die Materialintensitäten wurden aus der Literatur (Steger et al., 2011) ergänzt.</p> <p>Auch die laufenden Materialflüsse für Bestandserhaltung wurden auf Basis von Nutzungsdauern aus den genannten Studien abgeschätzt.</p>
<p><b>Mobilität in Wien</b></p>	<p>(BMVIT, 2016; Gassner et al., 2018b; MA 23, 2019; Rittler, 2011; Statistik Austria, 2016; Wolkingner et al., 2018)</p>	<p>Die Messung der Personenmobilität ist zeit- und kostenaufwändig, daher existieren kaum derartige Messergebnisse. Auch über Güterverkehr oder die Mobilität des öffentlichen Dienstes sind keine Daten verfügbar. Die Mobilität privater Personen in diversen Mobilitätsformen wurde 2014 auf Basis von Befragungen für Wien erhoben und veröffentlicht. Auf Basis dieser Daten und durch Vergleich mit Schätzungen aus anderen Studien wurde die Personenmobilität der Wiener BewohnerInnen ermittelt. Mobilitätsdaten zu PendlerInnen und TouristInnen sind für Wien nicht verfügbar und wurden auf Basis von allgemeinen Angaben zu Pendelfrequenzen (Rittler, 2011) und Nächtigunzzahlen (MA 23, 2019) geschätzt.</p>
<p><b>Energieflüsse für Mobilität</b></p>	<p>(BMVIT, 2016; Gassner et al., 2018b; MA 20, 2017; Umweltbundesamt, 2018, 2009)</p>	<p>Die Endenergieverbräuche für verschiedene Mobilitätsformen wurden dem Energiebericht (MA 20, 2017) für Wien entnommen und mit anderen Quellen und Vergleichsrechnungen aus anderen Angaben verglichen bzw. ergänzt. Der Energieverbrauch, der für die weitere MIV-Mobilität von PendlerInnen hinzuzurechnen ist, über die Schätzung ihrer Mobilität und ihres Treibstoffverbrauchs (MA 20, 2017) hinzugeschätzt.</p>

## 5 Teilergebnisse: Materialintensitäten, Bestände und Flüsse

*Hinweis: Die Einzelwerte in dieser Arbeit sind immer ohne Rücksicht auf die Endsumme korrekt auf- bzw. abgerundet. Die Summen können daher geringfügig von der Summe der Einzelwerte abweichen bzw. 100% leicht über- oder unterschreiten.*

### 5.1 Straßenbasierter Verkehr

Zum straßenbasierten Verkehrssystem zählen alle Verkehrsflächen für unterschiedliche Nutzungsarten sowie Brücken und Tunnel, Abstellflächen und andere Parkinfrastrukturen wie Parkhäuser und Tiefgaragen und das Beleuchtungs- und Signalgebersystem. Außerdem werden die aktiven Bestände des straßenbasierten Verkehrssystems, bestehend aus Fahrzeugen inkl. PKW, Fahrrädern, E-Bikes und Citybikes in diesem Kapitel behandelt.

#### 5.1.1 Flächen und deren Nutzung

Die Stadt Wien hat eine Gesamtfläche von ca. 414,8 km<sup>2</sup>, ungefähr 15 % dieser Fläche ist dem Verkehr inkl. dazugehörigen Grünflächen gewidmet. Im Stadtgebiet bestehen (Stand 2018) Gemeindestraßenflächen von ca. 41 km<sup>2</sup>, wobei ein kleiner Teil davon unbefestigte Fläche ist und hier nicht weiter berücksichtigt wird. Die gesamte befestigte Verkehrsfläche beläuft sich auf 36,8 km<sup>2</sup>, wovon der Hauptteil von 34,5 km<sup>2</sup> von der Stadt Wien betreute Gemeindestraßen sind und ein kleiner Teil an Autobahn- und Schnellstraßenstrecken von der ASFINAG verwaltet wird. Tabelle 6 zeigt die genauere Aufteilung der Verkehrsflächen in Wien. Der Hauptteil der Verkehrsflächen besteht aus Fahrbahn- und Stellplatzflächen, ein Drittel aus Gehsteigen und nur ein geringer Teil aus Radwegen und Fußgängerzonen (Ablinger, 2018; Gragger, 2018; MA 23, 2017).

**Tabelle 6: Verkehrsflächen in Wien in Quadratmetern**

Daten: MA 28 (Handbichler, 2018)

Gesamt [m <sup>2</sup> ]				
	Pflasterbelag	Asphaltbelag	Zementbeton	Summe
<b>Gehsteige</b>	1.090.267	9.858.571	154.903	<b>11.103.741</b>
<b>Fußgängerzonen</b>	209.011	142.657	6.759	<b>358.427</b>
Fahrbahnen Stadt Wien	1.736.937	19.167.904	1.751.952	22.656.793
Fahrbahnen - ASFINAG		2.003.152	296.848	2.300.000
<b>Fahrbahnen gesamt</b>	1.736.937	21.171.056	2.048.800	<b>24.956.793</b>
<b>Radwege</b>	10.846	390.812	418	<b>402.076</b>
<b>Gesamtsumme</b>	3.047.061	31.563.096	2.210.880	<b>36.821.037</b>

Die angegebenen Flächen können nicht direkt den verschiedenen Mobilitätsformen zugerechnet werden, da es in fast jeder Kategorie Vermischungen gibt. So befinden sich zum Beispiel auch auf Gehsteigen Radstreifen, manche Fußgängerzonen dürfen vom Radverkehr genutzt werden, Fahrbahnflächen werden teilweise von FußgängerInnen, RadfahrerInnen, Straßenbahnen und Bussen genutzt und beinhalten außerdem Stellflächen für PKW und Fahrräder am Straßenrand.

Durch Schätzungen und Hochrechnungen wurden die Flächen und die dazugehörigen Materialbestände teilweise umverteilt und anderen Mobilitätsformen zugewiesen. Diese Werte sind

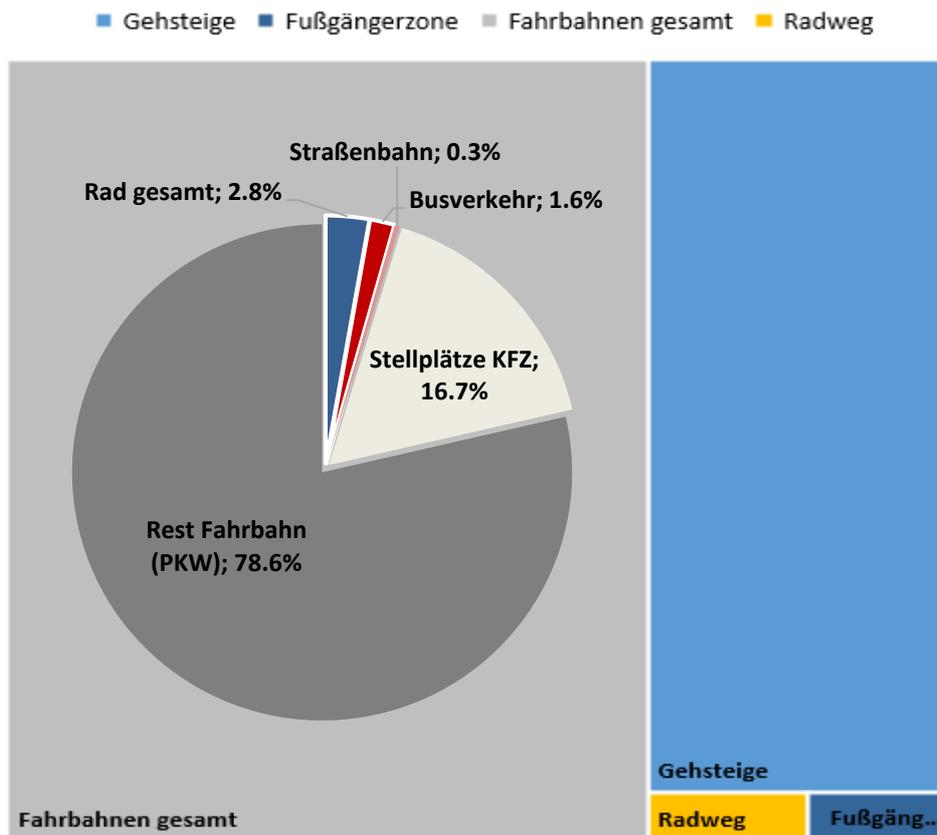
jedoch allgemein sehr gering, da die Nutzung nur zeitweise erfolgt und zum Beispiel im Fall der Fahrräder auch nur einen sehr geringen Flächenbedarf hat. Folgende Anteile wurden berücksichtigt:

- Der Anteil der Radwege auf Gehsteigen (8 %) und deren ungefähre Breite (2,2 m) (BMVIT, 2013) wurde mit der Gesamtlänge der Radverkehrsanlagen (1.346 km) (MA 23, 2017) multipliziert. Die Fläche von ca. 243.000 m<sup>2</sup> oder 2,2 % der Gehsteigflächen wurde von den Fußgängerflächen abgezogen, und dem Radverkehr zugeteilt.
- Fußgängerzonen können auch teilweise von RadfahrerInnen befahren werden. Mit derselben Vorgehensweise – Anteil (0,3 %) und Breite (1 m) (BMVIT, 2013) multipliziert mit der Gesamtradwegnetz-Länge (1.346 km) (MA 23, 2017) – wurde eine Fläche von ca. 2.000 m<sup>2</sup> ermittelt, welche 0,6 % der Fußgängerfläche zu Flächen für FahrradfahrerInnen werden lässt.
- Die 22.656.793 m<sup>2</sup> Fahrbahnflächen werden auch durch den öffentlichen Verkehr sowie den Radverkehr benutzt. Des Weiteren sind in dieser Kategorie auch Stellplatzflächen für Fahrräder und PKW inkludiert.
  - Die Nutzung durch den Radverkehr wurde mittels Hochrechnung des Radwegnetzes auf Straßen – Anteil (55 %) und Breite (1,5 m) (BMVIT, 2013) multipliziert mit der Gesamtradwegnetz-Länge von 1.346 km (MA 23, 2017) – vorgenommen und liegt bei ca. 554.000 m<sup>2</sup> oder 2,4 % der Fahrbahnfläche.
  - Die Stellplätze für Fahrräder wurden durch Hochrechnung der Gesamtstellplatzzahl von 43.800 Stellplätzen für Wien mit dem ungefähren Flächenverbrauch eines Fahrrades von 1,9 m<sup>2</sup> (BMVIT, 2013) vorgenommen. Insgesamt verbrauchen alle Radabstellplätze 82.000 m<sup>2</sup> und, da angenommen wird, dass diese sich zu größtem Teil am Rand der Fahrbahnflächen befinden, wurden diese 0,4 % der Fahrbahnen dem Radverkehr zugerechnet.
  - Zu den Fahrbahnflächen, die vom öffentlichen Verkehr genutzt werden, konnten keine genauen Daten erhoben werden. Die Hochrechnung erfolgte mittels Multiplikation der Länge des Busnetzes (846 km) bzw. Straßenbahnnetzes (220 km) der Wiener Linien (Wiener Linien, 2017) mit ungefähren Spurbreiten der Fahrzeuge (4,25 bzw. 3,25 m, (Randelhoff, 2019)). Da angenommen wird, dass die meisten dieser Flächen sich auf Fahrbahnen befinden, die auch bzw. vor allem durch den PKW-Verkehr genutzt werden, wurden nur 10 %<sup>9</sup> der so errechneten Flächen exklusiv dem öffentlichen Verkehr zugeteilt. Es werden daher ca. 72.000 m<sup>2</sup> oder 0,3 % der Fahrbahnen dem Verkehrsmittel Straßenbahn und 360.000 m<sup>2</sup> oder 1,6 % den Bussen zugeteilt, wie in Abbildung 3 ersichtlich.
  - Die Stellplätze für PKW ergeben sich aus der Multiplikation der 280.000 Gesamtstellplätze im öffentlichen Raum (Plautz, 2018) mit deren ungefähigem Flächenbedarf von 13,5 m<sup>2</sup> (Randelhoff, 2019). Insgesamt werden 3.780.000 m<sup>2</sup> der Wiener Straßenfläche als Stellplatzflächen genutzt.
  - Die Nutzung durch FußgängerInnen auf Zebrastreifen wurde vernachlässigt, da sie nicht quantifizierbar ist und vermutlich einen sehr geringen Flächenbedarf beansprucht sowie nur zeitweise erfolgt.

---

<sup>9</sup> Anmerkung: Bus und Straßenbahn verkehren auf Fahrbahnen je nach Intervall alle 5-15 Minuten während der fahrplanmäßigen Zeiten. Es wird angenommen, dass binnen diesem Intervall auch mindestens 10 PKW dieselbe Spur befahren.

Wie in Abbildung 3 dargestellt ist der größte Teil der Fahrbahnflächen für die Fortbewegung von PKW und anderen Fahrzeugen gestaltet. In der Darstellung der Fahrbahnflächen sind allerdings auch Flächen für andere Zwecke inkludiert, wie oben beschrieben. Die größte Fläche davon ist die Fläche für Stellplätze auf Fahrbahnen, welche allerdings ausschließlich dem KFZ-Verkehr zur Verfügung steht und somit keine Veränderung an der Aufteilung der Verkehrsflächen auf die verschiedenen Mobilitätsformen verursacht. Der öffentliche Verkehr benötigt nach dieser Berechnung insgesamt nicht ganz 2 % und der Radverkehr etwas weniger als 3 % der Fahrbahnflächen Wiens. Dies bedeutet, dass insgesamt 95,3 % der Fahrbahnfläche für die Fortbewegung und das Abstellen von PKW zur Verfügung steht.



**Abbildung 3: Aufteilung der befestigten Verkehrsflächen in Wien nach Nutzungswidmung.**  
Eigene Darstellung; Das Kreisdiagramm zeigt die anteilmäßige Nutzung von Fahrbahnflächen.

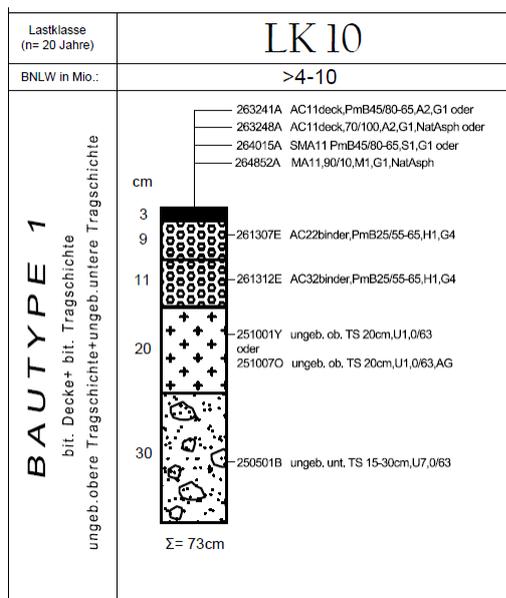
### 5.1.2 Materialbestand der Verkehrsflächen

Grundsätzlich werden drei Typen von Belagsarten für Gehsteige, Fußgängerzonen, Fahrbahnen und Radwege verwendet: **Asphalt-, Zementbeton- und Pflasterbelag**. 86 % der Gesamtfläche ist mit Asphaltbelag ausgestaltet (Handbichler, 2018). Diese Typen von Straßenaufbau unterscheiden sich hinsichtlich der verwendeten Schichten und deren Stärken sowie der verwendeten Materialien. Die Materialintensitäten müssen daher einzeln pro Belagsart berechnet werden. Zunächst wird die Zusammensetzung des Bestandes von einem Quadratmeter Verkehrsfläche für die diversen Belagstypen in Volums-% berechnet. Die Volumina verschiedener Schichten werden in Anteile diverser Materialien unterteilt, welche mit ihrem spezifischen Gewicht (Dichte) multipliziert werden. Alle Materialien aller Schichten eines Quadratmeters werden schließlich addiert. Danach können die ermittelten Massen auf die Gesamtfläche eines bestimmten Typs hochgerechnet werden.

### 5.1.2.1 Materialintensität

Nicht nur die Belagsart, sondern auch die erwartete gewichtsmäßige Belastung einer Verkehrsfläche hat Einfluss darauf, wie genau sie ausgestaltet wird. So existieren für jede Belagsart unterschiedliche Lastklassen, für die jeweils Vorgaben zum erforderlichen Schichtaufbau vorliegen. Die Regelquerschnitte der Stadt Wien geben Detailinformationen darüber, wie diverse Typen von Verkehrsflächen in verschiedenen Lastklassen (LK) aufzubauen sind. Von den ca. 25 verschiedenen Bautypen wurden die neun wichtigsten berücksichtigt, um den Materialbestand der Verkehrsflächen zu berechnen. Diese wurden nach Einschätzungen der betreuenden Magistratsabteilung (Ablinger, 2018) über deren Flächenanteile ausgewählt:

- Zwei Typen (Asphalt- und Plattenbelag) für Gehsteige
- Drei Asphaltlastklassentypen für Fahrbahnen
  - LK 25: für alle hoch belasteten Straßenzüge wie Gürtel, Wienzeile, Franz Josefs-Kai, etc. insgesamt für 12 % der Asphaltfläche
  - LK 10: für alle Straßenzüge mit Linienbusverkehr und Hauptstraßenzüge gem. der Hauptstraßenverordnung; insgesamt 15 % der Asphaltfläche
  - LK 1,3: für alle Nebenstraßen ohne öffentlichen Verkehr, insgesamt 73 % der Asphaltfläche
- Zwei Betonklassen für Fahrbahnen: LK 40 und LK 18
- Zwei Pflasterstein- bzw. Plattendeckentypen für Fahrbahnen: LK 1,3 und LK 0,4

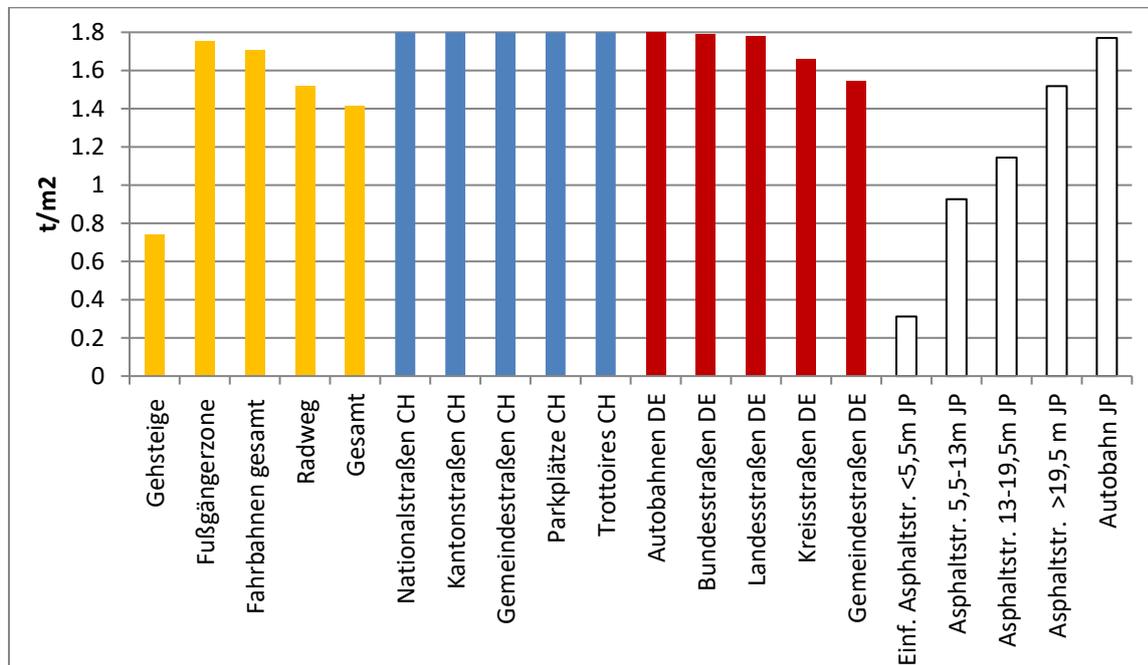


**Abbildung 4: Beispiel für einen Regelquerschnitt Asphaltbelag LK 10**

Quelle: MA 28, (Ablinger, 2018)

Die errechnete Materialintensität für die verschiedenen Flächentypen liegt zwischen 0,7 und 2,14 t/m<sup>2</sup>, wobei vor allem Gestein in verschiedenen Körnungen und geringe Anteile an Zement und Bitumen enthalten sind. Ein Vergleich mit Daten aus anderen Studien, die Straßen in der Schweiz, Deutschland oder Japan untersuchten, ergab ähnliche Werte. Beim Vergleich der errechneten Werte mit Literaturdaten liegt die Vermutung nahe, dass in der vorliegenden Arbeit wesentlich genauer zwischen Flächentypen und deren individuellen Materialintensitäten unterschieden wurde, als in der ausgewerteten Literatur. Die meisten Autoren nehmen keine getrennte Berechnung für Gehsteig- und Radwegflächen oder Fußgängerzonen vor. Bei Rübli und Jungbluth (2005) wurden diese Flächen zwar berechnet, jedoch mit denselben Materialintensitäten wie verschiedene Straßentypen angegeben, während in Wien die stärkste

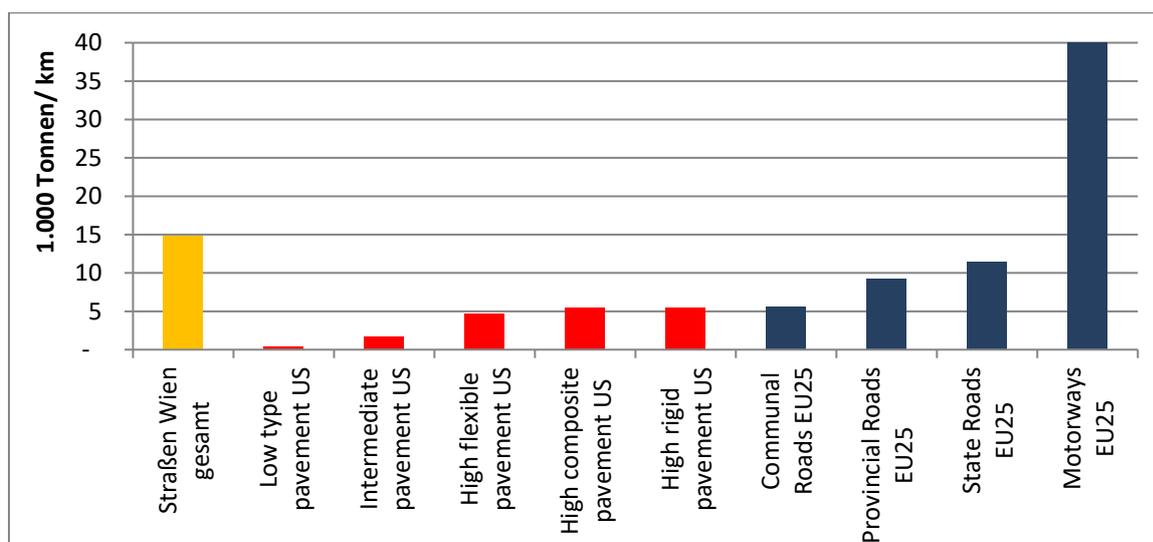
Fläche mehr als doppelt so viel Material beinhaltet als die dünnste (siehe Abbildung 5). Außerdem zeigt sich, dass die Straßenbauweise in Europa sich vermutlich stark von jener in Japan unterscheidet, da die Materialintensitäten für Flächen in Wien, in der Schweiz und in Deutschland durchwegs höher sind als die Flächen in Japan.



**Abbildung 5: Materialintensitäten diverser Verkehrsflächen in Tonnen/m<sup>2</sup>**

Eigene Darstellung: Vergleich von Materialintensitäten, die für Wien berechnet wurden (gelb) mit Daten aus der Schweiz (blau) (Rübli und Jungbluth, 2005) und Deutschland (rot) (Steger et al., 2011) sowie Japan (weiß) (Tanikawa et al., 2014)

In manchen Studien erfolgt nur eine Angabe der Materialintensität pro Kilometer Straßenlänge, was schwieriger vergleichbar ist, da sich auch die Straßenbreiten unterscheiden, was einen erheblichen Einfluss auf die Materialintensität der Fläche hat.



**Abbildung 6: Vergleich von Materialintensitäten in 1.000 Tonnen pro km Straßenlänge**

Eigene Darstellung: Daten aus eigener Berechnung (gelb) und aus Studien über die USA (Miatto et al., 2017) sowie die EU 25 (dunkelblau) (Wiedenhofer et al., 2015)

Beim Vergleich der Straßen-Materialintensitäten Wiens bzw. Europas mit jener aus den USA (Abbildung 6) wird deutlich, wie stark sich die Baustandards von Land zu Land bzw. auf diversen Kontinenten unterscheiden. Der Regelaufbau von Straßen in den USA ist wesentlich dünner als jener der Stadt Wien, das heißt die Stärke der Fahrbahn inkl. unterer Tragschichten ist wesentlich geringer und liegt bei 1-22 cm in den USA (Miatto et al., 2017), während in Wien sogar die dünnsten Flächen – Gehsteigbeläge – mit einer Stärke von 27,5 cm angegeben wurden (Ablinger, 2018). Das Gewicht der Verkehrsfläche pro Kilometer ist daher auch niedriger (447-5.528 t/km) als in Wien (14.830 t/km). Das Ergebnis für Wien liegt im Durchschnittsbe- reich der EU25 Ergebnisse (5.601-40.205 t/km), wobei die Vergleichbarkeit durch den unbe- kannten aber relevanten Faktor der Straßenbreite nur eingeschränkt gegeben ist. Aus diesem Grund überrascht auch das hohe Ergebnis für die Autobahnen der EU25 nicht, da diese mit Abstand die breitesten Straßen sind und daher auch ein höheres Gewicht pro Kilometer Stra- ßenlänge aufweisen.

### 5.1.2.2 Materialbestände in Wien

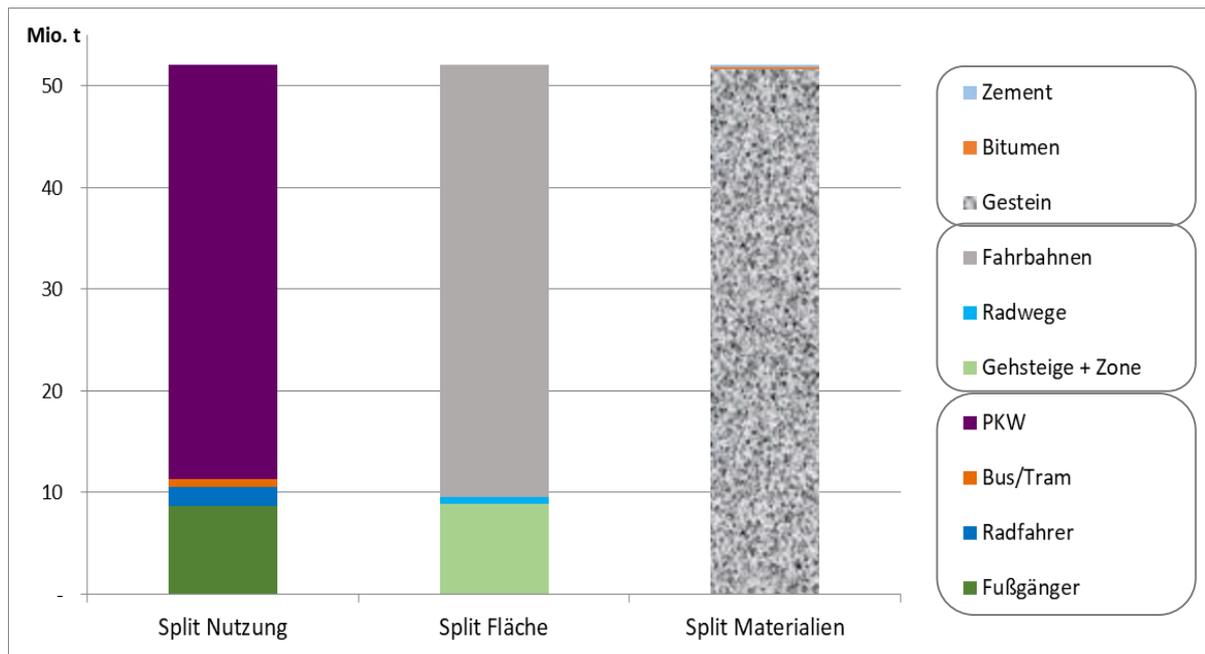
Die aus den Flächendaten und Materialintensitäten errechneten Materialbestände der Ver- kehrsflächen Wiens wiegen insgesamt 52 Mio. Tonnen, wie in Tabelle 7 ersichtlich. Davon ma- chen die Fahrbahnflächen mit fast 43 Mio. Tonnen den Hauptteil aus, gefolgt von Gehsteigen mit gut 8 Mio. Tonnen. Nur jeweils ca. 0,2 Mio. Tonnen der Gesamtmasse bestehen aus Bitu- men bzw. Zement, der überwiegende Anteil ist Gestein in verschiedenen Formen und Kör- nungsgrößen. Pro Kopf ergibt dies einen Bestand von 29,6 Tonnen, wobei die Fahrbahnflächen mit 24,2 Tonnen den Hauptanteil ausmachen.

**Tabelle 7: Gesamtsumme der Materialbestände von Verkehrsflächen in Wien in Tonnen und An- teile der Flächen mit Nutzung durch andere Mobilitätsformen je Kategorie**

Daten: (Ablinger, 2018; Gragger, 2018; Handbichler, 2018; Jaderny, 2018; MA 23, 2017; Wallner, 2018)

	[Tonnen]	Gestein	Bitumen	Zement	Summe
<b>Gehsteige</b>		<b>8.200.000</b>	<b>55.000</b>	<b>15.000</b>	<b>8.270.000</b>
Radstreifen auf Gehsteigen					181.000
<b>Fußgängerzone</b>		<b>627.000</b>	<b>1.000</b>	<b>600</b>	<b>629.000</b>
Nutzung durch Radverkehr					4.000
<b>Fahrbahnen gesamt (Stadt &amp; ASFINAG)</b>		<b>42.224.000</b>	<b>188.000</b>	<b>209.000</b>	<b>42.621.000</b>
Nutzung durch Radverkehr					926.000
Nutzung durch Straßenbahnverkehr					120.000
Nutzung durch Busverkehr					601.000
Stellplätze für PKW					6.317.000
Stellplätze für Fahrräder					137.000
<b>Radweg</b>		<b>608.000</b>	<b>3.000</b>	<b>40</b>	<b>611.000</b>
<b>Gesamtsumme aller Flächen</b>		<b>51.659.000</b>	<b>247.000</b>	<b>224.640</b>	<b>52.130.000</b>

Die Aufteilung der Materialbestände unterscheidet sich nur geringfügig zwischen tatsächlicher Nutzung und offizieller Flächenwidmung, dies wird auch durch den Vergleich der ersten bei- den Balken in Abbildung 7 deutlich. Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, wird nur ein kleiner Teil der Fahrbahn- und Stellplatzflächen von FahrradfahrerInnen und FußgängerInnen bzw. vom öffentlichen Verkehr genutzt. Insgesamt wird die Straße überwiegend von PKW genutzt, auch wenn sie zeitweise durch den öffentlichen Verkehr oder FahrradfahrerInnen mitbenützt wird.



**Abbildung 7: Materialbestände in Wien nach Nutzung, Fläche und Material gesplittet**

Aufteilung nach Nutzung (links), nach Flächenwidmung (Mitte) und nach Materialien (rechts)

Eigene Darstellung; Daten: (Ablinger, 2018; Gragger, 2018; Handbichler, 2018; Jaderny, 2018; MA 23, 2017; Randelhoff, 2019; Wallner, 2018; Wiener Linien, 2017)

### 5.1.2.3 Materialflüsse für Bestandsveränderung

Der Ausbau von Verkehrsflächen spielt in Wien kaum eine Rolle für die Bestimmung der gesamten jährlichen Materialflüsse. In den letzten Jahren wurden nur geringe Flächenveränderungen von Jahr zu Jahr verzeichnet. Die Aufteilung auf verschiedene Flächenarten ist nicht bekannt. Die Auswertung der Verkehrsflächen der letzten sieben Jahre (MA 23, 2017) zeigt, dass die Veränderung pro Jahr zwischen +0,2 % und +0,5 % liegt. Die Verkehrsfläche wird nur in geringem Ausmaß erweitert, jedes Jahr werden ca. 0,07-0,18 km<sup>2</sup> zusätzlich gebaut, was einem Materialzufluss von durchschnittlich 165.400 Tonnen im Jahr entspricht.

### 5.1.2.4 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Gewichtiger sind die laufenden Flüsse für Reparatur und Ersatz des Straßennetzes. Diese sind schwierig zu erheben, da die Stadt Wien Rahmenverträge mit Baufirmen unterhält, in denen Gesamtaufwände in monetären Einheiten vereinbart werden, die außerdem nicht eingesehen werden können. Es liegen keine Aufzeichnungen über den tatsächlichen Material- und Energiefluss für Erhaltung der Verkehrsflächen vor (Ablinger, 2018). Durch Expertenschätzungen der ASFINAG und der Stadt Wien über die durchschnittliche Nutzungsdauer der einzelnen Schichten von Verkehrsflächen wurden daher aus dem Bestand jährliche Materialflüsse für Bestandserhaltung geschätzt. In den Regelblättern zum Straßenaufbau wird eine allgemeine Nutzungsdauer für Straßen von 20 Jahren angegeben, welche für die obersten bituminösen Schichten gültig ist. Darunterliegende Schichten haben höhere Lebensdauern (ca. 40 Jahre), Betondecken ca. 30 Jahre (Ablinger, 2018). Die ASFINAG schätzt die Lebensdauer der meisten Schichten von Beton- und Asphaltstraßen auf 30 Jahre, wobei die oberste Deckschicht schon nach jeweils 15 Jahren ausgetauscht werden muss und die untersten Tragschichten sogar 70 Jahre bestehen können (Gragger, 2018).

Insgesamt ergibt sich daraus ein Materialinput von ungefähr 1.662.000 Tonnen jährlich. Fast 99 % davon setzen sich aus Gestein bzw. Schotter zusammen, ca. 12.000 Tonnen Bitumen und 7.500 Tonnen Zement sind des Weiteren enthalten. Viele Straßen werden jedoch bereits vor dem Ende ihrer Lebensdauer aus anderen Gründen abgetragen bzw. wiederhergestellt, zum Beispiel wegen Umbauarbeiten für Großabnehmer (wie z.B. Hotels), zur Leitungsertüchtigung, Neuverlegung von Glasfaserkabeln oder zu Reparaturen an verbauten Leitungen. In Wien werden rund 10.000 Aufgrabungen pro Jahr durchgeführt, wobei meist Arbeiten wie Neuverlegung von Leitungen mit dem Austausch der Straße am Ende der Lebensdauer koordiniert werden. Laut einer groben Schätzung der MA 28 könnte ca. ein Drittel der Aufgrabungen unvorhergesehen, also vor Ende der Lebensdauer einer Fläche, passieren. Die Aufgrabungsstellen sind von sehr unterschiedlicher Größe, mit einem geschätzten Mittelwert von 15 m<sup>2</sup> würde dies den Austausch von ca. 50.000 m<sup>2</sup> Fläche zusätzlich pro Jahr bedeuten (Ablinger, 2018). Multipliziert man diese Fläche mit der berechneten, durchschnittlichen Materialintensität von 1,42 t/m<sup>2</sup> so ginge es dabei um einen zusätzlichen Materialfluss für Renovierung von ca. 71.000 Tonnen Material, ca. weitere 4 % der berechneten Materialflüsse.

Die gesamten Materialflüsse für Erhaltung der Verkehrsflächen betragen demnach 1.732.000 Tonnen. Durch Austausch der obersten Schichten mit der kürzesten Lebensdauer und durch die oben erwähnten Aufgrabungen für andere Zwecke kommen davon ca. 47 % zustande. Diese 807.000 Tonnen können als Renovierungsflüsse bezeichnet werden. Die verbleibenden 925.000 Tonnen der Materialflüsse sind der Materialbedarf des Austauschs der gesamten Verkehrsflächenbestände inkl. unterer Schichten. Diese 53 % der Materialflüsse werden – in Anlehnung an Wiedenhofer et al. (2015) – als Ersatzflüsse bezeichnet.

### **5.1.3 Stellplätze für PKW und Fahrräder**

Daten zu Stellplätzen sind allgemein sehr schwierig zu erheben. Dies liegt vor allem daran, dass die Regelung zum Abstellen von PKW negativ definiert ist: Grundsätzlich darf man ein Fahrzeug überall dort abstellen, wo es nicht explizit verboten ist (Riedel, 2019). Der Erfassung von Stellplatzzahlen wird kaum Beachtung geschenkt – nicht nur bezüglich der zur Verfügung stehenden Flächen auf Straßen, sondern auch bezüglich der Anzahlen von Stellplätzen in bzw. bei Wohnhäusern, in Privatgaragen oder bei Geschäften und Büros, sind keine Daten verfügbar. Einzig die öffentlich gegen Entgelt benutzbaren Stellplätze in Parkhäusern und Tiefgaragen können auf der Basis von Informationen der Anbieter erhoben werden, was allerdings kleinteilige Informationen und kein vollständiges Bild liefert und daher nur als Basis für die Hochrechnung verwendet werden kann.

#### **5.1.3.1 Öffentliche Parkplätze für PKW**

Eine Gesamtanzahl der öffentlichen PKW-Parkplatzflächen ist nicht bekannt. Durch Auswertung der fünf größten Betreiber Wiens wurden 39 PKW-Parkplätze mit insgesamt 7.331 Stellplätzen gezählt. Die Materialbestände dieser Flächen wurde durch Anwendung der Materialintensität von Straßenflächen der Lastklasse 1,3 berechnet. Dies ergibt einen Gesamtbestand von ca. 150.000 Tonnen, der fast zur Gänze aus nicht-metallischen Mineralien besteht, ca. 700 Tonnen Bitumen sind darin enthalten. Auch die die Materialflüsse für Erhaltung des Bestandes wurden in derselben Vorgangsweise wie für Straßen berechnet und betragen knapp 5.000 Tonnen pro Durchschnittsjahr.

### **5.1.3.2 Private Parkplätze**

Eine grobe Schätzung der Stellplätze bei Wohnhäusern kann daraus abgeleitet werden, dass nach Expertenmeinung ca. 50 % der Wiener ihren PKW im öffentlichen Raum parken (Plautz, 2018). Dies würde bei einem Privat-PKW-Bestand von ca. 625.000 Fahrzeugen im Privatbesitz im Jahr 2018 eine Zahl von 312.000 Stellplätzen im öffentlichen Raum bedeuten. Das würde weiter bedeuten, dass die 280.000 Stellplätze auf Straßen (Plautz, 2018) fast zur Gänze und von den 131.000 Plätzen in Parkhäusern und Tiefgaragen ca. 32.000 als Dauerparkplätze genutzt werden. Die andere Hälfte der zugelassenen PKW müsste demnach auf privaten Stellplätzen abgestellt sein.

Durch einen Vergleich mit der Zahl der Stellplätze, die aufgrund des Wiener Garagengesetzes theoretisch für neuere Häuser zur Verfügung stehen müssten, kann diese Schätzung grob validiert werden: Das Wiener Garagengesetz gibt an, dass für je 100 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche ein Stellplatz zu schaffen ist. Keine Verpflichtung besteht bei Kleinhäusern mit nur einer Wohneinheit (WKO, 2017). In Wien bestehen insgesamt ca. 80 Mio. m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, allerdings wurden ca. 47 % der Wohnungen<sup>10</sup> vor 1960 erbaut (MA 23, 2015). Für diese ist anzunehmen, dass noch keine Privatparkplätze vorgesehen wurden. Damit müsste es über 400.000 Stellplätze in Wien geben, wobei aber für räumlich begrenzte Teile des Stadtgebietes besondere Anordnungen den Umfang der Stellplatzverpflichtung um bis zu 90 % verringern können (WKO, 2017). Wenn nur ein Drittel des Stadtgebietes als räumlich begrenzt angenommen würde, so würde die Zahl der Stellplätze bei Wohnhäusern bei knapp 300.000 liegen.

Da keine weiteren Anhaltspunkte für die Anzahl privater Stellplätze vorhanden sind, wird die Schätzung von ca. 300.000 Stellplätzen als realistisch angenommen. Eine weitere Annahme muss bezüglich der Aufteilung in freie Parkplatzflächen, Parkhäuser und Tiefgaragen erfolgen, da keine Anhaltspunkte dafür zur Verfügung stehen. Die Stellplätze werden in 50 % Parkplätze ohne Überdachung, 25 % oberirdische Garagen und 25 % Tiefgaragenplätze eingeteilt. Hochgerechnet mit der Materialintensität anderer Stellplätze im öffentlichen Raum (wie beschrieben in Kapitel 5.1.4.1) ergibt dies einen Gesamtbestand von 15,3 Mio. Tonnen.

Für Stellplätze bei Geschäften, Büros und anderen Einrichtungen kann keine Schätzung gemacht werden, da keine Anhaltspunkte dafür verfügbar sind. Die ÖBB gibt zum Beispiel an, dass im Wiener Stadtgebiet 1.131 Stellplätze bei Bahnhöfen zur Verfügung stehen (ÖBB-Holding AG, 2018). Hinzu kämen Parkplätze bei Supermarktfilialen, Einkaufszentren und sonstigen Geschäften sowie bei Bürogebäuden, über die keine Gesamtübersicht besteht. Da diese Stellplätze auch nur bei Bedarf und für kürzere Dauer genutzt werden, kann auch keine Ableitung aus der Anzahl der Fahrzeuge erfolgen.

#### **5.1.3.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Für Privatparkplätze wird die Nutzungsdauer der jeweiligen Anteile von Parkplätzen, Parkhäusern und Tiefgaragen angenommen. Die durchschnittliche Nutzungsdauer liegt bei 42 Jahren. Für alle Privatparkplätze ergibt sich damit ein laufender Materialfluss für Erhaltung von ca. 344.000 Tonnen Material pro Durchschnittsjahr, 328.000 Tonnen davon sind nicht-metallische Mineralien und 15.000 Tonnen Metalle.

---

<sup>10</sup> Es sind keine Angaben über Aufteilung der Fläche nach Baujahr verfügbar.

### **5.1.3.3 Platzbedarf der PKW-Stellplätze auf öffentlichen Straßen**

Die MA 18 eine Anzahl von 280.000 PKW-Stellplätzen, die auf den Straßen verfügbar sind. Mit einem Flächenverbrauch von ca. 13,5 m<sup>2</sup> pro Parkplatz ergibt sich ein Gesamtflächenverbrauch von 3,78 Mio. m<sup>2</sup> auf den Fahrbahnen Wiens. Dieser Anteil, welcher einen Materialbestand von 6,3 Mio. Tonnen hat, wurde bei der Aufteilung der Fahrbahnflächen (in Kapitel 5.1) berücksichtigt.

### **5.1.3.4 Platzbedarf der Fahrradstellplätze auf öffentlichen Straßen**

Aktuell gibt es in Wien über 40.000 Fahrradstellplätze (Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2016) welche – hochgerechnet mit einem durchschnittlichen Platzverbrauch von 1,9 m<sup>2</sup> pro Fahrrad (BMVIT, 2013) eine Fläche von ca. 82.000 m<sup>2</sup> belegen. Diese Fläche wurde bei der Aufteilung der Fahrbahnflächen für verschiedene Mobilitätsarten berücksichtigt und hat einen Materialbestand von ca. 137.000 Tonnen.

Es bestehen außerdem rund 4.889 Fahrradabstellanlagen (Bügel) (Plautz, 2018). Diese ergeben einen Materialbestand von ca. 54 Tonnen Stahl, bei einem Gewicht von 11 kg pro Bügel (wolldirekt GmbH, 2019). Die Radgaragen in Wien belaufen sich aktuell auf vier Standorte mit insgesamt knapp 400 Stellplätzen (Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2018). Die Umrechnung dieser Angaben in Materialbestände ist schwierig, einerseits durch die Schätzung der Flächen, die je nach Abstell- oder Aufhängungssystem und notwendigen zusätzlichen Flächen für Ein- und Ausfahrt stark schwanken können. Auch der Materialintensitätsfaktor für derartige Gebäude ist unbekannt und die Anwendung des Materialintensitätsfaktors für PKW-Garagen und Parkdecks würde vermutlich zu einer starken Überschätzung führen. Da die Materialbestände insgesamt sehr gering sein dürften, wurde dieses Element des Verkehrssystems nicht weiter berücksichtigt.

Die laufenden Materialflüsse für Bestandserhaltung wurden in der Kategorie der Straßenflächen berücksichtigt. Da keine Daten zu den Austauschraten von Fahrradabstellanlagen (Bügel) vorhanden sind wurde eine Lebensdauer von 10 Jahren angenommen um die laufenden Materialflüsse für Ersatz zu schätzen. Die Radabstellanlagen haben einen sehr geringen Anteil am Gesamtbestand, daher verzerrt die Unsicherheit das Gesamtergebnis kaum.

### ***5.1.4 Parkhäuser und Tiefgaragen***

In Wien bestehen derzeit 367 Garagen und Park & Ride-Anlagen (Plautz, 2018). Diese teilen sich ungefähr je zur Hälfte in oberirdische Parkhäuser und Tiefgaragen. Auf den Websites der größten Anbieter konnten 218 Parkhäuser und Tiefgaragen mit insgesamt 81.521 Stellplätzen gezählt und deren Größen (Stellplätze/Parkinfrastuktur) erfasst werden (APCOA PARKING Austria GmbH, 2018; Best in Parking – Holding AG, 2018; BOE Gebäudemanagement GmbH, 2018; Contipark International Austria GmbH, 2018; Wipark Garagen GmbH, 2018). Diese wurden mit der aus den erfassten Infrastrukturen errechneten, durchschnittlichen Stellplatzzahl von 370 Plätzen/Parkhaus bzw. 302 Plätzen/Tiefgarage hochgerechnet, um die Gesamtzahl von 367 Parkhäusern und Tiefgaragen abzubilden. Es wird somit ein Bestand von rund 131.000 Stellplätzen insgesamt in öffentlichen Parkhäusern und Tiefgaragen in Wien geschätzt.

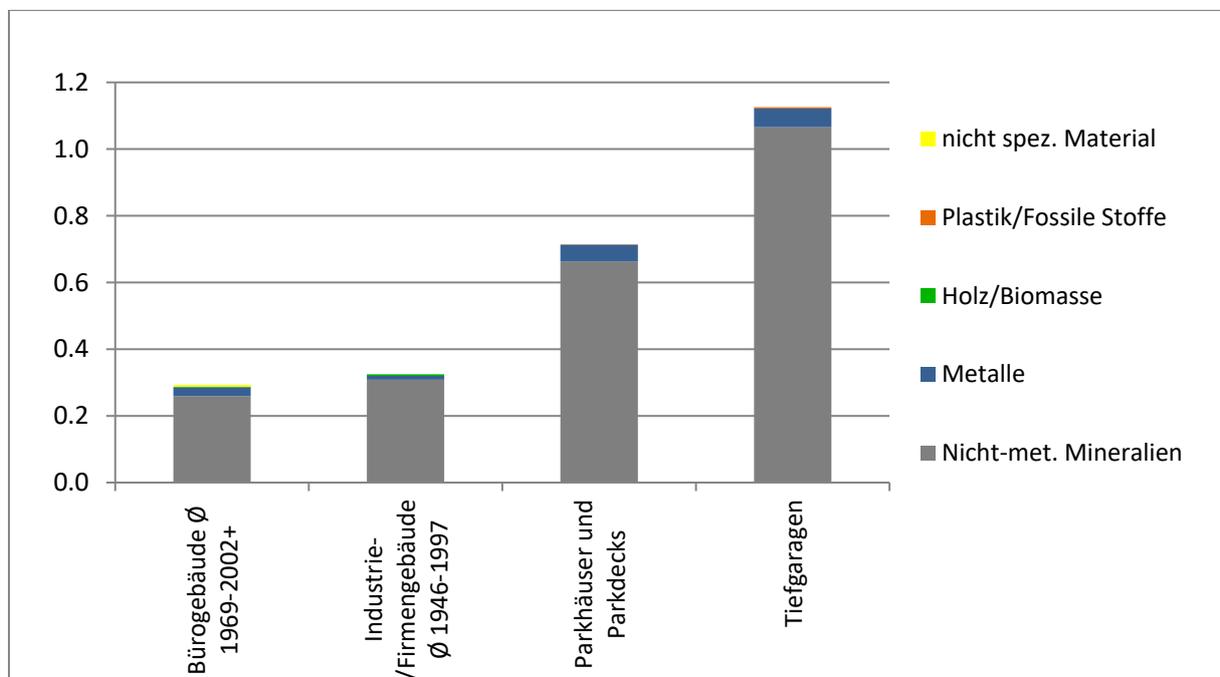
### 5.1.4.1 Materialintensität

Die Materialintensität von Garagengebäuden ist bisher in der Literatur nicht behandelt. Meist werden Intensitäten für größere Kategorien von Gebäuden, wie Industrie- oder Firmengebäude, erfasst und für Garagengebäude angewendet. Das IÖR (2018) stellt Materialintensitätsdaten für Parkhäuser und Tiefgaragen zur Verfügung, die aus der genauen Auswertung einer kleinen Stichprobe von Gebäuden in Deutschland generiert wurde (siehe Tabelle 8).

**Tabelle 8: Materialintensitäten von Parkhäusern und Tiefgaragen in kg/m<sup>3</sup>**  
Zusammenfassung der Angaben von IÖR (2018)

Baumaterialgruppe	Parkhäuser [kg/m <sup>3</sup> ]	Tiefgaragen [kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	51,7	56,1
Nicht-Metalle	662,0	1.065,6
Biomasse (Holz)		
Kunststoffe, fossile Stoffe	0,7	3,7
<b>Gesamt</b>	<b>714,3</b>	<b>1.125,5</b>

Abbildung 8 zeigt die Gegenüberstellung diverser Materialintensitäten für verschiedene Gebäudetypen. Der Vergleich erscheint plausibel, da Parkhäuser und Tiefgaragen für wesentlich höhere Gewichtsbelastungen durch PKW konstruiert werden und daher materialintensiver als Büro- oder Industriegebäude gestaltet werden müssen. Da die Erhebung von IÖR für Parkhäuser und Tiefgaragen am besten mit dem zu berechnenden Bestand in Wien (Parkhäuser und Tiefgaragen) übereinstimmt und die Erhebung transparent nachvollziehbar ist, wurden diese Werte für die Berechnung des Materialbestands in Wien weiterverwendet.

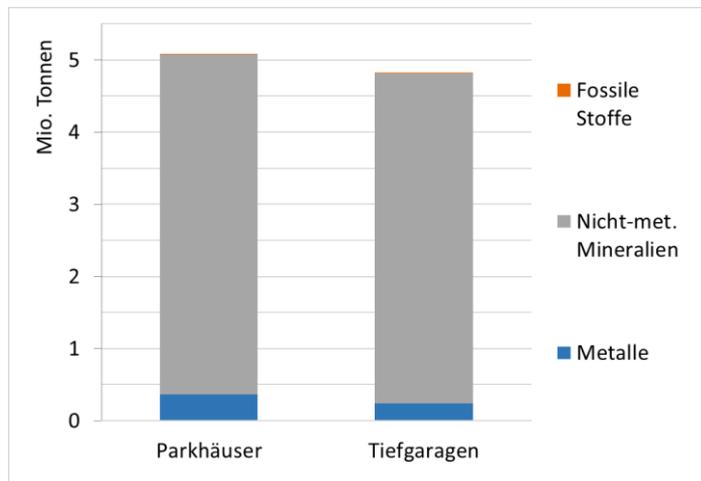


**Abbildung 8: Materialintensitäten diverser Gebäudetypen in Tonnen/m<sup>3</sup> im Vergleich**

Eigene Darstellung: Vergleich von Bürogebäuden (Schebek et al., 2017), Industrie-/Firmengebäuden (Kleemann et al., 2017), Parkhäusern und Tiefgaragen (IÖR, 2018)

#### 5.1.4.2 Materialbestände

Insgesamt ergibt sich aus den 196 Parkhäusern und 171 Tiefgaragen, hochgerechnet mit den Materialintensitäten von IÖR, ein Materialbestand von Parkhäusern und Tiefgaragen in Wien ca. 9.9 Mio. Tonnen, wovon ca. 608.000 Tonnen Metalle und der Großteil von ca. 9,3 Mio. Tonnen nicht-metallische Mineralien sind. Die Bestände sind in Abbildung 9 dargestellt.



**Abbildung 9: Materialbestand öffentlicher Parkhäuser und Tiefgaragen in Wien in Mio. Tonnen**

Eigene Darstellung; Berechnungen auf Basis von Daten von (APCOA PARKING Austria GmbH, 2018; Best in Parking – Holding AG, 2018; BOE Gebäudemanagement GmbH, 2018; Contipark International Austria GmbH, 2018; Gruhler, 2018; IÖR, 2018; Plautz, 2018; Wipark Garagen GmbH, 2018)

#### 5.1.4.3 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Daten zu Parkinfrastrukturen in Wien sind kaum erhältlich, daher gibt es auch keine Anhaltspunkte für Bestandsveränderungen, Lebensdauern oder tatsächlichen Erhaltungsaufwand. Für Parkhäuser und Tiefgaragen schätzt das IÖR eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, Erhebungen wurden nicht gemacht (Gruhler, 2018). Damit ergeben sich jährliche Materialflüsse von knapp 200.000 Tonnen für die die Erhaltung der Parkgaragen und Tiefgaragen, das meiste davon (186.000 Tonnen) sind nicht-metallische Mineralien, ca. 12.000 Tonnen Metalle.

#### 5.1.5 Beleuchtung und Signalgeber

Das Straßenbeleuchtungssystem und die Signalgeber, die den Wiener Verkehr regeln, werden von der Magistratsabteilung 33 verwaltet. Ca. 3.000 km Straße in Wien werden beleuchtet. Rund 1.300 Verkehrslichtsignalanlagen mit ca. 20.000 Signalgebern (Ampellichtern) und ungefähr 154.000 Beleuchtungskörper mit 244.000 Leuchtmitteln (Lampen) von ca. 90 verschiedenen Typen werden im Wiener Stadtgebiet eingesetzt und durch ca. 3.900 km Kabeln mit Strom versorgt. Diese benötigen ein Tragwerk aus 720 km Spanndrähten, 95.000 Licht- bzw. Spannmasten und 4.500 Schaltstellen. Zusätzlich verwaltet die MA 33 weitere kleine Bestände an beleuchteten Verkehrszeichen, Wegweisern etc. (MA 33, 2018; Terzer, 2015; Wötzl, 2018).

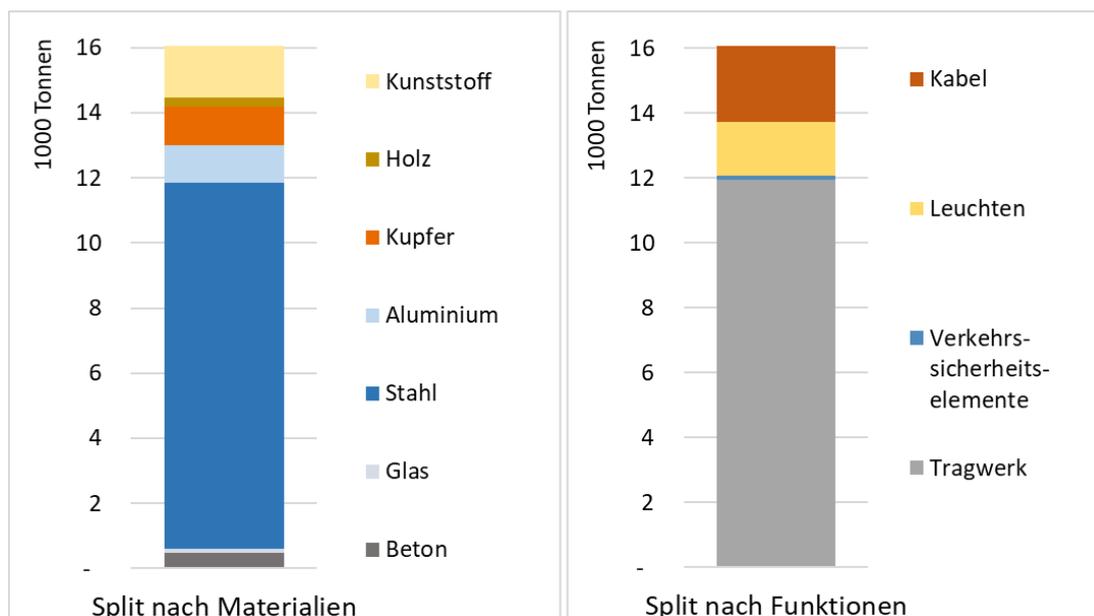
Die einzelnen Bestandteile wurden mit Materialintensitäten aus Expertenschätzungen (Wötzl, 2018) und Angaben technischer Hersteller (Meinhart Kabel Österreich GmbH, 2019a, 2019b; Pfeiffer Stahlrohrmaste GmbH, 2019) in Gesamtbestände hochgerechnet. Der Materialbestand der gesamten Beleuchtung und Verkehrssicherheitstechnik in Wien wiegt rund

16.000 Tonnen. Beleuchtung und Signaltechnik liegen damit bei einem Bestand von ca. 5 Tonnen Material pro Kilometer beleuchteter Straße, pro Einwohner beträgt der Materialbestand ca. 9 Tonnen. Den Hauptteil des Materialbestandes macht das Tragwerk aus Masten und Spanndrähten aus, Kabel und Leuchten haben geringere Anteile am Gesamtbestand, wie in Abbildung 10 dargestellt. Vom Gesamtbestand sind 70 % (11.200 Tonnen) Stahl, 10 % (1.600 Tonnen) Kunststoff und ca. 15 % andere Metalle wie Aluminium (1.200 Tonnen) und Kupfer (1.200 Tonnen). Hinzu kommen noch geringe Anteile von Holz und Beton.

**Tabelle 9: Mengen und Bestände in Tonnen der diversen Elemente des Beleuchtungssystems Wiens**  
 Daten: (Terzer, 2015; Wötzl, 2018)

Bestandselemente	Menge <sup>11</sup> [Stück bzw. km]	Gesamtgewicht [kg/Stk. bzw. kg/km]	Hauptbestandteile	Bestand [t]
Leuchten	154.837 Stk.	div. Typen	div. Typen	4.147
Leuchtmittel	224.000 Stk.	0,15	Glas, Stahl	34
davon Seilhängeleuchten (für KFZ)	50.000 Stk.	12	Aluminium, Stahl	600
Spanndrähte	720 km	223	Stahl	161
Sektrakabel zw. Leuchten	1.000 km	570	Kupfer, Kunststoff	570
Anschlussleitungen	100 km	175	Kupfer, Kunststoff	18
davon Beleuchtung KFZ auf Masten	69.192 Stk.	12	Aluminium, Stahl	830
Anschlussleitungen	554 km	175	Kupfer, Kunststoff	97
Sektrakabel zw. Leuchten	1.353 km	775	Kupfer, Kunststoff	1.048
davon Fuß/Radwegbeleuchtung	26.645 Stk.	6	Aluminium, Stahl	160
Anschlussleitungen	213 km	175	Kupfer, Kunststoff	37
Sektrakabel zw. Leuchten	521 km	775	Kupfer, Kunststoff	404
davon Fuß/Radwegbeleuchtung	9.000 Stk.	4,4	Aluminium, Stahl	40
Anschlussleitungen	72 km	175	Kupfer, Kunststoff	13
Sektrakabel zw. Leuchten	176 km	775	Kupfer, Kunststoff	136
Tragwerk				
Spannmaste	12.000 Stk.	350	Stahl	4.200
Lichtmaste	80.000 Stk.	80	Stahl	6.400
Holz-maste	3.000 Stk.	89	Holz	269
Betonsockel zu Holzmasten	3.000 Stk.	160	Beton	480
Gabelkeilschrauben	120.000 Stk.	1,9	Stahl	228
Schaltkästen	4.500 Stk.	47	Kunststoff, Stahl	212
Verkehrssicherheitselemente				
Ampelanlagen (gesamte Einheit)	1.307 Stk.			124
1 Schaltkasten pro Anlage	1.307 Stk.	47	Kunststoff, Stahl	61
Signalgeber (15/Anlage)	19.605 Stk.	2,5	Kunststoff, Stahl	49
1 Steuergerät/Anlage	1.307 Stk.	10	Stahl	13
beleuchtete Verkehrszeichen	187 Stk.	5	Kunststoff, Stahl	1
beleuchtete Verkehrssäulen und Wegweiser	132 Stk.	5	Kunststoff, Stahl	1
Straßenbahnsignalgeber	1.642 Stk.	2,5	Kunststoff, Stahl	4
<b>Summe</b>				<b>16.064</b>

<sup>11</sup> Stand: 2015



**Abbildung 10: Materialbestände der Beleuchtungsinfrastruktur in Wien in 1.000 Tonnen**  
Eigene Berechnung, Daten: MA 33 (Terzer, 2015; Wötzl, 2018)

Durch eine Unterscheidung der Leuchten nach ihrer Anbringungshöhe kann eine grobe Aufteilung auf die verschiedenen Mobilitätsformen vorgenommen werden, da Leuchten für FußgängerInnen und RadfahrerInnen deutlich niedriger befestigt sind. Die Kabel und das Tragwerk wurden aliquot zugerechnet. Vom Gesamtbestand können ca. 13.000 Tonnen (81 %) dem motorisierten Individualverkehr zugerechnet werden.

#### 5.1.5.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Die Lebensdauern der diversen Elemente der Beleuchtungs- und Verkehrssicherheitsinfrastruktur unterscheiden sich deutlich. Während klassische Leuchtmittel eine Lebensdauer von ungefähr 5 Jahren aufweisen und die Gehäuse (Leuchten) ca. 35 Jahre bestehen, kann das Tragwerk und die Kabel mehrere Jahrzehnte in Verwendung bleiben. Insgesamt liegt der gewichtete Durchschnitt der Lebensdauern des gesamten aller Beleuchtungselemente bei 59 Jahren.

Die laufenden Materialflüsse für die Erhaltung der Beleuchtungsinfrastruktur liegen bei 304 Tonnen pro Jahr, davon macht Stahl mit 190 Tonnen den Hauptteil aus. 35 Tonnen Kunststoffe, 32 Tonnen Aluminium und 26 Tonnen Kupfer müssten im Schnitt pro Jahr ausgetauscht werden, sowie kleinere Mengen von Holz (4 Tonnen), Beton und Glas (je 8 Tonnen).

Die einfacher auszutauschenden Elemente mit niedrigeren Nutzungsdauern wie einzelne Leuchten und Leuchtmittel, Signalgeber, Schaltkästen, Steuergeräte oder beleuchtete Verkehrszeichen, die ersetzt werden können, ohne den Bestand insgesamt zu tauschen, können als Renovierungsflüsse verstanden werden. Diese machen ca. 19 % der gesamten laufenden Materialflüsse aus, das meiste davon ist Aluminium, Kunststoff und Glas. Anzumerken ist hier, dass die MA 33 gerade den Prozess der Umstellung der kompletten Beleuchtung auf LED-Lampen durchläuft. Bis zum Jahr 2018 waren ca. 15 % der Leuchten bereits ausgetauscht, bis 2026

sollen 95 % des gesamten Stadtgebietes mit LED-Lampen beleuchtet werden. Die tatsächlichen Materialflüsse für Bestandserhaltung werden demnach in den nächsten Jahren noch höher liegen als hier errechnet wurde (Wötzl, 2018).

Der Jahresverbrauch an Energie durch die Straßenbeleuchtung und Verkehrsregelung beträgt 51.800 Megawattstunden (MA 33, 2018).

## **5.1.6 Kleinere Bestände und Flüsse des Straßenverkehrs**

### **5.1.6.1 Bodenmarkierungen**

Die Stadt Wien nimmt jährlich durchschnittlich 40.000 m<sup>2</sup> neue Flächenmarkierungen und neue Linienmarkierungen von 320 km Länge im Stadtgebiet vor (MA 28, 2018a). Bei Annahme eines Verbrauchs von 0,4 Litern pro m<sup>2</sup> und einer Farbdichte von 1,54 g/cm<sup>3</sup> (Paul Jaeger GmbH & Co. KG, 2018) ergibt sich ein laufender Materialfluss von ca. 54 Tonnen Farbe im Jahr, welcher als Renovierungsfluss bezeichnet werden kann.

Bodenmarkierungen haben eine Lebensdauer von 2-10 Jahren, somit kann bei einer mittleren Lebensdauer von 6 Jahren auf einen Bestand von 325 Tonnen Farbe geschlossen werden. Die Bodenmarkierungen wurden mit derselben Gewichtung wie die Fahrbahflächen auf die verschiedenen Mobilitätsformen aufgeteilt. 96 % sind dem motorisierten Individualverkehr zuzurechnen, dem ÖV aus Bus und Straßenbahn ca. 2 % und dem Radverkehr ebenso 2 % der Markierungen.

### **5.1.6.2 Verkehrsschilder**

Im Jahr 2017 gab es in Wien 130.831 Verkehrszeichen und 88.545 Zusatztafeln (MA 28, 2018b). Diese benötigen eine geschätzte Anzahl von 100.000 Verkehrszeichenstehern, da einige Tafeln auf demselben Steher montiert sind. Mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1,77 kg Aluminium je rundem Verkehrszeichen und 1,49 kg Aluminium je Zusatzschild (Schilder- & Stempelhaus, 2018) sowie Stehern mit einem Gewicht von 4,28 kg Aluminium (Komunalbedarf.at, 2018) berechnet sich daraus ein Gesamtbestand an Verkehrszeichen von insgesamt 791 Tonnen Aluminium. Auch die Verkehrsschilder wurden mit derselben Aufteilung wie Fahrbahflächen und Bodenmarkierungen den diversen Mobilitätsformen zugeteilt, da sie dem straßenbasierten System dienen und sind somit zum Großteil (96 %) dem motorisierten Individualverkehr zuzurechnen.

#### **5.1.6.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Pro Jahr werden etwa 4.700 Verkehrszeichen, 2.400 Zusatztafeln und 5.500 Verkehrszeichenstehern erneuert. Dies entspricht einem Materialfluss für Ersatz von etwa 35 Tonnen Aluminium pro Jahr. Es wird angenommen, dass für diesen Bestandstyp keine relevanten, weiteren Materialflüsse für Renovierung existieren, da die gesamte Erneuerung als Bestandsersatz zu verstehen ist.

### **5.1.7 Schätzung der Brücken**

Es bestehen 1.712 Brücken<sup>12</sup> im Wiener Stadtgebiet (MA 29, 2019). Davon werden 826 von MA 29 und der Rest von ASFINAG und Wiener Linien betreut (Gruber, 2018). Da keine genaueren Angaben verfügbar sind, wurde ein Mittelwert für die Länge (ca. 130 m) und Fläche (3.000 m<sup>2</sup>) aus den Daten zu 166 Brücken, die von ASFINAG betreut werden, gebildet (Gragger, 2018). Da die ASFINAG für Autobahnen und Schnellstraßen zuständig ist und damit auch tendenziell die größeren Brücken betreut, entsteht durch diese Überschlagsrechnung vermutlich eine Überschätzung des Materialbestandes.

Materialintensitäten für Verbundbrücken von 231 kg Stahl und 0,33 m<sup>3</sup> Beton pro Quadratmeter Brücke wurden der Literatur entnommen (Steger et al., 2011). Die durchschnittliche Masse einer Brücke wird mit ca. 3.000 Tonnen geschätzt, davon sind 2.300 Tonnen Beton und 700 Tonnen Stahl. Es ergibt sich aus der Hochrechnung ein Bestand von ca. 5.2 Mio. Tonnen, wovon fast 4 Mio. Tonnen Beton und 1,2 Mio. Tonnen Stahl sind. Die Aufteilung der Brückenbestände auf verschiedene Mobilitätsformen erfolgte nach derselben Gewichtung wie die Aufteilung der gesamten passiven Bestände (Verkehrsflächen und öffentliche Verkehrsnetze). Es werden daher 59 % dem motorisierten Individualverkehr, 25 % dem öffentlichen Verkehr, 13 % dem Fußgängerverkehr und 3 % dem Fahrradverkehr zugerechnet.

#### **5.1.7.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Bei Annahme der ungefähren Lebensdauer von 50 Jahren (Steger et al., 2011) ergeben sich laufende Materialflüsse für den Ersatz der Bestände von ca. 103.000 Tonnen pro Durchschnittsjahr, davon ca. 80.000 Tonnen Beton und ca. 23.000 Tonnen Stahl. Es wird angenommen, dass etwaige Materialflüsse für Renovierungen darin enthalten sind.

### **5.1.8 Schätzung der Tunnel**

Für den Wiener Straßenverkehr standen 2005 insgesamt acht zweiröhrige und drei einröhrige Tunnel mit Gesamtlängen von 7,9 km bzw. 0,9 km zur Verfügung (BMVIT, 2011). Mit Materialintensitäten aus der Literatur von 40 Tonnen Beton und 1,5 Tonnen Stahl je Tunnelröhre (Steger et al., 2011) hochgerechnet, ergibt sich ein Gesamtbestand von 731.000 Tonnen Material für alle Tunnel in Wien, von denen 704.000 Tonnen aus Beton und 27.000 Tonnen aus Stahl bestehen. Die Tunnel wurden zur Gänze dem motorisierten Individualverkehr zugerechnet, da die Tunnel für den öffentlichen Verkehr getrennt in den Erhebungen zum ÖV berücksichtigt sind. Die Nutzung durch FußgängerInnen und RadfahrerInnen wurde als vernachlässigbar angenommen.

#### **5.1.8.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Bei Annahme der ungefähren Lebensdauer von 100 Jahren (Steger et al., 2011) ergeben sich laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung von ca. 7.300 Tonnen pro Jahr, davon ca. 7.000 Tonnen Beton und ca. 300 Tonnen Stahl. Es wird angenommen, dass es keine relevanten zusätzlichen Renovierungsflüsse gibt, sondern diese bereits inkludiert sind.

---

<sup>12</sup> Anmerkung: Zählungen nach Namen ergeben niedrigere Gesamtsummen. Diese Zahl beinhaltet jedoch die technisch als Brücken definierten Konstruktionen, von denen in der Regel mehrere in einer größeren, umgangssprachlich als Brücke verstandenen, Konstruktion (z.B. Praterbrücke) enthalten sind.

## 5.1.9 Fahrzeuge

### 5.1.9.1 PKW

Im Jahr 2018 lag der Bestand zugelassener PKW in Wien bei ca. 716.000 Fahrzeugen, wovon ca. 625.000 Privatfahrzeuge und etwa 90.000 im juristischen Besitz (inkl. Post, Polizei, Zollwache) waren (Plautz, 2018). Dies ergab eine Fahrzeugdichte von ca. 327 PKW pro 1000 EinwohnerInnen (Plautz, 2018). Die Fahrzeuge hatten ungefähr je zur Hälfte Diesel- bzw. Benzinantriebe, der Elektro-PKW-Bestand lag mit 961 Fahrzeugen unter 1 %.

Zur Hochrechnung der Materialbestände wurde ein VW Golf als Durchschnittsfahrzeug verwendet, da er in Österreich 2018 immer wieder die Liste der am öftesten zugelassenen PKW anführte (KFZ-Statistik der Statistik Austria 2018). Ein VW Golf hat ein Gewicht von ca. 1,44 Tonnen und besteht ungefähr zur Hälfte aus Stahl, sowie aus vielen weiteren Metallen, Kunststoffen und anderen Materialien in kleineren Mengen. Die Hochrechnung – ersichtlich in nachstehender Tabelle – ergibt damit einen Materialbestand der PKW in Wien von ca. 901.000 Tonnen.

**Tabelle 10: Materialbestand der in Wien zugelassenen PKW sowie Materialflüsse/Jahr in Tonnen**  
Eigene Berechnung aus diversen Quellen (Plautz, 2018; Schimpl, 2018)

Material PKW (VW Golf)	%	Bestand zugelassener PKW in Wien [Stück]	Materialfluss [t/Jahr]
Kunststoffe	12%	106.000	14.700
Stahl	52%	475.000	65.500
Metalle und Verbunde	18%	159.000	21.900
Glas	2%	19.000	2.600
Andere	16%	144.000	19.900
<b>Summe</b>	<b>100%</b>	<b>901.000</b>	<b>124.600</b>

#### 5.1.9.1.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Durch Auswertung der Zulassungszeitpunkte von Fahrzeugen in Wien, die 2017 Teil der aktuellen Flotte waren, wurde eine durchschnittliche Lebensdauer von 7,2 Jahren ermittelt (Fischer, 2019). Unter Anwendung dieser Zeitspanne ergibt sich ein theoretischer Materialfluss von ca. 125.000 Tonnen pro Jahr für Ersatz der Fahrzeugflotte. Materialflüsse für Reparatur können, mangels verfügbarer Daten, nicht getrennt berechnet werden. Da die Lebensdauer eines PKW aber relativ konservativ angenommen und eine weitere Verwendung von Teilen der ausgetauschten Fahrzeuge nicht berücksichtigt wurde, ist anzunehmen, dass diese Flüsse bereits durch diese Schätzung abgedeckt sind. Der Verbrauch von Treibstoff bei der Fortbewegung wird in den Endergebnissen (Kapitel 6.5.1 Energieverbrauch) besprochen.

#### 5.1.9.1.2 Aktuelle Materialflüsse für Bestandserweiterung

Berechnet man die Veränderungen der Anzahlen privat zugelassener PKW zwischen 2007 und 2018, so zeigt sich ein jährlicher Zuwachs von durchschnittlich ca. 5.000 Fahrzeugen in Wien (Plautz, 2018). Eine Erweiterung des Bestandes jährlich um ca. 7.300 Tonnen Material müsste daher angenommen werden. Dies wäre ein weiterer Materialfluss von ca. 0,8 % des Gesamtbestandes bzw. weiteren 6 % des berechneten Materialflusses für Bestandserhaltung.

### **5.1.9.2 Fahrräder, E-Bikes und Citybike**

Die Zahl der Fahrräder in Wien ist nicht eindeutig feststellbar und wurde als Mittelwert diverser Angaben mit ca. 1,2 Millionen Stück geschätzt, wovon ungefähr 100.000 E-Bikes sind (BMVIT, 2013). Ein durchschnittliches Fahrrad wiegt ca. 14 kg und besteht ungefähr zur Hälfte aus Aluminium. Dazu kommen weitere Metalle, Gummi und Kunststoffteile. Beim E-Bike kommen durch Motor und ein Akku dazu, sowie andere kleinere Komponenten noch ca. 8 kg dazu (Schimpl, 2018). Damit wird ein Bestand von 14.900 Tonnen Fahrrädern und 2.600 Tonnen E-Bikes errechnet.

In Wien besteht außerdem das Leihradangebot „Citybike“ mit insgesamt 218 Stationen und ca. 1.500 Leihrädern. Die Stationen bestehen aus ca. 86,6 Tonnen Stahl und 969,5 Tonnen Betonfundamenten insgesamt (Dechant, 2018; LeGall, 2018). Die Leihräder haben ein durchschnittliches Gewicht von 25 kg und wurden mit der Materialintensität durchschnittlicher Fahrräder (Schimpl, Magna, 2018) hochgerechnet. Dies ergibt einen Bestand von ca. 1.000 Tonnen, wovon 880 Tonnen Beton der Fundamente und 86 Tonnen Stahl den Stationen von Citybike zugeschrieben werden kann.

Der Gesamtbestand der Fahrräder, E-Bikes und Citybikes inkl. Stationen liegt damit bei 18.500 Tonnen, davon sind 5.500 Tonnen (30 %) Stahl, 9.000 Tonnen (49 %) Aluminium und 700 Tonnen (4 %) weitere Metalle sowie 1.800 Tonnen (10%) Gummi.

#### **5.1.9.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Die Nutzungsdauer der normalen Fahrräder liegt laut offizieller Abschreibungsdauer des BMF bei 7 Jahren. Die Lebensdauer der E-Bikes ist aufgrund der Lebenszeit des Akkus, die zwischen 3 und 5 Jahren liegt, insgesamt etwas geringer. Für die Berechnung der laufenden Materialflüsse kann außerdem von der Verlegung zweier Citybike-Stationen pro Jahr ausgegangen werden (Dechant, 2018; LeGall, 2018). Daraus ergibt sich ein jährlicher Austausch von ca. 150.000 Fahrrädern und 23.000 E-Bikes, in Materialeinheiten ca. 2.960 Tonnen. Da keine genauen Daten zur Anzahl der Fahrräder in Wien verfügbar sind, kann auch nicht auf den Zuwachs an Materialbeständen durch Fahrräder und E-Bikes geschlossen werden, auch zum Ausmaß an Reparaturen sind keine Daten bekannt. Diese Flüsse sind jedoch für das Gesamtbild kaum von Relevanz und wurden durch die konservative Annahme einer Nutzungsdauer von 7 Jahren vermutlich auch bereits abgedeckt.

## 5.2 Öffentlicher Verkehr der ÖBB und Wiener Linien

In Wien besteht aktuell ein Verkehrsnetz von 83 km U-Bahn, 220,4 km Straßenbahn und 845,7 km Autobus, welches von Wiener Linien GmbH und Busunternehmen im Auftrag der Wiener Linien betrieben wird. Zusätzlich gibt es im Stadtgebiet ein 188 km langes Schienennetz der ÖBB. Während das Straßenbahn-Netz seit 1995 ein wenig zurückgebaut wurde, nahm die Betriebslänge der U-Bahn etwas zu. Besonders das Autobusnetz wurde seit Beginn der 2010er Jahre stark erweitert. (MA 20, 2017; ÖBB-Holding AG, 2018; Wiener Linien, 2017). Jährlich zählen die Wiener Linien ca. 960 Mio. Fahrgäste (MA 23, 2017; Wiener Linien, 2017).

### 5.2.1 U-Bahn

#### 5.2.1.1 Netz

Das U-Bahn-Netz Wiens umfasst aktuell 109 Haltestellen und eine Betriebslänge von ca. 83 km. Es wurde bereits in mehreren Forschungsarbeiten untersucht. Eine Studie hat die Materialkomposition jeder U-Bahn-Linie in Tonnen pro Kilometer Streckenlänge geschätzt und liefert Zahlen zum Gesamtbestand des damaligen Netzes mit 104 Stationen (Lederer et al., 2016a). Da in der Zwischenzeit die Linie U1 um 5 Stationen – von Reumannplatz bis Oberlaa – erweitert wurde, wurden die Materialbestände dieser Linie auf Basis der Informationen von Lederer et al. (2016a) mit der Materialintensität von 142 Tonnen pro Meter hochgerechnet, wie in Tabelle 11 gezeigt. Das Netz der U1 verlängert sich dadurch von 19 auf 26 Stationen um ca. 6 km. Es ergibt sich ein Gesamtbestand von fast 14 Mio. Tonnen, davon 12,5 Mio. Tonnen Beton, die gemeinsam mit 250.000 Tonnen Ziegeln und 300.000 Tonnen Schotter einen Gesamtanteil der nicht-metallischen Mineralien von 95 % des Netzes ausmachen. Des Weiteren sind 650.000 Tonnen (5 %) Stahl und Eisen, sowie kleinere Mengen von 11.000 Tonnen Kupfer und 6.000 Tonnen Aluminium im U-Bahn-Netz, vor allem in Schienen und Kabeln, enthalten.

**Tabelle 11: Materialbestände des U-Bahn-Netzes in Wien gesamt in 1.000 Tonnen und in Tonnen/m Strecke inkl. Verlängerung der U1 um 5 Stationen**

Daten: (Lederer et al., 2016a)

Line	Beton		Stahl, Eisen		Schotter		Ziegel		Aluminium		Kupfer		Gesamt	
	1000 t	t/m	1000 t	t/m	1000 t	t/m	1000 t	t/m	1000 t	t/m	1000 t	t/m	1000 t	t/m
U1	2.168	131	153	9	38	2	0	0	1,3	0	2,0	0	2.362	142
U2	2.453	118	140	7	81	4	0	0	1,8	0	2,4	0	2.678	130
U3	2.945	198	149	10	11	1	0	0	1,1	0	1,8	0	3.107	209
U4	2.299	132	43	3	71	4	27	0,002	1,1	0	2,1	0	2.444	141
U6	1.836	102	111	6	86	5	222	0,012	0,4	0	2,2	0	2.258	126
<b>Σ</b>	<b>11.701</b>	<b>134</b>	<b>596</b>	<b>7</b>	<b>286</b>	<b>3</b>	<b>250</b>	<b>0,003</b>	<b>5,8</b>	<b>0</b>	<b>10,4</b>	<b>0</b>	<b>2.849</b>	<b>147</b>
<b>+ U1 Verl.</b>	2.967		209		52		0		1,9		2,7		3.233	142
<b>Σ neu</b>	<b>12.500</b>		<b>652</b>		<b>300</b>		<b>249</b>		<b>6,3</b>		<b>11,1</b>		<b>13.719</b>	<b>147</b>

#### 5.2.1.1.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

97 % des Materialbestandes des Wiener U-Bahn-Netzes sind in permanenten Strukturen verbaut, aus welchen die einzelnen Materialien nicht mehr extrahiert werden können. Dies betrifft vor allem Beton, Stahl und Eisen sowie Ziegel. Nur ein kleiner Anteil von 3 % des Materials

– der wertvollere Teil der Materialien, nämlich Aluminium, Kupfer und Schotter – kann in kürzeren Zyklen von 15-40 Jahren extrahiert und ausgetauscht werden. Einige größere Stahl- und Betonbestände werden mit einer Lebensdauer von 100 oder mehr Jahren eingeschätzt (Lederer et al., 2016a).

Für die Berechnung der Materialflüsse, die für **Ersatz** des Bestandes nötig sind, wird die Lebensdauer von 100 Jahren für das U-Bahn-Netz angenommen, wie auch in der Arbeit von Gassner et al. (2018b). Theoretisch wäre daher ein Hundertstel des existierenden Materialbestandes jährlich auszutauschen, um bis zum Ende der Nutzungsdauer den gesamten Bestand erneuert zu haben. Damit ergibt sich ein laufender Materialfluss von 137.000 Tonnen pro Jahr, 91 % davon Beton (125.000 Tonnen). Für **Renovierung** wird nach den Angaben von Lederer et al. (2016a) angenommen, dass der der Aluminium-, Schotter- und Kupferbestand im Durchschnitt alle 27,5 Jahre ausgetauscht wird, bevor das Ende der Lebensdauer erreicht ist. Dies würde einen weiteren Materialfluss von 11.500 Tonnen pro Durchschnittsjahr verursachen. Insgesamt ergeben sich daher laufende Materialflüsse für das U-Bahn-Netz von 149.000 Tonnen in einem Durchschnittsjahr.

#### **5.2.1.1.2 Aktuelle Materialflüsse für Bestandserweiterung**

Über den Zuwachs an Materialbeständen durch Netzausbau liegen keine genauen Daten vor. Es kann jedoch eine Abschätzung auf Basis der Erweiterungen der letzten Jahre erfolgen. Die letzte Netzerweiterung, welche auch in den hier dargestellten Daten inkludiert ist, erfolgte 2017 durch die Verlängerung der U1 um fünf Stationen. Davor wurde im Zeitraum von 2008-2013 die U2 um insgesamt zehn Stationen verlängert, 2006 wurden fünf neue Stationen an der U1 Richtung Norden gebaut. Seit Fertigstellung der U3 im Jahr 2000 wurden somit 20 der heutigen 109 Haltestellen zugebaut. Das nächste Erweiterungsprojekt ist der Bau der U-Bahn-Linie U5. Im Zuge dessen sollen bis 2030 weitere sechs Stationen gebaut werden (Wiener Linien, 2019). Dies ergibt für den gesamten Zeitraum 2000-2030 einen Ausbau des Streckennetzes um durchschnittlich 0,87 Stationen/Jahr. Aus der Division des vorhandenen Materialbestandes durch die Anzahl an bestehenden Stationen lässt dies auf einen Annäherungswert für Materialflüsse für Bestandserweiterung von durchschnittlich ca. 126.000 Tonnen Material schließen. Dies entspricht weiteren 80 % der errechneten Materialflüsse für Bestandserhaltung.

#### **5.2.1.2 U-Bahn-Züge**

In Wien sind ca. 780 U-Bahn-Züge im Einsatz (Wiener Linien, 2017). Diese teilen sich grob auf drei Zugtypen (248 Stück Typ V, 388 Stück Typ U, 144 Stück Typ T) mit unterschiedlichen Gesamtgewichten auf. Die jeweilige Materialintensität eines Zugtyps wurde aus der Multiplikation der Angaben für einen Durchschnittszug (Gassner et al., 2018b) mit dem Gesamtgewicht des Zuges diesen Typs errechnet, wie in nachstehender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 12: Materialintensitäten und Gesamtbestand der Wiener U-Bahn-Züge**

Durchschnittszug und Gesamtmassen (Gassner et al., 2018b); Anzahlen (Wiener Linien, 2017)

	Stahl	Aluminium	Kupfer	Blei	Kunststoffe	Holz	Glas	Steinwolle	Alkyd Farbe	Gesamt
Durchschnitt [kg/t Zug]	510	300	30	9	80	25	20	10	8	992
Typ V [t]	85,7	50,4	5,0	1,5	13,4	4,2	3,4	1,7	1,3	166,7
Typ U [t]	80,1	47,1	4,7	1,4	12,6	3,9	3,1	1,6	1,3	155,7
Typ T [t]	70,4	41,4	4,1	1,2	11,0	3,5	2,8	1,4	1,1	136,9
<b>Bestand Wien 780 Züge [t]</b>	<b>62.400</b>	<b>36.700</b>	<b>3.700</b>	<b>1.100</b>	<b>9.800</b>	<b>3.100</b>	<b>2.400</b>	<b>1.200</b>	<b>1.000</b>	<b>121.500</b>

Für die insgesamt 780 U-Bahn-Züge ergibt sich Gesamtbestand von ca. 121.000 Tonnen, wovon 51 % (62.400 Tonnen) Stahl, 30 % (36.700 Tonnen) Aluminium und 8 % (9.800 Tonnen) Kunststoffe sind.

#### 5.2.1.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Mit Lebensdauern von 25-30 Jahren für die verschiedenen Zug-Typen (Gassner et al., 2018b) konnte ein theoretischer laufender Materialfluss von 4.500 Tonnen pro Jahr für die U-Bahn-Flotte errechnet werden, der einen Austausch aller Züge bis zum Ende ihrer Lebensdauer ermöglichen würde. Zur Renovierung von U-Bahn-Zügen sind keine genauen Angaben bekannt.

### 5.2.2 Straßenbahn

#### 5.2.2.1 Netz

##### 5.2.2.1.1 Nutzung der Fahrbahnfläche

In Wien besteht ein Straßenbahnnetz von ca. 220 km Länge mit 1.053 Haltestellen (Wiener Linien, 2017). Da die Straßenbahn auf den Fahrbahnen der Stadt verkehrt, hat dieses Verkehrsmittel auch einen Anteil an den Gesamtflächen der Fahrbahnen. Daten zur genauen Flächennutzung sind nicht verfügbar, es wird jedoch davon ausgegangen, dass nur ein kleiner Teil des Netzes ausschließlich von Straßenbahnen genutzt wird. Es wurde daher der Platzbedarf der Straßenbahn auf den Fahrbahnen aus der Linienlänge (220 km) und einer durchschnittlichen Spurbreite von 3,25 m (Randelhoff, 2019) hochgerechnet. Von diesen 716.000 m<sup>2</sup> wurden in der Aufteilung der Verkehrsflächen nur 10 % (ca. 72.000 m<sup>2</sup>) für den öffentlichen Verkehr berücksichtigt, da Grund zur Annahme besteht, dass diese Fläche die meiste Zeit vom Autoverkehr genutzt wird, und nur während der fahrplanmäßigen Zeiten in Intervallen von 5-15 Minuten Straßenbahnen auf dieser Fläche verkehren, wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben.

##### 5.2.2.1.2 Materialbestand

Zum Straßenbahnnetz kann nur eine Abschätzung auf Basis der Angaben zu Materialintensitäten aus einer anderen Untersuchung (Gassner et al., 2018b) erfolgen, wobei kleinere Elemente wie Wartebänke, Häuschen, Tafeln und Masten nicht berücksichtigt sind. Pro Meter des Streckennetzes werden ca. 4,3 Tonnen Material verbaut, das meiste davon Beton, wie in Tabelle 13 ersichtlich. Nur 127 kg Metalle, hauptsächlich Stahl und Eisen, kommen auf einen Meter Netzlänge.

**Tabelle 13: Materialintensität des Wiener Tram-Netzes**

Materialintensität (Gassner et al., 2018b); Netzlänge (Wiener Linien, 2017)

	Beton	Eisen, Stahl	Schotter	Kupfer	Gesamt
Material [t/m]	3,90	0,12	0,28	0,01	4,31
Bestand Wien 220 km [t]	860.000	26.000	62.000	2.000	950.000

Das rund 220 km lange Straßenbahnnetz der Wiener Linien hat einen Gesamtbestand von knapp 950.000 Tonnen Material, 91 % davon sind Beton. Hier gibt es eine Unschärfe in der Erfassung, da in den Straßenflächen auch teilweise befahrbare Schienenflächen angegeben sind und es so zu Doppelzählungen der Oberschicht (oberste Betonplatten) kommen kann. Im gesamten Straßenbahnnetz sind 860.000 Tonnen Beton enthalten, die zum Großteil aus den verlegten Betonplatten stammen. Das Ausmaß der Doppelzählungen kann allerdings nicht abgeschätzt werden, da keine genaueren Informationen über die mitgezählten Flächen erhoben werden konnten. Wäre das Schienennetz der Straßenbahn zu 100 % Bestandteil der Straßenflächen, würde dies eine Überschätzung des Gesamtbestandes bedeuten, die maximal 860.000 Tonnen betragen kann.

### 5.2.2.1.3 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Für das Straßenbahnnetz wird eine Nutzungsdauer von 35 Jahren angenommen, was einen laufenden Materialfluss von 27.000 Tonnen für Ersatz des Bestandes pro Durchschnittsjahr bedeutet. Zur weiteren Renovierungsflüssen sind keine genauen Angaben bekannt, diese betreffen aber vermutlich kleinere Elemente wie Bänke, Häuschen, Masten oder Tafeln von Haltestellen, die in der Materialintensitätsschätzung nicht enthalten sind.

### 5.2.2.2 Straßenbahn-Züge

In Wien sind rund 665 Straßenbahnwagen und -beiwagen im Einsatz. Es gibt drei verschiedene Typen von Straßenbahnzügen, die Ultra-Low-Floor (ULF) Typen A und B mit 20,3 bzw. 29 Tonnen Eigengewicht sowie den Typ E mit 28,7 Tonnen Eigengewicht. Die Materialintensitäten der verschiedenen Zugtypen sind in Tabelle 14 dargestellt.

**Tabelle 14: Materialintensitäten und Gesamtbestände der Straßenbahnzüge in Wien in Tonnen**

Durchschnittszüge und Gesamtmassen (Gassner et al., 2018b); Anzahlen (Wiener Linien, 2017)

	Stahl [t]	Aluminium [t]	Kupfer [t]	Blei [t]	Kunststoffe [t]	Glas [t]	Alkyd Farbe [t]	Gesamt [t]
Type A (ULF)	20,3	4,2	1,5	0,1	2,1	0,9	0,9	30,0
Type B (ULF)	29,0	6,1	2,2	0,1	3,0	1,3	1,3	43,0
Type E	28,7	1,0	2,5	0,1	1,8	1,3	0,6	36,0
<b>Bestand Wien 665 Züge</b>	<b>17.700</b>	<b>2.000</b>	<b>1.400</b>	<b>70</b>	<b>1.400</b>	<b>800</b>	<b>600</b>	<b>24.100</b>

Es ergibt sich ein Gesamtbestand von 24.000 Tonnen für alle Tramwagen in Wien. Davon sind fast drei Viertel (knapp 17.700 Tonnen) Stahl, 8 % Aluminium und jeweils 6 % Kupfer und Kunststoffe. Kleinere Mengen an Blei (70 Tonnen), Glas (800 Tonnen) und Alkyd Farbe (600 Tonnen) kommen noch hinzu.

### 5.2.2.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Die Nutzungsdauern von Straßenbahnen werden zwischen 25 und 30 Jahren angenommen (Gassner et al., 2018b). Damit ergibt sich ein laufender Materialfluss von pro Durchschnittsjahr von 880 Tonnen Material, 650 Tonnen davon Stahl, 70 Tonnen Aluminium und 55 Tonnen

Kupfer. Weitere Renovierungsflüsse konnten nicht getrennt berechnet werden, da keine Daten zum Austausch einzelner Komponenten verfügbar sind.

### **5.2.3 Linienbusse**

In Wien verkehren ca. 469 Busse auf einer Linienlänge von 846 km (Wiener Linien, 2017). Diese halten an 4.221 Haltestellen und befördern über 200 Mio. Fahrgäste im Jahr (MA 23, 2017). Wie erwähnt wurde das Busnetz in den Jahren ab 2010 stark ausgebaut, was vor allem durch zusätzlichen Auftragsverkehr durchgeführt worden ist. Da über die genauen Veränderungen nichts bekannt ist, wurde mit den neuesten verfügbaren Daten zur Linienlänge und zu den Bus-Anzahlen (2017) gerechnet. Da sich diese Zahlen im Verlauf der letzten Jahre stark nach oben entwickelt haben, wird angenommen, dass hier der Auftragsverkehr inkludiert ist.

#### **5.2.3.1 Nutzung der Fahrbahnfläche**

Zur Flächennutzung des Linienbusverkehrs in Wien gibt es keine expliziten Daten. Der Busverkehr teilt mit dem übrigen Straßenverkehr die Fahrbahnflächen. Um dies zu bei der Aufteilung der Bestände zu berücksichtigen, wird ein Anteil an den Fahrbahnflächen dem Busverkehr zugeschrieben. Wie im Kapitel 5.1.1 erläutert, wird davon ausgegangen, dass nur wenige Flächen wie abgegrenzte Busspuren fast ausschließlich dem Linienbusverkehr zur Verfügung stehen, und der Großteil der Strecke auf den Fahrbahnflächen zurückgelegt wird, hierzu liegen jedoch keine genauen Informationen vor. Der Platzbedarf wurde aus der Linienlänge (846 km) und einer durchschnittlichen Spurbreite von 4,25 m (Randelhoff, 2019) errechnet. Von diesen 3,6 Mio. m<sup>2</sup> wurden in der Aufteilung der Verkehrsflächen nur 10 % (ca. 360.000 m<sup>2</sup>) berücksichtigt, da Grund zur Annahme besteht, dass diese Fläche vorwiegend vom Autoverkehr genutzt wird und nur während der fahrplanmäßigen Zeiten ca. alle 10 Minuten durch einen Bus.

#### **5.2.3.2 Materialbestand der Busse**

Die Wiener Linien geben ein Inventar von 457 größeren, diesel- bzw. benzinbetriebenen und 12 kleineren, batteriebetriebenen Bussen an. Zum Materialbestand von Bussen gibt es kaum Literatur. Aus einer Arbeit von (Gassner, 2013) sind Lebenszyklusdaten zu Bussen aus der LCA-Datenbank SimaPro bekannt, welche allerdings auch teilweise den Materialverbrauch in der Herstellung des Busses beinhalten. Um konsistent mit den anderen Berechnungen zu arbeiten, wurden diese Vorleistungen soweit möglich abgegrenzt und nur der direkte Materialinput in die Herstellung eines Busses verwendet. Ein Standard-Bus hat ein Gesamtgewicht von ca. 19 Tonnen, ein kleiner, batteriebetriebener Bus ca. 12 Tonnen, der Hauptbestandteil ist Stahl, des Weiteren sind Aluminium und andere Metalle, Glas, Kunststoff und sonstige Materialien enthalten, wie in Tabelle 15 ersichtlich. Diese Werte wurden auch mit der Hochrechnung der Materialintensität für einen PKW verglichen, welche ähnliche Werte ergeben würden, nur etwas niedrigere Stahlanteile.

Für Wien wurde ein Gesamtbestand von ca. 8.900 Tonnen an Bussen errechnet. Davon sind 64 % (5.700 Tonnen) Stahl und 14 % (1.200 Tonnen) Aluminium, kleinere Mengen an Kupfer, Steinwolle, Kunststoffen, Bitumen, Glas und Alkyd Farbe kommen noch hinzu.

**Tabelle 15: Materialintensitäten und Gesamtbestand der Wiener Busse in Tonnen**  
Durchschnittszug und Gesamtmassen (Gassner, 2013); Anzahlen (Wiener Linien, 2017)

	Stahl [t]	Alumi- nium [t]	Kupfer [t]	Stein- wolle [t]	Kunst- stoff, Bi- tumen [t]	Sonst. (v.a. Me- talle) [t]	Glas [t]	Alkyd Farbe [t]	Gesamt [t]
Busse	12,3	2,6	0,3	0,6	1,6		1,5	0,0	19,1
Batteriebetrie- bene Busse	5,8	2,0	0,1	0,4	1,0	2,5	1,0	0,0	12,9
<b>Bestand Wien</b> 469 Busse	5.700	1.200	160	300	750	30	700	20	8.900

### 5.2.3.3 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Es wird eine Lebensdauer von 10 Jahren für alle Busse angenommen (Gassner et al., 2018b). Daraus errechnet sich ein Austausch von Material in der Größenordnung von ca. 900 Tonnen pro Jahr. Da keine genaueren Daten zu Reparaturen von Linienbussen bekannt sind, können auch keine zusätzlichen Renovierungsflüsse berechnet werden.

### 5.2.4 **ÖBB-Postbus**

Die ÖBB-Postbus GmbH als Tochterunternehmen der ÖBB Personenverkehrs AG bedient das Wiener Stadtgebiet mit sieben Postbus-Linien, welche mit 70 Fahrzeugen unterwegs sind. Da die Linienlänge des Postbusses im Wiener Stadtgebiet nicht bekannt ist, wurde sie auch nicht in der Fahrbahnflächennutzung explizit berücksichtigt. Da es sich aber nur um einen Bruchteil der Busse der Wiener Linien handelt, wird angenommen, dass diese Fläche vernachlässigbar gering ist. Auch die Ausstattung der Haltestellen konnte, wie bei den Wiener Linien, aufgrund von Datenmangel nicht berechnet werden. Da für Postbusse keine spezifischen Daten bekannt sind, wurde der Bestand mit Hilfe derselben Daten wie für die Linienbusse berechnet. Es ergibt sich ein Gesamtbestand der Postbusse von 1.300 Tonnen, 80 % davon Metalle, größtenteils Stahl.

#### 5.2.4.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

Mit einer Lebensdauer von 10 Jahren (Gassner et al., 2018b) wird ein Austausch von 133 Tonnen Material pro Jahr errechnet, davon ca. 107 Tonnen Metalle. Da keine genaueren Daten zu Reparaturen von Postbussen verfügbar sind, können keine zusätzlichen Renovierungsflüsse ausgewiesen werden.

### 5.2.5 **Zug- und S-Bahn**

#### 5.2.5.1 Netz der ÖBB

In Wien besteht ein Schienennetz von 188 km Länge mit 50 Eisenbahnkreuzungen und 54 Bahnhöfen. Es gibt 10 S-Bahn-Linien die das Wiener Stadtgebiet durchziehen. Da vom ÖBB-Konzern keine genaueren Auskünfte erteilt wurden, wurde der Bestand mit Hilfe von Annahmen und Materialintensitätsdaten aus der Literatur (Steger et al., 2011) errechnet. Die Materialintensitäten für Bahnschwellen, Schienen, Oberleitungen und Unterwerke sowie Signaltechnik sind in Tabelle 16 dargestellt. Die Bahnhöfe werden je nach Größe mit einer Materialintensität von 25.500 Tonnen für Bahnhöfe mit einer Fläche von über 20.000 m<sup>2</sup> bzw. 13.100

Tonnen für Bahnhöfe mit einer Fläche über 10.000 m<sup>2</sup> und 4.400 Tonnen für kleinere Bahnhöfe (mit ca. 2.600 m<sup>2</sup> Fläche) angegeben.

**Tabelle 16: Materialintensitäten für das Schienennetz in Tonnen pro Kilometer Streckenlänge**

Daten: (Steger et al., 2011)

	[t/km]										
	Beton /Mauer	Stahl	Aluminium	Kupfer	Bronze	Holz	Teeröl	Bahnschotter	Eisenteile	Kunststoff (PE)	Summe
Bahnschwellen Beton (2-gleisig)	910	23						7.099	15	4	8.052
Bahnschwellen Holz (2-gleisig)						510	47	6.141	86	1	6.785
Schienen (2-gleisig)		220									220
Oberleitungen	75	41	4	2	1						123
Materialbedarf Unterwerke	3	1		1							5
Signaltechnik (2-gleisig)	92	2		9						6	108
Bahnhof Kat.1 (50.000 m <sup>2</sup> )	60.180	1.177									
Bahnhof Kat. 2 (20.000 m <sup>2</sup> )	25.015	477									
Bahnhof Kat. 3 (10.000 m <sup>2</sup> )	12.859	238									
Bahnhof Kat 4-6 (2.600 m <sup>2</sup> )	4.336	70									

Das Wiener Schienennetz der ÖBB ist 2-gleisig, aus 60 % Betonschwellen und aus 40 % Holzschwellen gebaut. Die Größe der Bahnhöfe in m<sup>2</sup> ist nicht bekannt, daher wurden folgende Annahmen gemacht: Die Bahnhöfe wurden in drei Größenkategorien unterteilt, Haupt- und Westbahnhof wurden Kategorie 2, die Bahnhöfe Wien Mitte, Praterstern, Handelskai und Floridsdorf Kategorie 3 zugeteilt. Die restlichen 47 Bahnhöfe wurden der kleinsten von Steger et al. (2011) angegebenen Flächenkategorie (4-6) zugeteilt.

Das gesamte Schienennetz inkl. Bahnhöfen und Oberleitungen in Wien hat einen Materialbestand von ca. 2 Mio. Tonnen, wovon 94 % nicht-metallische Mineralien in Form von Beton und Bahnschotter sind. Ungefähr 67.000 Tonnen des Bestands sind Stahl und Eisen, kleinere Mengen anderer Metalle wie Aluminium, Kupfer und Bronze kommen noch hinzu und machen insgesamt 3 % des Bestands aus. Weitere 41.000 Tonnen bzw. 2 % des Netzes bestehen aus Holz der Bahnschwellen.

**Tabelle 17: Gesamtbestände des Schienennetzes in Wien in Tonnen**

Holz [t]	Nicht-Metalle [t]	Metalle [t]	Fossile [t]	Summe [t]
40.600	1.797.000	70.000	5.400	1.912.300

### 5.2.5.1.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung

In der Literatur werden verschiedene Lebensdauern für Schieneninfrastrukturen angegeben. Für Bahnhöfe und Werke werden 60-100 Jahre genannt (Schmied und Motschall, 2013), weshalb für Wien mit einem Mittelwert von 80 Jahren gerechnet wurde. Für Schienen nehmen

(Wiedenhofer et al., 2015) 47-60 Jahre an, weshalb mit einem Mittelwert von 54 Jahren gerechnet wurde. Insgesamt ergeben sich Laufende Materialflüsse von ca. 1,7 % des Bestands, in der Größe von knapp 33.000 Tonnen, wovon 31.000 Tonnen Nicht-Metalle sind, ca. 1.200 Tonnen Metalle, 750 Tonnen Holz und ca. 90 Tonnen fossile Stoffe.

Es wird die Annahme getroffen, dass Bahnschwellen, Schienen, Oberleitungen und Signaltechnik einfacher und öfter ausgetauscht werden können. Die Materialflüsse für diese Komponenten, die 16 % des Gesamtbestandes ausmachen, können daher als Renovierungsflüsse bezeichnet werden. In den verbleibenden 84 % sind die Bahnhöfe inkludiert, zu denen keine genaue Aufteilung in Komponenten erhoben werden konnte. Hier wären daher noch weitere Renovierungsflüsse inkludiert, die nicht genau von den Materialflüssen für Bestandserhaltung abgegrenzt werden können.

#### **5.2.5.2 Züge und S-Bahnen**

Die Zahl der Züge wurde in einer Studie der Arbeiterkammer (Brezina et al., 2015) mit 151 für Wien angegeben. Davon sind 120 Züge der Reihe 4020 als Wiener S-Bahn und 31 City-Jet Züge unterwegs. Da keine genaueren Daten zur Zusammensetzung der Züge bekannt sind, wurden diese mit der Materialintensität der Wiener U-Bahn, auf ihr tatsächliches Gewicht hochgerechnet (S-Bahn 4020: 129 t, City-Jet 146 t), geschätzt. Es ergibt sich ein Gesamtbestand der Züge von ca. 20.000 Tonnen, die Hälfte davon Stahl und weitere 6.000 Tonnen Aluminium. Insgesamt machen Metalle ca. 86 % des Zugbestands aus.

##### **5.2.5.2.1 Laufende Materialflüsse für Bestandserhaltung**

Die Lebensdauer wurde wie bei den U-Bahnen mit knapp 27 Jahren angenommen (Gassner et al., 2018b). Daraus ergibt sich ein laufender Materialfluss von 744 Tonnen pro Durchschnittsjahr, dies entspricht ca. 4 % des Bestands. Zum Austausch von einzelnen Komponenten im Sinne von Reparatur innerhalb der Lebensdauer sind keine Daten verfügbar.

## **6 Der Stock-Flow-Service Nexus des Wiener Verkehrssystems: Materialbestände, Material- und Energieflüsse und Mobilität**

Die bisher dargestellten Teilergebnisse über die diversen Materialbestände und -flüsse im Verkehrssystem der Stadt Wien können nun mit weiteren Aspekten in Verbindung gesetzt werden, um den Stock-Flow-Service Nexus zu beschreiben. Die Materialbestände werden zunächst noch einmal zusammenfassend dargestellt mit ihren Materialintensitäten, Nutzungsdauern und Größen im Vergleich. Die laufenden Materialflüsse diverser Bestandstypen werden ebenfalls aufgelistet. Es erfolgt des Weiteren ein Split in die Nutzung diverser Elemente durch verschiedene Mobilitätsformen, um die Bestände mit ihren gesellschaftlichen Services in Verbindung zu bringen. Ergänzend wird der Energieverbrauch sowie das Ausmaß an Mobilität in Personenkilometern nach unterschiedlichen Fortbewegungsarten gegliedert dargestellt, um ein Gesamtbild der Bestände, Flüsse und Services im Verkehrssystem zu erhalten.

### **6.1 Zusammenfassung der Materialintensitäten und Nutzungsdauern**

Die Materialintensitäten und Nutzungsdauern diverser Bestandsarten unterscheiden sich erheblich voneinander. Tabelle 18 zeigt eine Übersicht dieser Parameter für verschiedene Bestandsarten. Details zur Ermittlung der Materialintensitäten wurden bereits in den vorherigen Kapiteln diskutiert, hier sei allerdings noch einmal erwähnt, dass sich durch die unterschiedlichen Datenqualitäten auch die Qualitäten der Ergebnisse unterscheiden. Bei Straßen und Parkinfrastrukturen sowie Beleuchtung konnten die Materialintensitätsdaten direkt von den verwaltenden Einheiten erhoben und damit ein Bestand für Wien berechnet werden. Das öffentliche Verkehrsnetz wurde auch mit erhobenen Materialintensitäten für Wien berechnet, allerdings im Rahmen von anderen, detaillierteren Studien, deren Ergebnisse in dieser Arbeit weiterverwendet wurden. Die mit \* gekennzeichneten Werte (ÖBB-Netz und Züge, Fahrzeuge, Fahrräder, Busse, Tunnel und Brücken) sind Ergebnisse aus Zählungen und Schätzungen von Beständen für Wien, die allerdings mit Materialintensitätsdaten aus der Literatur hochgerechnet wurden, da keine genauen Daten für Wien verfügbar waren.

**Tabelle 18: Übersicht der Materialintensitäten, Hauptbestandteile und Nutzungsdauern der wichtigsten Bestände des Verkehrssystems in Wien**

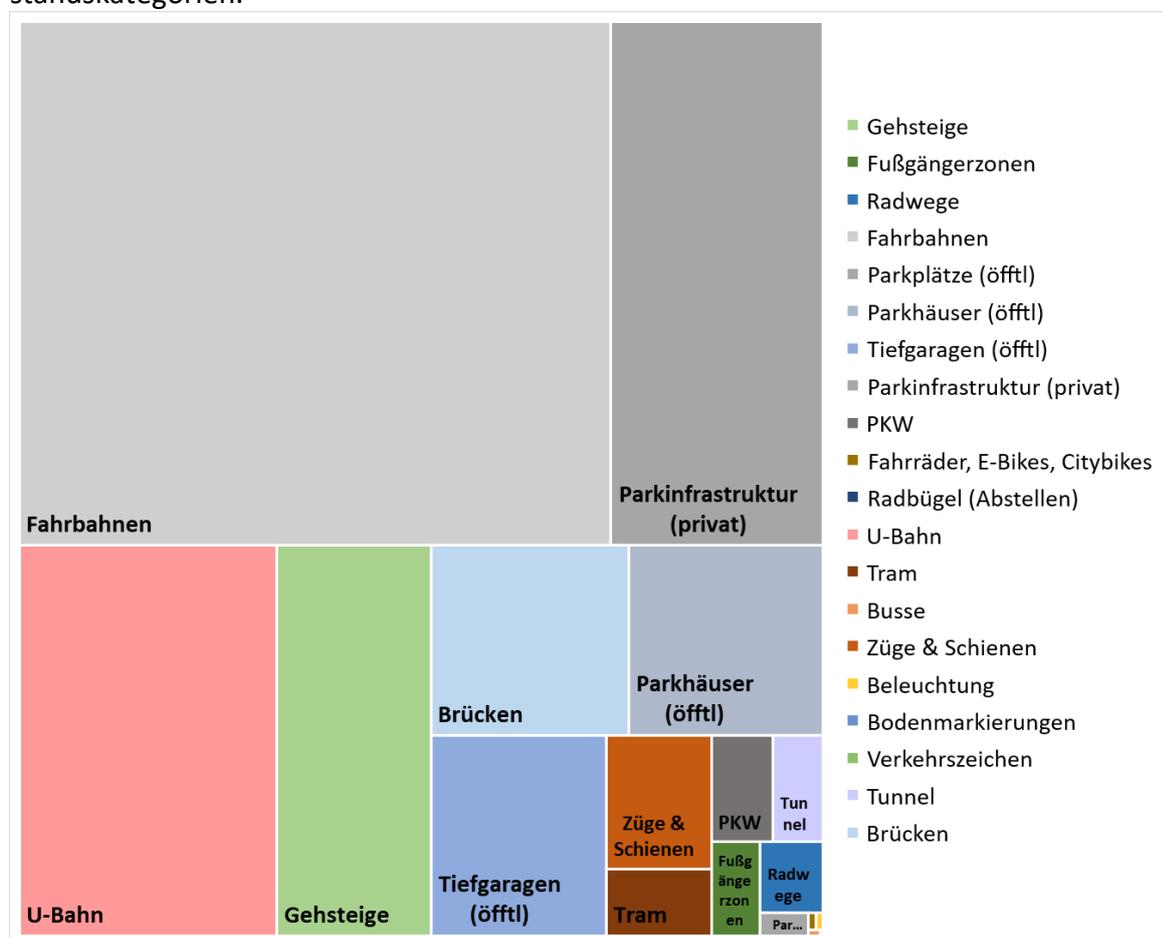
Materialbestand	Materialintensität			Nutzung (Jahre)
	Ø-Wert	Einheit	Hauptbestandteile	
<b>Verkehrsflächen gesamt</b>	<b>1,42</b>	<b>t/m2</b>	<b>99 % Gestein; Bitumen, Zement</b>	<b>30-38</b>
Gehsteigflächen	0,74	t/m2	99 % Gestein; Bitumen, Zement	30-36
Fußgängerzonen	1,75	t/m2	99 % Gestein; Bitumen, Zement	30-37
Radwege	1,67	t/m2	99 % Gestein; Bitumen, Zement	34-37
Fahrbahnen	1,71	t/m2	99 % Gestein; Bitumen, Zement	33-38
<b>Parkinfrastruktur (priv. &amp; öfftl. außer Straße)</b>	<b>46</b>	<b>t/Stellplatz</b>	<b>96 % Nicht-met. Mineralien, 3 % Metalle</b>	<b>44</b>
Parkplätze (öffentl.)	1,52	t/m2	99 % Gestein; Bitumen, Zement	34
Parkhäuser (öffentl.)	714	t/m3	93 % Nicht-met. Mineralien, 7 % Metalle	50
Tiefgaragen (öffentl.)	1.125	t/m3	95 % Nicht-met. Mineralien, 5 % Metalle	50
Parkplätze (privat)	3,79	t/m2	95 % Nicht-met. Mineralien, 5 % Metalle	42
PKW*	1,44	t/Stück	52 % Stahl, 18 % Metalle & Verbunde, 12 % Kunststoff	7
Fahrräder*, Citybikes	14-22	kg/Stück	49 % Aluminium, 30 % Stahl, 10 % Gummi	7
<b>U-Bahn (gesamt)</b>				
U-Bahn-Netz	147	t/m	94 % Nicht-met. Mineralien, 6 % Metalle	100
U-Bahn-Züge	154,3	t/Zug	51 % Stahl, 30 % Aluminium, 8 % Kunststoff	27
<b>Tram (gesamt)</b>				
Tram-Netz	4,3	t/m	91 % Beton, 7 % Schotter, 3 % Eisen & Stahl	35
Tramwägen	36,2	t/Zug	74 % Stahl, 8 % Kupfer, 8 % Aluminium	28
Busse*	18,9	t/Bus	64 % Stahl, 14 % Aluminium, 9 % Fossile	10
<b>Züge &amp; Schienen</b>				
Schienennetz ÖBB*	9.609	t/km	94 % Nicht-met. Mineralien, 4 % Metalle	54-80
Züge*	137,5	t/Zug	51 % Stahl, 30 % Aluminium, 8 % Kunststoff	27
Postbusse*	19,1	t/Bus	64 % Stahl, 14 % Aluminium, 9 % Fossile	10
Beleuchtung	5,35	t/km	70 % Stahl, 7 % Aluminium, 10% Kunststoff, 8 % Kupfer	59
Tunnel*	41,5	t/m Röhre	96 % Beton, 4 % Stahl	100
Brücken*	1,0	t/m2	77% Beton, 23 % Stahl	50

Vor allem die großen passiven Bestände des Verkehrssystems wie Verkehrsflächen, Parkinfrastrukturen und die öffentlichen Verkehrsnetze bestehen zum größten Teil aus nicht-metallischen Mineralien wie Gestein, Schotter und Sand. Schienennetze enthalten außerdem 3-7 % Metalle, bei Parkinfrastrukturen in Parkhäusern und Tiefgaragen sind es 5-7 %. Im Schienennetz handelt es sich dabei vor allem um Stahl und Eisen, während Aluminium und Kupfer eine mengenmäßig untergeordnete Rolle spielen. Aktive Bestände, also Fahrzeuge, bestehen hingegen zum größten Teil aus Metallen, wobei Stahl bei PKW (52 %), Zügen (51 %), Bussen (64 %) und Tramwägen (74 %) vorherrschend ist.

Auch die verschiedenen durchschnittlichen Nutzungsdauern, also die Zeitspannen von Erstellung bis zum Ende der Nutzung eines Bestandes, variieren stark. Insgesamt rangieren die Nutzungsdauern aller Bestandstypen zwischen 6 und 100 Jahren mit einem gewichteten Mittelwert von 48 Jahren. Die Betrachtung von aktiven und passiven Beständen getrennt gibt weitere Einblicke. So liegt der gewichtete Durchschnitt aller passiven Bestände bei 48,4 Jahren, während die aktiven Bestände durchschnittlich 10,9 Jahre in Verwendung bleiben.

## 6.2 Gesamtbestände und jährliche Materialflüsse

Das Verkehrssystem Wiens hat einen Materialbestand von ca. 101,1 Mio. Tonnen insgesamt, das entspricht 57,4 Tonnen pro Kopf, bezogen auf den mittleren Bevölkerungsstand der Jahre 2008-2018. Abbildung 11 veranschaulicht die Größenordnungen der verschiedenen Bestandskategorien.



**Abbildung 11: Flächenproportionale Darstellung der Materialbestände im Wiener Verkehrssystem**  
Die Gesamtfläche entspricht dem Gesamtbestand von 101,1 Mio. Tonnen.

Verkehrsflächen inkl. Fahrbahnen, Gehsteigen, Radwegen und Fußgängerzonen machen mit 52,1 Mio. Tonnen gut die Hälfte des Bestandes aus, besonders die Fahrbahnen haben mit 42,6 Mio. Tonnen einen hohen Anteil. Die nächstgrößte Bestandskategorie mit 25,4 Mio. Tonnen sind Parkinfrastrukturen inkl. privater und öffentlicher Parkhäuser, Tiefgaragen und Parkplätze. Die Parkflächen am Rand der Fahrbahn werden dabei den Fahrbahnflächen zugerechnet. Würde man die entsprechende Materialmenge von ca. 6,3 Mio. Tonnen zu den Parkinfrastrukturen hinzuzählen, so wären die Fahrbahnflächen mit einem Bestand von 36,3 Mio.

Tonnen und die Parkinfrastrukturen mit 31,7 Mio. Tonnen ähnlich groß. Beachtlich ist auch der hohe Anteil der Gehsteigflächen mit 8,3 Mio. Tonnen Material. Das U-Bahn-System trägt mit 13,8 Mio. Tonnen weitere 14 % zum Gesamtbestand bei, das meiste davon (13,7 Mio. Tonnen) ist dem Schienennetz und den Stationen zuzurechnen. Weitere 5 % des Bestandes (5,2 Mio. Tonnen) sind Brücken, der Rest der Bestände, inkl. ÖBB-Netz und Tram-Netz, macht weniger als 4 % des gesamten Verkehrssystems aus. Tabelle 19 listet das Inventar und die Masse jedes Bestandstyps des Verkehrssystems auf und zeigt Bestandsmengen pro Kopf sowie das Ausmaß der laufenden Materialflüsse im Vergleich.

**Tabelle 19: Gesamtbestände (absolut und pro Kopf) und jährliche Materialflüsse (absolut und in % des Bestandes) des Verkehrssystems in Wien**

Materialbestand	Anzahl	Gesamtbestand		Jährliche Materialflüsse	
		Tonnen	Tonnen pro Kopf <sup>13</sup>	Tonnen	% des Bestands
Verkehrsflächen gesamt	36,8 km <sup>2</sup>	52.129.500	29,6	1.732.300	3,3%
Gehsteigflächen	11,1 km <sup>2</sup>	8.269.800	4,7	292.900	3,5%
Fußgängerzonen	0,4 km <sup>2</sup>	628.400	0,4	18.260	2,9%
Radwege	0,4 km <sup>2</sup>	611.200	0,3	19.570	3,2%
Fahrbahnen	25,0 km <sup>2</sup>	42.620.100	24,2	1.330.780	3,1%
(davon Parkflächen)	3,8 km <sup>2</sup>	6.317.400	3,6	199.750	3,2%
Parkinfrastuktur (priv. & öfftl. außer Straße)	430.000 Stellplätze	25.387.700	14,4	546.920	2,2%
Parkplätze (öffentlich)	7.000 SP	150.200	0,1	4.830	3,2%
Parkhäuser (öffentlich)	73.000 SP	5.078.100	2,9	101.560	2,0%
Tiefgaragen (öffentlich)	52.000 SP	4.828.600	2,7	96.570	2,0%
Parkplätze (privat)	300.000 SP	15.330.800	8,7	343.960	2,2%
PKW Wien	625.000	900.600	0,5	124.550	13,8%
Fahrräder, E-Bikes, Citybikes	1.164.000	18.500	0,0	2.960	16,0%
Radbügel (Halterungen)	5.000	1.200	0,0	117	10,0%
U-Bahn (gesamt)		13.840.700	7,9	153.320	1,1%
U-Bahn-Netz	83 km	13.719.200	7,8	148.730	1,1%
U-Bahn-Züge	780 Züge	121.500	0,1	4.580	3,8%
Tram (gesamt)		973.400	0,6	28.010	2,9%
Tram-Netz	220 km	949.300	0,5	27.120	2,9%
Tramwägen	655 Züge	24.100	0,0	880	3,7%
Linienbusse	469 Busse	8.900	0,0	890	10,0%
Züge & Schienen		1.932.100	1,1	33.930	1,8%
Schienennetz ÖBB	199 km	1.912.300	1,1	33.190	1,7%
Züge	151 Züge	19.800	0,0	740	3,8%
Postbusse	70 Busse	1.300	0,0	130	10,0%
Beleuchtung	3.000 km	16.100	0,0	300	1,9%
Bodenmarkierungen	0,5 km <sup>2</sup>	300	0,0	50	16,7%
Verkehrszeichen	220.000	800	0,0	40	4,5%
Tunnel	19 Röhren	730.500	0,4	7.310	1,0%
Brücken	1.712	5.153.500	2,9	103.070	2,0%
<b>Summen für Wien</b>		<b>101.095.200</b>	<b>57,4</b>	<b>2.733.900</b>	<b>2,7%</b>

<sup>13</sup> Zur Berechnung der Pro-Kopf-Werte wurde der durchschnittliche Bevölkerungsstand Wiens im Zeitraum 2008-2018 von 1,76 Mio. Personen herangezogen.

### **6.2.1 Vergleich der Bestände in Wien mit Daten aus der Literatur**

Beim Vergleich der Materialbestände pro Kopf mit Werten aus der Literatur sind unterschiedliche Beobachtungen zu machen. Wiedenhofer et al. (2015) weisen einen Straßenbestand von 128 Tonnen pro Kopf und Schieneninfrastrukturen von 3 Tonnen pro Kopf für die EU25 aus. Diese Werte sind nicht direkt vergleichbar, da sie sich auf gesamte Länder und nicht auf eine urbane Infrastrukturlandschaft beziehen. Wie in Kapitel 2.2.1.1 dargestellt, entspricht die Straßenlänge pro Kopf in Wien mit 1,7 m auch nur ca. 12 % der Straßenlänge pro Kopf in Gesamtösterreich, daher ist auch ein niedrigerer Materialbestand pro Kopf zu erwarten als in einem gesamten Land inkl. ruraler Gebiete. Der in dieser Arbeit errechnete Bestand an Verkehrsflächen in Wien (29,6 t/Kopf) entspricht ca. 23 % des Bestandes pro Kopf, der für die EU25 berechnet wurde (128 t/Kopf).

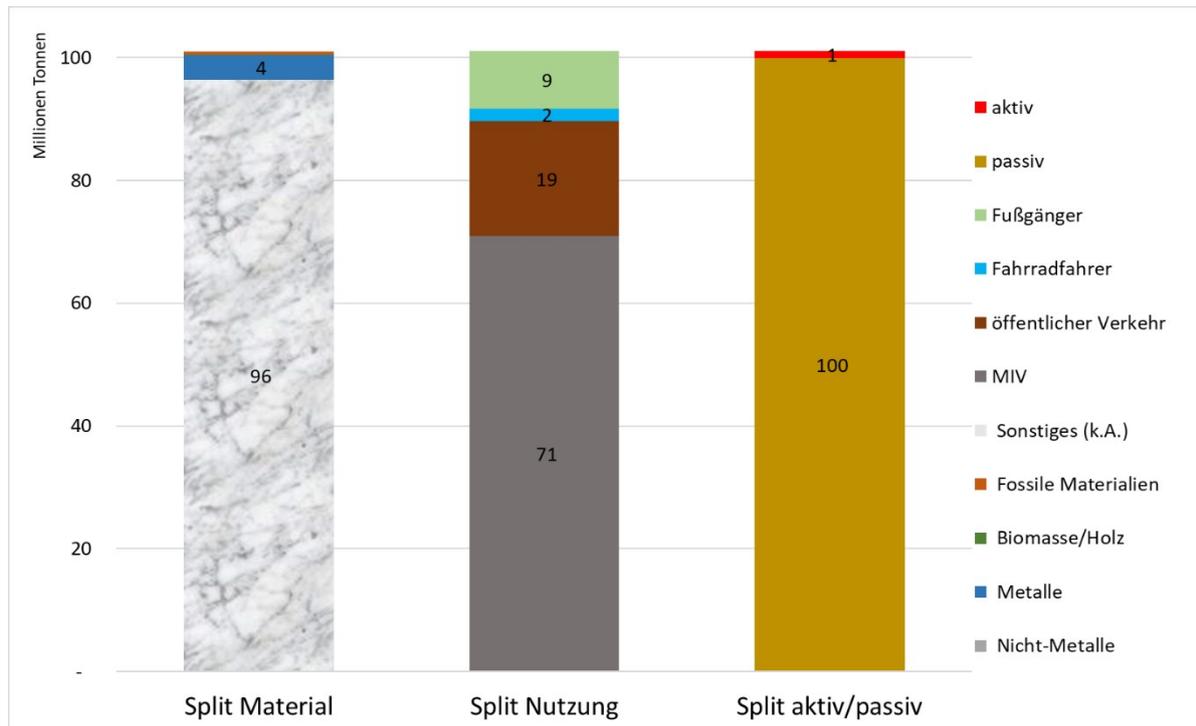
Werte aus anderen Ländern sind schwierig zu vergleichen, da wie im Kapitel 5.1.2.1 besprochen, unterschiedliche Baustandards in den verschiedenen Ländern vorliegen, was die Materialintensität erheblich beeinflusst. Für Beijing wurde ein Materialbestand der Straßen von 159 Mio. Tonnen errechnet (Guo et al., 2014), was bei einer Bevölkerungszahl von ca. 18,4 Mio. Menschen zu diesem Zeitpunkt einem Bestand von 8,6 Tonnen pro Kopf entspricht. Die Vermutung liegt nahe, dass die niedrigeren Baustandards und vermutlich auch die dichtere Bevölkerung von Beijing im Vergleich zu Wien (ca. 8.800 Personen/km<sup>2</sup> vs. 4.200 Personen/km<sup>2</sup>), zu wesentlich geringeren Bestandswerten pro Kopf führen. In Vietnam wurde ein Bestand der Straßenflächen von 2.660 Mio. Tonnen im Jahr 2012 berechnet (Nguyen et al., 2018). Mit einer Bevölkerung von 90,8 Mio. Menschen (FAO, 2019) ergibt dies einen Bestand von 29,3 Tonnen pro Kopf, der sehr nahe an dem für Wien berechneten Wert liegt. Es ist anzunehmen, dass hier die beiden Aspekte gegensätzlich auf das Ergebnis einwirken: Durch die Erfassung eines gesamten Landes inkl. ruraler Gebieten ist ein höherer Wert zu erwarten, durch die Baustandards mit niedrigerer Materialintensität ein niedrigerer Wert als für Wien. Das Ergebnis ist eine ähnlich hohe Bestandsdichte pro EinwohnerIn.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Beständen der Schienennetze. Die Schienennetzlänge in Wien mit 188 km entspricht 0,11 m/Kopf während es für ganz Österreich 0,7 m/Kopf sind. In Wien besteht demnach nur ca. 15 % der Netzlänge pro Kopf im Vergleich zu Österreich. Dies lässt wiederum darauf schließen, dass die Schienennetzbestände für ein gesamtes Land wesentlich höher als für ein urbanes Gebiet sind. Das Schienennetz pro Kopf in Wien wurde mit 1,1 Tonnen pro Kopf berechnet, während der Bestand in der EU25 bei 3 Tonnen pro Kopf liegt (Wiedenhofer et al., 2015). Der Bestand des Schienennetzes in Wien pro Kopf beträgt also etwa ein Drittel des Wertes für die EU25. Hier ist auch zu beachten, dass das Streckennetz der Bahn in Österreich im EU-Vergleich überdurchschnittlich gut ausgebaut ist. Während in Europa durchschnittlich 4,32 km Netzlänge pro EinwohnerIn bestehen, kommt Österreich auf ca. 6,42 km pro EinwohnerIn (Independent Regulators' Group - Rail, 2018).

### **6.2.2 Materialzusammensetzung und Nutzung der Bestände**

Abbildung 12 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Bestände, gegliedert nach ihrer Materialzusammensetzung (erste Säule), ihrer Nutzungsart (zweite Säule) und der Unterscheidung in aktive bzw. passive Bestände (dritte Säule). Die Unterscheidung in aktive und passive Bestände erfolgt nach dem Kriterium, ob der Materialbestand selbst Energie umwan-

delt. Aktive Bestände sind Energiekonverter, wie etwa Fahrzeuge, die Treibstoff in Bewegungsenergie umwandeln. Die Fahrbahn dagegen ist kein aktiver Energiekonverter und wird daher zu den passiven Beständen gezählt.



**Abbildung 12: Aufteilung (Split) der Materialbestände des Verkehrssystems**

Unterscheidung nach Materialzusammensetzung (linke Säule), Nutzung (Mitte) und Bestandsart – aktiv bzw. passiv (rechte Säule); (MIV = motorisierter Individualverkehr)

### 1. Säule: Material

Das Verkehrssystem besteht zu 4 % aus Metallen, fast der komplette Rest sind nicht-metallische Materialien. Die Materialzusammensetzung der Bestände ist in Tabelle 20 noch genauer dargestellt.

### 2. Säule: Nutzung

Ungefähr 71 Mio. der 101 Mio. Tonnen werden durch den MIV (motorisierten Individualverkehr) genutzt, der ÖV (öffentliche Verkehr) benutzt ca. 19 Mio. Tonnen und die FußgängerInnen – bedingt durch die materialintensive Bauweise der Gehsteige – weitere 9 Mio. Tonnen. Die Zuteilung der einzelnen Bestandteile zu den diversen Mobilitätsformen wurde in den vorherigen Kapiteln besprochen.

### 3. Säule: Aktive und passive Bestände

Nur 1 % des Verkehrssystems kann als aktiver Bestand verstanden werden, der energiekonvertierende Teil des Verkehrssystems, der direkt zur Fortbewegung genutzt wird. Die 625.000 in Wien zugelassenen PKW und alle U-Bahnen, Züge, Tramwägen und Fahrräder gemeinsam machen daher nur 1 % des Gesamtbestandes aus. Von diesem 1,1 Mio. Tonnen großen Anteil sind über 900.000 Tonnen den PKW zuzurechnen.

**Tabelle 20: Zusammensetzung der Materialbestände aus den vier Materialgruppen in Tonnen**  
 Materialien gerundet auf 10 Tonnen. Bestände <10 Tonnen nicht berücksichtigt. Nicht zuteilbare, aggregierte Kategorien (143.730 t in PKW und 1.810 t in Fahrrädern) nicht berücksichtigt

Materialbestand	Bio- masse [t]	Metalle [t]	Nicht-Metalle [t]	Fossile Materialien [t]	Zusammen- setzung
					<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> Biomasse/Holz</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Metalle</li> <li><span style="color: grey;">■</span> Nicht-Metalle</li> <li><span style="color: red;">■</span> Fossile Materialien</li> <li><span style="color: lightgrey;">■</span> Sonstiges (k.A.)</li> </ul>
<b>Verkehrsflächen gesamt</b>					
Gehsteig- flächen			8.200.190 t Gestein, Schotter, Sand 14.650 t Zement	54.950 t Bitumen	
Fußgänger- zonen			626.700 t Gestein, Schotter, Sand 640 t Zement	1.060 t Bitumen	
Radwege			608.300 t Gestein, Schotter, Sand 40 t Zement	2.870 t Bitumen	
Fahrbahnen			42.223.530 t Gestein, Schotter, Sand 208.950 t Zement	187.640 t Bitu- men	
<b>Parkinfrastuktur (priv. &amp; öfftl. außer Straße)</b>					
Parkplätze (öffentlich)			149.510 t Gestein, Schotter, Sand, Ze- ment	730 t Bitumen	
Parkhäuser (öffentlich)		367.180 t Stahl, Kupfer, Zink, Alu- minium, Blei, Gusseisen, sonst. Metalle	4.706.100 t Beton, Mau- ersteine, Putze, Schüttungen	4.850 t Dichtun- gen, Dämm- stoffe	
Tiefgaragen (öffentlich)		241.040 t Stahl, Kupfer, Zink, Alu- minium, Blei, Gusseisen, sonst. Metalle	4.571.620 t Beton, Mau- ersteine, Putze, Schüttungen	15.930 t Dichtun- gen, Dämm- stoffe	
Parkplätze u. Garagen (privat)		729.390 div. Metalle	14.558.400 Gestein, Schotter, Sand, Ze- ment, Mauer, Putze, Schüttungen	43.000 Bitumen, Dichtungen, Dämmstoffe	

Fahrzeuge und Fahrradabstellanlagen					
<b>PKW</b>		473.560 t Stahl 158.510 t Metalle & Verbunde	18.590 Glas	106.190 t Kunststoffe	
<b>Fahrräder, E-Bikes, Citybikes (inkl. Stationen)</b>	1.818 t Gummi	9.000 t Aluminium 5.500 t Stahl 670 andere Metalle	883 t Beton	610 Kunststoffe	
<b>Radbügel (Halterungen)</b>		1.170 t Aluminium			
U-Bahn					
U-Bahn-Netz		652.390 t Stahl & Eisen 11.120 t Kupfer 6.350 t Aluminium	12.449.830 t Beton 299.920 t Schotter 249.600 t Ziegel		
U-Bahn-Züge	3.060 t Holz	62.450 t Stahl 36.740 t Aluminium 3.670 t Kupfer 1.100 t Blei	2.450 t Glas 1.230 t Steinwolle	9.800 t Kunststoff 980 t Alkyd Farbe	
Tram und Bus					
Tram-Netz		26.450 t Eisen und Stahl 1.540 t Kupfer	859.560 t Beton 61.710 t Schotter		
Tramwägen		17.720 t Stahl 2.040 t Aluminium 1.450 t Kupfer 70 t Blei	800 t Glas	1.450 t Kunststoff 580 t Alkyd Farbe	
<b>Linienbusse</b>		5.700 t Stahl 1.220 t Aluminium 160 t Kupfer 30 t Sonstiges (größtenteils Metalle)	290 t Steinwolle 700 t Glas	760 t Kunststoffe & Bitumen 20 t Alkyd Farbe	
<b>Postbusse</b>		860 t Stahl 180 t Aluminium 24 t Kupfer	110 t Glas 40 t Steinwolle	110 t Kunststoffe und Bitumen	

<b>Züge &amp; Schienen</b>					
Schienennetz ÖBB	40.600 t Holz	58.400 t Stahl 8.710 t Eisenteile 2.160 t Kupfer 700 t Aluminium 260 t Bronze	459.600 t Beton/Mauer 1.336.400 t Bahnschot- ter	3.700 t Teeröl 1.600 t Kunststoff	
Züge ÖBB	500 t Holz	10.200 t Stahl 6.000 t Aluminium 600 t Kupfer 180 t Blei	400 t Glas 200 t Steinwolle	1.600 t Kunststoff 160 t Alkyd Farbe	
<b>Weitere Bestände des Verkehrssystems</b>					
<b>Beleuchtung</b>	270 t Holz	11.250 t Stahl 1.210 t Kupfer 1.150 t Aluminium	480 t Beton 110 t Glas	1.600 t Kunst- stoffe	
<b>Bodenmar- kierungen</b>				330 t Farbe	
<b>Verkehrszei- chen</b>		790 t Aluminium			
<b>Tunnel</b>		26.500 t Stahl	704.000 t Beton		
<b>Brücken</b>		1.163.700 t Stahl	3.989.800 t Beton		
<b>Summe für Wien</b>	<b>44.400 t Bio- masse</b>	<b>4.109.200 t Metalle</b>	<b>96.355.400 t Nicht-Metalle</b>	<b>440.500 t Fossile Materialien</b>	

### 6.2.3 Laufende Materialflüsse

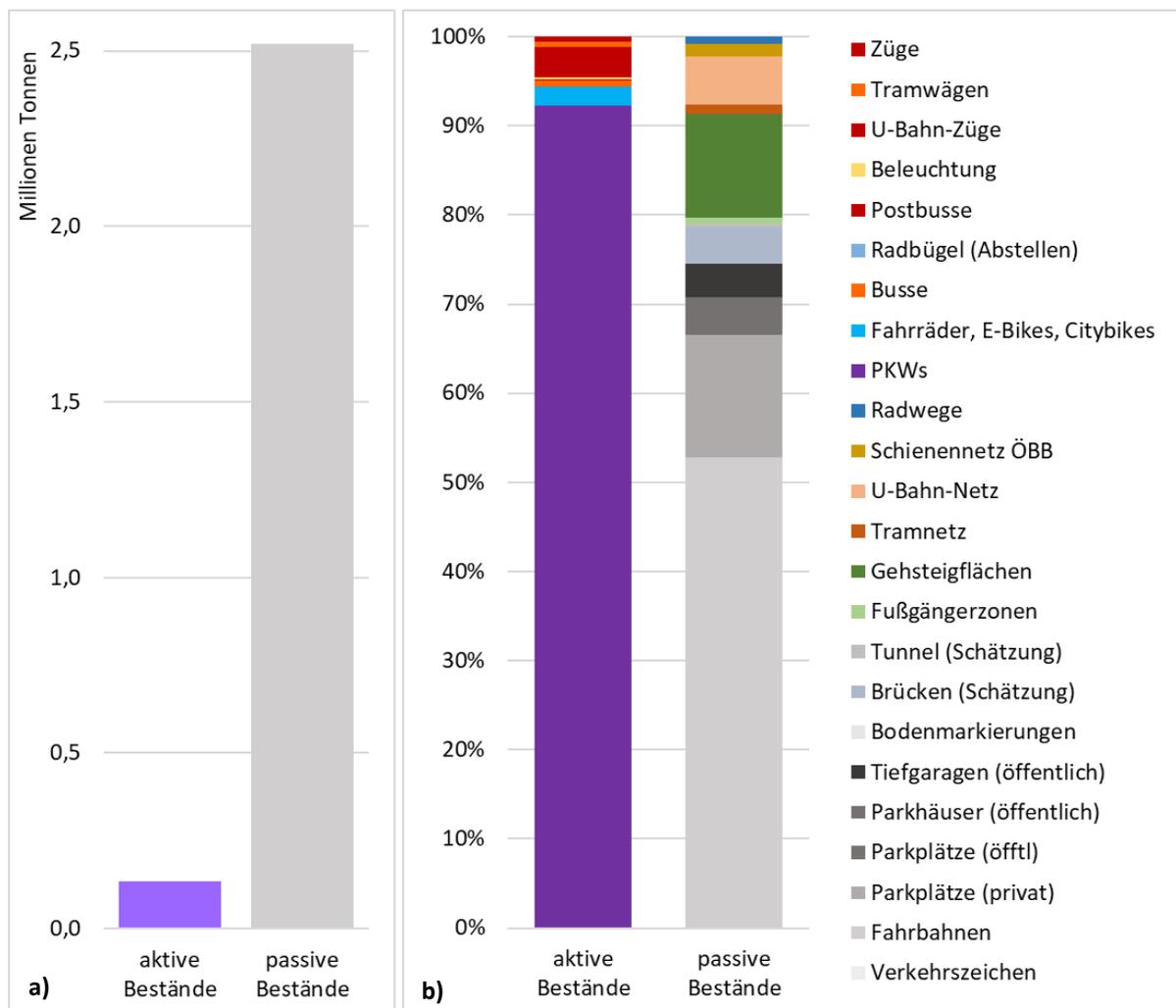
Bei passiven Beständen, wie den Infrastrukturen, liegt der Erhaltungsaufwand meist bei 1-3 % des Materialbestandes. Aktive Bestände wie die Fortbewegungsmittel haben meist kürzere Lebensdauern und daher Erhaltungsflüsse von bis zu 17 % der Bestände. Mengenmäßig schlagen sich jedoch trotzdem die Materialflüsse der passiven Bestände, vor allem der Straßenflächen und Parkinfrastrukturen am stärksten nieder. Es ergibt sich ein laufender Materialfluss für Bestandserhaltung von ca. 2,7 Mio. Tonnen pro Durchschnittsjahr, das sind rund 1,6 Tonnen pro Kopf pro Jahr für das Verkehrssystem Wiens.

Die Errichtung zusätzlicher Infrastruktur (Bestandserweiterung) im Stadtgebiet fällt dem gegenüber als Materialfluss aktuell kaum ins Gewicht, da – zumindest bei Verkehrsflächen, PKW

und dem U-Bahn-Netz – über die letzten Jahre nur geringe Änderungsraten verzeichnet wurden. Für Verkehrsflächen wurde ein Materialfluss für Bestandserweiterung von jährlich 165.400 Tonnen berechnet, für zusätzliche PKW der BewohnerInnen Wiens 7.300 Tonnen und für den Ausbau der U-Bahn 109.000 Tonnen. Insgesamt wären dies 281.800 Tonnen, weitere 0,28 % der Gesamtbestände. Die meisten, aufgrund von Datenmangel vernachlässigten, Materialflüsse für Bestandserweiterung beziehen sich auf kleine Bestände und würden das Gesamtbild nicht stark verändern. Einzig die Parkinfrastrukturen sind ein großer Bestand, für den mangels verfügbarer Daten zur Veränderung keine Bestandserweiterung berechnet werden konnte. Gäbe es hier starke Veränderungsraten, so könnte dies den berechneten Materialfluss für Bestandserweiterung von 0,28 % der Bestände noch signifikant beeinflussen.

Wenn angenommen wird, dass jährlich Materialien in der Größenordnung von knapp 3 % der Bestände in deren Erhaltung fließen, ist dies mit einem entsprechenden Materialabfluss aus Beständen gleichzusetzen. Somit kann eine ähnlich große Menge von 2,7 Mio. Tonnen Material pro Jahr auch als Abfall aus Abrissarbeiten bzw. der Entsorgung von Beständen, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, und somit als verfügbares Recyclingpotential angenommen werden. Bei diesem Material handelt es sich hauptsächlich um nicht-metallische Mineralien, die bei der Erneuerung des Straßennetzes anfallen. Aus diesen kommt zwar ein beträchtlicher Anteil wieder zum Einsatz, es ist jedoch nicht bekannt, wie viel genau und in welchen Beständen (im Stadtgebiet oder außerhalb) dieses wiederverwertet wird. Im höherrangigen Straßennetz, wie es in Wien zu finden ist, schätzt man den maximalen Einsatz von Recyclingmaterial in Asphaltflächen auf 10 % und in ungebundenen Tragschichten auf 20 %. In Betonflächen wird kaum recyceltes Material eingesetzt (Ablinger, 2018; Gragger, 2018; Kugler, 2018). Zusätzlich bleibt die Frage, inwiefern das Material zwar wiederverwendet, aber nicht im engeren Sinn rezykliert, sondern „downgecycelt“, also einer niedrigeren Verwertungsform zugeführt wird. Dies würde bedeuten, dass für den ursprünglichen Zweck dieses abgetragenen Materials immer wieder neues Material eingesetzt werden müsste. Das Recyclingpotential für bestimmte Bestände bzw. Teile davon wie z.B. Straßenschichten hätte damit zumindest lokal ein Limit, da irgendwann der Bedarf an Recyclingmaterial gedeckt ist. Die Extrahierbarkeit und Wiederverwertbarkeit der verbauten Materialien ist daher ein interessanter Aspekt für die langfristige Betrachtung von Materialbeständen, welche in dieser Arbeit nicht im Detail behandelt werden kann. Nicht nur die Qualität und Quantität der Materialien sondern auch die Lager- und Transportkapazitäten für große Mengen von Materialflüssen wären dabei zu beachten (Wiedenhofer et al., 2015).

Auch die laufenden Materialflüsse pro Jahr für Bestandserhaltung können differenziert nach den Beständen, denen sie dienen, betrachtet werden. So ergeben sich laufende Materialflüsse für passive und aktive Bestände bzw. Materialflüsse für die verschiedenen Mobilitätsarten, wie im Folgenden dargestellt.



**Abbildung 13: Jährliche Materialflüsse für die Erhaltung und Erneuerung aktiver und passiver Bestände im Vergleich; Mio. Tonnen (a) bzw. prozentuelle Aufteilung auf einzelne Bestände (b)**

Wie in Abbildung 13 dargestellt, fließt ein Großteil (95 %) der insgesamt 2,7 Mio. Tonnen laufender Materialflüsse in die Erhaltung passiver Beständen, obwohl für aktive Bestände wesentlich geringere Nutzungsdauern angenommen werden. Der Grund dafür ist, dass aktive Bestände nur einen kleinen Teil der Gesamtmasse ausmachen. Die ihnen zuzurechnenden laufenden Materialflüsse pro Jahr betragen mit nur 0,1 Mio. Tonnen auch wesentlich weniger als die Flüsse in passive Bestände, welche ca. 2,6 Mio. Tonnen ausmachen.

Bei genauerer Betrachtung der Zusammensetzung der Materialflüsse für aktive Bestände zeigt sich, dass über 90 % der Materialflüsse durch den Austausch von PKW zustande kommen. Die Materialflüsse für passive Bestände werden durch Bestandserhaltung von Fahrbahnen und Parkinfrastrukturen für PKW dominiert. Diese machen gemeinsam mit Tunneln und Brücken, welche auch zum Großteil vom motorisierten Individualverkehr genutzt werden, knapp 80 % der gesamten Materialflüsse in passive Bestände aus. Gehsteig- und Fußgängerflächen verursachen weitere 12 % der Materialflüsse pro Jahr, das öffentliche Verkehrsnetz ca. 7 %.

Das bedeutet, dass insgesamt 77 % aller laufenden Materialflüsse dem motorisierten Individualverkehr zuzurechnen sind, den Infrastrukturen für Mobilität zu Fuß 11 % und dem öffentlichen Verkehr ca. 10 %. Dem Radverkehr sind nur 2 % der laufenden Materialflüsse zuzurechnen.

### **6.3 Exkurs: Dynamik innerhalb der Systemgrenze bei Erfassung des Stock-Flow-Service Nexus der Mobilität**

Als Systemgrenze für diese Analyse wurde die Wiener Stadtgrenze definiert. Dies ist eine in der Praxis relevante Grenze, da sie für Politik und Verwaltung wirkmächtig ist. Auch die Datenerfassung legt eine Anlehnung an die Verwaltungsgrenze der Stadt nahe, da die verschiedenen Behörden mit dieser Abgrenzung arbeiten und sich die Daten der städtischen Statistik darauf beziehen. In der Realität ist die Verwaltungsgrenze der Stadt, oft als Stadtgrenze bezeichnet, jedoch keine klare Begrenzung der Mobilität einer Stadt. Menschen nutzen Verkehrssysteme, um die Stadt zu verlassen oder zu betreten und Teile der Verkehrsinfrastruktur (Fahrzeuge) bewegen sich dabei mit den mobilen Personen mit. Beim Blick auf die tatsächliche Mobilität sind daher die NutzerInnen des Verkehrssystems nicht gleichzusetzen mit den gemeldeten BewohnerInnen einer Stadt und auch die Gesamtbestände und -flüsse erweitern sich um die mitgebrachten Fahrzeuge. Nach einem Territorialprinzip werden Bestand und NutzerInnen demnach um alles erweitert, was sich im Stadtgebiet befindet.

Laut der Kordonenerhebung des Planbüro Ost pendeln 527.600 Personen täglich nach Wien ein, das entspricht mehr als einem Viertel der gesamten Stadtbevölkerung (Rittler, 2011). Daten zu AuspendlerInnen sind nicht verfügbar, es wird jedoch angenommen, dass diese Anzahl vergleichsweise gering ist. Hinzu kommen noch BesucherInnen wie TouristInnen, die Zeit in der Stadt verbringen und die Verkehrsinfrastruktur nutzen. Die Anzahl der Personen, welche die Services des Wiener Verkehrssystems nutzen, vergrößert sich demnach von ca. 1,76 Mio. BewohnerInnen um 527.600 tägliche EinpendlerInnen sowie um alle BesucherInnen, die binnen einem Jahr nach Wien kommen. Personen, die nicht regelmäßig einpendeln und nicht als Nächtigungsgäste erfasst werden, etwa TagestouristInnen, können mangels Daten nicht erfasst werden. Alle Personen, die eine Nacht in Wien verbringen, können über die Nächtigungsstatistik erfasst werden und werden in der Folge als TouristInnen bezeichnet. Genaue Daten zur Mobilität der PendlerInnen und TouristInnen sind ebenfalls nicht verfügbar, die Zahl der zurückgelegten Personenkilometer durch TouristInnen kann jedoch über Nächtigungszahlen geschätzt werden.

Außerdem müssen auch die Materialbestände, die EinpendlerInnen mitbringen, das heißt die PKW, in denen sie unterwegs sind, mitgerechnet werden, sobald diese sich über die festgesetzte Systemgrenze in das System „Stadtgebiet“ hineinbewegen. Diese sind zwar per se kein Bestand des Verkehrssystems in Wien, werden aber tatsächlich im Stadtgebiet und im Verbund mit der städtischen Mobilitätsinfrastruktur für Mobilitätsservices genutzt und daher in der Gesamtbetrachtung des Stock-Flow-Service-Nexus inkludiert. Ca. 417.000 Personen pendeln täglich nach Wien ein und nutzen dafür den MIV mit einem durchschnittlichen Besetzungsgrad von 1,19 Personen pro Fahrzeug (Rittler, 2011). Dies bedeutet, PendlerInnen bringen zusätzliche 350.000 PKW ins Stadtgebiet. Insgesamt dienen daher 975.000 PKW der Mobilität im Stadtgebiet. Auch für diese PKW müssen Materialbestände und laufende Materialflüsse inkludiert werden, die sich wie für die PKW der BewohnerInnen Wiens in Kapitel 5.1.9.1 beschrieben, berechnen lassen. Tabelle 21 fasst diese erweiterten Ergebnisse des Fahrzeugbestandes und laufenden Materialflusses zusammen.

**Tabelle 21: Materialbestand der PKW, die durch EinpendlerInnen täglich ins Stadtgebiet kommen sowie Materialflüsse/Jahr in Tonnen für diese Fahrzeuge**

Anzahlen: eigene Berechnung; Basis-Daten (Rittler, 2011); Materialintensitäten: (Schimpl, 2018)

Material PKW (VW Golf)	%	Bestand PKW PendlerInnen [Stück]	Bestand gesamt inkl. PKW PendlerInnen [Stück]	Materialfluss PKW PendlerInnen [t/Jahr]	Materialfluss für alle PKW [t/Jahr]
Kunststoffe	12%	59.500	165.700	8.200	22.900
Stahl	52%	265.400	738.900	36.700	102.200
Metalle und Verbunde	18%	88.800	247.300	12.300	34.200
Glas	2%	10.400	29.000	1.400	4.000
Andere	16%	80.500	224.300	11.100	31.000
<b>Summe</b>	<b>100%</b>	<b>504.700</b>	<b>1.405.300</b>	<b>69.800</b>	<b>194.300</b>

Der Gesamtbestand in der zusammenfassenden Betrachtung, welche die Stadtgrenze als Systemgrenze auf tatsächliche Mobilität anstatt auf das administrativ zugehörige Verkehrssystem bezieht, erhöht sich somit um einen aktiven, dem MIV zuzurechnenden Bestand. Das Gesamtergebnis aller Bestände erhöht sich von 101.095.200 Tonnen auf 101.599.800 Tonnen (d.h. um 0,5 %), betrachtet man nur die aktiven Bestände so bedeutet dies einen Zuwachs von 45,4 %. Die laufenden Materialflüsse für die Erhaltung der Fahrzeugflotte erhöhen die gesamten laufenden Materialflüsse von 2.733.900 Tonnen um 2,6 % auf 2.803.700 Tonnen. Die Materialflüsse für aktive Bestände erfahren dadurch einen Zuwachs von 51,7 %.

Anzumerken ist des Weiteren, dass auch für diesen PKW-Bestand Materialflüsse zur Bestandserweiterung anzunehmen sind. Daten sind hierfür nicht verfügbar, geht man jedoch von ähnlichen Zuwachsraten wie beim Fahrzeugbestand in Wien aus, so wären dies 2.800 Fahrzeuge pro Jahr oder 4.100 Tonnen Material. Dies würde die gesamten Materialflüsse für Bestandserweiterung um 0,01 % erhöhen. Da die Zahl der PendlerInnen tendenziell steigt, ist diese Schätzung als konservativ zu betrachten.

## 6.4 Mobilität in Wien

### 6.4.1 Mobilität der Wiener Bevölkerung

Die Erhebung der Personenkilometer, die im Wiener Stadtgebiet in diversen Modi zurückgelegt werden, ist nicht trivial. Es sind wenige Datenquellen verfügbar, die absolute Zahlen nennen, der viel zitierte Modal-Split wird meist nur in Form von relativen Anteilen der Hauptverkehrsmittel angegeben. Messungen von Bewegungen einzelner Personen sind mit großem Geld- und Zeitaufwand verbunden, die verfügbaren Untersuchungen stützen sich daher in den meisten Fällen auf Befragungen. Zusätzlich gibt es oft Unterschiede in der Zielsetzung oder im methodischen Vorgehen diverser Erhebungen, welche den Vergleich oder die Zusammenführung der Daten aus verschiedenen Quellen erschweren. Es werden unterschiedliche Stichproben bzw. Stichprobengrößen und Gewichtungsmethoden gewählt, manchmal wird auch die Grundgesamtheit z.B. altersspezifisch eingeschränkt. Die Erhebungszeiträume und die Methode der Erhebung per Telefon, Post oder online bedingen unterschiedlichen Rücklaufquoten und Ergebnisse (BMVIT, 2016). Nicht zu vernachlässigen ist auch die räumliche Einschränkung – meist werden Menschen nach ihren Mobilitätsgewohnheiten befragt, unabhängig davon,

wo die Wege zurückgelegt werden. In der für diese Arbeit vorgesehenen Betrachtung der Mobilität im Wiener Stadtgebiet ergeben sich dadurch Unschärfen bzw. müssen ergänzende Annahmen getroffen werden.

Die verfügbaren Daten aus verschiedenen Publikationen werden in Tabelle 22 gegenübergestellt. Die Ergebnisse (Personenkilometer pro Jahr) unterscheiden sich stark voneinander, vor allem die Werte aus der Studie von (Wolkinger et al., 2018) liegen wesentlich niedriger als in den anderen Studien. Diese Diskrepanzen können teilweise durch methodische Unterschiede erklärt werden.

**Tabelle 22: Gegenüberstellung der Ergebnisse diverser Erhebungen von Personenmobilität in Wien in Mio. Personenkilometer pro Jahr**

Quelle	(BMVIT, 2016)	(Gruber et al., 2019)	(Wolkinger et al., 2018)	(Statistik Austria, 2016)	(BMVIT, 2013; Gassner et al., 2018b)
Zeitraum	2013/14	2013/14	2010	2008	2012/13
Einheit	[Mio. Pkm/Jahr]	[Mio. Pkm/Jahr]	[Mio. Pkm/Jahr]	[Mio. Pkm/Jahr]	[Mio. Pkm/Jahr]
zu Fuß	514	599	368	403	
Rad	256	237	302	179	280
<i>MIV-LenkerIn</i>	6.481	6.698	3.622		
<i>MIV-MitfahrerIn</i>	3.057	3.000	930		
MIV gesamt	9.537	9.698	4.552	7.624	5.590
ÖV	7.040	7.220	3.731	6.510	3.954
Sonstige	828	810			
<b>Summe</b>	<b>18.223<sup>14</sup></b>	<b>18.929<sup>15</sup></b>	<b>8.953</b>	<b>14.717</b>	

Die Daten von BMVIT 2016 basieren auf der Befragung von 65.080 zufällig ausgewählten Haushalten in ganz Österreich. Mit einer Rücklaufquote von 28 % bzw. einer Nettostichprobe verwertbarer, vollständiger Interviews von 26 % wurden Daten zur Mobilität für alle vier Jahreszeiten und alle Wochentagstypen gesammelt. Für Wien umfasste die Stichprobe 1.694 Personen. Es wurde ein Mix aus Befragungsmethoden angewendet, um den Einfluss der Befragung zu minimieren.

Die Daten von BMVIT 2016 wurden im Jahr 2019 einer Aktualisierung (Gruber et al., 2019) unterzogen, da besonders kurze Wege in der Originalerhebung unterschätzt wurden. In der Regel handelt es sich um Wege zu Fuß, mit dem Fahrrad oder MIV, die weniger als 5 km lang sind und in der Erhebung oft vergessen oder bewusst weggelassen werden, um den Aufwand der Erhebung als befragte Person zu minimieren. Oft werden auch Zwischenstopps auf Routenwegen weggelassen, dadurch werden zwei Wege zu einem. Mit einer dreitägigen GPS-Erhebung wurden daher zusätzliche Erhebungen gemacht und ein Gewichtungsverfahren entwickelt, mit dem die Originaldaten aktualisiert werden konnten (Sammer, 2019).

<sup>14</sup> In dieser Erhebung sind des Weiteren 47 Mio. Pkm erfasst, zu denen keine Angabe zum Verkehrsmittel gemacht wurde. Diese können keiner Mobilitätsform zugeteilt werden und finden daher keine weitere Beachtung.

<sup>15</sup> In dieser Aktualisierung sind des Weiteren 365 Mio. Pkm erfasst, zu denen keine Angabe zum Verkehrsmittel gemacht wurde. Diese können keiner Mobilitätsform zugeteilt werden und finden daher keine weitere Beachtung.

Die Daten von Wolking et al. (2018) beruhen auf einer Hochrechnung von angegebenen, zurückgelegten Wegen mit durchschnittlichen Weglängen. Die Weglängen sind nicht direkt mit jenen aus der Erhebung von BMVIT 2016 vergleichbar, da andere Kategorien gewählt wurden, beim MIV jedoch insgesamt niedrigere Weglängen angenommen wurden. Der Vergleich der errechneten, absoluten Verkehrsleistung je Hauptverkehrsmittel an Werktagen liegt jedoch bei Wolking et al., (2018) zwischen 20 % und 58 % niedriger als in der Erhebung des BMVIT 2016. Vor allem der motorisierte Individualverkehr und der öffentliche Verkehr werden deutlich niedriger geschätzt. Selbst bei Hochrechnung der Daten auf das Jahr 2014 durch Anpassung von Bevölkerungszahl und Modal Split bleibt eine große Differenz bestehen, insgesamt würden dann 9,2 Mio. Personenkilometer zurückgelegt.

In der der Zeitverwendungsstudie von Statistik Austria (2016) wurde die jeweilige Zeit, die WienerInnen 2008 mit Zufußgehen, Radfahren, E-Bike-Fahren, Busfahren oder im Auto verbracht haben mit Durchschnittsgeschwindigkeiten pro Fortbewegungsart in Personenkilometer umgerechnet. Wenn die Daten aus 2008 mittels veränderten Bevölkerungszahlen und der doch deutlichen Veränderung<sup>16</sup> im Modal Split für die Stadt Wien auf das Jahr 2014 hochgerechnet würden, wäre eine Steigerung der Personenkilometer per Fahrrad um ca. 65 %, und im öffentlichen Verkehr um ca. 30 % anzunehmen. Dies würde ein ähnliches Ergebnis wie die Erhebung von BMVIT 2016 liefern, kann aber nur als vergleichende Schätzung verstanden werden.

Die Zahlen von Gassner et al. (2018) stammen aus einer Erhebung des Österreichischen Instituts für Raumplanung 2014 aus dem Verkehrsmodell und wurde nicht getrennt publiziert, daher ist nichts Näheres über die Erhebung bekannt.

Da angenommen werden kann, dass die aktualisierten Daten der Mobilitätsenerhebung „Österreich unterwegs 2013/14“ (BMVIT, 2016; Gruber et al., 2019) derzeit die genauesten verfügbaren Daten zur Personenmobilität sind, werden diese für die weitere Analyse herangezogen. Bei Interpretation der Daten sollte beachtet werden, dass es sich um eine Erfassung des Weges mit einem Hauptverkehrsmittel handelt. Aufgrund der Komplexität wird jeder angegebene, zurückgelegte Weg einem Verkehrsmittel zugeteilt. Dies geschieht nach einer hierarchischen Zuordnung, in der ein Weg, auf dem verschiedene Verkehrsmittel benutzt werden, immer dem Verkehrsmittel zugeteilt wird, das höchstwahrscheinlich für den Hauptteil der Strecke im Einsatz war. In dieser Hierarchie schlägt der ÖV den MIV, MIV schlägt das Fahrrad und dieses wiederum schlägt den Fußweg. Kleinste Fußwege, zum Beispiel von der Haustür zum Fahrzeug und vom Fahrzeug zum Zielort, wurden gar nicht erhoben (Sammer, 2019). Dies ist nicht die von der Aktualisierung korrigierte Unterschätzung durch Nicht-Angaben der Befragten, sondern eine methodische Vereinfachung, welche die Ergebnisse leicht verzerrt. Es kann daher angenommen werden, dass vor allem Fußgängerwege als Zugang zum MIV oder ÖV unterschätzt werden, was auch nicht in der Datenaktualisierung von Gruber et al. 2019 behoben wurde und zusätzlich zu schätzen ist.

---

<sup>16</sup> Die Wiener Linien stellen die Zahlen des Modal Split für Wien 1993 und 2016 gegenüber. Der Radverkehr steigert sich von 3 % auf 7 %, der öffentliche Verkehr von 29 % auf 39 % und der motorisierte Individualverkehr (MIV) reduziert sich von 27 % auf 40 % während der Fußgängerverkehr mit 27 % bzw. 28 % nahezu unverändert bleibt.

## **6.4.2 Schätzung der nicht erfassten Mobilität im Wiener Stadtgebiet**

Nach der aktualisierten Erhebung von (BMVIT, 2016) bzw. (Gruber et al., 2019) wurden in Wien in einem Jahr (2013/14) insgesamt 18.900 Mio. Personenkilometer zurückgelegt, wie in Tabelle 22 dargestellt. Da sich diese Daten ausschließlich auf die Mobilität der WienerInnen beziehen, liefern sie noch keinen Gesamtüberblick über die Mobilität im Stadtgebiet. Dazu müssen die Personenkilometer von EinpendlerInnen und TouristInnen geschätzt und zu diesen Angaben addiert werden.

### **6.4.2.1 EinpendlerInnen**

Die Kordonerhebung des Planbüro Ost gibt einen Überblick über die Einfahrten über die Wiener Stadtgrenze. Insgesamt pendeln 527.600 Personen täglich nach Wien ein, das entspricht mehr als einem Viertel der gesamten Stadtbevölkerung. 183.000 davon sind ErwerbsspendlerInnen, die zu ihren Arbeitsplätzen in die Stadt kommen. Der Modal Split dieser Personen unterscheidet sich deutlich von dem der WienerInnen, 79 % nutzen den MIV und nur 21 % den öffentlichen Verkehr (Rittler, 2011). Auf Basis dieser Daten und mit einer Schätzung von 20 km Weg pro EinpendlerIn zu Erwerbszwecken, was dem Weg von der Stadtgrenze in die Mitte und zurück entspricht, wurden für Wien weitere 2.617 Mio. Personenkilometer pro Jahr durch EinpendlerInnen errechnet, wovon 2.067 Mio. Kilometer mit dem MIV und 550 Mio. Kilometer mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt werden. Wolkinger et al., (2018) berechnen knapp 2,2 Mio. Personenkilometer für PendlerInnen mit einer ähnlichen Aufteilung, was diese Annahmen unterstützt.

### **6.4.2.2 TouristInnen lt. Nächtigungsstatistik**

Im Jahr 2014 gab es 13,5 Mio. Nächtigungen von BesucherInnen in Wien. BesucherInnen, die sich nur tagsüber in Wien aufhalten oder privat übernachten, können nicht erfasst werden. All jene, die eine Nacht in Wien verbracht haben, sind allerdings statistisch erfasst und werden als Gruppe der „TouristInnen“ für die Betrachtung von Mobilität mit einbezogen. Da sich TouristInnen in der Regel in der Stadt viel zu Fuß und mit dem öffentlichen Verkehr bewegen, wurde angenommen, dass diese Weglängen pro Person und Tag den doppelten des Durchschnittswertes der Wiener Bevölkerung entsprechen. Der Radverkehr wurde gleich hoch angenommen, da TouristInnen sich dem Leihradsystem Citybike einfach und kostengünstig bzw. -frei bedienen können. Bewegungen mit dem MIV wurden nicht angenommen. Es wurden daher 1,8 km zu Fuß, 0,4 km mit dem Fahrrad und 23,6 km mit dem öffentlichen Verkehr pro Nächtigung in Wien angenommen. Damit ergeben sich weitere 348 Mio. Personenkilometer im Jahr 2014 in Wien.

### **6.4.2.3 Nicht-erfasste Fußwege auf einem Weg mit einem anderen Hauptverkehrsmittel**

Wie bereits beschrieben, wird in der Mobilitätsenerhebung nur die Mobilität nach Hauptverkehrsmittel ausgewertet. In der Hierarchie stehen Fußgängerverkehr und Fahrradverkehr ganz unten, daher werden diese Strecken systematisch unterschätzt. Zusätzlich zum Hauptverkehrsmittel sind auf jedem Weg, der zurückgelegt wird, kleine Strecken zu Fuß nötig (z.B. von der Haustüre zum Fahrzeug oder zur Haltestelle), die in den Daten nicht berücksichtigt sind. Auf rund 1.300 Mio. zurückgelegten Wegen der BewohnerInnen Wiens, 260 Mio. Wegen der PendlerInnen und 25 Mio. Wegen der TouristInnen, auf denen motorisierter Individualverkehr oder öffentlicher Verkehr als Hauptverkehrsmittel genutzt wird, ist daher der Fußweg, der zum Einstiegspunkt in das genutzte Hauptverkehrsmittel – zum Fahrzeug oder zur Haltestelle

– führt, vernachlässigt, ebenso wie der Fußweg von der Haltestelle oder dem Fahrzeugabstellplatz zum tatsächlichen Zielpunkt des Weges (BMVIT, 2016; Sammer, 2019). Zählt man zu diesen Wegen je ca. 216<sup>17</sup> Meter Fußweg vom Startpunkt zum Verkehrsmittel bzw. vom Verkehrsmittel zum Zielort hinzu, so kann man davon ausgehen, dass weitere 623 Mio. Personenkilometer pro Jahr zu Fuß zurückgelegt werden. Dies würde den ausgewiesenen Wert der Mobilitätserhebung für Fußwege verdoppeln. Wie in Tabelle 23 ersichtlich, wären 356 Mio. km Fußwege dem motorisierten Individualverkehr zuzurechnen, da es sich um die geschätzten Strecken vom Startpunkt zum Fahrzeug bzw. vom Fahrzeugabstellplatz zum Zielpunkt des Weges handelt. 268 Mio. km wären dem öffentlichen Verkehr zuzurechnen, da anzunehmen ist, dass diese Distanzen zwischen Startpunkten und Haltestellen bzw. Endhaltestellen und Zielpunkten zurückgelegt werden<sup>18</sup>.

**Tabelle 23: Schätzung der durch die Beschränkung auf das Hauptverkehrsmittel nicht erfassten Fußwege in Mio. km in Wien 2013/14**

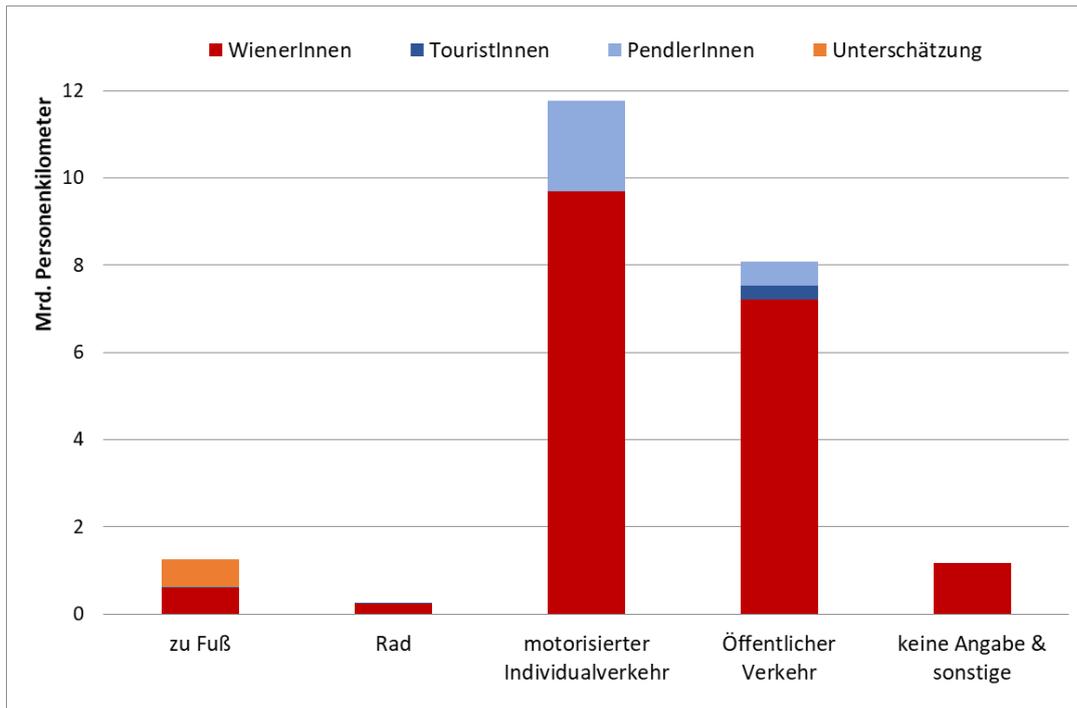
	Anzahl zurückgelegter Wege		Nicht erfasster Fußweg pro Weg	Nicht erfasste Fußwege		
	MIV	ÖV	Strecke (m) einfach/doppelt	bei Wegen mit MIV	bei Wegen mit ÖV	Summe
WienerInnen	718	566	2 x 216	311	245	556
PendlerInnen	206	55	1 x 216	45	12	57
TouristInnen	0	25	2 x 216		11	11
<b>Gesamt</b>				<b>356</b>	<b>268</b>	<b>623</b>

### 6.4.3 Gesamte Mobilität im Stadtgebiet

Das Ausmaß an Mobilität, das im Stadtgebiet mit dem Wiener Verkehrssystem erfolgt, kann durch eine Ergänzung der Erhebung des BMVIT 2016 zur Mobilität der Wiener Bevölkerung mit der Mobilität der PendlerInnen und TouristInnen, sowie der unterschätzten Fußwege wie oben beschrieben, angenommen werden. Abbildung 14 zeigt die zusammenfassende Darstellung, hinzu kämen nur noch 875 Mio. Personenkilometer von WienerInnen, zu denen kein oder ein „sonstiges Verkehrsmittel“ angegeben wurde und die in dieser Zusammenfassung nicht berücksichtigt wurden, da sie keiner Mobilitätsform zugeteilt werden konnten. Insgesamt wurden 2013/14 demnach durchschnittlich 21.188 Mio. Personenkilometer pro Jahr in Wien zurückgelegt. 86 % der Mobilitätsleistung wird von BewohnerInnen Wiens in Anspruch genommen, weitere 12 % von EinpendlerInnen und 2 % von TouristInnen.

<sup>17</sup> Die Schätzung erfolgt auf Basis von Angaben der durchschnittlichen Entfernung der nächsten Haltestelle eines öffentlichen Verkehrsmittels (BMVIT, 2016) – für 77% ca. 5 Minuten, für 18 % ca. 6-15 Minuten – und der durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit.

<sup>18</sup> Für PendlerInnen wird nur ein Fußweg je MIV/ÖV-Weg berücksichtigt, da entweder Start- oder Zielpunkt nicht im Stadtgebiet liegen, bei allen anderen wurden zwei Fußwege pro zurückgelegtem Weg mit Hauptverkehrsmittel angenommen.



**Abbildung 14: Gesamte Mobilität in Wien in Milliarden Personenkilometern pro Jahr inkl. Schätzung der Strecken von PendlerInnen, TouristInnen und der vernachlässigten Fußwege**  
Eigene Darstellung; Daten (MA 23, 2019, 2017; Rittler, 2011; Statistik Austria, 2016) und Schätzungen

Obwohl die Berechnung nach derzeitigem Datenstand die bestmögliche Annäherung liefert, können diese Werte nur als Schätzung verstanden werden, da die Datengrundlage nicht das Ergebnis einer umfassenden Messung ist, und die Fußwege zum benutzten Hauptverkehrsmittel sowie vom Hauptverkehrsmittel zum Zielpunkt, hinzu geschätzt wurden. In den Strecken, die von BewohnerInnen Wiens zurückgelegt werden, können auch Bewegungen außerhalb von Wien inkludiert sein. Es wird jedoch angenommen, dass dieser Anteil vernachlässigbar ist. Die Mobilität von PendlerInnen und TouristInnen resultiert, wie dargelegt, nur aus Schätzungen, da keine Daten verfügbar sind.

## **6.5 Energieverbrauch diverser Mobilitätsformen**

Jede Art von Fortbewegung verbraucht Energie. Da in der vorliegenden Arbeit Materialbestände als die Gesamtheit aller Infrastrukturen, Maschinen und Artefakte betrachtet und somit Menschen und Tiere als „Bestand“ ausgeklammert werden, wird auch die Energie der menschlichen Arbeitskraft nicht mit einbezogen. Der Kalorienverbrauch einer Person, egal ob sie sich im PKW, am Fahrrad, im öffentlichen Verkehr oder zu Fuß fortbewegt, wird in der folgenden Betrachtung also nicht berücksichtigt. In einer ganzheitlichen Betrachtung des Verkehrssystems müsste außerdem nicht nur der direkte Energieverbrauch der Fortbewegung, sondern auch jener weiterer energieverbrauchender Aktivitäten, die mit dem Verkehrssystem in Verbindung stehen, berücksichtigt werden. Dazu zählen etwa Heizung bzw. Kühlung der Fahrzeuge, Betrieb der Infrastruktur (zB Beleuchtung, Betrieb von Rolltreppen und Aufzügen), sowie der Energieverbrauch bei der Herstellung von Materialbeständen und Energie in verwertbarer Form und die Aufwände der Entsorgung der Abfallprodukte aus den Beständen. Laut einer Studie kämen im Fall von PKW mit Dieselantrieb zum Verbrauch durch den Fahrbetrieb noch ca. 20 % dazu, im Fall von PKW mit Benzinantrieb ca. 35 % (Fritz et al., 2016). In dieser Arbeit wird der Endenergieverbrauch der Mobilität im öffentlichen Verkehr bzw. im motorisierten Individualverkehr betrachtet.

### **6.5.1 Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs**

Der Gesamtenergieverbrauch inkl. Verluste für Straßen- sowie Schienenverkehr wird im Energiebericht der Stadt Wien angegeben, wie bereits im Kapitel 2.3.2 dargelegt. 13.335 GWh bzw. 48.000 TJ pro Jahr werden dem Landverkehr zugerechnet, wovon ca. 25.000 TJ bei der Umwandlung verloren gehen. Ca. 23.000 TJ stehen tatsächlich als Bewegungsenergie zur Verfügung. Diese Daten sind für die Berechnung des Energieverbrauchs von Personenmobilität nur eingeschränkt verwendbar, das angenommen werden muss, dass im Landverkehr auch ein erheblicher Anteil an Güterverkehr inkludiert ist.

Das Umweltbundesamt nennt Werte für den Energieverbrauch pro Personenkilometer und beziffert dabei den Verbrauch eines Durchschnitts-PKW mit 0,59 kWh bzw. 2,12 MJ pro Personenkilometer (Umweltbundesamt, 2018). Aus der Hochrechnung dieser Angabe würde sich mit den Mobilitätsdaten von BMVIT 2016 ein Gesamtenergieverbrauch von ca. 20.300 TJ pro Jahr für den MIV ergeben. Dieser Wert beinhaltet allerdings nur die Bewegungen der in Wien gemeldeten PKW, der Pendelverkehr kommt noch hinzu. Der Pendelverkehr von täglich 416.000 EinpendlerInnen, welche den MIV nutzen, wurde auf 2,6 Mio Personenkilometer geschätzt und würde, mit dem vom Umweltbundesamt (2009) angegebenen Verbrauch pro Kilometer hochgerechnet, einen weiteren Energieverbrauch von ca. 4.400 TJ pro Jahr bedeuten. Zu beachten ist, dass diese Berechnungen auf allgemeinen Durchschnittsverbräuchen basieren und, wie bereits erwähnt, in der Stadt durch Stop-and-Go-Verkehr mit einem tendenziell höheren Energiebedarf zu rechnen wäre.

Ein weiterer Vergleichswert ergibt sich durch die Hochrechnung der Personenkilometer im MIV mit dem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch pro zugelassenem PKW. Bei 625.000 PKW in Wien, davon ca. 54 % Diesel- und 45 % Benzinantriebe (MA 23, 2017), mit einem Verbrauch von ca. 6,8 Litern Diesel bzw. 7,6 Litern Benzin pro 100 gefahrenen Kilometern in Wien (MA 20, 2017) ergibt sich ein Gesamtverbrauch von ca. 493 Mio. Litern Benzin und 239 Mio. Litern Diesel pro Jahr. Dies entspricht insgesamt 23.800 TJ pro Jahr, wenn 31 MJ/Liter Benzin und 35 MJ/Liter Diesel angenommen werden (Feisthammel, 2019). Dieser Wert ist

ähnlich mit dem hochgerechneten Wert von BMVIT. Dazu käme noch ein geschätzter Verbrauch von 4.300 TJ pro Jahr durch PendlerInnen, der sich aus dem Verbrauch von 128 Mio. Litern Treibstoff (MA 20, 2017) von Nicht-Wienern in Wien ergibt. Die Beleuchtung und Signalgeber des Verkehrssystems benötigen im Jahr ca. 200 TJ (MA 33, 2018) und werden fast vollständig dem Straßenverkehr zugerechnet.

Insgesamt kann der Endenergieverbrauch des Personenverkehrs im motorisierten Individualverkehr in Wien auf 24.700-28.300 TJ/Jahr geschätzt werden. Für weitere Analysen wird mit einem Mittelwert von 27.000 TJ/Jahr gerechnet.

### **6.5.2 Energieverbrauch des öffentlichen Verkehrs**

Der Endenergieverbrauch liegt – wie im Kapitel 2.3.2 gezeigt – bei 820 GWh bzw. 3.000 TJ/Jahr für den öffentlichen Verkehr (Wiener Linien und Eisenbahn). Aus den Energieverbrauchswerten pro Personenkilometer, die das Umweltbundesamt für den öffentlichen Verkehr angibt (Umweltbundesamt, 2018, 2009) und den Mobilitätsdaten von BMVIT 2016 lässt sich ein Vergleichswert errechnen. Da die Mobilitätsdaten nur für den öffentlichen Verkehr insgesamt (ohne Aufteilung in Bus, Tram, U-Bahn und Zug) Personenkilometer ausweisen, müssen die Verbrauchsdaten des Umweltbundesamts in einen Durchschnittswert umgerechnet werden. Gewichtet man die Verbrauchswerte nach Fahrgastzahlen<sup>19</sup> der Wiener Linien in verschiedenen Verkehrsmitteln, so ergibt sich ein Durchschnittsverbrauch von 0,27 MJ/Personenkilometer und ein Gesamtverbrauch von ca. 1.900 TJ/Jahr, wovon ca. 1.500 TJ den Wiener Linien zuzuschreiben wären. Für den Pendelverkehr der 110.000 Personen, die den öffentlichen Verkehr nutzen, kämen noch ca. 230 TJ pro Jahr dazu. Zu beachten ist, dass in diesen Angaben keinerlei Energieverbräuche für Beleuchtung, Betrieb der Stationen etc. berücksichtigt ist (Fritz, 2019).

Weitere verfügbare Schätzungen beziehen sich nur auf den Verbrauch durch die Wiener Linien. Es wird im Jahr 2012 ein Energieverbrauch von 425 TJ/Jahr der Straßenbahn, 738 TJ/Jahr durch Busse und 1.175 TJ/Jahr durch U-Bahn-Verkehr angenommen. Dies ergibt insgesamt 2.400 TJ/Jahr für den Verkehr der Wiener Linien (Gassner et al., 2018b).

Es ist daher realistisch anzunehmen, dass der Endenergieverbrauch des öffentlichen Verkehrs zwischen 2.100 und 3.000 TJ pro Jahr liegt. Die Diskrepanz dieser Werte ist vor allem dadurch zu erklären, dass der Energieverbrauch der U-Bahn mit den vom Umweltbundesamt angenommenen Werten sehr niedrig liegt, während Gassner et al. (2018) einen wesentlich höheren Wert angenommen haben. Es liegt die Vermutung nahe, dass je nachdem, ob der Energieverbrauch von Heizung bzw. Kühlung und Beleuchtung von Fahrzeugen, bzw. vom Betrieb der Infrastruktur – wie z.B. Beleuchtung, Aufzüge, Rolltreppen etc. in Stationen – mit einbezogen wird oder nicht, ein entsprechend anderer Wert ermittelt wird. Der niedrige Verbrauch für Zug und U-Bahn, der vom Umweltbundesamt (2009, 2018) angegeben wird, rechnet diesen indirekten Energieverbrauch nicht mit ein. Der mit Werten des Umweltbundesamts errechnete Gesamtverbrauch von ca. 2.100 TJ/Jahr dürfte den tatsächlichen Energieverbrauch daher unterschätzen. Für weitere Analysen wird daher mit einem Wert von 3.000 TJ pro Jahr gerechnet

---

<sup>19</sup> Anmerkung: Personenkilometer für die einzelnen Verkehrsmittel sind nicht bekannt, daher ist eine Gewichtung nur über Fahrgastzahlen möglich.

## 6.6 Gegenüberstellung verschiedener Mobilitätsformen

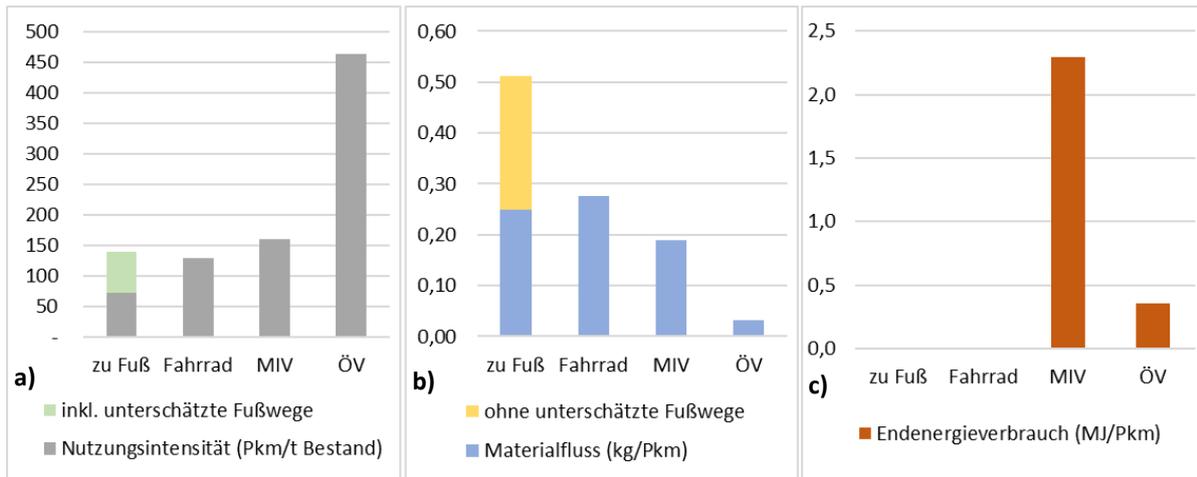
Die Ergebnisse von Materialbeständen, Materialflüssen, Energieflüssen und Mobilität können den einzelnen Mobilitätsformen zugewiesen und je nach Mobilitätsart gegenübergestellt werden. Aufgeteilt auf verschiedene Mobilitätsarten hat der Materialbestand für den motorisierten Individualverkehr mit Abstand den größten Anteil, ebenso sind die laufenden Flüsse von Material und Energie für den MIV am höchsten. Setzt man die Ergebnisse jedoch in Beziehung zu den zurückgelegten Personenkilometern je Mobilitätsform, so ergibt sich ein etwas anderes Bild, wie in Tabelle 24 ersichtlich:

**Tabelle 24: Gegenüberstellung der Ergebnisse von Materialbestand, Material- und Energiefluss nach Mobilitätsleistung mit verschiedenen Verkehrsmitteln**

\* Materialbestände und -flüsse für PendlerInnen (PKW) inkludiert

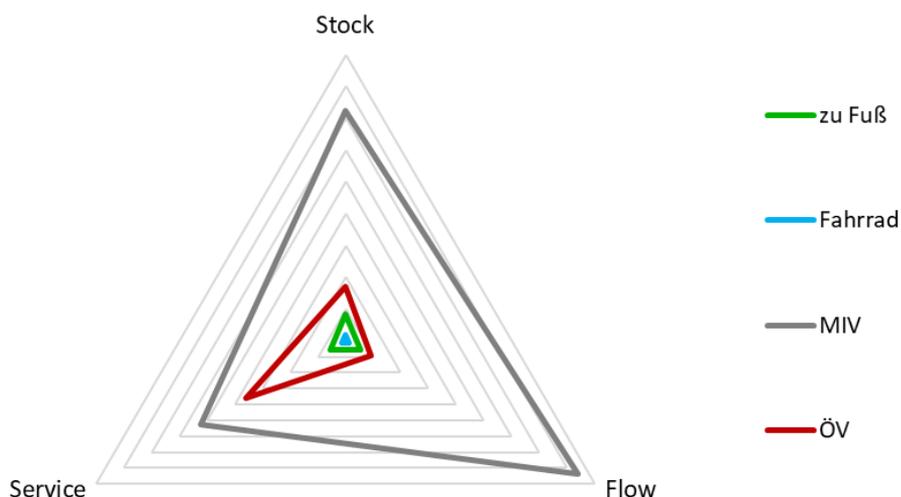
		zu Fuß		Fahrrad	MIV	ÖV	Gesamt
			<i>inkl. Unterschätzung</i>				
<b>Mobilität</b> [Mio. Pkm/Jahr]	BewohnerInnen Wiens	599	1 155	237	9.698	7.220	19 485
	TouristInnen	23	23	6	-	319	348
	PendlerInnen	0	34	0	2.067	550	2 651
	<b>Mobilität gesamt</b>	622	1 211	243	11.765	8.089	<b>22 484</b>
<b>Materialbestand</b> [1000 Tonnen]	Gesamtbestand passiv	8.714		1.860	72.109	17.301	<b>99.984</b>
	Gesamtbestand aktiv*	2		20	1.418	176	<b>1.615</b>
<b>Materialverbrauch</b> [1000 t/Jahr]	für passiven Bestand	318		64	1 958	259	2 599
	für aktiven Bestand*	0		3	264	1	268
<b>Energieverbrauch</b> [TJ/Jahr]		0		0	27.000	2.880	<b>29.880</b>
<b>Werte pro Pkm</b>	Nutzungsintensität [Pkm/t Bestand]	71	139	129	160	463	<b>221</b>
	Materialfluss [kg/Pkm]	0,51	0,26	0,28	0,19	0,03	<b>0,12</b>
	Endenergieverbrauch [MJ/Pkm]	0	0	0	2,29	0,36	<b>1,33</b>

Der Endenergieverbrauch pro zurückgelegtem Personenkilometer ist mit Abstand am höchsten, wenn dafür der motorisierte Individualverkehr verwendet wird (2,29 MJ/Pkm), während der öffentliche Verkehr einen wesentlich geringeren Verbrauch pro Personenkilometer verursacht (0,36 MJ/Pkm), und FußgängerIn sowie RadfahrerIn gar keine technische Energie zur Fortbewegung benötigen. Die Nutzungsintensität des Materialbestandes ist jedoch im FußgängerInnenverkehr am niedrigsten (71 Pkm/t Bestand), bzw. im Fahrradverkehr (129 Pkm/t), wenn die unterschätzten kurzen Fußwege mit einberechnet werden (in diesem Fall erhöht sich die Nutzungsintensität der Fußwege auf 139 Pkm/t). Der MIV weist eine Nutzungsintensität von 160 Pkm/t Bestand, der ÖV von 463 Pkm/t Bestand auf. Die Materialflüsse zur Bestandserhaltung pro Personenkilometer sind für den FußgängerInnenverkehr am höchsten (0,51 kg/Pkm), gefolgt vom Fahrradverkehr (0,28 kg/Pkm), bzw. ungefähr gleich hoch für beide, wenn die unterschätzten Fußwege mit einberechnet werden und sich die Materialflüsse auf 0,26 kg/Pkm für Fußwege verringern. Die entsprechenden Werte für den MIV betragen 0,19 kg/Pkm, für den ÖV 0,03 kg/Pkm. Die einzelnen Kategorien sind vergleichend in Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 15: Gegenüberstellung der Nutzungsintensität von Beständen (a), der laufenden Materialflüsse pro Pkm (b) und der Endenergieflüsse/Pkm (c) verschiedener Mobilitätsformen**

Aus den Vergleichen lässt sich nun ein schematisches Bild des Wiener Verkehrssystems im Stock-Flow-Service Nexus zeichnen, wie in Abbildung 16 veranschaulicht. Die Werte für Materialbestände, Flüsse an Material und Energie sowie Services, gemessen als zurückgelegten Personenkilometern (inkl. unterschätzter Fußwege), sind je Mobilitätsform als Anteile vom gesamten Bestand, Fluss oder Service auf den Achsen aufgetragen. Es zeigt sich deutlich, dass der MIV den größten Anteil am Bestand hat, am meisten Material- und Energieflüsse benötigt, aber auch den höchsten Anteil an den zurückgelegten Personenkilometern liefert, während das Fahrrad das Fortbewegungsmittel mit den geringsten Beständen, Flüssen und Services ist. Aus der Interpretation der Formen der dargestellten Mobilitätstypen zeigt sich aber auch, dass das Verhältnis von Service zu Beständen (Stocks) und Material- und Energieflüssen (Flows) im MIV am ungünstigsten ist. Das bedeutet, dass weniger Services mit mehr Beständen und Flüssen bereitgestellt werden als zum Beispiel im ÖV, der überdurchschnittlich viele Personenkilometer mit vergleichsweise geringen Beständen und Flüssen zur Verfügung stellt.

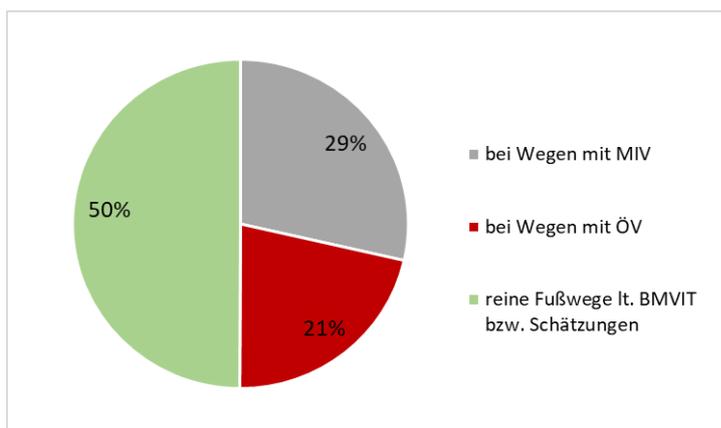


**Abbildung 16: Darstellung des Verkehrssystems inkl. seiner Material- und Energieflüsse und seines Services "Mobilität" als Stock-Flow-Service Nexus**

Für die Interpretation dieser Werte sind allerdings noch folgende Aspekte zu berücksichtigen: Die unterschätzten kurzen Fußwege, welche die Hälfte der gesamten Fußwege ausmachen, kommen daher, dass für die erhobenen Wege jeweils nur das Hauptverkehrsmittel erfasst

wird. Das bedeutet, sie kommen überhaupt nur durch eine Mobilitätsform zustande und dienen dem MIV bzw. ÖV. Die Berücksichtigung dieses Anteils an Mobilität zu Fuß müsste daher konsistenter Weise den jeweiligen Hauptverkehrsmitteln, die auf den Wegen benutzt werden, zugerechnet werden. Ein Beispiel: Eine Person fährt mit ihrem PKW zur Arbeit, welcher auf der Straße, rund 300 Meter von ihrem Haus entfernt, abgestellt ist. Der PKW wird in einem Parkhaus des Unternehmens abgestellt, welches sich ca. 200 Meter vom Eingang entfernt befindet. Die insgesamt 500 Meter Fußweg wurden in der Erfassung unterschlagen, da nur das Hauptverkehrsmittel „MIV“ erfasst wird. In der Berechnung der unterschätzten Strecke zu Fuß wurden diese nun mit einbezogen. Diese Mobilität ist allerdings genau genommen keine Mobilität „zu Fuß“, sondern der Mobilität mit MIV zuzurechnen, da der Fußweg ein essentieller Bestandteil des Weges mit dem MIV ist.

Abbildung 17 zeigt die Aufteilung der gesamten Mobilität zu Fuß auf die verschiedenen Fortbewegungsarten. Während es sich bei 50 % der Wege, nämlich jener, die ursprünglich von der Mobilitätsaufnahme erfasst wurden, tatsächlich um reine Fußwege handelt, sind die anderen 50 %, die als nicht-erfasste Fußwege zusätzlich angenommen wurden, Wege zu und von anderen Verkehrsmitteln, wie im Beispiel oben veranschaulicht. 21 % der Fußwege dienen der Mobilität mit einem öffentlichen Verkehrsmittel und 29 % der Mobilität per MIV, wie in Abbildung 17 veranschaulicht. Da hier die Grenzen der diversen Mobilitätsformen verschwimmen, ist dies eine Ungenauigkeit, die das Gesamtbild verzerrt.



**Abbildung 17: Aufteilung der gesamten Fußwege lt. Erhebung plus angenommener Unterschätzung auf die Mobilitätsart des Hauptverkehrsmittels, das für den Weg benutzt wurde**

Des Weiteren ist zu beachten:

- Es wurde nur der Personenverkehr ausgewertet, nicht der Güterverkehr. Fußgängerzonen sind oft für Lieferverkehr befahrbar, manchmal auch für öffentliche Verkehrsmittel, und müssen deswegen mit einer anderen Materialintensität gestaltet werden, als wenn sie nur für Fußgängerverkehr zugänglich wären.
- Der überproportional große Anteil der Bestände und Flüsse für Mobilität zu Fuß liegt vor allem an der Größe des Bestandes der Gehsteige (8,2 % des Gesamtbestandes) und der laufenden Materialflüsse zur Erhaltung der Gehsteige. Die Bauweise der Gehflächen ist für die Belastung durch FußgängerInnen überdimensioniert, sie werden jedoch so materialintensiv gestaltet, da sie teilweise auch befahren werden. Manche Gehsteige sind Teile von Parkstreifen oder werden bei der Aus- bzw. Einfahrt in Privatparkplätze oder durch den Lieferverkehr überfahren. Auch der Winterdienst muss

Gehsteige befahren können und viele der Gehsteige werden stärker gestaltet, damit sie bei illegalen Befahrungen nicht beschädigt werden (Ablinger, 2018).

- Durch die Berechnung der unterschätzten Fußwege wurde deutlich, dass nahezu jedem zurückgelegten Weg auch ein kurzer Fußweg zuzuordnen ist. Eine Stadt braucht daher eine ausgedehnte und flächendeckende Infrastruktur für Fußgänger, die letztlich allen Mobilitätsformen als Ausgangsbasis und Möglichkeit der Verknüpfung verschiedener Transportmittel dient. Diese Infrastruktur muss außerdem aus Sicherheitsgründen deutlich von den Fahrbahnflächen abgegrenzt werden und aus bereits genannten Überlegungen materialintensiver gestaltet werden, als für FußgängerInnen per se nötig wäre. Dies wirft die Frage auf, inwieweit Mobilitätsformen, sowie die von ihnen genutzten Bestände und Flüsse überhaupt getrennt betrachtet werden können, wenn die Materialbestände und -flüsse der Infrastruktur für FußgängerInnen an den MIV angepasst sind.

## 6.7 Unsicherheit der Ergebnisse

### 6.7.1 Bewertung der Unsicherheit der einzelnen Materialbestände

Die Analyse von Unsicherheiten im Bereich der Materialflussanalyse steckt noch in ihren Anfängen; nur wenige Studien haben Unsicherheiten systematisch untersucht (Laner et al., 2014; Wiedenhofer et al., 2019). In der Berechnung von Materialbeständen gibt es grundsätzlich drei potentielle Unsicherheitsquellen: die Reliabilität der Menge (Zählungen) an Beständen, die Reliabilität der Materialintensitätsfaktoren und die Unsicherheit bei der Zuteilung der Materialintensitäten zu den diversen Bestandstypen (Tanikawa et al., 2015).

Für diese Analyse wird eine semi-quantitative Einschätzung der Robustheit der Ergebnisse vorgenommen. Die Datenqualität für verschiedene Bestände unterscheidet sich deutlich. Während einige Bestände rein aus soliden Datenquellen der verwaltenden Institutionen ermittelt wurden, konnten andere nur durch Ergänzung mit Werten aus der Literatur berechnet werden. Die Einschätzung aus der qualitativen Bewertung der Datenquellen und der Anzahl der geschätzten Parameter wird in Tabelle 25 dargestellt. Es werden dabei vier Stufen von Robustheit unterschieden.

**Tabelle 25: Schema der Robustheitsbewertung von Daten zu Materialbeständen**

Robustheit	Beschreibung der Datenqualität
1	Daten zu Anzahlen aus verlässlicher Quelle; keine oder wenige Schätzungen in der Berechnung der Materialintensität
2	Daten zu Anzahlen aus verlässlicher Quelle; einige Annahmen in der Berechnung der Materialintensität involviert
3	Qualität der Daten zu Anzahlen schwierig zu überprüfen bzw. verschiedene Werte oder keine genauen Werte verfügbar/ eigene Annahmen oder Bildung von Mittelwerten zur Ermittlung der Anzahl; Materialintensitäten aus der Literatur/ aus Expertenschätzungen für den spezifischen Bestand
4	Qualität der Daten zu Anzahlen schwierig zu überprüfen bzw. nicht vorhanden und müssen geschätzt werden; Materialintensitätsdaten aus Durchschnittswerten aus der Literatur für einen ähnlichen Bestandstyp

Die Bewertung der Unsicherheit der einzelnen Materialbestände sowie die Begründung der Einschätzung sind in Tabelle 26 aufgelistet. Bei jedem Bestandstyp war die Erhebung von Daten der Zählung und der Materialintensität mit anderen Problemen verbunden, daher kann die oben dargestellte Einteilung nur als Orientierung verstanden werden. Die Begründung gibt genauere Informationen zur Datenqualität für jeden Bestand.

**Tabelle 26: Bewertung der Unsicherheit der Ergebnisse verschiedener Materialbestände**

Materialbestand	Unsicherheit	
	Bewertung der Robustheit inkl. Begründung	
<b>Verkehrsflächen gesamt</b>	<b>1</b>	Vollständiger, aktueller Datensatz direkt der verwaltenden Behörde (MA 28 bzw. ASFINAG) inkl. Splits in Flächenzwecke und Belagsarten sowie Materialintensitäten für diverse Lastklassen; differenzierte Berechnung mit typspezifischen Materialintensitäten lt. Regelblättern zum Schichtaufbau diverser Belagsarten <i>Anmerkung:</i> Die Straßenbaubehörden (Ablinger, 2018) geben an, dass der errechnete Materialbestand der Straßen höchstwahrscheinlich konservativ geschätzt ist. Bei Abtragungsarbeiten werden oft alte Straßenschichten unter dem neueren Regelaufbau gefunden. Dieser Altbestand hat seine Funktionalität bereits verloren und ist nicht mehr in Verwendung, daher findet er im Ergebnis dieser Arbeit keine Berücksichtigung.
<b>Parkinfrastuktur</b>	<b>3</b>	
Parkplätze (öffentlich)	2	Vollständigkeit der Zählung nicht überprüfbar, Flächenberechnung durch Schätzung der durchschnittlichen Stellplatzfläche und Annahmen zum Platzbedarf für Ein- und Ausfahrt; Materialintensität wie Straßenflächen berechnet
Parkhäuser (öffentl.)	3	Vollständiger Datensatz (Gesamtanzahl), aber Schätzung der Stellplatzzahlen und Aufteilung in Parkhäuser und Tiefgaragen, wenn Zuordnung nicht erhoben werden konnte (bei 149 der 367 Parkeinrichtungen); Materialintensitäten aus den Erhebungen für deutsche Parkinfrastrukturen (IÖR, 2018), welche im Durchschnitt kleiner sind als die durchschnittlichen Tiefgaragen und Parkhäuser in Wien
Tiefgaragen (öffentl.)		
Parkplätze und Parkgaragen (privat)	4	Schätzung der Gesamtanzahlen und Annahme der Aufteilung in Parkplätze, Parkhäuser und Tiefgaragen; Materialintensitäten siehe Parkplätze, Parkhäuser und Tiefgaragen
<b>PKW</b>	<b>2</b>	Robuste Daten zur Anzahl (Zulassungen), Berechnung mit detaillierten Materialintensitätsdaten für einen Fahrzeug-Durchschnittstyp (VW Golf) aus Expertenschätzung
<b>Fahrräder, E-Bikes, Citybikes</b>	<b>3</b>	Schätzung der Anzahl aufgrund diverser Angaben in Berichten, Berechnung mit Materialintensitätsdaten für Durchschnittstypen von Fahrrädern und E-Bikes aus Expertenschätzungen, Angaben zu den Anzahlen und Materialintensitäten von Citybikes und Stationen vom Anbieter direkt
<b>Radbügel (Abstellanlagen)</b>	<b>2</b>	Anzahl von der verwaltenden Behörde, Daten zur Materialintensität von einem Anbieter technischer Produkte
<b>U-Bahn (Netz und Züge)</b>	<b>2</b>	Angaben zur Netzlänge und Anzahlen von Zügen direkt vom Anbieter (Wiener Linien), Hochrechnung der Streckenerweiterung über Durchschnittswerte aus den Daten zur Materialintensität von Gassner et al. (2018), die aus detailreicher Bestandsaufnahme ermittelt wurden

<b>Tram (Netz und Züge)</b>	<b>3</b>	Netzlänge, Züge und Materialintensität siehe U-Bahn; mögliche Doppelzählungen durch Überschneidung mit Materialbestand von Fahrbahnflächen und Betonanteil der Gleisflächen
<b>Linienbusse, Postbusse</b>	<b>3</b>	Netzlänge und Anzahlen direkt vom Anbieter, Daten zur Materialintensität für einen Durchschnittsbus von Gassner et al. (2013) aus Lebenszyklusbetrachtung umgerechnet
<b>ÖBB-Schienennetz inkl. Züge</b>	<b>3</b>	
Schienennetz ÖBB	3	Netzlänge direkt vom Anbieter (ÖBB), Materialintensitätsdaten für Schienennetze und Bahnhöfe aus der Literatur für Bestände in Deutschland, Schätzungen unbekannter Faktoren (z.B. Zuteilung der Bahnhöfe zu Größenklassen)
Züge, S-Bahnen	3	Anzahlen direkt vom Anbieter (ÖBB), Materialintensitäten wie Wiener U-Bahn angenommen und auf tatsächliches Gewicht eines Durchschnittszuges hochgerechnet
<b>Beleuchtung</b>	<b>2</b>	Daten zu Anzahlen, Leitungslängen von der verwaltenden Behörde, Ermittlung von Durchschnittstypen für einzelne Elemente (Leuchten, Kabel, Masten) in enger Kooperation mit MA 33, Materialintensitätsdaten von Anbietern technischer Produkte für Kommunalbedarf oder aus Expertenschätzung (Wötzl, 2018)
<b>Bodenmarkierungen</b>	<b>2</b>	Daten zu Anzahl und Fläche der verwaltenden Behörde veröffentlicht, Berechnung mit Durchschnittswerten von einem Händler von Farbe
<b>Verkehrszeichen</b>	<b>3</b>	Anzahlen von Verkehrszeichen und Zusatztafeln von verwaltender Behörde veröffentlicht, Schätzungen zur Größe der Schilder (Durchschnittstypen) Berechnung des Gesamtgewichts mit Durchschnittswerten von einem Anbieter von Kommunalbedarf
<b>Tunnel</b>	<b>4</b>	Anzahlen aus einer Quelle von 2005 für Wien erhoben, Berechnung mit Materialintensitätswerten aus der Literatur (Steger et al., 2011)
<b>Brücken</b>	<b>4</b>	Gesamtanzahl von verwaltender Behörde, Größe eines Durchschnittstyps aus den Daten eines der Betreuer (ASFINAG) ermittelt; ( <i>Anmerkung</i> : überschätzt vermutlich die Größe eines Durchschnittstunnels, da ASFINAG größere Straßen wie Autobahnen und Schnellstraßen betreut); Materialintensität aus der Literatur (Steger et al., 2011)

Aus der gemeinsamen Betrachtung der Ergebnisse und Unsicherheitsbewertungen für verschiedene Bestandstypen wird ersichtlich, in welchen Bereichen des Verkehrssystems die Unsicherheiten das Gesamtergebnis stark beeinflussen könnten (Sensitivität). Einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben jene Bestände, die ein hohes Gesamtgewicht aufweisen. Für den mit Abstand größten Bestand, die Verkehrsfläche, liegen vergleichsweise gute Daten vor und es wurde eine detaillierte Berechnung der Bestände auf der Basis gut abgesicherter Koeffizienten (z.B.: Materialintensitäten) durchgeführt. Die mit hoher Unsicherheit erfassten Bestände wie Fahrräder, Teile des öffentlichen Verkehrs, Beleuchtung oder Verkehrszeichen haben dagegen nur einen geringen Anteil am Gesamtbestand. Problematisch sind Bestände mit einem hohen Gesamtgewicht und gleichzeitig einer hohen Unsicherheitsbewertung. Die Parkinfrastruktur, im Speziellen die Privatparkplätze sind hier zu erwähnen, die 15 % des Gesamtbestandes ausmachen und eine hohe Unsicherheitsstufe (4) aufweisen, da viele Schätzungen und Annahmen inkludiert werden mussten. Auch Brücken mit einem Anteil von 5 % des Gesamtbestandes werden mit Unsicherheitsstufe 4 bewertet und könnten somit das Gesamtergebnis etwas verzerren. Eine Darstellung der Ergebnisse nach Unsicherheitsstufen gruppiert bietet Abbildung 18 im nächsten Kapitel.

## 6.7.2 Bewertung der Unsicherheit der laufenden Materialflüsse

Die errechneten laufenden Materialflüsse für Bestandserhaltung basieren auf den Daten zu Materialbeständen, daher ist ihre Unsicherheit auch mit der Unsicherheit der Materialbestandsergebnisse eng verbunden. Dazu kommt noch die Einschätzung der Lebensdauern der verschiedenen Bestandstypen, nach dem nachstehend dargestellten Schema.

**Tabelle 27: Schema der Robustheitsbewertung von Lebensdauern**

Robustheit	Beschreibung
1	Robuste Daten oder Expertenschätzungen (direkt vom Hersteller oder Verwalter) für Wien
2	Daten aus der Literatur für diesen oder einen sehr ähnlichen Bestand
3	Annahme lt. allgemeinen Daten aus der Literatur für einen ähnlichen Bestand oder Ableitung durch andere Daten
4	Schätzung mangels verfügbarer Daten bzw. Verwendung von Daten aus der Literatur für einen ähnlichen Bestand

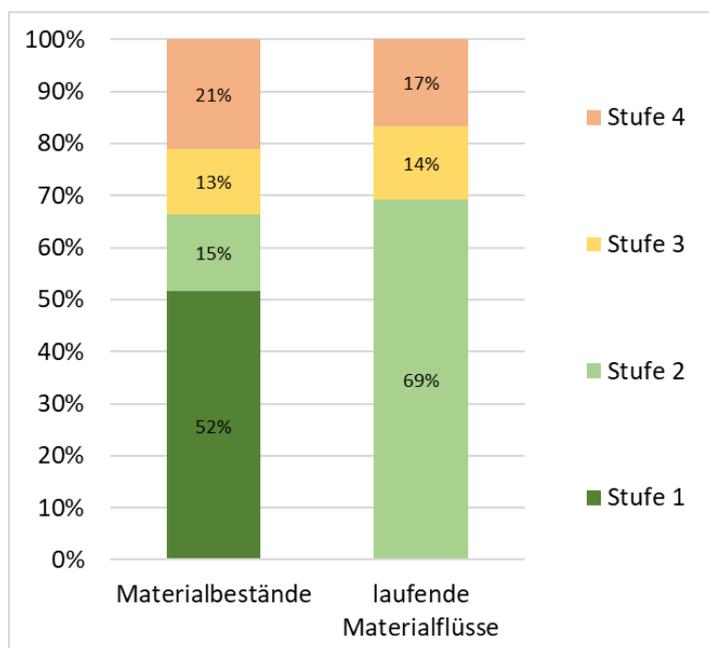
Da die Bewertung der Materialflüsse von der Bewertung des Materialbestands sowie der Bewertung der durchschnittlichen Lebensdauer abhängig ist, werden beide Werte in Tabelle 28 angeführt. Die Einschätzung der Robustheit der Daten zur Lebensdauer je Bestand wird einzeln begründet, für die Einschätzung der Bestandsschätzung siehe Tabelle 26. Auf Basis der beiden Werte wird eine Gesamtbewertung für die Robustheit der Materialflüsse pro Jahr angegeben.

**Tabelle 28: Bewertung der Robustheit von Daten zu Lebensdauern und laufenden Materialflüssen**  
(\* Bestände siehe Tabelle 26)

Materialbestand	Bewertung der Robustheit			
	Bestand*	Lebensdauer	Begründung für die Bewertung von Lebensdauern	Materialflüsse
<b>Verkehrsflächen</b>	1	1	nach Schichten differenzierte Lebensdauern und zusätzliche Aufgrabungen aus Expertenschätzungen (MA 28, ASFINAG)	2
<b>Parkinfrastruktur</b>	3	3		3
Parkplätze (öffentl.)	2	2	wie Straßenflächen	2
Parkhäuser (öffentlich)	3	3	Einschätzung der Lebensdauer durch IÖR (Gruber, 2018) als Durchschnitt von Parkhäusern und Tiefgaragen, keine Erhebung	3
Tiefgaragen (öffentlich)	3	3		3
Parkplätze und Parkgaragen (privat)	4	3	Mischung der oben genannten Angaben zu Parkplätzen, Tiefgaragen und Parkhäusern	4
<b>PKW</b>	2	3	Abschätzung der Lebensdauer aus Veränderungen in der Zulassungsstatistik	3
<b>Fahrräder, E-Bikes, Citybikes</b>	3	3	Werte aus Daten zur wirtschaftlichen Abschreibung für einen Durchschnittstyp	3
<b>Radbügel</b>	2	4	eigene Schätzung	4
<b>U-Bahn (gesamt)</b>	2	2	Werte aus der Literatur (Gassner et al., 2018b) welche in Zusammenarbeit mit Wiener Linien erhoben wurden	2
<b>Tram (gesamt)</b>	3	2		3
<b>Busse</b>	3	2		3
<b>Züge &amp; Schienen</b>	3	3		3

Schiennetz ÖBB	3	3	allgemeiner Wert aus der Literatur	3
Züge	3	3	wie U-Bahnen angenommen	3
<b>Postbusse</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	wie Linienbusse angenommen	<b>3</b>
<b>Beleuchtung</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	Daten vom Verwalter (MA 33)	<b>2</b>
<b>Bodenmarkierungen</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	Angabe lt. technischem Hersteller, Durchschnittswert	<b>3</b>
<b>Verkehrszeichen</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	Angabe durch zuständige Behörde	<b>3</b>
<b>Tunnel</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Wert aus der Literatur für ähnlichen Bestand	<b>4</b>
<b>Brücken</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Wert aus der Literatur für ähnlichen Bestand	<b>4</b>

Eine gemeinsame Betrachtung der Robustheitsstufen und des Anteils der Materialflüsse an den gesamten jährlichen Flüssen gibt einen Eindruck der Robustheit des Gesamtergebnisses (siehe Abbildung 18). 63 % aller Materialflüsse werden für die Erhaltung der Verkehrsflächen verwendet und wurden mit einer niedrigen Unsicherheitsstufe (2) bewertet. Auch bei den laufenden Materialflüssen fallen die Parkinfrastrukturen mit einem Anteil von 20 % an den Gesamtflüssen ins Gewicht, welche eine einer höhere Unsicherheitsstufe (3) aufweisen. Brücken, die mit Unsicherheitsstufe 4 bewerten wurden, verursachen weitere 4 % der Gesamtflüsse. Alle übrigen Materialflüsse haben hinsichtlich ihrer Größe untergeordnete Bedeutung und würden daher auch im Falle von Fehleinschätzungen das Gesamtergebnis nur wenig verändern.



**Abbildung 18: Anteil der Ergebnisse diverser Robustheitsstufen am Gesamtergebnis**  
Gewichtung durch Masse der berechneten Bestände/Flüsse an Material

## 7 Conclusio

Die in dieser Arbeit durchgeführte Bottom-Up-Analyse der Materialbestände des Verkehrssystems im Wiener Stadtgebiet zeigt das Ausmaß an Materialbeständen, laufenden Material- und Energieflüssen, das für Mobilität in Wien verwendet wird. Die Berechnungen liefern vor allem im Bereich der Verkehrsflächen detaillierte Ergebnisse über deren Zusammensetzung, Lebensdauer und Verwendung. Folgende Antworten auf die in Kapitel 3 gestellten Forschungsfragen und Arbeitshypothesen können nun formuliert werden:

### 1. Welche Masse und welche Zusammensetzung hat der Materialbestand, der für Mobilität im Wiener Stadtgebiet vorhanden ist?

Der Materialbestand beträgt in einem Jahr des Zeitraums 2010-2018 durchschnittlich 101,1 Mio. Tonnen<sup>20</sup>. Der Bestand besteht zu 96 % aus nicht-metallischen Mineralien und zu 4 % aus Metallen, während Biomasse – hauptsächlich Holz – und fossile Materialien weniger als 0,5 % der Gesamtmasse ausmachen. Große Metallbestände befinden sich in Parkhäusern und Tiefgaragen, in Brücken und im U-Bahn-System. Stahl spielt unter den Metallen mit Abstand die größte Rolle. Besonders die Verkehrsflächen haben einen hohen Anteil am gesamten Materialbestand und insgesamt sind passive Bestände, die nicht direkt der Fortbewegung dienen, mit 99 % der Gesamtmasse vorherrschend gegenüber einem kleinen Bestand aktiver Bestände, der sich hauptsächlich aus PKW zusammensetzt.

### 2. Welche Material- und Energieflüsse pro Jahr sind mit dem Verkehrssystem und mit der Mobilität in Wien verbunden?

Mit dem Verkehrssystem<sup>21</sup> sind Materialflüsse von jährlich ca. 2,8 Mio. Tonnen oder 2,8 % der Bestände verbunden, die der laufenden Erhaltung des Gesamtbestandes (teilweise Erneuerung und vollständigem Ersatz der Bestände) dienen. Die Verkehrsflächen und Parkinfrastrukturen lösen die größten Materialflüsse aus, auch wenn diese Bestände im Vergleich eine lange Lebensdauer aufweisen. Hinzu kommen noch die Materialflüsse für Bestandsveränderung, welche aktuell wesentlich geringer als die Flüsse für Bestandserhaltung sind. Pro Jahr kann von einem Endenergieverbrauch für Fortbewegung (ohne menschliche Kraft) von ca. 30.000 TJ/Jahr ausgegangen werden. Davon verbraucht der motorisierte Individualverkehr ca. 90 %, (27.000 TJ), welche hauptsächlich in Form fossiler Energieträger aufgebracht werden. Für die restlichen 3.000 TJ Verbrauch des öffentlichen Verkehrs wird hauptsächlich elektrische Energie eingesetzt. Insgesamt ergibt sich ein Anteil fossiler Energieträger für Mobilität in Wien von mindestens 80 %.

### 3. Wie unterscheiden sich verschiedene Formen von Mobilität hinsichtlich der Nutzung von Materialbeständen, Material- und Energieflüssen?

Der motorisierte Individualverkehr nimmt fast drei Viertel der Materialbestände in Anspruch, gefolgt vom öffentlichen Verkehr. Durch In-Beziehung-Setzen mit Mobilitätsdaten wird ersichtlich, dass der Bestand, welcher FußgängerInnen und RadfahrerInnen zugerechnet werden kann, weniger intensiv genutzt wird als jener, der von MIV und öffentlichem Verkehr genutzt wird. Neben dem Umstand, dass kurze Fußwege bei fast jeder Fortbewegungsart anfallen und

---

<sup>20</sup> Regulär vorhandener Bestand ohne PKW täglicher EinpendlerInnen. Diese würden den Gesamtbestand auf 101,6 Mio. Tonnen erhöhen, mit Anteilen von 95 % Nicht-Metallen und 4 % Metallen.

<sup>21</sup> Inkl. PKW täglicher EinpendlerInnen

daher die Bestände dafür nicht rein dem Zufußgehen zugerechnet werden können, liegt die niedrige Nutzungsintensität der Fußgängerflächen vor allem an den geringen Distanzen, die zu Fuß und mit dem Fahrrad zurückgelegt werden und an der Beschaffenheit der Verkehrsflächen, die an die Bedürfnisse der schwersten Verkehrsteilnehmer – dem motorisierten Individualverkehr bzw. Güterverkehr – angepasst sind.

Die Hypothesen, die zu diesem Forschungsvorhaben formuliert wurden, können folgendermaßen beantwortet werden:

**I. Der Materialbestand für den öffentlichen Verkehr wird ungefähr gleich intensiv genutzt wie jener für den motorisierten Individualverkehr.**

Diese Hypothese wird klar widerlegt. Durch vergleichsweise niedrigen Bestände des öffentlichen Verkehrs nutzt die ÖV-Mobilität ihren Materialbestand sehr intensiv. 463 Personenkilometer werden pro Tonne Bestand zurückgelegt, während es im MIV nur 160 sind. Im ÖV werden etwas weniger Personenkilometer pro Jahr zurückgelegt, doch der Gesamtbestand für diese Mobilitätsform ist nur ca. ein Viertel so groß wie jener des motorisierten Individualverkehrs. Die Nutzungsintensität im öffentlichen Verkehr ist daher mit Abstand die höchste aller Mobilitätsformen und fast drei Mal so hoch als im MIV.

**II. Die höchsten jährlichen Materialflüsse für Bestandserhaltung sind mit dem Bestand der Straßenflächen verbunden.**

Diese Hypothese wurde bestätigt. Die laufenden Materialflüsse für die Bestandserhaltung der Fahrbahnflächen machen ca. 50 % der gesamten Materialflüsse des Verkehrssystems aus. Der nächstgrößte Materialfluss von 21 % wird von Parkinfrastrukturen ausgelöst, alle anderen Bestände benötigen weit niedrigere Materialflüsse für den Erhalt des Bestandes.

**III. Zufußgehen und Radfahren sind hinsichtlich ihres Materialbestands und des jährlichen Material- und Endenergieverbrauches die effizientesten Fortbewegungsmittel.**

Diese Hypothese kann nur teilweise bestätigt werden. Zufußgehen und Radfahren sind zwar bezüglich ihres Endenergieverbrauches die effizientesten Fortbewegungsmittel, nützen allerdings den Bestand, der ihnen zur Verfügung steht, am wenigsten intensiv. Technische Energie wird nur im öffentlichen Verkehr (0,36 MJ/Pkm) und im motorisierten Individualverkehr (2,29 MJ/Pkm) eingesetzt, nicht beim Zufußgehen und Fahrradfahren<sup>22</sup>. Bei der Nutzungsintensität zeigt sich ein anderes Bild: Mit dem Fahrrad werden 129 Pkm/Tonne Bestand zurückgelegt, zu Fuß 139 Pkm, mit dem MIV 160 Pkm und mit dem öffentlichen Verkehr 463 Pkm. Auch die laufenden Materialflüsse je Personenkilometer sind beim Zufußgehen (0,26 kg/Pkm) und Fahrradfahren (0,28 kg/Pkm) wesentlich höher als im MIV (0,19 kg/Pkm) oder im öffentlichen Verkehr (0,03 kg/Pkm).

Dies liegt vor allem daran, dass die umfangreichen Infrastrukturen für den Fußgängerverkehr die Basis aller Mobilität einer Stadt sind, da bei fast jedem zurückgelegten Weg kurze Strecken zu Fuß zurückgelegt werden müssen. Außerdem ist die Gestaltung der Infrastrukturen wie Gehsteige als Abgrenzung zum Straßenverkehr und für die fallweise Befahrung dimensioniert und daher nicht rein für die Bedürfnisse der Fußgänger ausgerichtet, sondern an den MIV an-

---

<sup>22</sup> ausgenommen der geringen Anzahl von E-Bikes, deren Energieverbrauch in dieser Arbeit vernachlässigt wurde; menschliche Arbeit wurde nicht berücksichtigt

gepasst. Die Gestaltung der straßenbasierten Verkehrsinfrastruktur nach der höchstmöglichen Belastung bestimmt die Materialintensitäten verschiedener Bestände maßgeblich. Mehr Mobilität zu Fuß oder mit dem Rad würde daher nur die Nutzungsintensität verbessern, hätte aber keine Auswirkungen auf den Bestand oder die laufenden Materialflüsse.

Die ergänzende Betrachtung des Verkehrsaufkommens durch den Transport von Waren und Dienstleistungen in bzw. durch die Stadt hindurch wäre nötig, um das Bild über die Nutzung des Wiener Verkehrssystems zu vervollständigen, geschäftliche/Dienstreisen sind bereits inkludiert. Daten zum Gütertransport sind kaum verfügbar, doch da sich eine Stadt weitgehend aus dem Umland versorgt, ist der Zulieferverkehr ein nicht zu vernachlässigender Nutzer des Verkehrssystems. Dies würde sich vor allem im Bereich des MIV niederschlagen.

Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Materialbeständen in der sozial-ökologischen Forschung. Die multiple Krise aus sozialen und ökologischen Problemen, in der sich die globale Gesellschaft befindet, verlangt nach Lösungen. Gesellschaftliche Materialbestände spielen für die Ressourcennutzung eine bedeutende Rolle und gestalten energieintensive, klimarelevante Praktiken mit, die die Zirkularität der Wirtschaft stark bestimmen. Ein besseres Verständnis über ihre Finanzierung, Erstellung, Beschaffenheit, Verteilung, Nutzung, Lebensdauer und Wiederverwendbarkeit wäre ein wichtiger Beitrag, um ihr transformatorisches Potential für die Gesellschaft und den sozialen Metabolismus zu begreifen. Dabei ist das Verkehrssystem als Materialbestand beträchtlicher Größe, der die Gestaltung von Städten und die verfügbaren Mobilitäts-Services bestimmt und mit der übermäßigen Nutzung fossiler Energieträger eng verbunden ist, ein relevanter Faktor. Der laufende Materialfluss für den Erhalt des Verkehrssystems ist ein fortwährender Treiber der Ressourcennutzung. Die Möglichkeit Lebensdauern zu verlängern und damit Materialflüsse pro Jahr zu verringern, wäre im Hinblick auf das Ziel der Ressourcenschonung zu explorieren. Hinzu kommt, dass eine längere Nutzung des Bestandes auch die Energie, die beim Aufbau des Bestandes benötigt wurde, besser verwertet. Des Weiteren haben nicht nur die Zuflüsse in den Bestand, sondern auch die Materialabflüsse aus dem Bestand, sozial-ökologisch relevante Auswirkungen. Dies bezieht sich auf Emissionen durch Mobilität, aber auch auf Bauabfälle aus dem Abriss von Straßen oder aus der Entsorgung von Fahrzeugen bzw. das potentielle Recycling dieser Abfälle als relevante Aspekte der biophysischen Betrachtung des Verkehrssystems.

Weitere sozial-ökologische Auswirkungen des Verkehrssystems ergeben sich durch die Nutzung der Services, die es bereitstellt. Dazu zählt der Einfluss des Verkehrs auf die Lebensqualität durch soziale Aspekte wie gesundheitliche Auswirkungen durch Mobilität wie Bewegung, körperliche und psychische Belastungen durch Verkehrslärm und -emissionen. Den Zugang zu bzw. Ausschluss von der Benutzung der Verkehrsinfrastruktur zu untersuchen erlaubt, den Wohlstand, der mit einem gut ausgebauten Verkehrssystem verbunden wird, differenzierter zu betrachten und auch der Beschäftigungsfaktor des Sektors Verkehr ist diesbezüglich relevant. Des Weiteren geben gesamtwirtschaftliche Aspekte des Verkehrs Anreize für zukünftige Forschungsfragen. Eine genauere Betrachtung der Investitionen in verschiedene Bestände ist lohnend, um die Interessen hinter dem Aufbau und der speziellen Ausgestaltung verschiedener Elemente besser zu verstehen und die Rolle des Verkehrssystems als Kapital- und Ressourcenspeicher besser zu verstehen.

Weitere Forschung zur Nutzung des Verkehrssystems und zum Zusammenhang von Nutzung und infrastruktureller Gestaltung würde außerdem Einblicke in das Serviceangebot und in die Bestimmung der Dynamiken des sozialen Metabolismus durch das Verkehrssystem liefern. Ein Ansatzpunkt dafür wären Unterschiede in der räumlichen Verteilung und in der Qualität der Services der Verkehrsinfrastruktur. Das Mobilitätsverhalten als Bündel von Praktiken zu sehen und mit seiner materiellen Dimension stärker in Verbindung zu betrachten, könnte ebenso aufschlussreich sein, um Nutzungsentscheidungen besser nachzuvollziehen. Motive für die Nutzung des Verkehrssystems noch besser zu verstehen bleibt ein interessantes Feld für zukünftige Forschung.

## 8 Literatur

- Ablinger, W., MA 28, 2018. Persönliche Kommunikation [6. 2018 bis 1. 2019]
- Aksözen, M., Hassler, U., Kohler, N., 2017. Reconstitution of the dynamics of an urban building stock. *Building Research & Information* 45, 239–258. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1152040>
- APCOA PARKING Austria GmbH, 2018. Apcoa. URL: [www.apcoa.at](http://www.apcoa.at) [15. 11. 2018]
- Augiseau, V., Barles, S., 2017. Studying construction materials flows and stock: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 123, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.002>
- Best in Parking – Holding AG, 2018. Best in Parking. URL: [b-i-p.com](http://b-i-p.com) [15. 11. 2018]
- BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2019. Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung.
- BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016. österreich unterwegs. Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätsenerhebung “Österreich unterwegs 2013/2014”.
- BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013. Radverkehr in Zahlen. Daten, Fakten und Stimmungen.
- BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012. Gesamtverkehrsplan für Österreich.
- BMVIT, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2011. Verkehr in Zahlen.
- BOE Gebäudemanagement GmbH, 2018. BOE. URL: [www.boe-parking.at](http://www.boe-parking.at) [15. 11. 2018]
- Brezina, T., Hader, T., Eder, E., 2015. Pendeln in der Ostregion - Potenziale für die Bahn: Studie auf Basis einer Analyse der TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, im Auftrag der Arbeiterkammer Wien, Niederösterreich und Burgenland, Verkehr und Infrastruktur. Kammer f. Arbeiter u. Angestellte f. Wien, Wien.
- Brunner, P., Lahner, T., Obernosterer, R., 1998. *Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy (MAc TEmPo)* (Endbericht).
- Brunner, P.H., Rechberger, H., 2016. *Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers*, Second Edition. CRC Press.
- Cervero, R., Kockelman, K., 1997. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 199–219.
- Contipark International Austria GmbH, 2018. Contipark. URL: [www.contipark.at](http://www.contipark.at) [15. 11. 2018]
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature*, Vol. 415
- Dechant, E., 2018. Persönliche Kommunikation mit Citybike. [8. 2018]
- FAO, 2019. Vietnam Country Profile. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/237> [18.4.2018]
- Feisthammel, P., 2019. URL: <https://www.energie-gedanken.ch/umrechnungsfaktoren/> [11. 2. 2019]
- Fischer, G., 2019. KFZ-Bestand Zulassungszeitpunkte Wien. Persönliche Kommunikation [24. 1. 2019]
- Fischer-Kowalski, M., 2011. Analyzing sustainability transitions as a shift between socio-metabolic regimes. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.04.004>
- Fischer-Kowalski, M., 1998. Society’s Metabolism.: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860– 1970. *Journal of Industrial Ecology* 2, 61–78. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.61>
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., Schandl, H., Weisz, H., 2011. *Methodology and Indicators of Economy-*

- wide Material Flow Accounting: State of the Art and Reliability Across Sources. *Journal of Industrial Ecology* 15, 855–876. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00366.x>
- Fishman, T., Schandl, H., Tanikawa, H., Walker, P., Krausmann, F., 2014. Accounting for the Material Stock of Nations: Accounting for the Material Stock of Nations. *Journal of Industrial Ecology* 18, 407–420. <https://doi.org/10.1111/jiec.12114>
- Fritz, D., 2019. Persönliche Kommunikation [18. 2. 2019]
- Fritz, D., Heinfellner, H., Lichtblau, G., Pölz, W., Schodl, B., 2016. Ökobilanz alternativer Antriebe (No. REP-057). Wien.
- Gassner, A., 2013. Vergleich des Ökologischen Fußabdruckes von Bussen unterschiedlicher Antriebstechnologien. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien
- Gassner, A., Lederer, J., Fellner, J., 2018a. Changes in Material Stocks and Flows of a Century-old Rail Network Caused by Refurbishment. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, April 16-19, 2018, Vienna, Austria
- Gassner, A., Lederer, J., Kanitschar, G., Ossberger, M., Fellner, J., 2018b. Extended ecological footprint for different modes of urban public transport: The case of Vienna, Austria. *Land Use Policy* 72, 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.012>
- Gerst, M.D., 2009. Linking Material Flow Analysis and Resource Policy via Future Scenarios of In-Use Stock: An Example for Copper. *Environmental Science & Technology* 43, 6320–6325. <https://doi.org/10.1021/es900845v>
- Gragger, K., ASFINAG, 2018. Persönliche Kommunikation. [10. 2018 bis 1. 2019]
- Gruber, C.J., Sammer, Gerd, Tomschy, R., Röschel, G., Sammer, Gabriela, 2019. Forschungsprojekt Input-ÖU. Durchführung der Imputation und Gewichtung nicht berichteter Wege für ÖU und der Mobilitätshebung Österreich 1995. Endbericht.
- Gruber, L., 2018. Persönliche Kommunikation mit MA 29. [28. 8. 2018]
- Gruhler, K., 2018. Persönliche Kommunikation mit IÖR. [12. 2018 bis 2. 2019]
- Guo, Z., Hu, D., Zhang, F., Huang, G., Xiao, Q., 2014. An integrated material metabolism model for stocks of urban road system in Beijing, China. *Science of The Total Environment* 470–471, 883–894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.041>
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M., 2015. How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005: How Circular is the Global Economy? *Journal of Industrial Ecology* 19, 765–777. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>
- Haas, W., Moshhammer, H., Muttarak, R., Balas, M., Ekmekcioglu, C., Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Matulla, C., Nowak, P., Striessnig, E., Weisz, U., Widhalm, T., Lemmerer, K., Augustin, J., Gerten, D., Litvinovitch, J., Menne, B., Phalkey, R., Sakdapolrak, P., Wagner, S., Haberl, H., Fuss, S., Schuster, M., Spiegel, S., Sauerborn, R., 2018. Österreichischer Special Report Gesundheit, Demographie und Klimawandel (ASR18) – Zusammenfassung für Entscheidungstragende und Synthese. Wien.
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Erb, K.-H., Görg, C., Krausmann, F., 2017. The Material Stock–Flow–Service Nexus: A New Approach for Tackling the Decoupling Conundrum. *Sustainability* 9, 1049. <https://doi.org/10.3390/su9071049>
- Handbichler, W., MA28, 2018. Persönliche Kommunikation. [4. 12. 2018]
- Independent Regulators’ Group - Rail, 2018. Sixth Annual Market Monitoring Report. URL: [https://www.schienencontrol.gv.at/files/1-Homepage-Schienen-Control/1g-Presse/Pressemappen/Pressemappen2018/6.IRG-Rail\\_-\\_Sixth\\_Annual\\_Market\\_Monitoring\\_Report.pdf](https://www.schienencontrol.gv.at/files/1-Homepage-Schienen-Control/1g-Presse/Pressemappen/Pressemappen2018/6.IRG-Rail_-_Sixth_Annual_Market_Monitoring_Report.pdf) [21. 3. 2019]

- IÖR, 2018. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung & IÖR Informationsportal Bauwerksdaten. URL: <http://ioer-bdat.de/bauwerksdaten/nichtwohngebaueude/parkhaeuser-parkdecks/> [13. 12. 2018]
- Jacobi, N., Haas, W., Wiedenhofer, D., Mayer, A., 2018. Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges. *Resources, Conservation and Recycling* 137, 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.022>
- Jaderny, D., MA 28, 2018. Persönliche Kommunikation. [11. bis 12. 2018]
- Kapur, A., Keoleian, G., Kendall, A., Kesler, S.E., 2008. Dynamic Modeling of In-Use Cement Stocks in the United States. *Journal of Industrial Ecology* 12, 539–556. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00055.x>
- Kleemann, F., Lederer, J., Rechberger, H., Fellner, J., 2017. GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings: GIS-based Analysis of Material Stock in Buildings. *Journal of Industrial Ecology* 21, 368–380. <https://doi.org/10.1111/jiec.12446>
- Kommunalbedarf.at, 2018. URL: <https://kommunalbedarf.at/strasse-verkehr/befestigungssysteme-fuer-verkehrszeichen/rohrsteher/88580/rohrsteher-oe-60mm/wandstaerke-3mm/inkl.-abdeckkappe?c=2147328395> [3. 12. 2018]
- Kral, U., Lin, C.-Y., Kellner, K., Ma, H., Brunner, P.H., 2014. The Copper Balance of Cities: Exploratory Insights into a European and an Asian City. *Journal of Industrial Ecology* 18, 432–444. <https://doi.org/10.1111/jiec.12088>
- Krausmann, F., Schandl, H., Eisenmenger, N., Giljum, S., Jackson, T., 2017a. Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use for Sustainable Development. *Annual Review of Environment and Resources* 42, 647–675. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726>
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T., Miatto, A., Schandl, H., Haberl, H., 2017b. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, 1880–1885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>
- Kugler, Hannes, 2018. Persönliche Kommunikation mit TPAQI [10. 2018]
- Laner, D., Rechberger, H., Astrup, T., 2014. Systematic Evaluation of Uncertainty in Material Flow Analysis: Uncertainty Analysis in Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology* 18, 859–870. <https://doi.org/10.1111/jiec.12143>
- Lederer, J., Kleemann, F., Ossberger, M., Rechberger, H., Fellner, J., 2016a. Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits: The Case Study of Vienna's Subway Network: Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits. *Journal of Industrial Ecology* 20, 1320–1333. <https://doi.org/10.1111/jiec.12395>
- Lederer, J., Kral, U., Brunner, P.H., 2010. Vom Ökologischen Fußabdruck zum Ressourcen- und Umweltmanagement am Beispiel der Wiener Linien (ÖFRU). Arbeitspaket 1: Ökologischer Fußabdruck der U2 Verlängerung.
- Lederer, J., Ott, C., Brunner, P.H., Ossberger, M., 2016b. The life cycle energy demand and greenhouse gas emissions of high-capacity urban transport systems: A case study from Vienna's subway line U2. *International Journal of Sustainable Transportation* 10, 120–130. <https://doi.org/10.1080/15568318.2013.869704>
- LeGall, G., 2018. Persönliche Kommunikation mit Citybike. [3. 8. 2018]
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J., 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 1786–1793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>

- Liang, H., Tanikawa, H., Matsuno, Y., Dong, L., 2014. Modeling In-Use Steel Stock in China's Buildings and Civil Engineering Infrastructure Using Time-Series of DMSP/OLS Nighttime Lights. *Remote Sensing* 6, 4780–4800. <https://doi.org/10.3390/rs6064780>
- Lövbrand, E., Beck, S., Chilvers, J., Forsyth, T., Hedrén, J., Hulme, M., Lidskog, R., Vasileiadou, E., 2015. Who speaks for the future of Earth? How critical social science can extend the conversation on the Anthropocene. *Global Environmental Change* 32, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.012>
- MA 20, 2017. Energie! voraus. Energiebericht der Stadt Wien. URL: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/energiebericht2017.pdf> [14. 11. 2018]
- MA 23, 2019. Gästeankünfte nach Bezirken 2006 bis 2017. URL: <https://www.wien.gv.at/statistik/wirtschaft/tabellen/ankuenfte-bezirk-zr.html> [18. 1. 2019]
- MA 23, 2018. Bevölkerungsprognose 2018. Wien. URL: [file:///M:/MA-Arbeit\\_MFA/Wien\\_Nexus/Mobilitätsdaten%20Wien/bev-prog-2018.pdf](file:///M:/MA-Arbeit_MFA/Wien_Nexus/Mobilitätsdaten%20Wien/bev-prog-2018.pdf) [7. 2. 2019]
- MA 23, 2015. Wien im Querschnitt der Zeit. Ergebnisse aus der Registerzählung 2011. Teil 1: Gebäude- und Wohnungszählung (No. 2/2015), *Statistik Journal*.
- MA 23, W., Arbeit und Statistik, 2017. Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 2017. URL: <https://www.wien.gv.at/statistik/publikationen/uebersicht-pub.html> [25. 6. 2018]
- MA 28, 2018a. Stadt Wien Online Bodenmarkierungen. URL: <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/einrichtungen/bodenmarkierungen.html> [3. 12. 2018]
- MA 28, 2018b. Stadt Wien Online Verkehrszeichen. URL: <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/einrichtungen/verkehrszeichen.html> [3. 12. 2018]
- MA 29, 2019. Stadt Wien Online Brückenbau. URL: <https://www.wien.gv.at/verkehr/brueckenbau/fakten.html> [27. 1. 2019]
- MA 33, 2018. Stadt Wien Online. URL: <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/einrichtungen/beleuchtung/zahlen.html> [15. 11. 2018]
- Magistrat der Stadt Wien, 2009. Klimaschutzprogramm der Stadt Wien. Fortschreibung 2010-2020. URL: <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/pdf/klip2-lang.pdf> [4. 1. 2019]
- Meinhart Kabel Österreich GmbH, 2019a. Meinhart Kabeln. URL: [http://www.meinhart.at/fileadmin/media/Datenbl%C3%A4tter\\_2014\\_AT\\_DE/YMT.pdf](http://www.meinhart.at/fileadmin/media/Datenbl%C3%A4tter_2014_AT_DE/YMT.pdf) [21. 1. 2019]
- Meinhart Kabel Österreich GmbH, 2019b. Meinhart Anschlussleitungen. URL: [http://www.meinhart.at/fileadmin/media/Datenbl%C3%A4tter\\_2014\\_AT\\_DE/H05VV-F.pdf](http://www.meinhart.at/fileadmin/media/Datenbl%C3%A4tter_2014_AT_DE/H05VV-F.pdf) [21. 1. 2019]
- Miatto, A., Schandl, H., Wiedenhofer, D., Krausmann, F., Tanikawa, H., 2017. Modeling material flows and stocks of the road network in the United States 1905–2015. *Resources, Conservation and Recycling* 127, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.024>
- Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2018. Radgaragen Wien. URL: <https://www.fahrradwien.at/tipps-und-regeln/radgaragen/> [18. 11. 2018]
- Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2016. Fahrrad Report Wien 2016. <https://www.fahrradwien.at/radfahren-in-zahlen/> [18. 11. 2018]
- Moravec, M. (ÖBB), 2019. Persönliche Kommunikation. [1. 2019]
- Motschall, M., Bergman, T., 2015. Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Arbeitspaket 4 des Projektes „Weiterentwicklung des Analyseinstrumentes Renewability“ (Projektbericht No. Arbeitspaket 4), Texte. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

- Müller, D., 2006. Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. *Ecological Economics* 59, 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.09.025>
- Müller, D., Wang, T., Duval, B., Graedel, T.E., 2006. Exploring the engine of anthropogenic iron cycles. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 16111–16116. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603375103>
- Müller, E., Hilty, L.M., Widmer, R., Schluep, M., Faulstich, M., 2014. Modeling Metal Stocks and Flows: A Review of Dynamic Material Flow Analysis Methods. *Environmental Science & Technology* 48, 2102–2113. <https://doi.org/10.1021/es403506a>
- Nguyen, T.C., Fishman, T., Miatto, A., Tanikawa, H., 2018. Estimating the Material Stock of Roads: The Vietnamese Case Study: The Vietnamese Case Study. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12773>
- ÖBB-Holding AG, 2018. ÖBB kompakt 2017/18. Österreich zusammen bringen. Zahlen Daten Fakten. URL: [https://konzern.oebb.at/file\\_source/corporate/presse-site/Downloads/Publikationen/web\\_OEBB\\_Zahlen\\_2018-2\\_de.pdf](https://konzern.oebb.at/file_source/corporate/presse-site/Downloads/Publikationen/web_OEBB_Zahlen_2018-2_de.pdf) [27. 1. 2019]
- Ortlepp, R., Gruhler, K., Schiller, G., 2016a. Materials in Germany’s domestic building stock: calculation model and uncertainties. *Building Research & Information* 46, 164–178. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1264121>
- Ortlepp, R., Gruhler, K., Schiller, G., 2016b. Material stocks in Germany’s non-domestic buildings: a new quantification method. *Building Research & Information* 44, 840–862. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1112096>
- Paul Jaeger GmbH & Co. KG, 2018. Bodenmarkierungen. URL: <https://www.jaegerlacke.de/produkte-loesungen/markierungsfarben/kronalux-strassenmarkierung-750/> [3. 12. 2018]
- Pauliuk, S., Müller, D.B., 2014. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. *Global Environmental Change* 24, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.006>
- Pauliuk, S., Wang, T., Müller, D.B., 2013. Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. *Resources, Conservation and Recycling* 71, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.008>
- Pfeiffer Stahlrohrmaste GmbH, 2019. Pfeiffer Stahlrohrmaste. URL: <https://www.pfeiffer-stahlrohrmaste.de/produkte/beleuchtungsmaste-lichtmaste/> [21. 1. 2019]
- Pfister, C., 1994. Das 1950er Syndrom. Die Epochenschwelle der Mensch-Umwelt-Beziehung zwischen Industriegesellschaft und Konsumgesellschaft. *Gaia* 2, 71–90. <https://doi.org/10.14512/gaia.3.2.4>
- Plautz, W. (MA18), 2018. Persönliche Kommunikation. [11. bis 12. 2018]
- Randelhoff, M., 2019. Zukunft Mobilität. URL: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoegerung-vergleich/> [1. 2. 2019]
- Riedel, R. (MA18), 2019. Persönliche Kommunikation. [14. 1. 2019]
- Rittler, C., 2011. Kordonenerhebung Wien in den Jahren 2008 bis 2010. Technisches Büro für Verkehrswesen und Verkehrswirtschaft.
- Rübli, S., Jungbluth, N., 2005. Materialflussrechnung für die Schweiz. Machbarkeitsstudie. Neuchatel.
- Sammer, G., 2019. Persönliche Kommunikation zu Daten aus der Studie “Österreich unterwegs 2013/14.”
- Sauter Edelstahl AG, 2018. URL: <https://www.sauteredelstahl.ch/gewichtsrechner/> [3. 12. 2018]

- Schebek, L., Schnitzer, B., Blesinger, D., Köhn, A., Miekley, B., Linke, H.J., Lohmann, A., Motzko, C., Seemann, A., 2017. Material stocks of the non-residential building sector: the case of the Rhine-Main area. *Resources, Conservation and Recycling* 123, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.001>
- Schilder- & Stempelhaus, 2018. Gewicht Verkehrsschilder. URL: <http://www.schilderhaus.at/verkehrsschilder.htm> [3. 12. 2018]
- Schiller, G., 2007. Urban infrastructure: challenges for resource efficiency in the building stock. *Building Research & Information* 35, 399–411. <https://doi.org/10.1080/09613210701217171>
- Schimpl, W., 2018. Persönliche Kommunikation mit Magna Steyr. [11. bis 12. 2018]
- Schmied, M., Motschall, M., 2013. Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland.
- Schwarzmaier, J.Ö., 2019. Persönliche Kommunikation. [1. 2019]
- Shi, F., Huang, T., Tanikawa, H., Han, J., Hashimoto, S., Moriguchi, Y., 2012. Toward a Low Carbon-Dematerialization Society: Measuring the Materials Demand and CO<sub>2</sub> Emissions of Building and Transport Infrastructure Construction in China. *Journal of Industrial Ecology* 16, 493–505. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00523.x>
- Stark, W., Vogel-Lahner, T., Frühwirth, W., 2003. Bauwerk Österreich. Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des “Bauwerk Österreich.”
- Statistik Austria, 2019. Regionale Gliederungen. Bundesländer. URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/klassifikationen/regionale\\_gliederungen/bundeslaender/index.html](http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/bundeslaender/index.html) [7. 2. 2019]
- Statistik Austria, 2016. Zeitverwendungserhebung. URL: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/soziales/zeitverwendung/zeitverwendungserhebung/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/soziales/zeitverwendung/zeitverwendungserhebung/index.html) [29. 1. 2019]
- Stäubli, B., 2010. Bau- und Rückbau: Massenflüsse 1900-2020. Modellierung der wichtigsten Materialflüsse rund um das Bauwerk Kanton Zürich.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sorlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855–1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steger, S., Fekkak, M., Bringezu, D.S., 2011. Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen. Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts “Materialeffizienz und Ressourcenschonung” (MaRess) 268.
- Steinberger, J.K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H., West, J., 2013. Development and Dematerialization: An International Study. *PLoS ONE* 8, e70385. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070385>
- Tanikawa, H., Fishman, T., Okuoka, K., Sugimoto, K., 2015. The Weight of Society Over Time and Space: A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945-2010: The Construction Material Stock of Japan. *Journal of Industrial Ecology* 19, 778–791. <https://doi.org/10.1111/jiec.12284>
- Tanikawa, H., Hashimoto, S., 2009. Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS. *Building Research & Information* 37, 483–502. <https://doi.org/10.1080/09613210903169394>

- Tanikawa, H., Managi, S., Lwin, C.M., 2014. Estimates of Lost Material Stock of Buildings and Roads Due to the Great East Japan Earthquake and Tsunami: Lost Material Stock Due to Earthquake and Tsunami. *Journal of Industrial Ecology* 18, 421–431. <https://doi.org/10.1111/jiec.12126>
- Terzer, I.A., 2015. Betriebsführungsstrategie der MA 33 Prüfungen, Dokumentationen und Automatisierungen 22.
- Umweltbundesamt, 2019. UBA Emissionen durch Verkehr. URL: [http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/auswirkungen\\_verkehr/verk\\_treibhausgase/](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/auswirkungen_verkehr/verk_treibhausgase/) [14. 2. 2019]
- Umweltbundesamt, 2018. Emissionskennzahlen Datenbasis 2016. URL: [http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/verkehrsdaten/emissionsfaktoren\\_verkehrsmittel/](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/verkehrsdaten/emissionsfaktoren_verkehrsmittel/) [18. 2. 2019]
- Umweltbundesamt, 2017. Emissionstrends 1990-2015. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2017).
- Umweltbundesamt, 2009. Energieverbrauch diverser Mobilitätsmodi. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/effizienz/effizienzverkehr/> [14. 2. 2019]
- Umweltbundesamt GmbH, 2014. Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2012. Regionalisierung der nationalen Emissionsdaten auf Grundlage von EU-Berichtspflichten. Wien.
- Wallner, R., MA 28, 2018. Persönliche Kommunikation. [26. 11. 2018]
- Weisz, H., Suh, S., Graedel, T.E., 2015. Industrial Ecology: The role of manufactured capital in sustainability: Fig. 1. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, 6260–6264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1506532112>
- Wiedenhofer, D., Fishman, T., Lauk, C., Haas, W., Krausmann, F., 2019. Integrating Material Stock Dynamics Into Economy-Wide Material Flow Accounting: Concepts, Modelling, and Global Application for 1900–2050. *Ecological Economics* 156, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.010>
- Wiedenhofer, D., Steinberger, J.K., Eisenmenger, N., Haas, W., 2015. Maintenance and Expansion: Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25: Stocks and Flows in the EU25. *Journal of Industrial Ecology* 19, 538–551. <https://doi.org/10.1111/jiec.12216>
- Wiener Linien, 2019. Wiener Linien Geschichte. URL: <https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/66528/channelId/-4400966> [5. 4. 2019]
- Wiener Linien, 2017. 2017. Zahlen Daten Fakten.
- Wipark Garagen GmbH, 2018. Wipark. URL: <https://www.wipark.at/eportal3/> [15. 11. 2018]
- WKO, 2017. Wiener Garagengesetz. URL: <https://www.wko.at/service/w/verkehr-betriebsstandort/Stellplatzverpflichtung-in-Wien.html> [1. 2. 2019]
- wolkdirekt GmbH, 2019. Materialbestand eines Fahrradbügels. URL: [https://www.wolkdirekt.at/fahrradstaender-\\_5655205.html?gclid=EA1aIQob-ChM1z9uf36He3wIVl4bVCh3\\_kg6MEAQYAiABEgJ-tfD\\_BwE](https://www.wolkdirekt.at/fahrradstaender-_5655205.html?gclid=EA1aIQob-ChM1z9uf36He3wIVl4bVCh3_kg6MEAQYAiABEgJ-tfD_BwE) [8. 1. 2019]
- Wolking, B., Haas, W., Bachner, G., Weisz, U., Steininger, K., Hutter, H.-P., Delcour, J., Griebler, R., Mittelbach, B., Maier, P., Reifeltshammer, R., 2018. Evaluating Health Co-Benefits of Climate Change Mitigation in Urban Mobility. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 880. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050880>
- Woodward, R., Duffy, N., 2011. Cement and concrete flow analysis in a rapidly expanding economy: Ireland as a case study. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.006>
- Wötzl, G. (MA 33), 2018. Persönliche Kommunikation. [7. 2018 bis 2. 2019]

ZIS+P Verkehrsplanung, S.Z.G., 2014. Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung in Wien - Evaluierung der Auswirkung der Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung auf die Parkraumnachfrage 70.

## **Kontakt**

Doris Virág M.A.

doris.virag@gmx.at

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

Band 1

**Umweltbelastungen in Österreich als Folge menschlichen Handelns. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut.**

Fischer-Kowalski, M., Hg.; Wien (1987)

Band 2

**Environmental Policy as an Interplay of Professionals and Movements - the Case of Austria. Paper to the ISA Conference on Environmental Constraints and Opportunities in the Social Organisation of Space, Udine 1989.**

Fischer-Kowalski, M.; Wien (1989)

Band 3

**Umwelt & Öffentlichkeit. Dokumentation der gleichnamigen Tagung, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut in Wien, (1990)**

Band 4

**Umweltpolitik auf Gemeindeebene. Politikbezogene Weiterbildung für Umweltgemeinderäte.**

Lackner, C.; Wien (1990)

Band 5

**Verursacher von Umweltbelastungen. Grundsätzliche Überlegungen zu einem mit der VGR verknüpfbaren Ermittlerinformationssystem.**

Fischer-Kowalski, M., Kisser, M., Payer, H., Steuerer A.; Wien (1990)

Band 6

**Umweltbildung in Österreich, Teil I: Volkshochschulen.** Fischer-Kowalski, M., Fröhlich, U.; Harauer, R., Vymazal R.; Wien (1990)

Band 7

**Amtliche Umweltberichterstattung in Österreich.**

Fischer-Kowalski, M., Lackner, C., Steuerer, A.; Wien (1990)

Band 8

**Verursacherbezogene Umweltinformationen. Bausteine für ein Satellitensystem zur österr. VGR. Dokumentation des gleichnamigen Workshop, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut, Wien (1991)**

Band 9

**A Model for the Linkage between Economy and Environment. Paper to the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991.**

Dell'Mour, R., Fleissner, P., Hofkirchner, W.; Steuerer A.; Wien (1991)

Band 10

**Verursacherbezogene Umweltindikatoren - Kurzfassung. Forschungsbericht gem. mit dem Österreichischen Ökologie-Institut.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H.; Steuerer, A., Zangerl-Weisz, H.; Wien (1991)

Band 11

**Gezielte Eingriffe in Lebensprozesse. Vorschlag für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut.**

Haberl, H.; Wien (1991)

Band 12

**Gentechnik als gezielter Eingriff in Lebensprozesse. Vorüberlegungen für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.**

Wenzl, P.; Zangerl-Weisz, H.; Wien (1991)

Band 13+

**Transportintensität und Emissionen. Beschreibung österr. Wirtschaftssektoren mittels Input-Output-Modellierung. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.**

Dell'Mour, R.; Fleissner, P.; Hofkirchner, W.; Steuerer, A.; Wien (1991)

Band 14

**Indikatoren für die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut.**

Payer, H. unter Mitarbeit von K. Turetschek; Wien (1991)

Band 15

**Die Emissionen der österreichischen Wirtschaft. Systematik und Ermittelbarkeit. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.**

Payer, H.; Zangerl-Weisz, H. unter Mitarbeit von R.Fellinger; Wien (1991)

Band 16

**Umwelt als Thema der allgemeinen und politischen Erwachsenenbildung in Österreich.**

Fischer-Kowalski M., Fröhlich, U.; Harauer, R.; Vymazal, R.; Wien (1991)

Band 17

**Causer related environmental indicators - A contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA. Paper for the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H., Steuerer, A.; Wien (1991)

Band 18

**Emissions and Purposive Interventions into Life Processes - Indicators for the Austrian Environmental Accounting System. Paper to the ÖGBPT Workshop on Ecologic Bioprocessing, Graz 1991.**

Fischer-Kowalski M., Haberl, H., Wenzl, P., Zangerl-Weisz, H.; Wien (1991)

Band 19

**Defensivkosten zugunsten des Waldes in Österreich. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung.**

Fischer-Kowalski et al.; Wien (1991)

Band 20\*

**Basisdaten für ein Input/Output-Modell zur Kopplung ökonomischer Daten mit Emissionsdaten für den Bereich des Straßenverkehrs.**

Steurer, A.; Wien (1991)

Band 22

**A Paradise for Paradigms - Outlining an Information System on Physical Exchanges between the Economy and Nature.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H.; Wien (1992)

Band 23

**Purposive Interventions into Life-Processes - An Attempt to Describe the Structural Dimensions of the Man-Animal-Relationship. Paper to the Internat. Conference on "Science and the Human-Animal-Relationship", Amsterdam 1992.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H.; Wien (1992)

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

Band 24

**Purposive Interventions into Life Processes: A Neglected "Environmental" Dimension of the Society-Nature Relationship. Paper to the 1. Europ. Conference of Sociology, Vienna 1992.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H.; Wien (1992)

Band 25

**Informationsgrundlagen struktureller Ökologisierung. Beitrag zur Tagung "Strategien der Kreislaufwirtschaft: Ganzheitl. Umweltschutz/Integrated Environmental Protection", Graz 1992.**

Steurer, A., Fischer-Kowalski, M.; Wien (1992)

Band 26

**Stoffstrombilanz Österreich 1988.**

Steurer, A.; Wien (1992)

Band 28+

**Naturschutzaufwendungen in Österreich.**

Gutachten für den WWF Österreich. Payer, H.; Wien (1992)

Band 29+

**Indikatoren der Nachhaltigkeit für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - angewandt auf die Region.**

Payer, H. (1992). In: KudlMudl SonderNr. 1992:Tagungsbericht über das Dorfsymposium "Zukunft der Region - Region der Zukunft?"

Band 31+

**Leerzeichen. Neuere Texte zur Anthropologie.**

Macho, T.; Wien (1993)

Band 32

**Metabolism and Colonisation. Modes of Production and the Physical Exchange between Societies and Nature.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H.; Wien (1993)

Band 33

**Theoretische Überlegungen zur ökologischen Bedeutung der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion.**

Haberl, H.; Wien (1993)

Band 34

**Stoffstrombilanz Österreich 1970-1990 - Inputseite.**

Steurer, A.; Wien (1994)

Band 35

**Der Gesamtenergieinput des Sozio-ökonomischen Systems in Österreich 1960-1991. Zur Erweiterung des Begriffes "Energieverbrauch".**

Haberl, H.; Wien (1994)

Band 36

**Ökologie und Sozialpolitik.**

Fischer-Kowalski, M.; Wien (1994)

Band 37

**Stoffströme der Chemieproduktion 1970-1990.**

Payer, H., unter Mitarbeit von Zangerl-Weisz, H. und Fellinger, R.; Wien (1994)

Band 38

**Wasser und Wirtschaftswachstum. Untersuchung von Abhängigkeiten und Entkoppelungen, Wasserbilanz Österreich 1991.**

Hüttler, W., Payer, H. unter Mitarbeit von Schandl, H.; Wien (1994)

Band 39

**Politische Jahreszeiten. 12 Beiträge zur politischen Wende 1989 in Ostmitteleuropa.**

Macho, T.; Wien (1994)

Band 40

**On the Cultural Evolution of Social Metabolism with Nature. Sustainability Problems Quantified.**

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H.; Wien (1994)

Band 41

**Weiterbildungslehrgänge für das Berufsfeld ökologischer Beratung. Erhebung u. Einschätzung der Angebote in Österreich sowie von ausgewählten Beispielen in Deutschland, der Schweiz, Frankreich, England und europaweiten Lehrgängen.**

Rauch, F.; Wien (1994)

Band 42+

**Soziale Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung.**

Fischer-Kowalski, M., Madlener, R., Payer, H., Pfeffer, T., Schandl, H.; Wien (1995)

Band 43

**Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen. Sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken Österreichs.**

Haberl, H.; Wien (1995)

Band 44

**Materialfluß Österreich 1990.**

Hüttler, W., Payer, H.; Schandl, H.; Wien (1996)

Band 45

**National Material Flow Analysis for Austria 1992. Society's Metabolism and Sustainable Development.**

Hüttler, W. Payer, H., Schandl, H.; Wien (1997)

Band 46

**Society's Metabolism. On the Development of Concepts and Methodology of Material Flow Analysis. A Review of the Literature.**

Fischer-Kowalski, M.; Wien (1997)

Band 47+

**Materialbilanz Chemie-Methodik sektoraler Materialbilanzen.**

Schandl, H., Weisz, H. Wien (1997)

Band 48

**Physical Flows and Moral Positions. An Essay in Memory of Wildavsky.**

Thompson, M.; Wien (1997)

Band 49

**Stoffwechsel in einem indischen Dorf. Fallstudie Merkar.**

Mehta, L., Winiwarter, V.; Wien (1997)

Band 50+

**Materialfluß Österreich- die materielle Basis der Österreichischen Gesellschaft im Zeitraum 1960-1995.**

Schandl, H.; Wien (1998)

Band 51+

**Bodenfruchtbarkeit und Schädlinge im Kontext von Agrargesellschaften.**

Dirlinger, H., Fliegenschnee, M., Krausmann, F., Liska, G., Schmid, M. A.; Wien (1997)

Band 52+

**Der Naturbegriff und das Gesellschaft-Natur-Verhältnis in der frühen Soziologie.**

Lutz, J. Wien (1998)

Band 53+

**NEMO: Entwicklungsprogramm für ein Nationales Emissionsmonitoring.**

Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Jorde, T.; Wien (1998)

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

Band 54+

**Was ist Umweltgeschichte?**

Winiwarter, V.; Wien (1998)

Band 55+

**Agrarische Produktion als Interaktion von Natur und Gesellschaft: Fallstudie SangSaeng.**

Grünbühel, C. M., Schandl, H., Winiwarter, V.; Wien (1999)

Band 56+

**MFA 1996 - Implementierung der nationalen Materialflußrechnung**

**in die amtliche Umweltberichterstattung**

Payer, H., Hüttler, W., Schandl, H.; Wien (1998)

Band 57+

**Colonizing Landscapes: Human Appropriation of Net Primary Production and its Influence on Standing Crop and Biomass Turnover in Austria.**

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Schulz, N. B., Weisz, H.; Wien (1999)

Band 58+

**Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover in Österreich durch die menschliche Gesellschaft.**

Erb, K. H.; Wien (1999)

Band 59+

**Das Leitbild "Nachhaltige Stadt".**

Astleithner, F.; Wien (1999)

Band 60+

**Materialflüsse im Krankenhaus, Entwicklung einer Input-Output Methodik.**

Weisz, B. U.; Wien (2001)

Band 61+

**Metabolismus der Privathaushalte am Beispiel Österreichs.**

Hutter, D.; Wien (2001)

Band 62+

**Der ökologische Fußabdruck des österreichischen Außenhandels.**

Erb, K.H., Krausmann, F., Schulz, N. B.; Wien (2002)

Band 63+

**Material Flow Accounting in Amazonia: A Tool for Sustainable Development.**

Amann, C., Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Grünbühel, C. M.; Wien (2002)

Band 64+

**Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung.**

Darge, E.; Wien (2002)

Band 65+

**Biomasseinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020.**

Haberl, H.; Krausmann, F.; Erb, K.H.; Schulz, N. B.; Adensam, H.; Wien (2002)

Band 66+

**Der Einfluss des Menschen auf die Artenvielfalt. Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion als Pressure-Indikator für den Verlust von Biodiversität.**

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Schulz, N. B., Plutzer, C., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Weisz, H.; Sauberer, N., Pollheimer, M.; Wien (2002)

Band 67+

**Materialflussrechnung London.**

Bongardt, B.; Wien (2002)

Band 68+

**Gesellschaftliche Stickstoffflüsse des österreichischen Landwirtschaftssektors 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung.**

Gaube, V.; Wien (2002)

Band 69+

**The transformation of society's natural relations: from the agrarian to the industrial system. Research strategy for an empirically informed approach towards a European Environmental History.**

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Schandl, H.; Wien (2003)

Band 70+

**Long Term Industrial Transformation: A Comparative Study on the Development of Social Metabolism and Land Use in Austria and the United Kingdom 1830-2000.**

Krausmann, F., Schandl, H., Schulz, N. B.; Wien (2003)

Band 72+

**Land Use and Socio-economic Metabolism in Preindustrial Agricultural Systems: Four Nineteenth-century Austrian Villages in Comparison.**

Krausmann, F.; Wien (2008)

Band 73+

**Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA – HANPP.**

Schandl, H., Grünbühel, C. M., Haberl, H., Weisz, H.; Wien (2004)

Band 74+

**Materialflüsse in den USA, Saudi Arabien und der Schweiz.**

Eisenmenger, N.; Kratochvil, R.; Krausmann, F.; Baart, I.; Colard, A.; Ehartner, Ch.; Eichinger, M.; Hempel, G.; Lehner, A.; Müllauer, R.; Nourbakhch-Sabet, R.; Paler, M.; Patsch, B.; Rieder, F.; Schembera, E.; Schieder, W.; Schmiedl, C.; Schwarzlmüller, E.; Stadler, W.; Wirl, C.; Zandl, S.; Zika, M.; Wien (2005)

Band 75+

**Towards a model predicting freight transport from material flows.**

Fischer-Kowalski, M.; Wien (2004)

Band 76+

**The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption.**

Weisz, H., Krausmann, F., Amann, Ch., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Hubacek, K., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2005)

Band 77+

**Arbeitszeit und Nachhaltige Entwicklung in Europa: Ausgleich von Produktivitätsgewinn in Zeit statt Geld?**

Proinger, J.; Wien (2005)

Mit + gekennzeichnete Bände sind unter <http://short.boku.ac.at/sec-workingpapers> Im PDF-Format und in Farbe downloadbar.

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

- Band 78+  
**Sozial-Ökologische Charakteristika von Agrarsystemen. Ein globaler Überblick und Vergleich.**  
Lauk, C.; Wien (2005)
- Band 79+  
**Verbrauchsorientierte Abrechnung von Wasser als Water-Demand-Management-Strategie. Eine Analyse anhand eines Vergleichs zwischen Wien und Barcelona.**  
Machold, P.; Wien (2005)
- Band 80+  
**Ecology, Rituals and System-Dynamics. An attempt to model the Socio-Ecological System of Trinket Island.**  
Wildenberg, M.; Wien (2005)
- Band 81+  
**Southeast Asia in Transition. Socio-economic transitions, environmental impact and sustainable development.**  
Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., Grünbühel, C., Haas, W., Erb, K.-H., Weisz, H., Haberl, H.; Wien (2004)
- Band 83+  
**HANPP-relevante Charakteristika von Wanderfeldbau und anderen Langbrachesystemen.**  
Lauk, C.; Wien (2006)
- Band 84+  
**Management unternehmerischer Nachhaltigkeit mit Hilfe der Sustainability Balanced Scorecard.**  
Zeithofer, M.; Wien (2006)
- Band 85+  
**Nicht-nachhaltige Trends in Österreich: Maßnahmenvorschläge zum Ressourceneinsatz.**  
Haberl, H., Jasch, C., Adensam, H., Gaube, V.; Wien (2006)
- Band 87+  
**Accounting for raw material equivalents of traded goods. A comparison of input-output approaches in physical, monetary, and mixed units.**  
Weisz, H.; Wien (2006)
- Band 88+  
**Vom Materialfluss zum Gütertransport. Eine Analyse anhand der EU15 – Länder (1970-2000).**  
Rainer, G.; Wien (2006)
- Band 89+  
**Nutzen der MFA für das Treibhausgas-Monitoring im Rahmen eines Full Carbon Accounting-Ansatzes; Feasibilitystudie; Endbericht zum Projekt BMLFUW-UW.1.4.18/0046-V/10/2005.**  
Erb, K.-H., Kastner, T., Zandl, S., Weisz, H., Haberl, H., Jonas, M.; Wien (2006)
- Band 90+  
**Local Material Flow Analysis in Social Context in Tat Hamelt, Northern Mountain Region, Vietnam.**  
Hobbes, M.; Kleijn, R.; Wien (2006)
- Band 91+  
**Auswirkungen des thailändischen logging ban auf die Wälder von Laos.**  
Hirsch, H.; Wien (2006)
- Band 92+  
**Human appropriation of net primary production (HANPP) in the Philippines 1910-2003: a socio-ecological analysis.**  
Kastner, T.; Wien (2007)
- Band 93+  
**Landnutzung und landwirtschaftliche Entscheidungsstrukturen. Partizipative Entwicklung von Szenarien für das Traisental mit Hilfe eines agentenbasierten Modells.**  
Adensam, H., V. Gaube, H. Haberl, J. Lutz, H. Reisinger, J. Breinesberger, A. Colard, B. Aigner, R. Maier, Punz, W.; Wien (2007)
- Band 94+  
**The Work of Konstantin G. Gofman and colleagues: An early example of Material Flow Analysis from the Soviet Union.**  
Fischer-Kowalski, M.; Wien (2007)
- Band 95+  
**Partizipative Modellbildung, Akteurs- und Ökosystemanalyse in Agrarintensivregionen; Schlußbericht des deutsch-österreichischen Verbundprojektes.**  
Newig, J., Gaube, V., Berkhoff, K., Kaldrack, K., Kastens, B., Lutz, J., Schlußmeier B., Adensam, H., Haberl, H., Pahl-Wostl, C., Colard, A., Aigner, B., Maier, R., Punz, W.; Wien (2007)
- Band 96+  
**Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich.**  
Schaschl, E.; Wien (2007)
- Band 97+  
**Arbeit, gesellschaftlicher Stoffwechsel und nachhaltige Entwicklung.**  
Fischer-Kowalski, M.; Schaffartzik, A., Wien (2007)
- Band 98+  
**Local Material Flow Analysis in Social Context at the forest fringe in the Sierra Madre, the Philippines.**  
Hobbes, M., Kleijn, R. (Hrsg); Wien (2007)
- Band 99+  
**Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in Spain, 1955-2003: A socio-ecological analysis.**  
Schwarzlmüller, E.; Wien (2008)
- Band 100+  
**Scaling issues in long-term socio-ecological biodiversity research: A review of European cases.**  
Dirnböck, T., Bezák, P., Dullinger S., Haberl, H., Lotze-Campen, H., Mirtl, M., Peterseil, J., Redpath, S., Singh, S., Travis, J., Wijdeven, S.M.J.; Wien (2008)
- Band 101+  
**Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in the United Kingdom, 1800-2000: A socio-ecological analysis.**  
Musel, A.; Wien (2008)
- Band 102 +  
**Wie kann Wissenschaft gesellschaftliche Veränderung bewirken? Eine Hommage an Alvin Gouldner, und ein Versuch, mit seinen Mitteln heutige Klimapolitik zu verstehen.**  
Fischer-Kowalski, M.; Wien (2008)
- Band 103+  
**Sozialökologische Dimensionen der österreichischen Ernährung – Eine Szenarienanalyse.**  
Lackner, M.; Wien (2008)

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

Band 104+

**Fundamentals of Complex Evolving Systems: A Primer.**  
Weis, E.; Wien (2008)

Band 105+

**Umweltpolitische Prozesse aus diskurstheoretischer Perspektive: Eine Analyse des Südtiroler Feinstaubproblems von der Problemkonstruktion bis zur Umsetzung von Regulierungsmaßnahmen.**  
Paler, M.; Wien (2008)

Band 106+

**Ein integriertes Modell für Reichraming. Partizipative Entwicklung von Szenarien für die Gemeinde Reichraming (Eisenwurzten) mit Hilfe eines agentenbasierten Landnutzungsmodells.**  
Gaubé, V., Kaiser, C., Widenberg, M., Adensam, H., Fleissner, P., Kobler, J., Lutz, J., Smetschka, B., Wolf, A., Richter, A., Haberl, H.; Wien (2008)

Band 107+

**Der soziale Metabolismus lokaler Produktionssysteme: Reichraming in der oberösterreichischen Eisenwurzten 1830-2000.**  
Gingrich, S., Krausmann, F.; Wien (2008)

Band 108+

**Akteursanalyse zum besseren Verständnis der Entwicklungsoptionen von Bioenergie in Reichraming. Eine sozialökologische Studie.**  
Vrzak, E.; Wien (2008)

Band 109+

**Direktvermarktung in Reichraming aus sozial-ökologischer Perspektive.**  
Zeithofer, M.; Wien (2008)

Band 110+

**CO<sub>2</sub>-Bilanz der Tomatenproduktion: Analyse acht verschiedener Produktionssysteme in Österreich, Spanien und Italien.**  
Theurl, M.; Wien (2008)

Band 111+

**Die Rolle von Arbeitszeit und Einkommen bei Rebound-Effekten in Dematerialisierungs- und Dekarbonisierungsstrategien. Eine Literaturstudie.**  
Bruckner, M.; Wien (2008)

Band 112+

**Von Kommunikation zu materiellen Effekten - Ansatzpunkte für eine sozial-ökologische Lesart von Luhmanns Theorie Sozialer Systeme.**  
Rieder, F.; Wien (2008)

Band 114+

**Across a Moving Threshold: energy, carbon and the efficiency of meeting global human development needs.**  
Steinberger, J. K., Roberts, J.T.; Wien (2008)

Band 115

**Towards a low carbon society: Setting targets for a reduction of global resource use.**  
Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Steinberger, J.K., Ayres, R.U.; Wien (2010)

Band 116+

**Eating the Planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely - a scoping study.**  
Erb, K-H., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C., Steinberger, J.K., Müller, C., Bondeau, A., Waha, K., Pollack, G.; Wien (2009)

Band 117+

**Gesellschaftliche Naturverhältnisse: Energiequellen und die globale Transformation des gesellschaftlichen Stoffwechsels.**  
Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2010)

Band 118+

**Zurück zur Fläche? Eine Untersuchung der biophysischen Ökonomie Brasiliens zwischen 1970 und 2005.**  
Mayer, A.; Wien (2010)

Band 119+

**Das nachhaltige Krankenhaus: Erprobungsphase.**  
Weisz, U., Haas, W., Pelikan, J.M., Schmied, H., Himpelmann, M., Purzner, K., Hartl, S., David, H.; Wien (2009)

Band 120+

**LOCAL STUDIES MANUAL  
A researcher's guide for investigating the social metabolism of local rural systems.**  
Singh, S.J., Ringhofer, L., Haas, W., Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2010)

Band 121+

**Sociometabolic regimes in indigenous communities and the crucial role of working time: A comparison of case studies.**  
Fischer-Kowalski, M., Singh, S.J., Ringhofer, L., Grünbühel C.M., Lauk, C., Remesch, A.; Wien (2010)

Band 122+

**Klimapolitik im Bereich Gebäude und Raumwärme. Entwicklung, Problemfelder und Instrumente der Länder Österreich, Deutschland und Schweiz.**  
Jöbstl, R.; Wien (2012)

Band 123+

**Trends and Developments of the Use of Natural Resources in the European Union.**  
Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Steinberger, J.K., Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Weisz, U.; Wien (2011)

Band 125+

**Raw Material Equivalents (RME) of Austria's Trade.**  
Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Krausmann, F., Weisz, H.; Wien (2013)

Band 126+

**Masterstudium "Sozial- und Humanökologie": Selbstevaluation 2005-2010.**  
Schmid, M., Mayer A., Miechtner, G.; Wien (2010)

Band 127+

**Bericht des Zentrums für Evaluation und Forschungsberatung (ZEF). Das Masterstudium „Sozial- und Humanökologie“.**  
Mayring, P., Fenzl, T.; Wien (2010)

Band 128+

**Die langfristigen Trends der Material- und Energieflüsse in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.**  
Gierlinger, S.; Wien (2010)

Band 129+

**Die Verzehrssteuer 1829 – 1913 als Grundlage einer umwelthistorischen Untersuchung des Metabolismus der Stadt Wien.** Hauer, F.; Wien (2010)

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

- Band 130+  
**Human Appropriation of Net Primary Production in South Africa, 1961- 2006. A socio-ecological analysis.**  
Niedertscheider, M.; Wien (2011)
- Band 131+  
**The socio-metabolic transition. Long term historical trends and patterns in global material and energy use.**  
Krausmann, F.; Wien (2011)
- Band 132+  
**„Urlaub am Bauernhof“ oder „Bauernhof ohne Urlaub“? Eine sozial-ökologische Untersuchung der geschlechtsspezifischen Arbeitsteilung und Zeitverwendung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Gemeinde Andelsbuch, Bregenzerwald.**  
Winder, M.; Wien (2011)
- Band 133+  
**Spatial and Socio-economic Drivers of Direct and Indirect Household Energy Consumption in Australia.**  
Wiedenhofer, D.; Wien (2011)
- Band 134+  
**Die Wiener Verzehrungssteuer. Auswertung nach einzelnen Steuerposten (1830 – 1913).**  
Hauer, F., Gierlinger, S., Nagele, C., Albrecht, J., Uschmann, T., Martsch, M.; Wien (2012)
- Band 135+  
**Zeit für Veränderung? Über die geschlechtsspezifische Arbeitsteilung und Zeitverwendung in landwirtschaftlichen Betrieben und deren Auswirkungen auf Landnutzungsveränderungen in der Region „Westlicher Wienerwald“. Eine sozial-ökologische Untersuchung.**  
Madner, V.; Wien (2013)
- Band 136+  
**The Impact of Industrial Grain Fed Livestock Production on Food Security: an extended literature review.**  
Erb, K-H., Mayer, A., Kastner, T., Sallet, K-E., Haberl, H.; Wien (2012)
- Band 137+  
**Human appropriation of net primary production in Africa: Patterns, trajectories, processes and policy implications.**  
Fetzel, T., Niedertscheider, M., Erb, K-H., Gaube, V., Gingrich, S., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C.; Wien (2012)
- Band 138+  
**VERSCHMUTZT – VERBAUT – VERGESSEN: Eine Umweltgeschichte des Wienflusses von 1780 bis 1910.**  
Pollack, G.; Wien (2013)
- Band 139+  
**Der Fleischverbrauch in Österreich von 1950-2010. Trends und Drivers als Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage.**  
Willerstorfer, T.; Wien (2013)
- Band 140+  
**Veränderungen im sektoralen Energieverbrauch ausgewählter europäischer Länder von 1960 bis 2005.**  
Draxler, V.; Wien (2014)
- Band 141+  
**Wie das ERP (European Recovery Program) die Entwicklung des alpinen, ländlichen Raumes in Vorarlberg prägte.**  
Groß, R.; Wien (2013)
- Band 142+  
**Exploring local opportunities and barriers for a sustainability transition on a Greek island.**  
Petridis, P., Hickisch, R., Klimek, M., Fischer, R., Fuchs, N., Kostakiotis, G., Wendland, M., Zipperer, M., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2013)
- Band 143+  
**Climate Change Mitigation in Latin America: A Mapping of Current Policies, Plans and Programs.**  
Ringhofer, L., Singh, S.J., Smetschka, B.; Wien (2013)
- Band 144+  
**Arbeitszeit und Energieverbrauch: Grundsatzfragen diskutiert an der historischen Entwicklung in Österreich.**  
Weisz, U., Possanner, N.; Wien (2013)
- Band 145+  
**Barrieren und Chancen für die Realisierung nachhaltiger Mobilität. Eine Analyse der Zeitabhängigkeit von Mobilitätsmustern am Beispiel von Krems/Donau.**  
Gross, A.; Wien (2013)
- Band 147+  
**The rise of the semi-periphery: A physical perspective on the global division of labour. Material flow analysis of global trade flows (1970-2005).**  
Loy, C.; Wien (2013)
- Band 148+  
**Historische Energietransitionen im Ländervergleich. Energienutzung, Bevölkerung, Wirtschaftliche Entwicklung.**  
Pallua, I.; Wien (2013)
- Band 149+  
**Socio-Ecological Impacts of Land Grabbing for Nature Conservation on a Pastoral Community: A HANPP-based Case Study in Ololosokwan Village, Northern Tanzania.**  
Bartels, L. E.; Wien (2014)
- Band 150+  
**Teilweise waren Frauen auch Traktorist. Geschlechtliche Arbeitsteilung in landwirtschaftlichen Betrieben Ostdeutschlands heute – Unterschiede in der biologischen und konventionellen Bewirtschaftung.**  
Fehlinger, J.; Wien (2014)
- Band 151+  
**Economy-wide Material Flow Accounting Introduction and guide.**  
Krausmann, F., Weisz, H., Schütz, H., Haas, W., Schaffartzik, A.; Wien (2014)
- Band 152+  
**Large scale societal transitions in the past. The Role of Social Revolutions and the 1970s Syndrome.**  
Fischer-Kowalski, M., Hausknot, D. (Editors); Wien (2014)
- Band 153+  
**Die Anfänge der mineralischen Düngung in Österreich-Ungarn (1848-1914).**  
Mayrhofer, I.; Wien (2014)
- Band 154+  
**Environmentally Extended Input-Output Analysis.**  
Schaffartzik, A., Sachs, M., Wiedenhofer, D., Eisenmenger, N.; Wien (2014)
- Band 155+  
**Rural Metabolism: Material flows in an Austrian village in 1830 and 2001.**  
Haas, W., Krausmann, F.; Wien (2015)

## WORKING PAPERS SOCIAL ECOLOGY

Band 156+

**A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems. Part I: Analytical approach.**

Tello, E., Galán, E., Cunfer, G., Guzmán-Casado, G.I., Gonzales de Molina, M., Krausmann, F., Gingrich, S., Sacristán, V., Marco, I., Padró, R., Moreno-Delgado, D.; Wien (2015)

Band 157+

**Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Landwirtschaft und Landnutzung in der LEADER Region Mostviertel-Mitte.**

Riegler, M.; Wien (2014)

Band 158+

**Ökobilanzierung im Zierpflanzenbau. Treibhausgasemissionen der Produktion von Zierpflanzen am Beispiel eines traditionellen Endverkaufsbetriebs in Österreich.**

Wandl, M. T.; Wien (2015)

Band 159+

**CO<sub>2</sub>-Emissionen und Ressourcennutzung im Bergtourismus. Zur Frage der nachhaltigen Bewirtschaftung einer alpinen Schutzhütte und des Carbon Footprint ihrer Gäste.**

Fink, R.; Wien (2015)

Band 160+

**Social Multi-Criteria Evaluation (SMCE) in Theory and Practice: Introducing the software OPTamos.**

Singh, S. J., Smetschka, B., Grima, N., Ringhofer, L., Petridis, P., Biely, K.; Wien (2016)

Band 161+

**„Und dann war das Auto auch wieder weg“ – Biografische Betrachtung autofreier Mobilität.**

Sattlegger, L.; Wien (2015)

Band 162+

**Die Konstruktion von traditional ecological knowledge: Eine kritische Analyse wissenschaftlicher Umwelt- und Naturschutzdiskurse.**

Andrej, M.; Wien (2015)

Band 163+

**Stickstoffflüsse von der landwirtschaftlichen Produktion bis zum Lebensmittelverzehr in Österreich von 1965 bis 2010.**

Sinnhuber, L.; Wien (2015)

Band 164+

**Socio-ecological Impacts of Brick Kilns in the Western Ghats: A socio-metabolic Analysis of small-scale Brick Industries in the Mumbai Metropolitan Region, Maharashtra, India.**

Noll, D.; Wien (2015)

Band 165+

**Wachsende Fahrradnutzung in Wien und ihre Relevanz für Klima und Gesundheit.**

Maier, P.; Wien (2015)

Band 166+

**Auswirkungen von Krieg und Besatzung auf die Ressourcennutzung auf dem Truppenübungsplatz Döllersheim/Allentsteig in den Jahren 1938-1957.**

Mittas, S.; Wien (2016)

Band 167+

**Zwischen Kolonie und Provinz. Herrschaft und Planung in der Kameralprovinz Temeswarer Banat im 18. Jahrhundert.**

Veichtlbauer, O.; Wien (2016)

Band 168+

**The Relevance of Governance Quality for Sustainable Resource Use. Greece as a Case Study.**

Kolar, J.; Wien (2016)

Band 169+

**Environmental Conflicts in Austria from 1950 to 2015**

Wendering, S.; Wien (2016)

Band 170+

**Die sozial-ökologischen Auswirkungen der Palmölproduktion in ländlichen Gemeinden. Eine regionale Materialflussanalyse in der Mikroregion Tomé-Açu, Brasilien.**

Kottusch, C.; Wien (2016)

Band 171+

**Die Versorgung der Zivilbevölkerung mit Lebensmitteln und Ersatzlebensmitteln während des Ersten Weltkriegs.**

Hallwirth, L.; Wien (2016)

Band 172+

**Erntenebenprodukte als Ressource. Produktionsmengen, Verwendung und Nutzungspotentiale von Erntenebenprodukten des Zuckerrohrs.**

Buchberger, A.; Wien (2017)

Band 173+

**Ernährungsempfehlungen in Österreich. Analyse von Webinhalten der Bundesministerien BMG und BMLFUW hinsichtlich Synergien zwischen gesunder und nachhaltiger Ernährung.**

Bürger, C.; Wien (2017)

Band 174+

**Kraftwerke, Flussbäder und Hochwässer. Eine Umweltgeschichte des mittleren Kamp ab 1890.**

Spitzbart-Glasl, C.; Wien (2018)

Band 175+

**Von Überlebensstrategie zur biologischen Landwirtschaft. Eine HANPP-Analyse des Landnutzungswandels in Montenegro von 1962 bis 2011.**

Koppensteiner, S.; Wien (2018)

Band 176+

**Treibhausgasemissionen österreichischer Ernährungsweisen im Vergleich. Reduktionspotentiale vegetarischer Optionen.**

Wolbart, N.; Wien (2019)

Band 177+

**Environmental inequality in Austria: How equally is the air pollution burden spread in Styria?**

Brenner, A.-K.; Wien (2019)

Band 178+

**5<sup>th</sup> Summer School on “Aquatic and Social Ecology” on Samothraki, Greece.**

Fischer-Kowalski, M., Petridis, P. (Editors); Wien (2019)

Band 179+

**Das Verkehrssystem im Stock-Flow-Service-Nexus. Analyse der Materialbestände und -flüsse für verschiedene Formen von Mobilität in Wien.**

Virág, D.; Wien (2019)