KLIMA WERKSTADT ESSEN

Potenziale und Wirkungen eines stationsungebundenen Carsharing in Essen

Methodisches Vorgehen und Ergebnisse

Inhalt

1 Was ist stationsungebundenes Carsharing (SUC)? 4

2 Das Potential an SUC-affinen Wegen 5

2.1 SUC-affine Personen und Wege 5

2.2 Hochrechnung der SUC-affinen Wege aus der Haushaltsstichprobe auf die Grundgesamtheit 7

2.3 Ermittlung der erforderlichen Anzahl an SUC-Fahrzeugen 8

3 Ergebnisse 12

3.1 Verkehrliche Kenndaten 12

3.2 Anzahl erforderlicher SUC-Fahrzeuge 12

3.3 Auswirkungen auf den Stellplatzbedarf 14

3.4 Ergebnisse zur Energie- und CO_2-Bilanz 15

3.5 Besteht tägliche Aufladungsnotwendigkeit? 16

4 Schlussfolgerungen 17

Impressum

Autoren:
Dipl.-Ing. Katie Biniok
Prof. Dr. techn. Jörg Schönharting
Dipl.-Ing. Artur Wessely
Dipl.-Ing. Stefan Wolter

Herausgeber:
TRC Transportation Research & Consulting GmbH
Am Lichtbogen 42
45141 Essen

Sechs zentrale Ergebnisse

1

Die Implementierung von elektrischen stationsungebundenen Carsharing (SUC) im Stadtgebiet führt zu einer Verbesserung im Bereich des Klimaschutzzieles. Das SUC-System kann mit einem einzelnen Fahrzeug 2 bis 7-mal so viele Fahrten bündeln wie ein Pkw im Eigenbesitz. Mittelfristig wird die Anzahl der Pkw im privaten Eigentum reduziert. Das kommt auch dem Öffentlichen Verkehr zugute.

2

Das System eignet sich besonders für die Verbindung von dichten Mischgebieten.

3

Mit dem System ist insgesamt eine Verringerung des Stellplatzbedarfs in den Städten verbunden.

4

Ein SUC-System lohnt sich für einen Betreiber nur, wenn die SUC-Fahrzeuge über den Tag häufig bewegt werden. Eine Abgrenzung des Geschäftsgebietes, die eine gute Auslastung der Fahrzeuge ermöglicht, ist daher für die Wirtschaftlichkeit des Systems von essentieller Bedeutung.

5

Die meisten SUC-Fahrzeuge müssen tagsüber nicht aufgeladen werden. Allerdings gilt, je weniger Fahrzeuge im Einsatz sind, desto häufiger werden die Fahrzeuge genutzt und desto eher müssen die Akkus tagsüber geladen werden.

6

SUC ist als Ergänzungssystem zu den vorhandenen Mobilitätssystemen zu sehen. Es wird die bisherigen Systeme nicht ersetzen, jedoch den Komfort vor allem für ÖPNV-Nutzer erhöhen, der dann aus einer multimodalen Angebotspalette auswählen kann.

1. Was ist stationsungebundenes Carsharing (SUC)?

SUC ist die Abkürzung für „stationsungebundenes Carsharing“, auch Free-Floating-Carsharing genannt. Stationsungebundene Systeme haben eklatante Vorteile für den Nutzer gegenüber stationsgebundenen Systemen, weil bei Letzteren das gemietete Fahrzeug wieder an den Ausgangspunkt oder, alternativ, zu vorgegebenen Abgabestationen zurückgebracht werden muss. Bei SUC wird das Fahrzeug am Zielort abgestellt und der Mietvorgang beendet; bezahlt wird für die Zeit der Nutzung.

Ziel der Untersuchung war, im Kontext der kommunalen Mobilitätsstruktur folgende Fragestellungen zu beantworten:

(1) Wie groß ist der Anteil an täglichen Wegen in einer Stadt, die sich für SUC eignen?

(2) Wieviel Fahrzeuge sollte ein SUC-System in einer Stadt umfassen?

(3) Wie ist die Abhängigkeit zwischen Fahrzeuganzahl, Einsatzzeiten und Standzeiten?

(4) Welche Auswirkungen hat das SUC-System auf das vorhandene Stellplatzangebot?

(5) Welche Auswirkungen hat das SUC-System auf die CO_2-Bilanz, wenn SUC-Fahrzeuge elektrisch fahren?

(6) Wie stellt sich der Energiebedarf für elektrische SUC-Fahrzeuge zeitlich und räumlich dar?

Die vorliegende Publikation verwendet Ergebnisse, die von den Autoren im Rahmen des Forschungsprojektes „Neue Mobilität für die Stadt der Zukunft“ [1] erarbeitet und im Rahmen des Projektes „Klima-Initiative Essen“ [2] vertieft worden sind. Sie sollte die genannten Fragen am Beispiel der Stadt Essen beantworten. Das methodische Vorgehen ist auf andere Städte übertragbar, wohingegen die quantitativen Ergebnisse, die für Essen erarbeitet wurden, nur bedingt verallgemeinerbar sind.

1 Neue Mobilität für die Stadt der Zukunft. Forschungsbericht, gefördert von der Stiftung Mercator, Essen, 2013.
2 Klima-Initiative Essen – Handeln in einer neuen Klimakultur, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die Klima-Initiative Essen steht dabei unter dem Dach der klima|werk|stadt|essen. Das kommunale Klimaschutzprogramm der klima|werk|stadt|essen umfasst über 130 Einzelmaßnahmen, an denen die Stadt und die kommunalen Unter-nehmen (von denen einige auch Partner im Projekt „Klima-Initiative Essen“ sind) gemeinsam mit Bürgern, Institutionen und Unternehmen arbeiten. Die klima|werk|stadt|essen bietet allen Engagierten die Möglichkeit, sich in diesen Prozess einzubringen und dadurch die Wahrnehmbarkeit der eigenen Klima-schutzmaßnahmen zu erhöhen. Weitere Informationen unter: www.klimawerkstadtessen.de

2. Das Potential an SUC-affinen Wegen in Essen

2.1 SUC-affine Personen und Wege

Die Grundlage für die Bewertung von Personen mit ihren Mobilitätsmustern hinsichtlich SUC-Affinität liefern Untersuchungen zu Carsharing Nutzern [3,4,5]. Es ist dabei allerdings zu berücksichtigen, dass sich die frei zugänglichen Untersuchungen auf Carsharing Systeme mit Rückfahrt-verpflichtung (stationsgebundene Systeme) beziehen. So ist davon auszugehen, dass die potentiellen Nutzer der neuen SUC-Systeme noch andere Mobilitätsmuster einbringen werden. Jedoch soll nachstehend davon ausgegangen werden, dass die Nutzer von stationsgebundenen Systemen auch repräsentativ für SUC-Nutzung sind.

Zusätzlich zu diesen Überlegungen wurde für den Planungsraum eine Stated Preferences Befragung zu neuen Mobilitätsformen durchgeführt[6]. Die für die Nutzung eines SUC-Systems interessantesten Fragen lauteten: „Ich bin bereit, gemeinsam mit anderen Menschen ein Auto zu teilen“ und „Ich würde für ein solches (SUC) Angebot auf mein eigenes Auto verzichten“. Die Bereitschaft, mit anderen Personen ein Auto zu teilen, ist danach erheblich größer (52% - 25%, Abbildung 1) als auf ein eigenes Fahrzeug vollständig zu verzichten (20% -15%, Abbildung 2). Die Grafiken zeigen auch, dass jüngere Personen deutlich offener sind, wenn es um die Nutzung eines SUC-Systems geht.

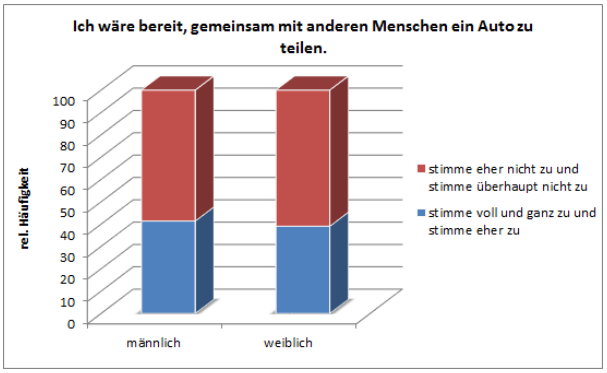

Abbildung 1: Affinität der Stadtbevölkerung gegenüber Fragestellungen der Autonutzung
(a: Bereitschaft, gemeinsam mit anderen Menschen ein Auto zu teilen)

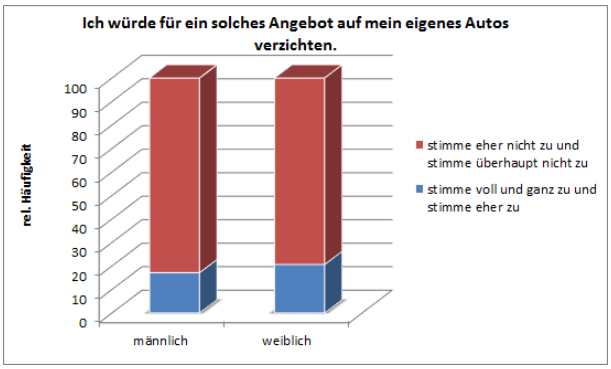

Abbildung 2: Affinität der Stadtbevölkerung gegenüber Fragestellungen der Autonutzung
(b: Bereitschaft, auf eigenes Auto zu verzichten)

3 Bundesverband CarSharing e.V. (Hrsg.): Aktueller Stand des Car-Sharing in Europa“ – Endbericht momo Car-Sharing; More options for energy efficient mobility through Car-Sharing, Berlin, Juni 2010.
4 InnoZ-Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (Hrsg.): Bewertung integrierter Mobilitätsdienste mit Elektrofahrzeugen aus Nutzerperspektive – Ergebnisse der Begleitforschung im Projekt BeMobility- Berlin elektroMobil“, Berlin, 2012
5 Firnkorn, Müller: Selling Mobility instead of Cars: New Business Strategies of Automakers and the Impact on Private Vehicle Holding, Ulm 2011
6 KWI, Kulturwissenschaftliches Institut Essen (Hrsg.): Neue Mobilität für die Stadt der Zukunft, Ergebnisbericht, gefördert durch die Stiftung Mercator, Essen, 2013.

Aus der Literatur lässt sich ein typisches Verteilungsmuster von Carsharing-Nutzern (klassisches Carsharing, stationsgebunden) erkennen[7]. Ein Großteil der Nutzer wohnt danach in dichtbebauten innenstadtnahen Stadtteilen. Die kleinteilige Mischung von unterschiedlichen Nutzungen (Wohnen, Einkaufen, Kleingewerbe und Dienstleistungen) erzeugt in diesen Quartieren eine hohe über den Tag verteilte Mobilität. Häufig ist der Parkdruck zum Abstellen eines privaten Kraftfahrzeugs dort besonders hoch. Anhand dessen lässt sich das personenbezogene Attribut „Wohnstandort" in eine Affinitätsabschätzung einbeziehen. Es wird ferner davon ausgegangen, dass die Nähe der Startzelle bzw. der Zielzelle zum Stadtkern das Potential, Carsharing zu nutzen, ebenfalls positiv beeinflusst.

Mit diesem Ansatz können die Mobilitätsmuster aus Daten von Haushaltsbefragungen ausgewertet werden (im vorliegenden Fall Haushaltsbefragung für Essen 2001). Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Erhebungsstichprobe, aus der die Mobilitätsmuster noch hervorgehen, in der Regel klein ist und es eines „Hochrechnungsverfahrens" bedarf[8].

Die zur Bestimmung der SUC-Affinität gewählten personenbezogenen Merkmale betreffen die Merkmale des Haushalts

M1. Anzahl Personen im Haushalt
M2. Anzahl Pkw/Person im Haushalt,

sowie die personenbezogenen Merkmale

M3. Geschlecht
M4. Altersklasse
M5. Erwerbstätigkeitsstatus
M6. Wohnzelle
M7. Häufigkeit der Bus + Bahn-Nutzung.

Nicht alle Wege einer SUC-affinen Person kommen für stationsungebundenes Carsharing in Betracht. Die Auswertungen zeigen, dass Carsharing für Wege zur Arbeit selten genutzt wird.

Als wegebezogenes Merkmal wird daher

M8. Wegezweck bzw. Tätigkeit am Ziel

ergänzend hinzugenommen.

Jedem Merkmal M sind Merkmalsausprägungen MA zugeordnet. Diese Merkmalsausprägungen weisen eine unterschiedliche Affinität gegenüber einer SUC-Nutzung auf, die aus der Statistik bisheriger Car-sharing Nutzer abgeleitet wird. Die Merkmalsausprägung mit dem höchsten Wert erhält dabei eine 1. Alle anderen Merkmalsausprägungen werden relativ dazu abgestuft.

Altersklasse		Potential
1-4	0-17 Jahre	0
5	18-44 Jahre	1
6	45-59 Jahre	0,8
7	60-74 Jahre	0,4
8	75-99 Jahre	0,1

Tabelle 1: Beispiel für die Merkmalsausprägungen des Merkmals M2, „Altersklasse" und für den geschätzten Anteil an SUC-Affinität der Merkmalsausprägung („Potential")

In einer zweiten Stufe des Verfahrens wird die relative Bedeutung der Merkmale untereinander geschätzt:

	Merkmal	Relative Bedeutung
M1	Geschlecht	1
M2	Altersklasse	1
M3	Wegezweck	0,8
M4	Wohnzelle	0,5
M5	Bus+Bahn-Häufigkeit	0,5
M6	Anzahl Personen	0,4
M7	Anzahl Pkw/Person	0,4
M8	Status	1

Tabelle 2: Relative Bedeutung der Merkmale M1 bis M8 eines Weges für eine SUC-Affinität

7 Bundesverband CarSharing e.V. (Hrsg.): Aktueller Stand des Car-Sharing in Europa" – Endbericht momo Car-Sharing; More options for energy efficient mobility through Car-Sharing, Berlin, Juni 2010.
8 Mobilität in Essen 2001, Auswertung der Befragung zur werktäglichen Verkehrsteilnahme, Stadt Essen, Essen / Aachen, Dezember 2001

Jeder Weg i einer Person der Stichprobe erhält nach diesen beiden Stufen eine SUC-Affinität A_i, die sich als gewogene Summe der bewerteten Merkmalsausprägungen ableitet:

$$A_i = f_1 * MA1_i + f_2 * MA2_i + f_3 * MA3_i + f_4 * MA4_i + f_5 * MA5_i + f_6 * MA6_i + f_7 * MA7_i + f_8 * MA8_i \quad [1]$$

Die theoretisch maximale Affinität A_i beträgt 5,6, die geringste beträgt 1,1. Um die Affinität als Wahrscheinlichkeit interpretieren zu können, werden die Affinitäten nun in einer dritten Stufe auf den Zahlenraum 0,1 transformiert:

$$A_{i,\,trans} = a + b * A_i = -0{,}244 + 0{,}222 * A_i \quad [2]$$

Die Häufigkeitsverteilung der transformierten Wege-Affinitäten $A_{i,\,trans}$ ist in Abbildung 3 dargestellt.

Mit den bisher durchgeführten Schritten werden alle Wege der Haushaltsstichprobe behandelt. Für die Nutzung eines SUC-Systems kommen aber nur die höchsten Affinitäten in Betracht. Für die folgenden Schritte werden nun die 10% Wege mit den höchsten SUC-Affinitäten ausgewählt.

Dies entspricht einer Grenze der transformierten Affinitäten von 0,755. Es wird also angenommen, dass nur Wege einer Person mit einer SUC-Affinität ≥ 0,755 für ein stationsungebundenes Carsharing in Betracht kommen.

2.2 Hochrechnung der SUC-affinen Wege aus der Haushaltsstichprobe auf die Grundgesamtheit

Die SUC-affinen Wege aus der Stichprobe sind auf die Grundgesamtheit „hochzurechnen". Dabei müssen die räumlichen Merkmale der Wege und Wegeketten (eine Wegekette ist definiert als Folge von Wegen mit Ausgangs- und Endpunkt „Wohnung") neu definiert werden. Diese räumlichen Merkmale der Wege und Wegeketten werden mittels Simulation ermittelt. Das für diese Aufgabe entwickelte Simulationsprogramm nutzt die auf Stadtbezirksebene (9 Stadtbezirke) aggregierte Pkw-Matrix des Verkehrsmodells Essen.

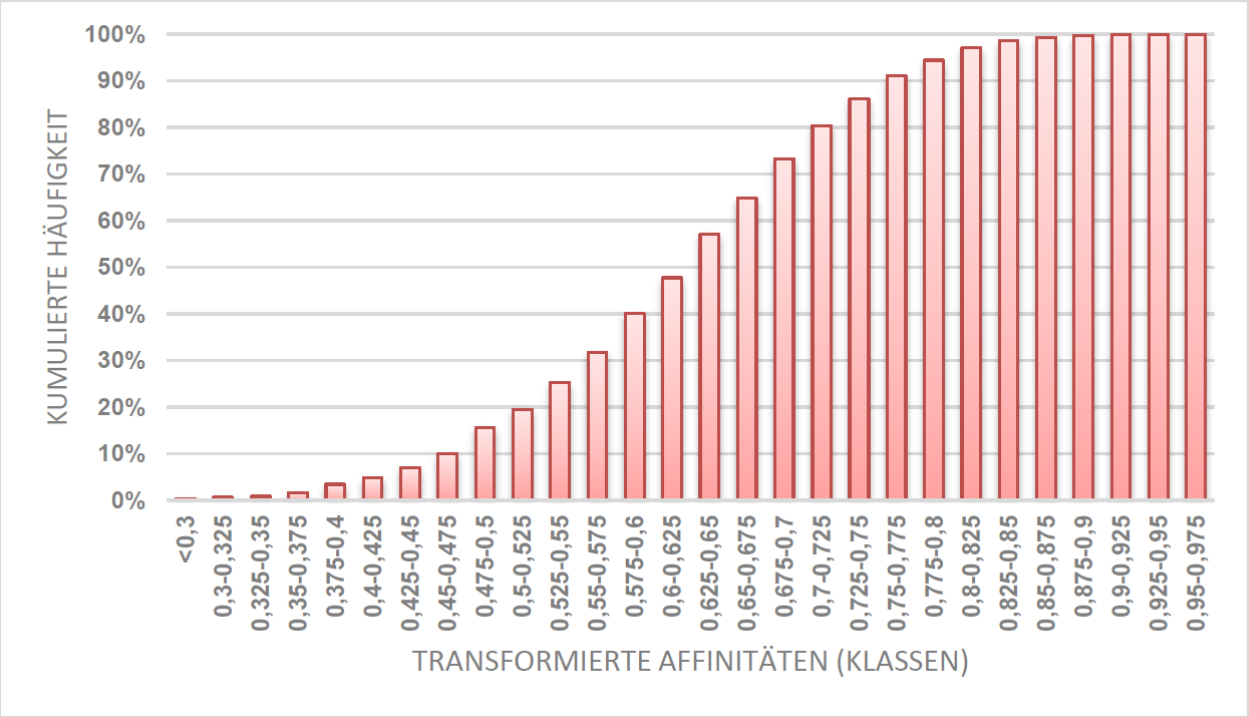

Abbildung 3: relative Häufigkeit [%] der transformierten SUC-Wege-Affinitäten

Zu Beginn der Simulation einer Wegekette ist zwar der Stadtbezirk, in dem die Person wohnt, bekannt, unbekannt ist die räumlich viel kleinere Verkehrszelle des in diesem Stadtbezirk liegenden Wohnstandorts. Sie wird zufällig nach dem Monte Carlo Prinzip ermittelt. Maßstab ist dabei die Stärke der Quellverkehre der Verkehrszellen, die im ausgewählten Stadtbezirk liegen. Es wird eine Zufallszahl r gewählt

$$0 < r \leq 1, \qquad 2\text{-}3$$

die als Summenhäufigkeit der Verteilung der Quellverkehre der Verkehrszellen im Stadtbezirk interpretiert wird.

$$S_i = \sum Q_i / Q_{ges} \qquad 2\text{-}4$$

$$1 \leq i \leq n; \qquad 0 \leq S_i \leq 1 \qquad 2\text{-}5$$

n = Anzahl Verkehrszellen im Stadtbezirk
i = Laufindex
S_i = Summenhäufigkeit nach Aufsummation der i-ten Relation Q_i / Q_{ges}.
Q_i = Quellverkehr der i-ten Verkehrszelle
Q_{ges} = Summe des Quellverkehrs aller Verkehrszellen im Stadtbezirk

Die Zufallszahl r ist dann genau einer Verkehrszelle aus der Summenhäufigkeit zugeordnet.

Analog wird die Zuordnung der Zielzelle des ersten Weges einer Wegekette vollzogen, wobei jetzt die Zielverkehre der Verkehrszellen im Zielstadtbezirk den Maßstab bilden. Dabei werden nur Binnenverkehre berücksichtigt.

Die einzelnen Wege der Wegekette einer SUC-affinen Person enthalten danach jeweils die Startzelle, die Zielzelle sowie aus der Stichprobe Fahrtzweck sowie die Abfahrtszeit an der Quelle und die Ankunftszeit am Ziel. Die Aufenthaltsdauer am Ziel wird dabei dem folgenden Weg zugeordnet.

Im Prinzip wird also unterstellt, dass mit der in der Stichprobe des Umfangs n erhobenen Person weitere Personen mit dem Faktor N/n (N = Grundgesamtheit) erzeugt werden können, die sich auf der gleichen räumlichen Achse bewegen, wobei aber die Feinverteilung auf Verkehrszellen – Verkehrszellen-Beziehung dem Zufallsprinzip unterliegt.

Dieses Vorgehen gilt bis zum vorletzten Weg. Im Fall einer „geschlossenen" Wegekette wird das Ziel des letzten Wegs dieser Wegekette nicht simuliert, sondern der Startzelle des ersten Weges gleichgesetzt.

Auf diese Weise werden alle Wege einer Wegekette aus der Stichprobe vermehrt und im Stadtgebiet „feinverteilt". Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis eine vorgegebene Anzahl an SUC-affinen Wegen erreicht ist.

2.3 Ermittlung der erforderlichen Anzahl an SUC-Fahrzeugen

Für jeden SUC-affinen Weg muss nun ein passendes Carsharing-Fahrzeug gesucht werden. Das erfolgt im zweiten Teil des Simulationsprogramms. Dabei wird zunächst geprüft, ob bei Antritt der Fahrt in der Verkehrszelle ein Fahrzeug verfügbar ist. Jedes im Gebiet befindliche Fahrzeug wird dabei mit einer eindeutigen Fahrzeug-ID gekennzeichnet. Wenn kein Fahrzeug in der Verkehrszelle verfügbar ist, wird ein neues Fahrzeug für diese Verkehrszelle „generiert". Das Fahrzeug wird anschließend von der Start-verkehrszelle entfernt und an der Zielverkehrszelle neu eingestellt. Der Weg zwischen Start- und Zielverkehrszelle wird dem Fahrzeug zugeordnet und gespeichert.

Danach folgt der zweite Weg etc., bis alle Wege abgearbeitet sind. Dabei kann es sein, dass das zuvor benutzte Fahrzeug auch für die folgende Fahrt genutzt werden kann, es kann aber bereits einer anderen Nutzung zugeführt worden sein und steht dem Erstnutzer dann nicht mehr zur Verfügung.

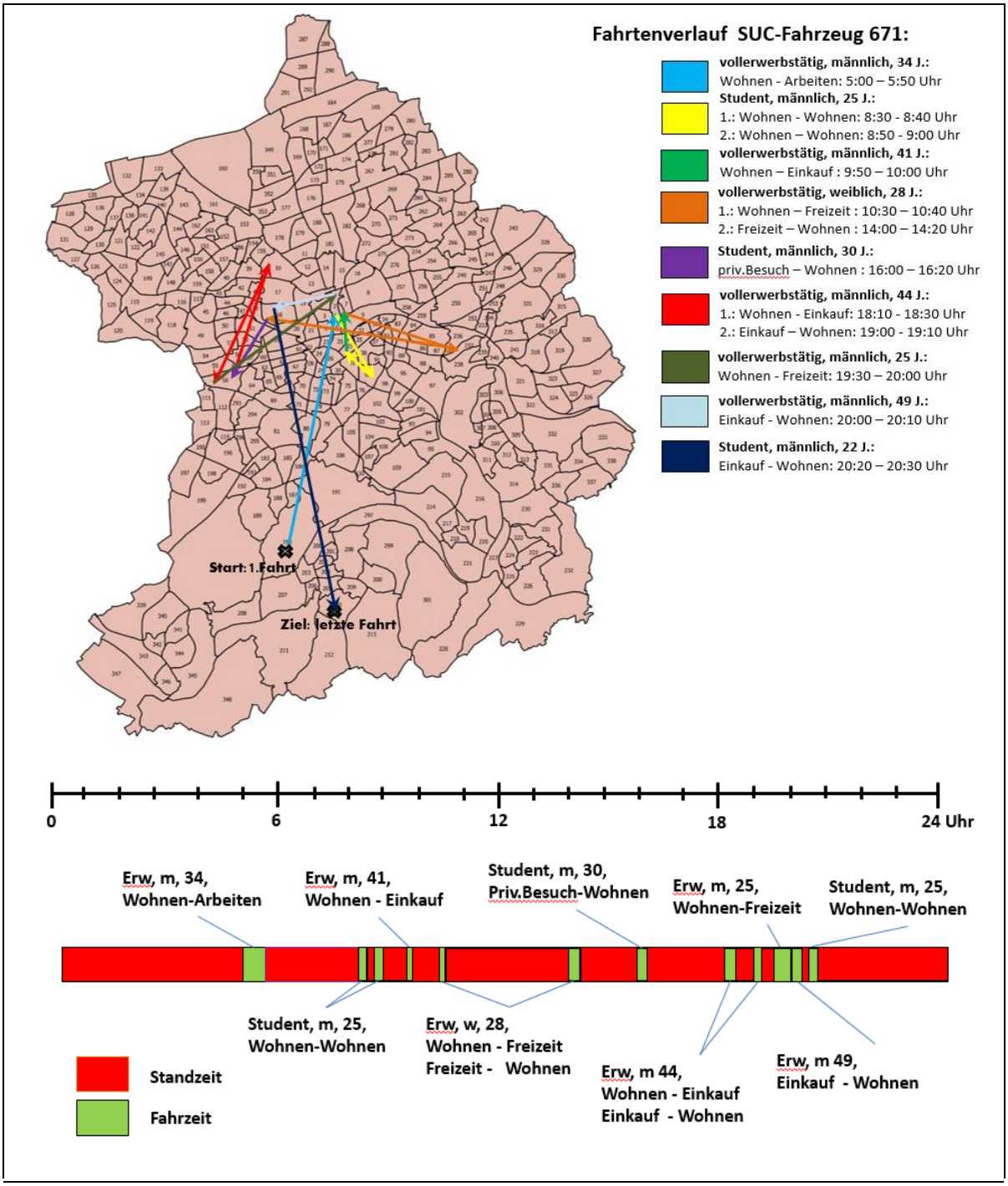

Abbildung 4: Beispiel für das Bewegungsmuster eines SUC-Fahrzeugs

Nachdem alle SUC-affinen Wege abgearbeitet worden sind, kann die Fahrzeug-Wegedatei ausgewertet werden, denn alle relevanten Daten wie Fahrzeiten, Standzeiten, gefahrene Kilometer, Aufenthaltsorte sowie Abfahrt- und Ankunftszeiten sind fahrzeugspezifisch verfügbar. Im vorliegenden Fall betrug die Gesamtanzahl an Pkw-Wegen im Binnenverkehr von Essen 661.192; davon wurden 290.640 hinsichtlich SUC-Affinität bewertet. 10% der SUC-affinen Wege mit der höchsten SUC-Affinität sind 29.064 Wege, die auf der Grundlage der beschriebenen Simulation räumlich verortet wurden. Das entspricht 4,4% aller Pkw-Wege des Binnenverkehrs in Essen.

3. Ergebnisse

3.1 Verkehrliche Kenndaten

Die folgende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über die Eckdaten der SUC-Simulation. Dabei ist zu beachten, dass zwischen Pkw-Wegen und Personenwegen mit Pkw zu unterscheiden ist. Das Verhältnis der beiden Größen entspricht dem mittleren Besetzungsgrad eines Pkw.

Szenario B, SUC-Fahrten	Binnenwege
Anzahl Pkw-Personenwege	756.620
Anzahl Pkw-Personenwege SUC	33.259
Anzahl Pkw-Fahrten	661.192
Anzahl Pkw-Fahrten SUC	29.064
Anteil SUC an Pkw-Fahrten	4,4%
Anzahl SUC-Wegeketten	14.112
Durchschnittliche Anzahl Wege je Wegekette	2,1

Tabelle 3: Matrixeckdaten für SUC-Fahrten

3.2 Anzahl erfordelicher SUC Fahrzeuge

Die Simulation ergab, dass für die Umsetzung der 29.064 SUC-Pkw-Fahrten innerhalb des Stadtgebiets 5.464 SUC-Fahrzeuge benötigt würden. Das würde einer durchschnittlichen Anzahl von 5,3 Pkw-Fahrten pro SUC-Fahrzeug entsprechen. Als Geschäftsbereich wurde dabei das gesamte Stadtgebiet von Essen angenommen.

Zum Vergleich kann die durchschnittliche Fahrtenanzahl pro Pkw und Tag aus der Haushaltsbefragung herangezogen werden. Sie beträgt 2,7 Fahrten (2001). Im Durchschnitt könnte damit ein SUC-Fahrzeug **zwei Pkw im Eigenbesitz** ersetzen, ohne dass eine Pkw-Fahrt entfallen würde.

Die Verteilung der Pkw-Fahrten auf die SUC-Fahrzeuge ist in der folgenden Grafik dargestellt. Das Gros der SUC-Fahrzeuge wird 1 bis 5mal pro Tag genutzt. Das ist für eine Wirtschaftlichkeit sicher viel zu wenig. Wo die Grenze für eine Wirtschaftlichkeit liegt, kann nur der Betreiber eines SUC-Systems sagen.

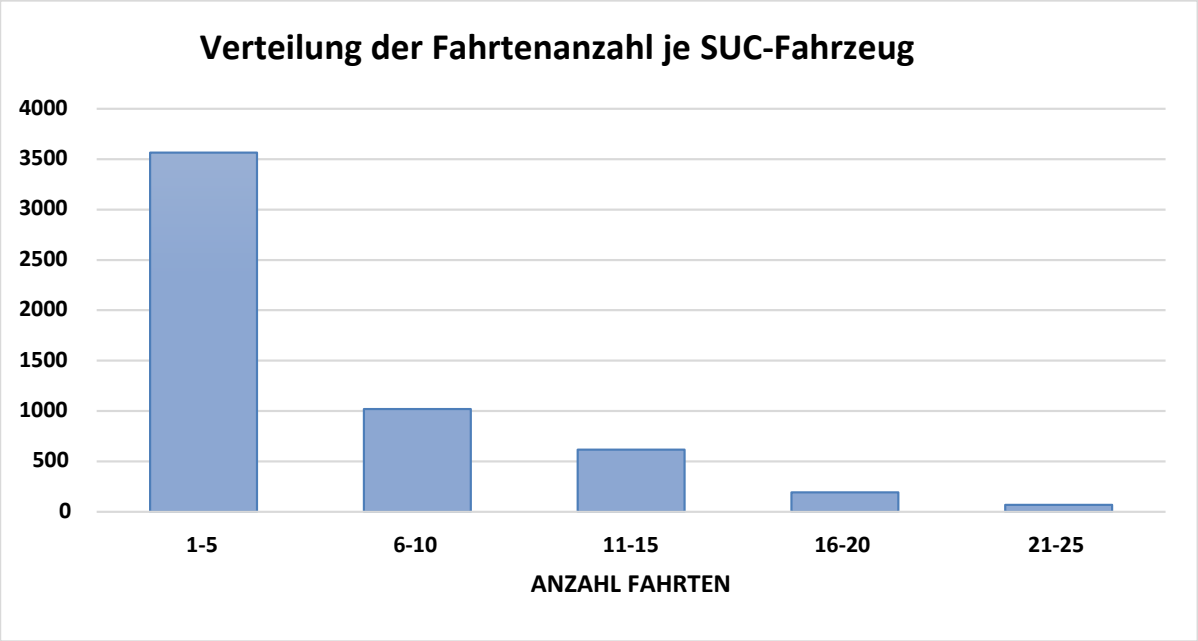

Abbildung 5: Verteilung der Pkw-Fahrtenanzahl auf SUC-Fahrzeuge

Die simulierten 5.464 SUC-Fahrzeuge wurden auch im Hinblick auf ihre Fahrzeitensumme pro Tag ausgewertet (Abbildung 6).

Für das am häufigsten eingesetzte Carsharing-Fahrzeug beträgt die Summe der Fahrzeiten 560 Minuten oder mehr als 9 Stunden. Die kleinste Einsatzzeit liegt bei 10 Minuten. Wenn die Grenze, ab der sich der Betrieb eines SUC-Systems lohnt, mit 240 Minuten (4 Stunden pro Tag) angenommen würde, wäre der Betrieb von nur etwa 13% der angenommenen Fahrzeuge rentabel. Die SUC-Flotte würde sich auf 718 Fahrzeuge reduzieren, die 10.794 Pkw-Fahrten (1,6% der Binnenverkehrs-Pkw-Fahrten) überneh-men würden.

Die geringste Standzeit pro Fahrzeug wurde für den Kernbereich von Essen ermittelt. Hier führen viele Fahrten hin und gehen viele Fahrten auch wieder ab. Carsharing-Fahrzeuge stehen hier nicht lange. Umgekehrt treten lange Standzeiten in Verkehrszellen an der Peripherie auf. Diese würden entfallen, wenn man den Geschäftsbereich, in dem SUC-Fahrzeuge abgestellt werden dürfen, enger um die Innenstadt definierte. Auch würde sich eine Beschränkung der maximalen Anzahl an SUC-Fahrzeugen auf die Standzeiten reduzierend auswirken.

Die bisherigen Anwendungen des SUC-Systems zeigen in der Tat noch deutlich geringere Anzahlen von SUC-Fahrzeugen. Auch wird zur räumlichen Einschränkung von SUC-Fahrten in der Regel ein gegenüber dem gesamten Stadtgebiet deutlich begrenzterer Geschäfts-bereich definiert. Man kann also die Frage umkehren und prüfen, wieviel Pkw-Fahrten vom SUC-System übernommen werden könnten, wenn (a) der Geschäftsbereich enger definiert und (b) die Anzahl der eingesetzten SUC-Fahrzeuge vorgegeben wäre.

In einer Alternative wurden SUC-Fahrzeuge mit weniger als 16 Fahrten pro Tag aus dem System genommen. Danach wären noch 262 SUC-Fahrzeuge notwendig. Sie würden 4.978 Pkw-Fahrten übernehmen können (0,75% der Binnenverkehrs-Pkw-Fahrten). Damit käme man in eine Größenordnung, wie sie in einzelnen Städten im Bundesgebiet bereits realisiert ist. Zugleich würde sich der Nutzungsfaktor gegenüber der Pkw-Nutzung im Eigenbesitz von 2 auf 7 erhöhen, eine deutlich interessan-tere Zahl für die Kommunen. Denn 1 SUC-Fahrzeug könnte danach 7 Pkw ersetzen, was sich auf Dauer vorteilhaft auf den Stellplatz-bedarf auswirken würde.

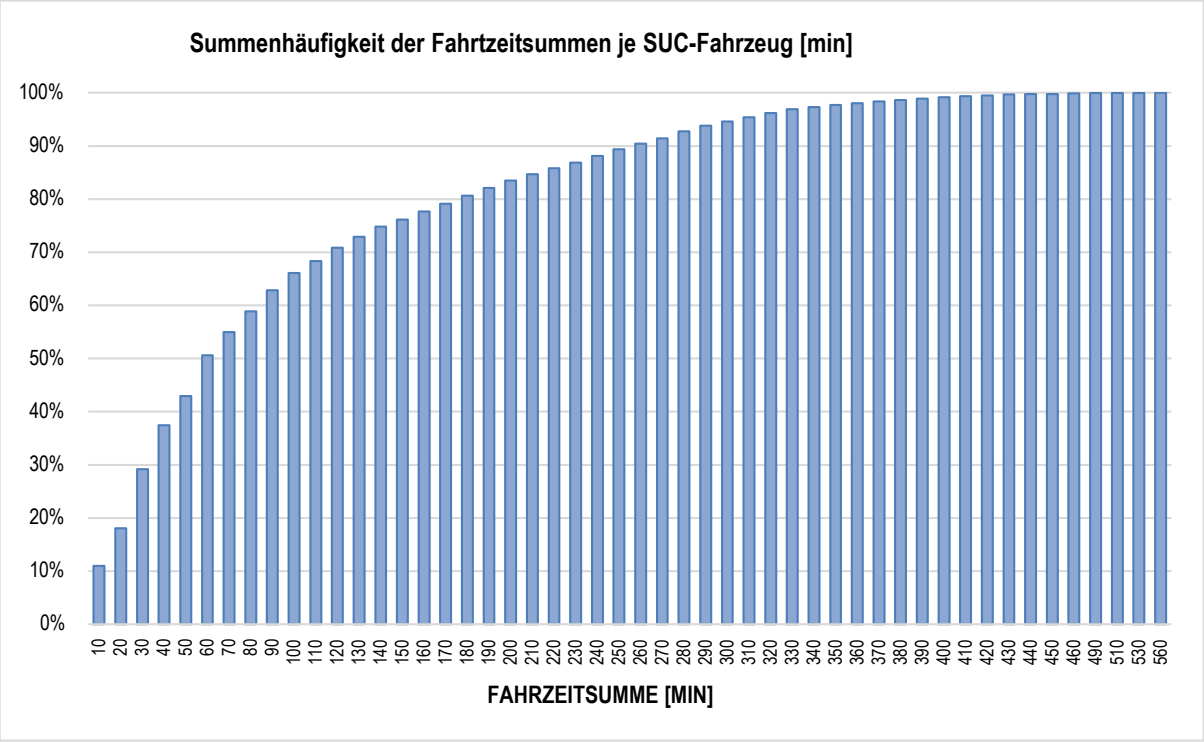

Abbildung 6: Summenhäufigkeitsverteilung der Fahrzeiten je SUC-Fahrzeug

3.3 Auswirkungen auf den Stellplatzbedarf

Die benötigten Stellplätze für SUC-Fahrzeuge in den Verkehrszellen variieren über den Tag und je Verkehrszelle. Beispielhaft zeigt die folgende Grafik den Stellplatzbedarf im Tagesverlauf (Minutenintervalle) für die Verkehrszellen 40, 72 und 199. Dabei lässt sich ein Unterschied in Abhängigkeit der Lage der Verkehrszellen erkennen. Verkehrszelle 72 liegt im Kernbereich der Stadt, wobei die Zellen 40 und 199 im Randbereich des Stadtgebietes liegen.

Das Maximum variiert bei den dargestellten Beispielen zwischen 6 und 76 Stellplätzen. Ob diese Stellplätze zusätzlich erforderlich werden, hängt von der zeitlichen Verteilung der Belegung der Stellplätze im Öffentlichen Raum durch konventionelle Fahrzeuge ab. Mittelfristig wird sich eine Entlastung ergeben, wenn aufgrund des komfortablen Ausleih-Systems im Einzelfall auf ein eigenes Fahrzeug verzichtet wird.

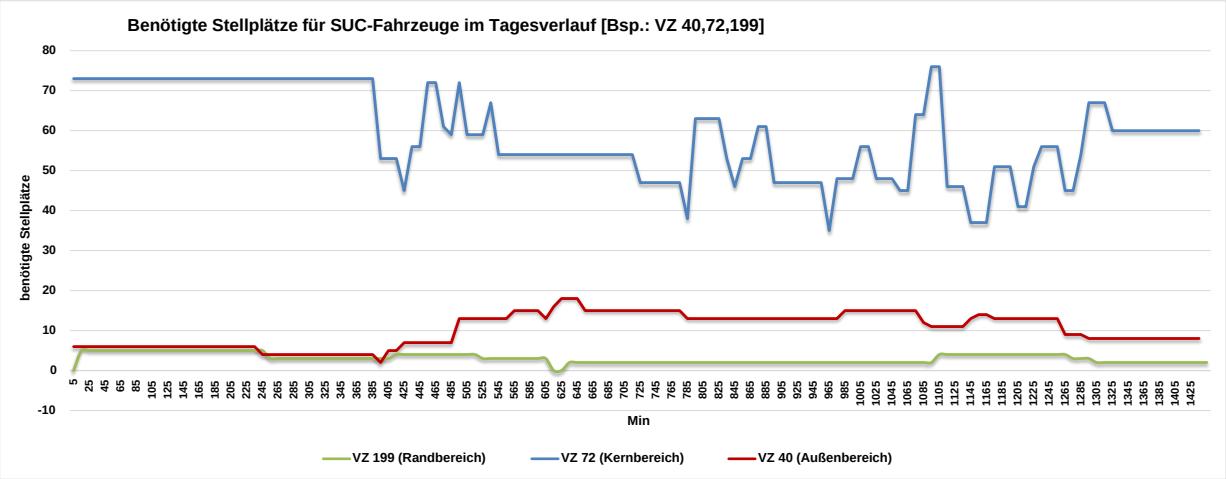

Abbildung 7: Benötigte Stellplätze im Tagesverlauf, beispielhaft für drei Verkehrszellen

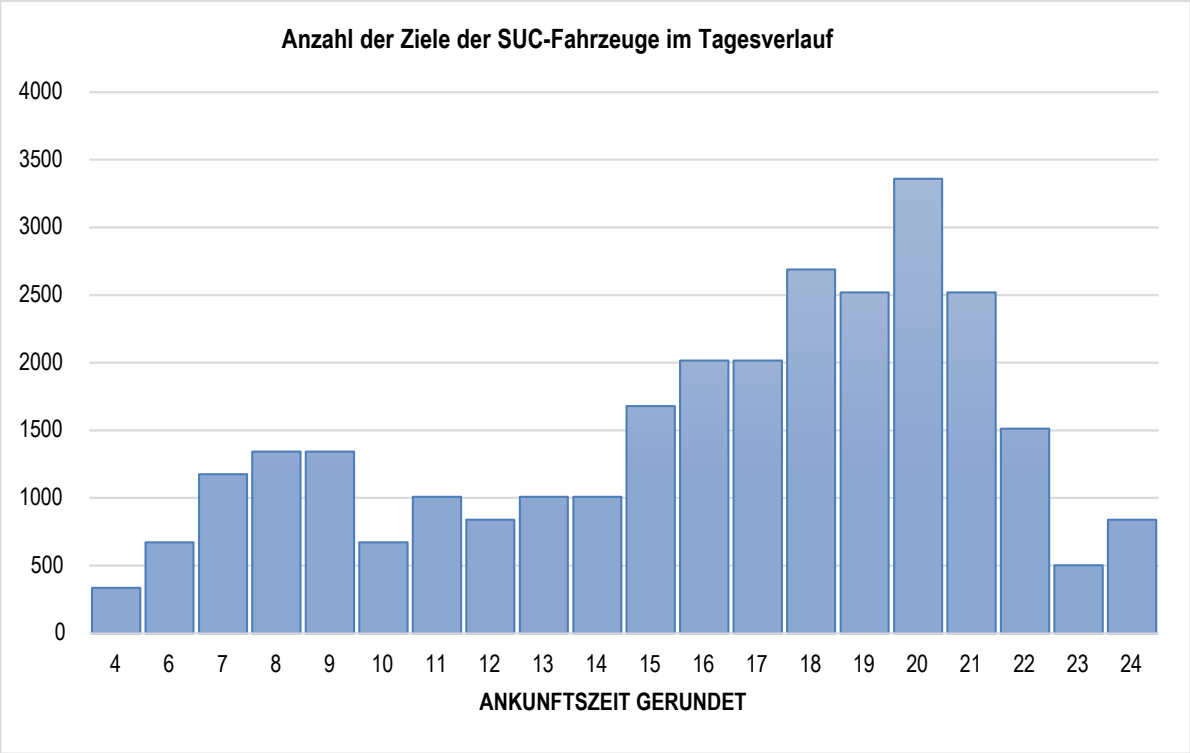

Abbildung 8: Anzahl der Fahrtziele der SUC-Fahrzeuge im Tagesverlauf

SUC-Fahrzeuge werden im Tagesverlauf vermehrt abends genutzt (siehe Abbildung 8).

So wird man in den Nachmittags- und Abendstunden weit mehr SUC-Fahrzeuge im fließenden Verkehr vorfinden, als in den Stunden zwischen den Spitzen und auch in der Frühspitze. Es macht sich dabei auch der gewählte Ansatz bemerkbar, der Einkaufsfahrten und sonstige private Fahrten präferiert vor z. B. den Fahrten zum Arbeitsplatz.

3.4 Ergebnisse zur Energie- und CO_2-Bilanz

Als Eingangsgröße für die Energie- und CO_2-Berechnungen werden die Umlegungsergebnisse der Pkw-Binnenverkehrsmatrix auf das Straßennetz gewählt. Auf das Netz umgelegt wurde die Tagesverkehrsmatrix, die als DTV interpretiert wurde. Es werden das Szenario Status quo (2010) ohne SUC-Fahrzeuge und das Szenario SUC (2010) mit 5.464 SUC-Fahrzeugen gegenübergestellt.

Für die Berechnung der Energie- und CO_2-Bilanz wurden Ansätze aus dem HBEFA 3.1[9] und den EWS[10] herangezogen.

In den Betrachtungen wird nur der Endenergieverbrauch am Fahrzeug berücksichtigt. Da das HBEFA keine Emissionsfaktoren für Elektrofahrzeuge enthält, wurden die Energieverbräuche für Elektrofahrzeuge durch Testverbrauchsangaben des ADAC abgeschätzt. Für Carsharing-Elektrofahrzeuge (vorwiegend Kleinwagen) wurde danach ein Energieverbrauch von 23,2 kWh/100km angenommen.

Mit diesen Vorgaben errechnen sich die Bilanzwerte der nachfolgenden Tabelle:

	Szenario SUC	Szenario Status quo	Szenario SUC	Szenario Status quo
Kfz-Art	Energie [MWh/d]	Energie [MWh/d]	Emission [t CO_2/d]	Emission [t CO_2/d]
SUC-Fahrzeuge	32		0[11]	
Pkw Verbrenner	2.247	2.326	569	589
Summe Pkw	2.279	2.326	569	589

Tabelle 4: Energie- und CO2-Bilanz, Bezug Binnenverkehrsmatrix

Die Berechnungen ergaben einen Energiebedarf für SUC-Fahrzeuge von 32 MWh/d.

In der CO_2-Bilanz ergeben sich durch die Einführung eines SUC-Systems Verbesserungen in Höhe von 3,6%. Die Veränderungen in der Energiebilanz fallen mit 2,1% weniger deutlich aus. Sie resultieren aus der Annahme kleiner Stadtfahrzeuge für SUC, die aufgrund der Elektromotoren effizienter fahren als die Verbrenner im Status quo Szenario.

3.5 Besteht tägliche Aufladungsnotwendigkeit?

Unter der Annahme, dass zu Beginn eines Tages SUC-Fahrzeuge voll aufgeladen sind, und unter der weiteren Annahme, dass SUC-Fahrzeuge erst nach kompletter Entladung (bei einem Stadtfahrzeug nach ca. 4,5 Stunden Fahrzeit) aufgeladen werden müssen, so wären untertags 10% der SUC-Fahrzeuge einmal und 0,02% zweimal aufzuladen. Diese Zahlen erhöhen sich, wenn Fahrzeuge immer dann aufgeladen werden, wenn sie einen Ladestatus unter 25% erreicht haben (Abbildung 9):

83% der SUC-Fahrzeuge kämen ohne Aufladung tagsüber aus, 16% müssten einmal aufgeladen werden und 1% zweimal.

Die Datenbasis ermöglicht grundsätzlich auch festzustellen, wo Standorte für das Laden untertags sinnvoll wären. Dies bedarf jedoch einer gesonderten Auswertung.

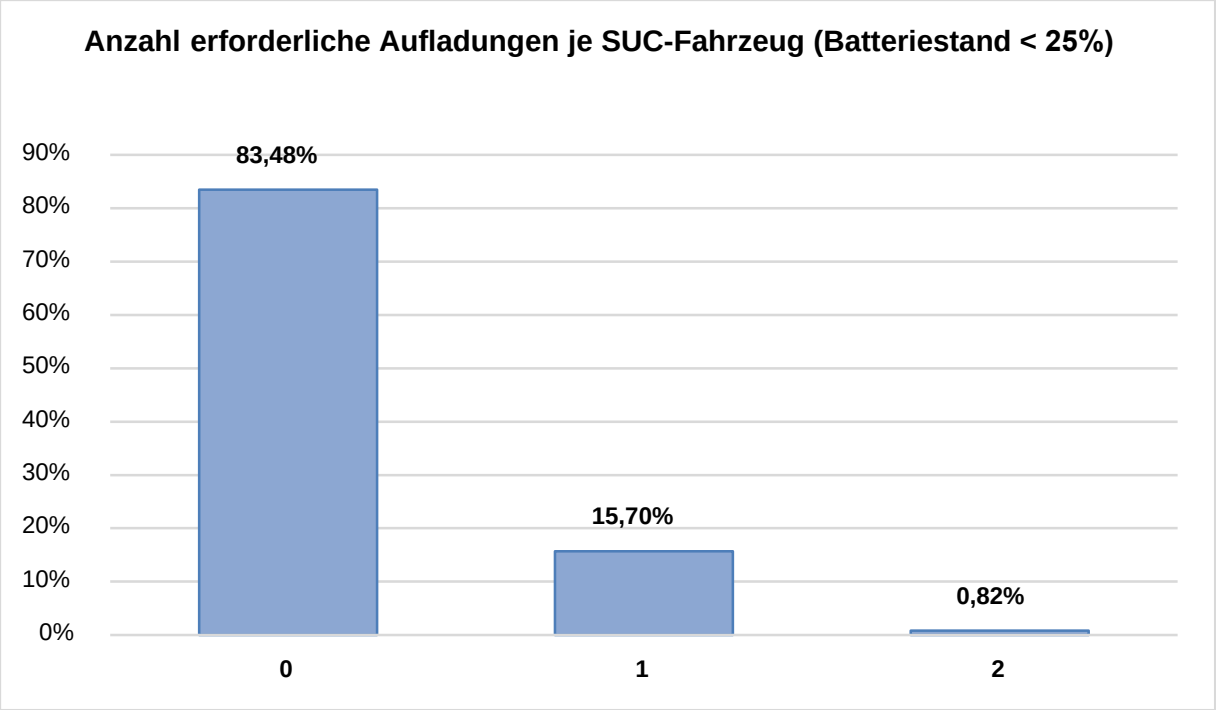

Abbildung 9: Anteil an SUC-Fahrzeugen, die während des Tages dann aufgeladen werden müssen, wenn der Ladezustand unter 25% gesunken ist.

9 HBEFA – Handbuch für Emissionsfaktoren in der Version 3.1 vom Januar 2010. Das HBEFA wurde von INFRAS, Bern im Auftrag der Umweltämter von Deutschland (UBA), Österreich (UBA) und der Schweiz (BUWAL) erstellt.
10 EWS - Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), FGSV-Nr. 132, Köln, 1997.
11 Es wurden nur lokale Emissionen berücksichtigt

4. Schlussfolgerungen

Aus den Berechnungen zum SUC-System lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

1. Die Implementierung von elektrischen SUC im Stadtgebiet führt zu einer Verbesserung im Bereich des Klimaschutzzieles. Das SUC-System kann mit einem einzelnen Fahrzeug 2 bis 7mal so viele Fahrten bündeln wie ein Pkw im Eigenbesitz. Mittelfristig wird die Anzahl der Pkw im privaten Eigentum reduziert. Das kommt auch dem Öffentlichen Verkehr zugute.

2. Das System eignet sich besonders für die Verbindung von dichten Mischgebieten.

3. Mit dem System ist insgesamt eine Verringerung des Stellplatzbedarfs in den Städten verbunden.

4. Ein SUC-System lohnt sich für einen Betreiber nur, wenn die SUC-Fahrzeuge über den Tag häufig bewegt werden. Eine Abgrenzung des Geschäftsgebietes, die eine gute Auslastung der Fahrzeuge ermöglicht, ist daher für die Wirtschaftlichkeit des Systems von essentieller Bedeutung.

5. Die meisten SUC-Fahrzeuge müssen tagsüber nicht aufgeladen werden. Allerdings gilt, je weniger Fahrzeuge im Einsatz sind, desto häufiger werden die Fahrzeuge genutzt und desto eher müssen die Akkus tagsüber geladen werden.

6. SUC ist als Ergänzungssystem zu den vorhandenen Mobilitätssystemen zu sehen. Es wird die bisherigen Systeme nicht ersetzen, jedoch den Komfort vor allem für ÖPNV-Nutzer erhöhen, der dann aus einer multimodalen Angebotspalette auswählen kann.

Gefördert vom

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektpartner

STADT ESSEN

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

EVAG

ISS

TRC

KWI
KULTURWISSENSCHAFTLICHES INSTITUT ESSEN
FORSCHUNGSKOLLEG DER UNIVERSITÄTSALLIANZ METROPOLE RUHR

Stadtwerkessen
Wir sind Zuhause.

ZLV Zentrum für Logistik & Verkehr

Allbau
Mein Zuhause in Essen