



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Simulationsbasierte Analyse eines belastungsorientierten Fahrverbots in Darmstadt

Auszug aus dem Forschungsbericht des Fachgebiets
Unternehmensführung und Logistik
Nr. 33 | Darmstadt 2019



Ausgangssituation

Vielerorts sind bereits verkehrsbeschränkende Maßnahmen im urbanen Raum festzustellen. Zunehmend werden darüber hinaus, aufgrund der gesetzlichen Anforderungen zur Luftreinhaltung und des steigenden öffentlichen Interesses, Ausweitungen von verkehrsbeschränkenden Maßnahmen diskutiert.

Im Zuge dessen stellen Lkw-Durchfahrtsverbote ein „populäres“ Mittel zur Reduzierung der städtischen Güterverkehre und somit der Verkehrsbelastung dar. Häufig werden verkehrsbeschränkende Maßnahmen nur aus Sicht des

Umweltschutzes betrachtet. Dabei ist jedoch unklar, wie sich Durchfahrtsverbote auf unternehmerische Prozesse und Zielgrößen (z. B. Transportplanung und Kosten) von betroffenen Unternehmen auswirken und wie die betroffenen Akteure (z. B. Transportunternehmen und Großhändler) darauf reagieren.

Seit 2015 gilt in Darmstadt ein erweitertes Lkw-Durchfahrtsverbot, welches Fahrzeugen ab 3,5 Tonnen, mit Ausnahme von Be- und Entladern, dauerhaft die Durchfahrt durch das Innenstadtbereich verbietet (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Lkw-Durchfahrtsverbotszone in Darmstadt.

Zielsetzung und Ablauf des Forschungsprojektes

Im Projekt „Simulationsbasierte Analyse eines belastungsorientierten Fahrverbots in Darmstadt“ wurden die Potenziale und Auswirkungen verschiedener Lkw-Durchfahrtsverbote für die Gesamtregion Darmstadt untersucht. Konkret sollten dafür Konzeptideen, welche für bestimmte Straßen bzw. Stadtgebiete aus Gründen der Luftreinhaltung belastungsorientiert die Durchfahrt für Schwerlastverkehre sperren, untersucht werden.

Im Rahmen des Projektes sollten dabei neben den Anforderungen und Verkehrsauswirkungen sowie einer Grobschätzung der Emissionswirkung, insbesondere die in der Forschung bisher

meist unbeachteten Auswirkungen auf unternehmerische Prozesse und deren Zielgrößen untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde das Projekt in vier Arbeitspakete unterteilt (siehe Abbildung 2). Im ersten Arbeitspaket wurden zunächst die Anforderungen und Rahmenbedingungen für ein belastungsorientiertes Lkw-Durchfahrtsverbot in Darmstadt sowie die Einflussfaktoren und Auswirkungen auf die einzelnen Akteure und deren unternehmerische Reaktionen und Strategien erforscht. Basierend auf diesen Grundlagen wurde anschließend anhand eines agentenbasierten Simulationsmodells die Auswirkungen

verschiedener Durchfahrtsverbotsszenarien auf die einzelnen Akteure im urbanen Umfeld analysiert.

Ziel des Projektes ist zum einen eine quantitative Bewertung verschiedener Durchfahrtsverbotsszenarien (z. B. bezüglich lokaler Emissionen, zurückgelegten Kilometern und Transportkosten). Zum anderen wird das Ziel verfolgt, aus den Unternehmensbefragungen, Dokumentenanalysen und Ergebnissen der Simulation eine qualitative Beschreibung von Handlungsempfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung eines belastungsorientierten Lkw-Durchfahrtsverbots in Darmstadt zu geben.



Abbildung 2: Übersicht der Arbeitspakete des Projekts.

Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets wurden allgemeine Einflussfaktoren und Wirkzusammenhänge im Kontext von Lkw-Durchfahrtsverboten untersucht. Hierzu wurden wissenschaftliche Veröffentlichungen und Gutachten vergleichbarer Konzepte aus dem Bereich des umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystems analysiert. Hierbei lassen sich grundlegend sta-

tische Verkehrsmanagementsysteme (z. B. Sperrung zu einer definierten Zeit), halb-dynamische (keine direkte Kopplung im Onlinebetrieb) und komplett dynamische Systeme, bei denen ein Umweltmodul an das Verkehrsmanagementsystem gekoppelt ist, unterscheiden. Derartige Systeme sollten dabei nicht nur in der Lage sein, die aktuelle Umweltsituation zu erfassen

und darzustellen, sondern auch die zu erwartende Umweltsituation zu prognostizieren.

Weiterhin sollten umweltsensitive Verkehrsmanagementsysteme Funktionen zur Wirkungskontrolle aufweisen. Für weitere Evaluierungen und als Datengrundlage für die Planung sollten zudem Möglichkeiten zur Datenarchivierung bestehen.

Im zweiten Schritt des Arbeitspakets wurden Interviews mit Unternehmen aus der Region durchgeführt, um zum einen das Wissen über die Auswirkungen des bestehenden Lkw-Durchfahrtsverbots auf unternehmerische Zielgrößen und Prozesse zu erweitern und zum anderen plausible Input-Daten für die Simulation zu ermitteln. Dazu wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, mittels dessen die Unternehmen zu folgenden Themengebieten befragt wurden:

- Allgemeine Unternehmensdaten (Branche, Standorte, Größe)
- Transporttätigkeit (Regionen, Fahrzeugtypen, Auftrags- und Ladungsstruktur)

- Lkw-Durchfahrtsverbot Darmstadt (Anteil betroffener Touren, Auswirkungen auf Unternehmenskenngrößen und Planung, Reaktionen auf das Verbot)

Infolge der durchgeführten Interviews wurde deutlich, dass die Unternehmen abhängig von Art der Transporttätigkeit sowie vom eigenen Standort und den Standorten der Kunden sehr unterschiedlich vom Verbot betroffen sein können. So gab eine Reihe von Interviewpartnern an, dass ein Großteil ihrer Touren vom Verbot betroffen seien, wohingegen andere Interviewpartner angaben, dass aufgrund der eingesetzten Fahrzeuge, der Auftragsstruktur oder des Unter-

nehmensstandorts nur relativ wenige Touren vom Verbot betroffen sind. Auch die Reaktionen auf das Verbot unterscheiden sich erheblich je nach Unternehmenstyp. So können beispielsweise Unternehmen, die Teilladungsverkehre durchführen und dabei häufig Kunden in Darmstadt beliefern, ihre Touren so planen, dass mehrere Fahrzeuge jeweils einen Kunden in der Verbotszone anfahren, sodass diese Fahrzeuge nicht durch das Lkw-Durchfahrtsverbot betroffen sind. Für Unternehmen, die Komplettladungsverkehre durchführen oder kaum Kunden im Stadtgebiet haben, besteht diese Flexibilität der Tourenplanung hingegen nicht.

Simulationsbasierte Analyse der Lkw-Durchfahrtsverbotsszenarien

Aufbauend auf den erarbeiteten Ergebnissen wurde im Projekt ein agentenbasiertes Simulationsmodell zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Durchfahrtsverbotsszenarien in der Simulationssoftware Anylogic 8 entwickelt (siehe Abbildung 3). Dieses, auf GIS-Daten basierende Modell bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Unternehmenstypen zu definieren (z. B. differenziert nach Art der Transport- und Auftragsstruktur, Fahrzeugflotte, Standort), um die Auswirkungen unterschiedlicher Steuerungsstrategien Unternehmenstyp zu analysieren.

Hierfür wurde im Modell ein Tourenplanungsalgorithmus mit heterogenen Fahrzeugflotten, der die Lkw-Durchfahrtsverbotsszenarien und weitere

Verkehrsrestriktionen berücksichtigt, implementiert. Mit dem Modell lassen sich szenarienbasiert Transportkosten, Fahrzeugemissionen und Veränderung des Verkehrsaufkommens untersuchen. Basierend auf den Interviews wurden sechs Unternehmenstypen gebildet, die den möglichen Unternehmensstandorten je Simulationslauf zufällig zugeordnet werden.

So bildet beispielsweise ein Unternehmenstyp im Modell die aus den Interviews hervorgegangenen Charakteristiken von Unternehmen aus dem Baugewerbe ab, wohingegen andere Unternehmenstypen zum Beispiel die Eigenschaften von Stückgutspediteuren oder Großhändlern beschreiben. Für die simulationsbasierte Untersuchung wurden sechs Steuerungsstra-

tegien (S1-S6) für das Lkw-Durchfahrtsverbot definiert und im Modell implementiert (siehe Abbildung 4). Hierbei bildet Strategie S1 die Situation ohne Lkw-Durchfahrtsverbot ab. Aufgrund der stochastischen Einflussfaktoren wurde jedes Szenario 30-mal simuliert, sodass insgesamt 180 Simulationsdurchläufe durchgeführt wurden.

Ähnlich zu den Interviews lässt erkennen, dass die Auswirkungen des bisherigen Verbots (Steuerungsstrategie S2) sowie die Auswirkungen der Alternativszenarien sehr unterschiedlich je Unternehmenstyp sein können, da ein Teil der Unternehmen die Touren neu plant oder nur wenige Touren vom Verbot betroffen sind.

Abweichend zum bisherigen Verbot (S2) wird in S3 davon ausgegangen, dass Fahrzeuge bei der Bezahlung einer gewichtsabhängigen Gebühr von bis zu 10€/Tag die bisherige Durchfahrtsverbotszone durchqueren dürfen. In S3 lässt sich dabei im Vergleich zu S2 durchschnittlich nur eine ca. halb so hohe Kostensteigerung gegenüber S1 beobachten.

Unternehmen mit besonders weiten Umwegen und kaum Reaktionsmöglichkeiten nehmen die Gebühr in Kauf, um die höheren Mehrkosten der Umfahrung zu vermeiden. Dies ist aber nicht für alle Akteure und Touren gleichermaßen attraktiv, sodass nur für ca. 1/3 der vorherigen Durchfahrten diese Option genutzt wird. Durch den

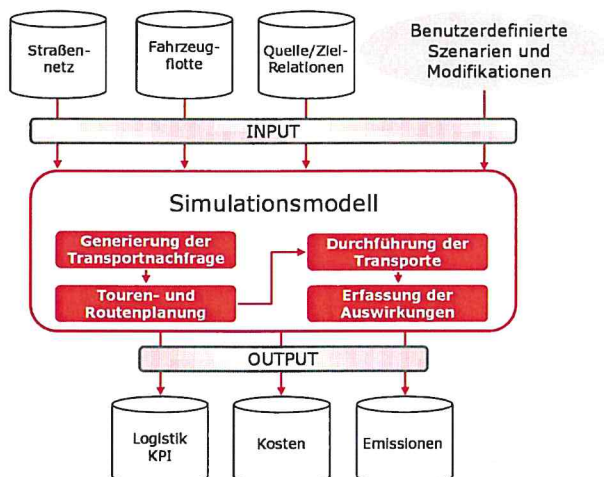


Abbildung 3: Konzeption des Simulationsmodells.

Anteil der Lkw, welche die Maut nutzen, um durch das Gebiet zu fahren, steigt die Anzahl der Lkw in der Stadt gegenüber des vollständigen Verbots S2 und die Emissionsminderung verringert sich entsprechend. In Strategie S4 wird angenommen, dass das Lkw-Durchfahrtsverbot tagesbasiert (z. B. auf Basis von Immissionsprognosen) dynamisch gesperrt wird. Da-

bei wurden für das dynamische Verbot unterschiedliche Aktivierungsraten des Verbots geprüft. Bei einer Aktivierungsrate von beispielsweise 50 % lässt sich ähnlich zu S3 eine Minderung der Kostensteigerung gegenüber S2 beobachten.

Die beiden Strategien S5 und S6 unterliegen der Annahme, dass E-Lkw und Hybrid-Lkw bzw. Euro VI Lkw

vom Verbot ausgenommen sind. Jedoch wird in S5 aufgrund der hohen Anschaffungskosten der Fahrzeuge nur ein geringer Teil der vorherigen Touren auf E-Lkw umgelegt. Somit werden auch nur geringe Kosteneinsparungen gegenüber S2 realisiert. In Szenario S6 lässt sich feststellen, dass sich die Anzahl der durchfahrenden Lkw nur geringfügig im Vergleich zu S1 verringert, da die Unternehmen nun ihre Euro VI-Lkw für die Durchfahrten nutzen und die älteren Fahrzeuge bei nicht betroffenen Touren eingesetzt werden. Hierdurch lässt sich im Vergleich zu S1 eine deutliche Emissionsminderung im Stadtgebiet beobachten, jedoch wäre die Umstellung auf Euro VI-Lkw bei vielen Unternehmen mit zusätzlichen Anschaffungs- und Unterhaltskosten verbunden.

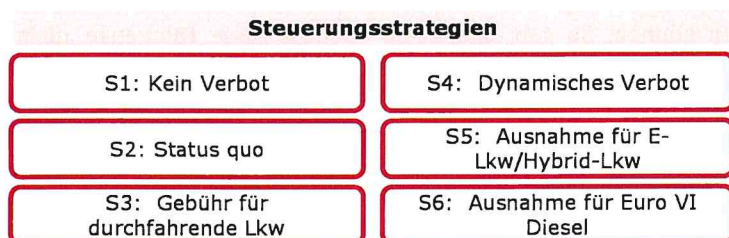


Abbildung 4: In der Simulation untersuchte Steuerungsstrategien

Abgeleitete Handlungsempfehlungen

Sowohl basierend auf den Interviews als auch auf den Ergebnissen der Simulation lässt sich feststellen, dass die Auswirkungen des bisherigen Lkw-Durchfahrtsverbots und der Handlungsspielraum der Unternehmen sich sehr stark je nach Ort, Auftragsstruktur und Fahrzeugflotte unterscheiden. Eine Änderung des Verbots könnte dabei besonders stark betroffenen Unternehmen helfen, die entstehenden Mehrkosten zu reduzieren.

Vor dem Hintergrund der Problematik des NO₂-Jahresmittelwertes könnte es jedoch schwierig werden

ein dynamisches System zu entwickeln, da auch bei einer zukünftigen Annäherung an die Grenzwerte mit hohen Aktivierungsraten zu rechnen sein müsste. Grundsätzlich ist jedoch zu überdenken, ob das jetzige Verbot einzig an das Fahrzeuggewicht gekoppelt sein sollte. Die auch in den Interviews andiskutierten Ausnahmen für E-Lkw und Hybrid-Lkw oder auch neueren Diesel-Fahrzeugen könnten dazu beitragen, zusätzliche Anreize für Unternehmen zu schaffen, teuren Fahrzeuge anzuschaffen. Analog zu der Lkw-Maut für Bundesstraßen, bei der die streckenbezogene

Straßenbenutzungsgebühr sowohl von der Infrastrukturbelastung und der Schadstoffklasse der Fahrzeuge abhängen und Lkw mit alternativen Antrieben ausgenommen sind, könnte das Lkw-Durchfahrtsverbot nach Schadstoffklassen und Gewicht differenziert werden. Dadurch bestünde für Unternehmen die Möglichkeit, durch die Investition in schadstoffarme Fahrzeuge die Umwege und den zeitlichen Mehraufwand zu vermeiden. Zudem könnte dies einen Beitrag zur Erneuerung der Fahrzeugflotten hin zu umweltfreundlicheren Fahrzeugen leisten.

Förderhinweis:

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 588/18-11) wird aus Mitteln des Landes Hessen und der HOLM-Förderung im Rahmen der Maßnahme „Innovationen im Bereich Logistik und Mobilität“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung gefördert.



Kooperationspartner:

Wissenschaftsstadt Darmstadt
Kreisverwaltung Darmstadt-Dieburg
Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main
IHK Darmstadt Rhein Main Neckar

Projektleitung:

Christian Friedrich, M.Sc.

✉: : c.friedrich@log.tu-darmstadt.de

TU Darmstadt

Rechts- und Wirtschaftswissenschaften

Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik

Prof. Dr. Ralf Elbert

Hochschulstr. 1

64289 Darmstadt