

# Carbon Footprints aufgrund individuellem Verkehrsverhalten von unterschiedlichen Haushalten

Sebastian Petsch, Subhrajit Guhathakurta, Hans Hagen

(Dipl.-Ing. Sebastian Petsch, TU Kaiserslautern, Germany, petsch@informatik.uni-kl.de)  
(Prof. Dr. Subhrajit Guhathakurta, Arizona State University, AZ, USA, subhra.guha@asu.edu)  
(Prof. Dr. Hans Hagen, TU Kaiserslautern, Germany, hagen@informatik.uni-kl.de)

## 1 KURZFASSUNG

In diesem Paper wird verdeutlicht, inwiefern das tägliche Verkehrsverhalten unterschiedlicher Haushaltstypen zu unterschiedlichen Kohlenstoffdioxid-Emissionen führt. Als Aktionsraum dieser Arbeit dient Maricopa County, Arizona, USA. Basierend auf vorherigen Arbeitsschritten, in denen unterschiedliche Dimensionen von Haushaltsemissionen vorgestellt wurden, liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem unterschiedlichem Verkehrsverhalten der Haushalte. Als Grundlage diente die "Maricopa Regional Household Travel Survey" von 2001 sowie ein detailliertes Straßennetz von Arizona. Als Ergebnis wird gezeigt, in welchem Ausmaß Einkommen, Familiengröße sowie Tripdauer und die Auswahl von verschiedenen Verkehrsmitteln Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Haushalten haben. Darüber hinaus können somit die räumliche Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser unterschiedlichen Haushalte dargestellt werden. Als Ergebnis kann man festhalten, dass sowohl die Kriterien Bevölkerungsgruppe als auch der Standort der Haushalte geringere Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß haben als erwartet. Zur visuellen Unterstützung dieser Ergebnisse wird abschliessend auf eine bereits entwickelte dreidimensionale Visualisierungsmethode zurückgegriffen.

## 2 EINLEITUNG

Die Notwendigkeit zur Bekämpfung des Klimawandels hat sich in den letzten Jahrzehnten zunehmend gezeigt und zählt heutzutage zu den bedeutenden Problemfeldern einer nachhaltigen Umweltpolitik. Dabei spielt natürlich die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre eine besondere Rolle, da diese zu gravierenden Veränderungen des Klimas, sprich Erderwärmung sowie Niederschlagsverhalten, beiträgt. Laut zahlreichen internationalen Studien sowie den Ergebnissen der IPCC (International Panel for Climate Change) wird diese Beeinträchtigung unsers Klimas zwangsläufig zu negativen Auswirkungen auf die Gesundheit und Lebensqualität der Menschen auf der ganzen Welt führen. Kohlenstoffdioxid zählt in diesem Bezug zu einem der wichtigsten und gefährlichsten Treibhausgase. In den USA sind z.B. die energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen für 82% aller Treibhausgasemissionen verantwortlich (*US Department of Energy, 2010*). Besonders zum Tragen kommt dieser Gesichtspunkt in Agglomerationsräumen oder in Großstädten, in welchen allgemein anerkannt das Verkehrsaufkommen natürlich dementsprechend groß und die Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß ebenfalls entsprechend gravierend sind<sup>1</sup>. Laut des U.S. Census Bureaus sowie *des CIA World Factbook 2010* leben heute (Stand 2008) etwa 82% der Bevölkerung der Vereinigten Staaten (ca. 309 Mio. Einwohner) im urbanen Raum<sup>2</sup>.

Der Focus dieser Arbeit liegt nun darauf, inwiefern sich diese CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Haushaltsebene aufteilen, bzw. welche Faktoren ausschlaggebend sind, ob man nun für mehr oder weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich ist. Dabei kann man grundsätzlich zwischen 3 unterschiedlichen Dimensionen von Haushaltsemissionen unterscheiden, welche bereits in einem ersten Schritt dieser Arbeit eingeführt wurden (*Petsch et al., 2009*). Hauptaugenmerk in dieser Arbeit ist jedoch der Anteil des Carbon Footprints bezüglich Verkehr bzw. Transport.

Der Begriff „Carbon Footprint“ beschreibt dabei die Menge der Emissionen von CO<sub>2</sub>, welche von Einzelnen, in diesem Fall von einzelnen Haushalten, verursacht werden. Dabei wird untersucht, inwieweit dieser CO<sub>2</sub> Ausstoß von unterschiedlichen Haushaltsattributen abhängig ist und inwiefern das individuelle Verkehrsverhalten sowie der geographische Standort der einzelnen Haushalte ausschlaggebend sind. Als Aktionsraum der Arbeit wurde Maricopa County gewählt, eines von 15 Counties in Arizona und mit ca. 4,03 Mio. Einwohnern das bevölkerungsreichste County in besagtem Bundesstaat. Es umfasst hauptsächlich den

<sup>1</sup> Laut dem Bureau of Transportation Statistics waren im Jahr 2008 über 255 Mio. Fahrzeuge in den USA registriert. Zum Vergleich: im Jahr 1960 waren es lediglich knapp 74 Mio. Fahrzeuge.

<sup>2</sup> Im Vergleich: Der weltweite Anteil der urbanen Bevölkerung liegt derzeit bei 50,5% (CIA World Factbook, 2010)

Agglomerationsraum Phoenix, welcher sich aus 30 einzelnen Städten zusammensetzt. Die Stadt Phoenix an sich ist sowohl Countysitz als auch Hauptstadt des Staates Arizona.

### 3 ALLGEMEINES VORGEHEN

Wie bereits erwähnt liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf der Dimension Verkehr. Abbildung 1 zeigt die drei definierten Dimensionen eines kombinierten Carbon Footprint auf Haushaltsebene, wobei auf die Ergebnisse der Dimensionen *Energie* und *konsumierte Produkte* an dieser Stelle nicht eingegangen wird.

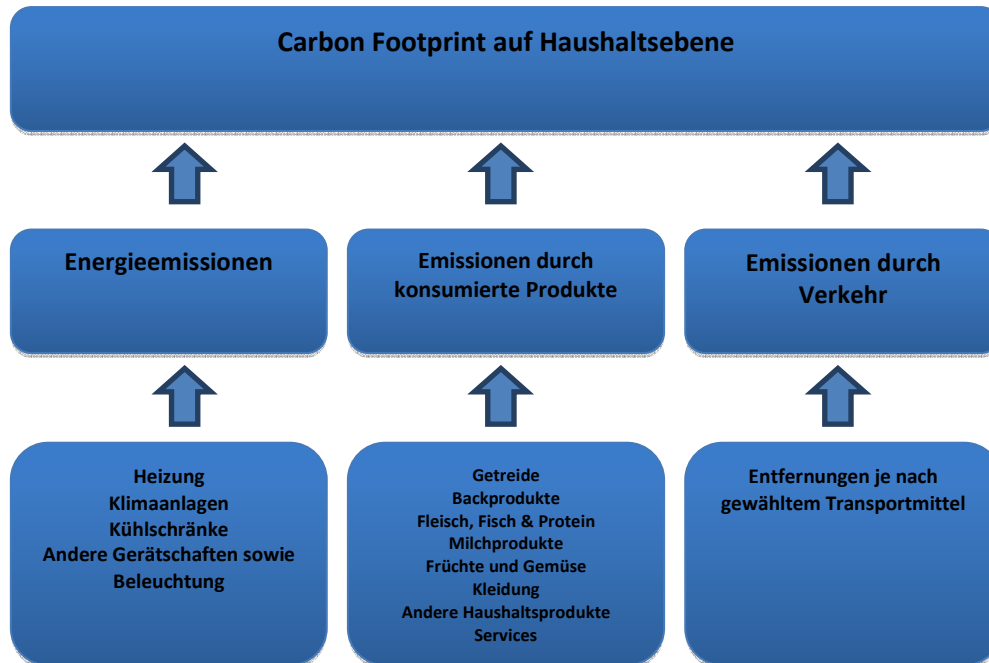


Abbildung. 1: Die drei Dimensionen eines kombinierten Carbon Footprints auf Haushaltsebene.

Vielmehr beschäftigt sich diese Arbeit im Folgenden ausschliesslich mit den Auswirkungen von Verkehrsverhalten auf den individuellen CO<sub>2</sub> Ausstoß. Das wachsende Interesse an diesem Thema spiegelt sich auch in zahlreichen Ansätzen und Arbeiten in der Literatur wider. Man kann unterscheiden zwischen Arbeiten, welche die Beziehung von Flächennutzung und Verkehr fokussieren (z.B. *Ewing and Cervero 2001, Handy 1996*), insbesondere die Beziehung zwischen gebauter Umwelt und Verkehrsverhalten (*Ewing et al. 2007, Hankey und Marschall 2009*) oder auch Ansätze, die deren Einfluss auf Energienutzung und somit auch CO<sub>2</sub> Ausstoß zum Thema nehmen, wie z.B. *EPA 2006*.

Weiterhin müssen die Arbeiten von *Bradley 2010* sowie *Gleave 2010* aufgeführt werden, welche nicht nur Emissionskoeffizienten für unterschiedliche Transportmittel aufzeigen, sondern auch Standards und somit Ansätze für die Berechnung von Verkehrsemissionen liefern. Dabei darf natürlich auch nicht außer Acht gelassen werden, dass zu jedem Zeitpunkt eines „vehicle life cycle“-Emissionen auftreten, sei es bei der Produktion, der eigentlichen Benutzung oder natürlich bei der Treibstoffherstellung. *Austin et al. (2003)* zeigen hierbei auf, dass lediglich 75 % der Gesamtemissionen durch die eigentliche Benutzung des Fahrzeuges entstehen, was für die in dieser Arbeit folgenden Berechnungen als Ausgangswert festgelegt wurde.

Bezüglich der genannten Haushaltskategorien wird, wie schon im ersten Schritt der Arbeit (*Petsch et al. 2009*) geschildert, zwischen den Attributen Einkommen, Bevölkerungsgruppe sowie Familiengröße unterschieden. Die frei zugänglichen Daten der *Expenditure Diary Survey (2008)*, welche bereits für die Dimension *konsumierte Produkte* herangezogen wurden, dienen auch hier als Grundlage, da sie mit den Kategorisierungen der Maricopa Regional Household Travel Survey, welche wiederum Grundlage für die Verkehrsberechnung bildet, übereinstimmen. Somit ist für alle definierten Dimensionen eine einheitliche Basis vorhanden, um später einen kombinierten Carbon Footprint für Haushalte angeben zu können.

Tabelle 1 zeigt die genaue Einteilung dieser Attribute auf bzw. definiert jede mögliche Kategorie von Haushalten.

Einkommensklasse	1: < \$10000
	2: \$10000 - \$19999
	3: \$20000 - \$34999
	4: \$35000 - \$49999
	5: \$50000 - \$70000
	6: > \$70000
Bevölkerungsgruppe	1: White/non-Hispanic
	2: Hispanic
	3: African American
	4: Asian/Pacific Islander
	5: American Indian
	6: Other
Familiengröße	1 - 8

Tabelle 1: Attribute für verschiedene Haushaltskategorien.

#### 4 BERECHNUNG DIMENSION VERKEHR

Als Grundlage für die Berechnung von haushaltsbasiertem Verkehrsverhalten dient die Maricopa Regional Household Travel Survey, welche von NuStats unter der Leitung der *Maricopa Association of Governments (MAG 2010)* von Februar bis Dezember 2001 durchgeführt wurde. Diese liefert Informationen über sowohl das geschäftliche als auch private Verkehrsverhalten von einzelnen Haushalten innerhalb einer Woche. Dies beinhaltet nicht nur die Dauer, sondern auch den Zweck der Fahrt (aufgeteilt in einzelne Wochentage). Die Umfrage liefert diese Informationen für 4018 beteiligte Haushalte, welche, wie schon zuvor erwähnt, unterschiedliche Attribute besitzen (Einkommen, Bevölkerungsgruppe, Familiengröße). Der Vorteil der Wahl dieser Umfrage war sicherlich auch die Tatsache, dass zudem für jeden Haushalt und deren Reiseziele exakte Koordinaten vorhanden waren. In Verbindung mit dem Straßennetz *Arizona Roads 2000*, welches ebenfalls von MAG bereitgestellt wurde, konnten demnach die Entfernung und somit auch die exakte Wegstrecke jeder Fahrt berechnet werden. Abbildung 2 zeigt exemplarisch eine solche Strecke eines zufällig gewählten Haushaltes auf.

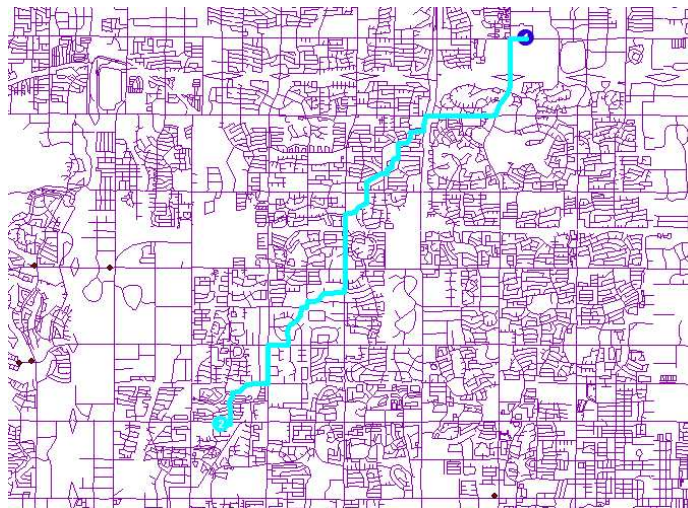


Abbildung. 2: Zufällig gewählter Ausschnitt vom Straßennetz Arizona Roads 2000 inklusive einer exemplarischen Haushaltfahrt.

Als Ergebnis können für jede mögliche Kategorie von Haushalten die exakten wöchentlichen Wegstrecken dargestellt werden. Dabei handelt es sich nicht um geschätzte oder hochgerechnete Fahrten, sondern aufgrund der durchgeführten Umfrage um ein echtes und repräsentatives Verkehrsverhalten einer U.S. Metropole. Die Tiefe der berechneten Ergebnisse bietet eine Vielzahl von möglichen Analysen. So hat man z.B. nun die Möglichkeit zu untersuchen, welche Faktoren Einfluss auf dieses Verkehrsverhalten besitzen. Betrachten man sich die einzelnen Fahrten abhängig von der Einkommensklasse der verschiedenen Haushalte,

so kann man festhalten, dass bei höherem Gehalt auch die durchschnittliche Streckenlänge steigt, wie in Abbildung 3 aufgezeigt. Die Gründe dafür sind nicht einfach festzulegen. Alleine die Annahme, dass Haushalte mit höherem Einkommen wohl eher in periphergelegenen Standorten angesiedelt sind und aufgrund dessen auch längere Anfahrtswege zum Arbeitsplatz besitzen, werden zu einem späteren Zeitpunkt dieser Arbeit in Frage gestellt.

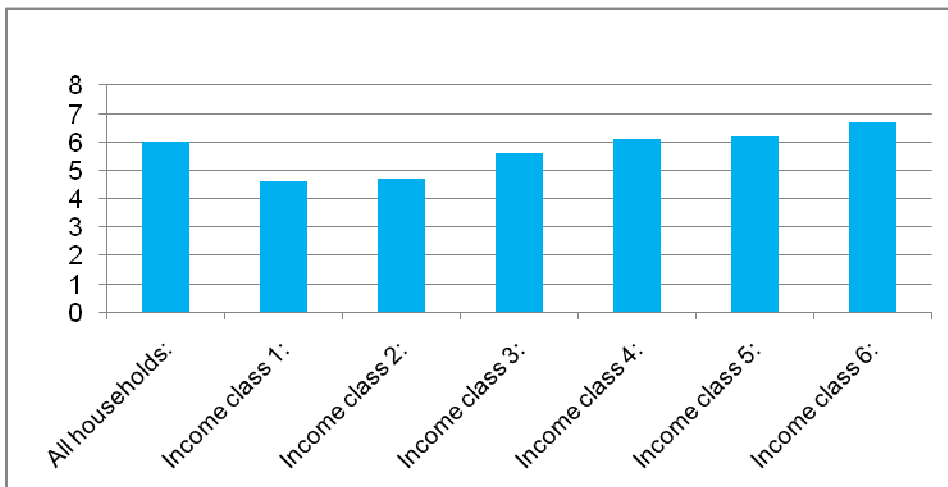
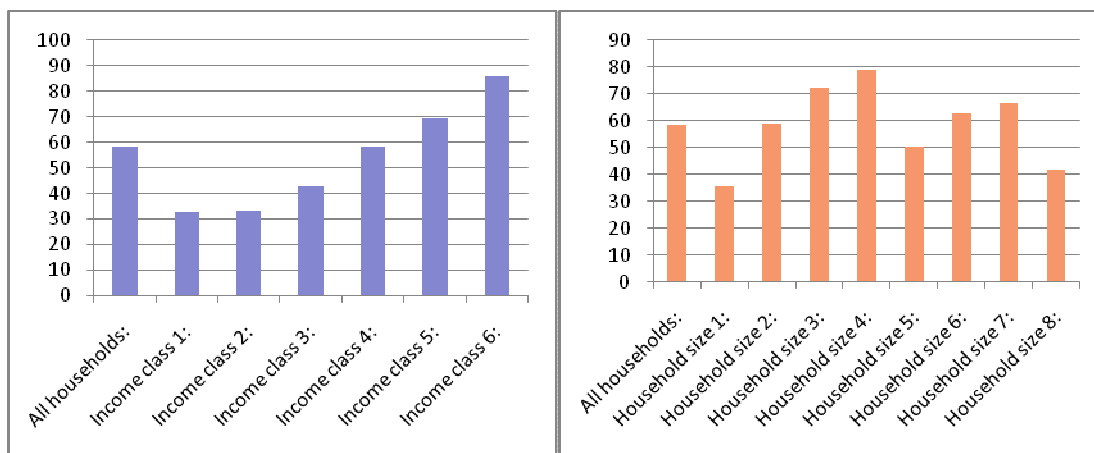


Abbildung. 3: Durchschnittliche Strecke (miles) pro Fahrt für unterschiedliche Einkommensklassen.

Neben der durchschnittlichen Streckenlänge spielt natürlich auch die wöchentliche Anzahl an Fahrten pro Haushalt eine große Rolle. Betrachtet man sich dies, wird besonders deutlich, dass das Einkommen ausschlaggebend für die zurückgelegte Gesamtstrecke ist (siehe Abbildung 4). Auch bezüglich des Attributes *Familiengröße* (Abbildung 5) kann man sofort eine Abhängigkeit zur Gesamtstrecke ausmachen, wenn auch nicht so eindeutig wie beim Einkommen. Vergleicht man allerdings diese Ergebnisse mit denen des Attributes Bevölkerungsgruppe (Abbildung 6), so wird klar, dass diese kein aussagekräftiges Muster liefern. Somit kann man schlussfolgern, dass dieses Attribut keinen ersichtlichen Einfluss auf das Verkehrsverhalten besitzt. Lediglich die Bevölkerungsgruppe *American Indian* weist eine erkennbar höhere Gesamtstrecke auf, was man gegebenenfalls auf den Standort dieser Haushalte zurückführen kann.



Abbildungen 4 und 5: Wöchentliche Strecke (miles) für unterschiedliche Einkommensklassen (4) und Familiengrößen(5).



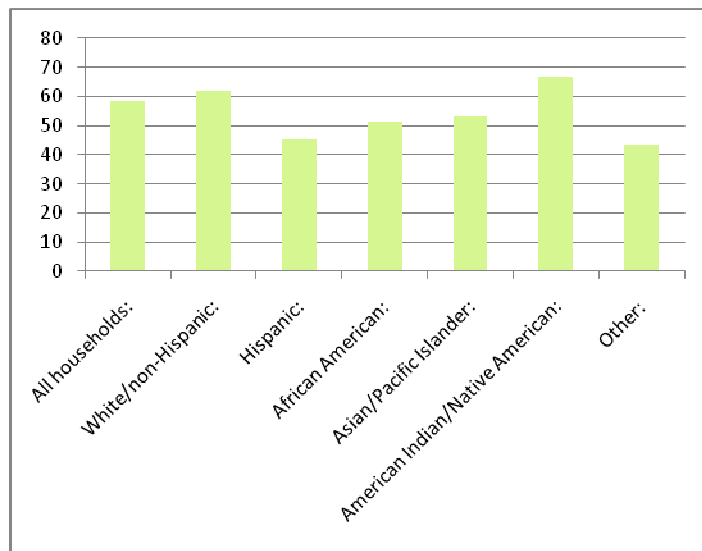


Abbildung 6: Wöchentliche Strecke (miles) für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen.

Nachdem die einzelnen Streckenlängen der unterschiedlichen Haushaltskategorien berechnet wurden, müssen nun bestimmte Koeffizienten für CO<sub>2</sub> herangezogen werden, um letztlich Emissionswerte berechnen zu können. Wie oben bereits erwähnt beinhaltet die Verkehrsumfrage zusätzlich auch Informationen zum gewählten Verkehrsmittel. Dies bedeutet, dass die einzelnen Fahrten der verschiedenen Haushalte zusätzlich nach der Wahl der Transportmittel aufgeteilt werden können. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt, wird an dieser Stelle lediglich zwischen 2 Arten von Verkehrsmitteln (PKW und Bus) unterschieden. Alle weiteren Verkehrsmittel sind für eine CO<sub>2</sub> Berechnung irrelevant (Fahrrad, zu Fuss), aufgrund der geringen Anzahl an Beteiligten nicht repräsentativ (Motorräder) oder fallen in eine der anderen Kategorien (Taxi<sup>3</sup>). Für die beiden verbleibenden Transportmittel liefert *Bradley et al. (2007)* die benötigten Koeffizienten in CO<sub>2</sub> Gramm pro Passagiermeile (Tabelle 2).

Cars:	371g CO <sub>2</sub> /passenger mile
Buses:	299g CO <sub>2</sub> /passenger mile

Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Koeffizienten per Transportmittel.

Bezüglich des oben erwähnten „vehicle life cycle“ ist es vor allem die Verbrennung von Treibstoff während der Fahrzeugnutzung, welche den Großteil der fahrzeugrelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Als weitere „Phasen“ in diesem Bezug kann man die Treibstoffproduktion, Konstruktion und Verbrauch von Rohmaterial nennen (*Austin et al. 2003*), welche an dieser Stelle jedoch nicht berücksichtigt werden. Ausschliesslich die Emissionen der eigentlichen Nutzung des Fahrzeugs werden an dieser Stelle herangezogen.

Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte können nun CO<sub>2</sub>-Emissionen für jeden in der Umfrage aufgeführten Haushalte (welche wiederum repräsentativ für Maricopa County zu betrachten sind) dargestellt werden. Abbildung 7 zeigt diese Ergebnisse, wobei an dieser Stelle darauf verwiesen werden muss, dass es sich bei den angegebenen Emissionswerten um Kilogramm CO<sub>2</sub> handelt. Diese repräsentieren eine Zeitspanne von 48 Stunden, welche als Zeitperiode innerhalb der Umfrage gewählt wurde. Für eine jährliche Bewertung der Emissionen werden diese Werte hochgerechnet, insbesondere ist es dabei sogar möglich, zwischen Wochen- und Wochenendtagen zu unterscheiden, da auch dies in der Umfrage differenziert wurde. Somit würden sich zusätzliche Analysemöglichkeiten ergeben, welche an dieser Stelle jedoch nicht weiter verfolgt werden.

Die Ergebnisse (Abbildung 7) lassen zunächst darauf schliessen, dass neben den genannten Haushaltsattributen die Standorte der Haushalte sowie die Flächennutzung in Maricopa County zu unterschiedlichen Carbon Footprints beitragen. Haushalte mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im Allgemeinen

<sup>3</sup> An dieser Stelle werden die Transportmittel Taxi und privater PKW gleichgesetzt

eher in ländlichen Standorten zu finden, oder aber an Standorten, deren Distanz zum nächstgelegenen Highway relativ groß ist. Diese These wird jedoch im weiteren Verlauf der Arbeit angezweifelt.

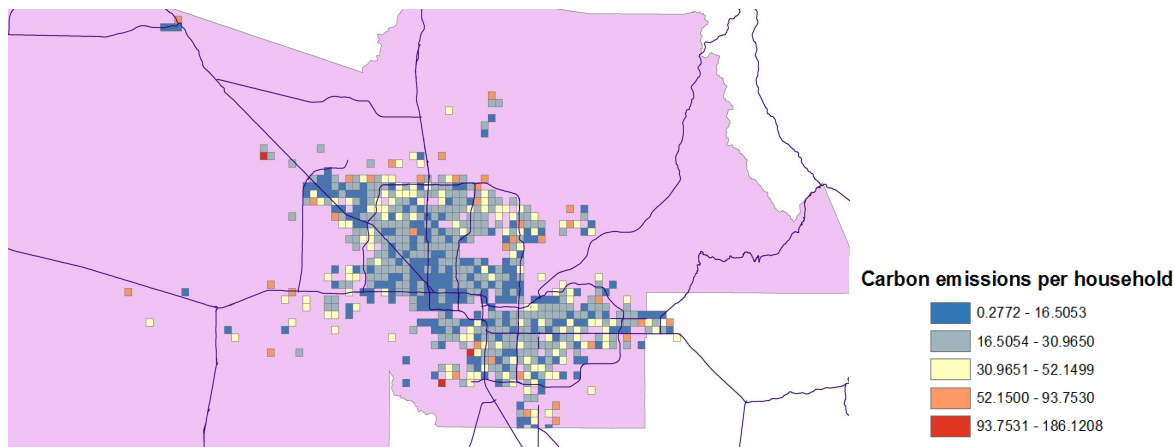


Abbildung 7: Carbon Footprint pro Haushalt in kg CO<sub>2</sub>.

## 5 DREIDIMENSIONALE DARSTELLUNG

In vorangegangenen Arbeiten (*Petsch et al. 2008 und 2009*) wurde bereits eine neue Methode vorgestellt, zweidimensionale GIS-Ergebnisse dreidimensional darzustellen. Diese Methode beruht auf *Coons Patches*, entwickelt von Steven Coons, und war eigentlich dafür gedacht, Oberflächen für den Automobilbau zu generieren. Dessen Grundprinzip (*Farin 1994*) kann man wie folgt zusammenfassen:

Basierend auf einer einheitlichen Zellstruktur wird ein Höhenfeld erschaffen, indem die Mittelpunkte der Zellen sowie die Ergebniswerte pro Zelle als Ausgangsdaten festgelegt werden. Somit erhält man einzelne Punkte im dreidimensionalen Raum, durch welche man wiederum einzelne Kurven durchlegen kann. Meist handelt es sich hierbei um interpolierte Splines. Die Coonspflaster erzeugen dann wiederum aus diesem Netzwerk von Kurven eine zusammenhängende Fläche. Wird diese Methode nun auf die Ergebnisse dieser Arbeit angewendet, so erhält man, wie in Abbildung 8 dargestellt, eine dreidimensionale Darstellung, welche den Vorteil besitzt, sogenannte „Ausreißer“ oder auffällige „single spots“ deutlich erkennbar aufzuzeigen. Um eine bessere Lokalisierung zu gewährleisten bzw. eine geographische Referenz zu integrieren, ist es zudem möglich, geographische Karten (z.B. Google Maps) als Hintergrundlayer einzufügen, worauf an dieser Stelle jedoch verzichtet wurde.

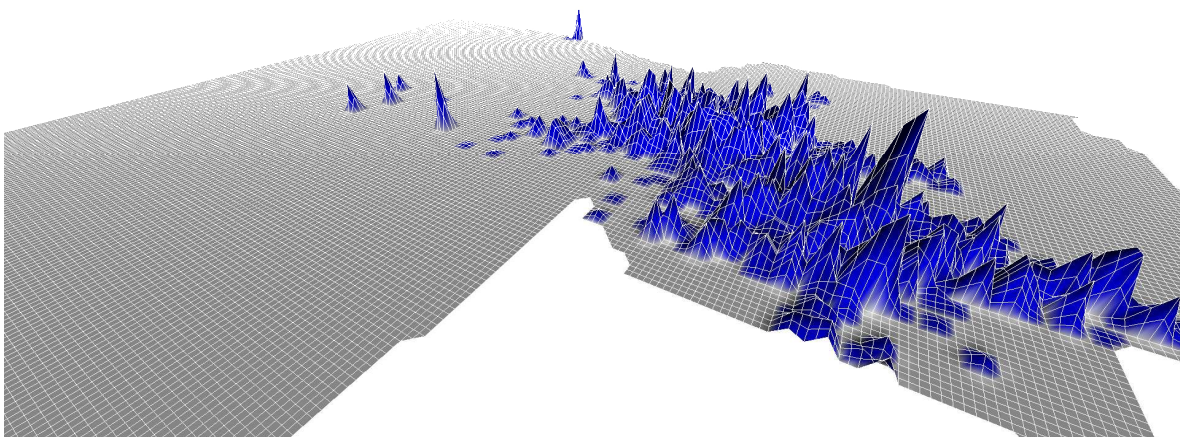
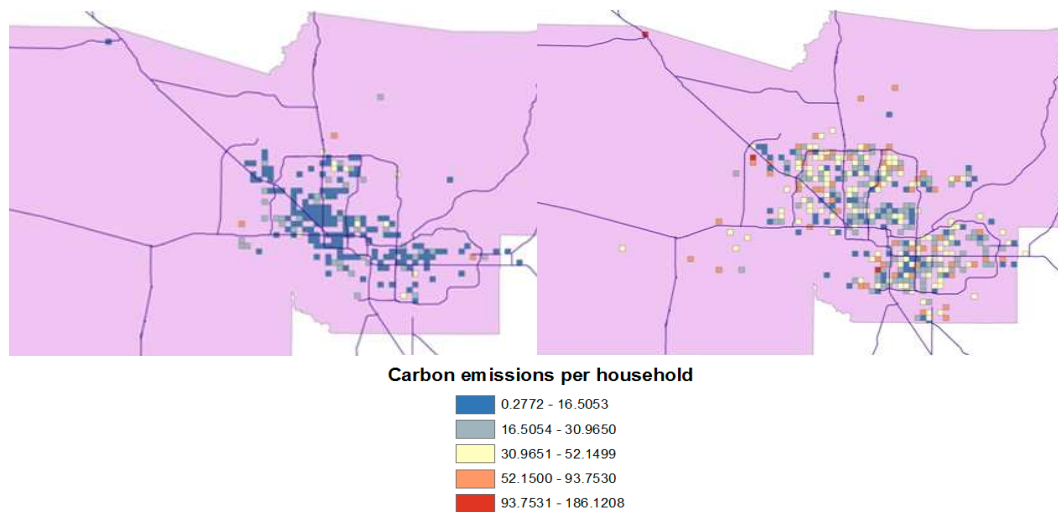


Abbildung 8: Carbon Footprint pro Gridzelle für alle Haushaltskategorien

Im Gegensatz zu Abbildung 7, in der jeder einzelne Punkt einen einzelnen Haushalt repräsentiert, werden in Abbildung 8 alle Haushalte der Umfrage in der jeweiligen Gridzelle akkumuliert. Dies bedeutet allerdings auch, dass hier nicht aufgrund unterschiedlicher Haushaltsattribute unterschieden wird. Und rückblickend auf den Beginn der Berechnung ist es natürlich interessant herauszufinden, inwiefern diese Attribute

ausschlaggebend sind, auch im Hinblick auf die geographische Verteilung der Emissionen. Um somit auf den Ausgangspunkt zurückzukommen, werden alle Haushalte hinsichtlich ihrer Einkommensklasse aufgespaltet. Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Emissionen für Haushalte mit Einkommensklasse 2 (Abbildung 9) sowie für Einkommensklasse 6 (Abbildung 10) dar.



Abbildungen 9 und 10: CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg für Einkommensklasse 2 (links) und 6 (rechts)

Auch hier zeigt sich wieder, dass eine höhere Einkommensklasse gleichbedeutend ist mit höheren Emissionen, wobei die Unterschiede bezüglich der geographischen Lage geringer sind als vielleicht angenommen. Eine eindeutige Aussage bezüglich der unterschiedlichen Lage der unterschiedlichen Haushalte kann man anhand dieser Ergebnisse nicht wirklich fällen. Um dies zu verdeutlichen, wird wiederum auf die dreidimensionale Darstellungsform zurückgegriffen. An dieser Stelle werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Haushaltswerten und dem berechneten Median, also Zentralwert, dargestellt, um etwaige „Ausreißer“ leicht ausmachen zu können. Abbildungen 11 und 12 zeigen dies für die schon zuvor genannten Haushalte mit den Einkommensklassen 2 und 6 auf. Hierbei werden alle Zellen rot gefärbt, sobald die Emissionswerte größer sind als der Median, während sie blau erscheinen, sobald die Emissionswerte geringer als der Median sind.

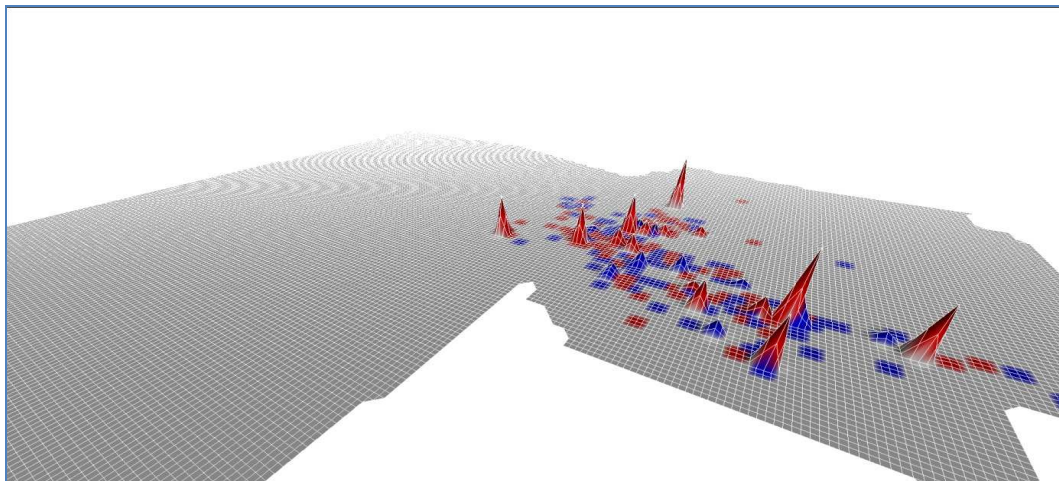


Abbildung 11: Unterschiede zwischen Emissionswerten und Median (2329 kg CO<sub>2</sub>) für Einkommensklasse 2

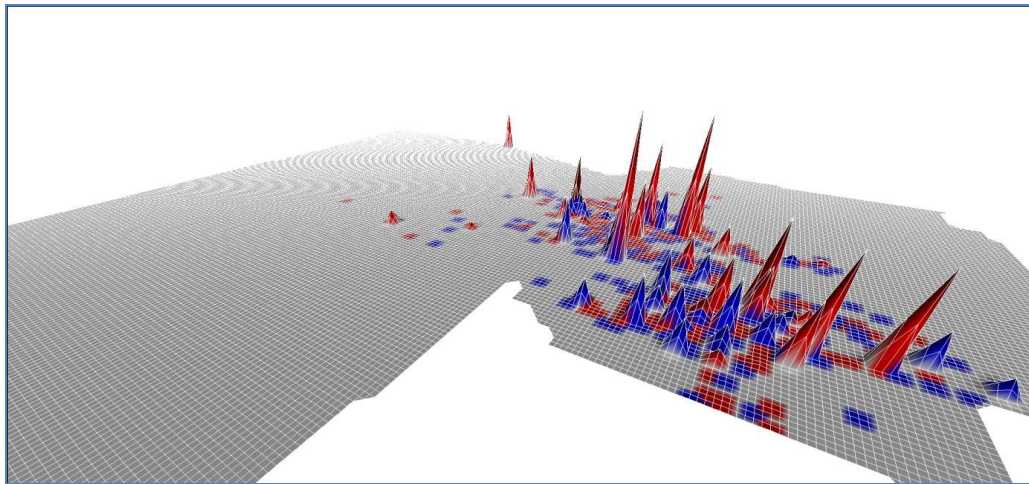


Abbildung 12: Unterschiede zwischen Emissionswerten und Median (5921 kg CO<sub>2</sub>) für Einkommensklasse 6

Die Spitzen in diesen Darstellungen zeigen deutlich auf, dass man nicht ohne Weiteres annehmen kann, dass Haushalte im suburbanen Raum automatisch auch höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen mit sich bringen. Man erkennt, dass wiederum höhere Einkommensklassen auch höhere Emissionswerte aufweisen und dass auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Haushalten in der höheren Einkommensklasse größer sind. Bezüglich der Standorte der beiden Haushaltsklassen kann man jedoch kaum Unterschiede ausmachen. Dies bestätigt wiederum die Annahme, dass nicht die Standorte sondern hauptsächlich die Haushaltsattribute ausschlaggebend für unterschiedliche Emissionswerte sind.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Paper wird dargestellt, inwieweit Attribute von Haushalten Einfluss auf den CO<sub>2</sub> Ausstoß im Bereich Verkehr haben können. Grundlage für diesen Ansatz war eine Haushaltsumfrage (Regional Household Travel Survey), mit deren Hilfe tatsächliche Verkehrswerte berechnet und analysiert werden konnten und man somit auch zu dementsprechenden Emissionswerten gelangen konnte. Dabei wurden sowohl zwischen unterschiedlichen Transportmitteln als auch zwischen unterschiedlichen Haushaltskategorien unterschieden. Abbildung 13 zeigt exemplarisch diese Unterschiede auf. Dabei repräsentieren die drei Zahlen auf der X-Achse verschiedene Kategorien von Haushalten. Die erste Zahl beschreibt die Einkommensklasse, die zweite Zahl die Bevölkerungsgruppe und die dritte Zahl die Familiengröße (siehe auch Tabelle 1).

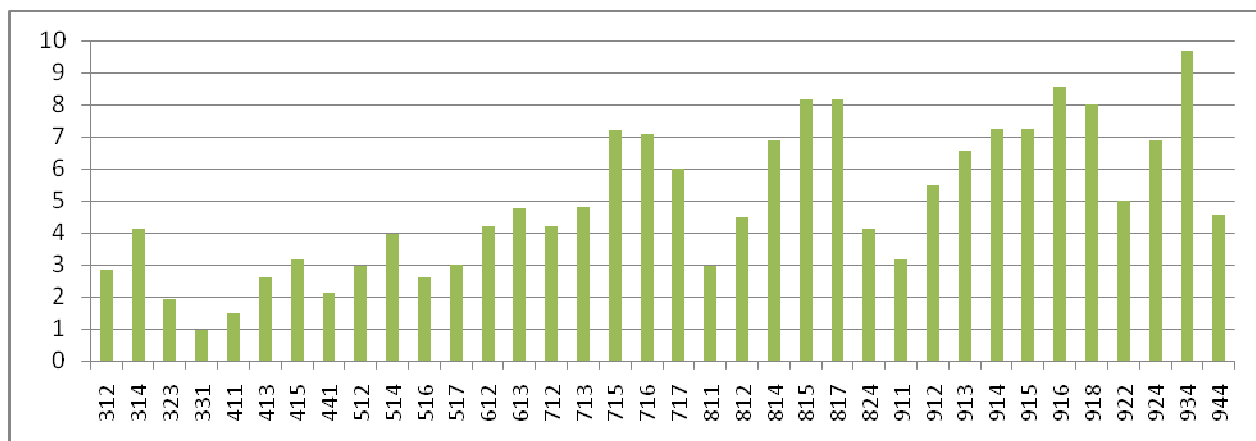


Abbildung 13: CO<sub>2</sub>-Emissionen (Verkehr) für unterschiedliche Haushalte in Metriktonnen pro Jahr

Die Wahl der in Abbildung 13 dargestellten Haushaltskategorien ist zufällig gewählt. Aufgrund der Tiefe der Ergebnisse ist es möglich, eine Vielzahl von zusätzlichen Haushaltskategorien darzustellen, worauf hier allerdings aus Platzgründen verzichtet wurde. Man kann jedoch hervorheben, dass nicht durchweg alle Eigenschaften bzw. Attribute eines Haushalts eine entscheidende Bedeutung hinsichtlich Emissionswerten besitzen. Es wurde aufgezeigt, dass Bevölkerungsgruppen sowie der geographische Standort eines Haushaltes weniger ausschlaggebend sind, als anfangs vielleicht vermutet. Dagegen geht besonders aus



Abbildung 13 deutlich hervor, dass sowohl Einkommen als auch die Haushaltsgröße ausschlaggebend für höhere Emissionswerte sind.

Führt man sich abschliessend nochmals Abbildung 1 vor Augen, so kann man festhalten, dass diese Arbeit eine Dimension eines kombinierten Carbon Footprints zum Thema hat. In Verbindung mit den beiden übrigen Dimensionen wird es Aufgabe in zukünftiger Arbeit sein, einen detaillierten Carbon Footprint auf Grundlage unterschiedlichster Attribute sowie Emissionsquellen aufzuzeigen, um Auswirkungen von Lebensstilen oder täglichem Konsum- oder Verkehrsverhalten auf die Umwelt deutlich zu machen und der Öffentlichkeit die Tragweite ihrer Entscheidungen vor Augen führen zu können.

## 7 ACKNOWLEDGEMENTS

Diese Arbeit wurde unterstützt und gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, grant number 1131) im Rahmen der Internationalen Graduiertenschule (International Research Training Group IRTG) in Kaiserslautern, Deutschland, als auch durch die Arizona State University, USA.

## 8 LITERATUR

- AUSTIN, D., ROSINSKI, N., SAUER, A., LE DUC, C.: Changing Drivers: The impact of climate change on competitiveness and value creation in the automotive industry, Published by World Resources Institute and WRI and Sustainable Asset Management (SAM), October, 2003
- BRADLEY AND ASSOCIATES (2007): Comparison of Energy Use & CO2 Emissions from different Transportation modes, submitted to American Bus Association, Verfügbar auf: <http://www.buses.org/files/ComparativeEnergy.pdf>, letzter Zugriff: Februar 2011
- BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS: Number of U.S. Vehicles, Verfügbar auf: [http://www.bts.gov/publications/national\\_transportation\\_statistics/html/table\\_01\\_11.html](http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/html/table_01_11.html), letzter Zugriff: Februar 2011
- CIA WORLD FACTBOOK: United States of America, Verfügbar auf: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/us.html>, letzter Zugriff: Februar 2011
- EWING, R., CERVERO, R.: Travel and the Built Environment: A Synthesis, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1780, Issue 1, pp. 87-114, 2001
- EWING, R., BARTHLOMEW, K., WINKELMAN, S., WALTERS, J., CHEN, D.: Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change. Urban Land Institute, Washington, DC. 2007
- FARIN, G.: Curves and Surfaces for CAGD, Wiesbaden, 1994
- GLEAVE, S.D.: Driving up Carbon Dioxide Emissions from Road Transport: An Analysis of Current Government Projections, A report for Transport 2000, Verfügbar auf: [http://www.foe.co.uk/resource/briefings/driving\\_up\\_co2\\_emissions.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/briefings/driving_up_co2_emissions.pdf) Letzter Zugriff: Februar 2011
- HANDY, S.: Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 1, Issue 2, pp. 151-165, December 1996
- HANKEY, S., MARSHALL, J.D.: Impacts of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions, Energy Policy, Volume 38, Issue 9, Special Section on Carbon Emissions and Carbon Management in Cities with Regular Papers, Pages 4880-4887, September 2010
- MARICOPA ASSOCIATION GOVERNMENTS: Maricopa Regional Household Travel Survey, CD-ROM, 2010
- PETSCH, S., HEISCHBOURG, L., MÜLLER, K., GUHATHAKURTA, S., HAGEN, H.: Visualizing Urban Sprawl, In Conference Compendium of IEEE Visualization Conference 2008, Columbus, OH, 2008
- PETSCH, S., HEISCHBOURG, L., MÜLLER, K., GUHATHAKURTA, S., HAGEN, H.: Monitoring und Visualisierung von Carbon Footprints im urbanen Raum, In Proceedings CORP 2009, Sitges, Spain, 2009
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY: Annual Energy Review 2009, Energy Information Administration. Verfügbar auf: <http://www.eia.doe.gov/aer/pdf/aer.pdf>, letzter Zugriff: December 2010
- U.S. DEPARTMENT OF LABOR, Bureau of Labor Statistics, Division of Consumer Expenditure Survey: 2006 Consumer Expenditure Diary Survey, CD-ROM, 2008
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: Report on Greenhouse Gas Emissions from the U.S. Transportation Sector, Verfügbar auf: <http://www.epa.gov/otaq/climate/420r06003.pdf>, letzter Zugriff: Februar 2011