Trennung von parkenden und am Verkehr teilnehmenden Fahrzeugen basierend auf einer automatischen Verkehrserfassung aus Luftbildern

Julia Knöttner¹, Dominik Rosenbaum² & Ansgar Brunn¹

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird eine Methode entwickelt, die auf Basis der automatischen Verkehrserfassung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), stehende Fahrzeuge in "parkend" und "am Verkehr teilnehmend" unterteilt. Bei der Erfassung, die Teilbereich des Projektes VABENE++ ist, werden während eines Helikopterfluges Fahrzeuge im Bild detektiert und über eine Bildsequenz getrackt, sodass anschließend für jedes wiedergefundene Fahrzeug mehrere Positionen vorliegen. Im Zuge dessen werden zahlreiche Verkehrsparameter gewonnen. Anhand dieser Daten wird die finale Unterscheidung mithilfe von Fuzzy-Logik realisiert. Neben den gegenwärtigen Umgebungseinflüssen werden dabei auch die benachbarten Fahrzeuge mit einbezogen.

1 Motivation

Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen e.V. (DLR) werden für das Projekt VABENE++ Methoden zur offiziellen Umsetzung notwendiger Rettungslogistik bei Katastrophen und Großveranstaltungen entwickelt (ROSENBAUM et al. 2011, GSTAIGER et al. 2015, GSTAIGER et al. 2016). Dazu zählen das Verkehrsmonitoring und die Lageerfassung. Im Zuge dessen werden während eines Fluges Verkehrsdaten aus Bildsequenzen extrahiert und anschließend zu einer mobilen Bodenstation übertragen.

Die Aufnahme, die im Burst-Mode realisiert wird, erfolgt mit einem vom DLR entwickelten 4k-Kamerasystem (Kurz et al. 2014). Innerhalb eines Bursts, der sich alle sieben Sekunden aus einer Serie von drei Bildern zusammensetzt, werden alle abgebildeten Fahrzeuge detektiert und anschließend getrackt. Die Fahrzeugdetektion erfolgt bei jedem ersten Bild. Das Tracking bezieht sich im Gegensatz dazu auf ein Bildpaar innerhalb eines Bursts. Für jedes getrackte Fahrzeug existieren infolgedessen mehrere Positionen (LEITLOFF et. al 2014).

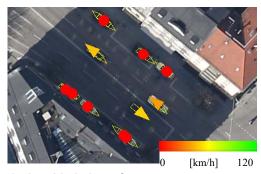


Abb. 1: Im Zuge der automatischen Verkehrserfassung des DLR wird eine Visualisierung der Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung ermöglicht.

¹ Hochschule für angewandte Wissenschaften, Labor für Photogrammetrie & Fernerkundung, Röntgenring 8, D-97070 Würzburg, E-Mail: [Julia.Knoettner; Ansgar.Brunn]@gmx.de

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Methodik der Fernerkundung, Münchener Str. 20, 82234 Weßling, E-Mail: Dominik.Rosenbaum@DLR.de

Anhand dieser gewonnenen Daten ist eine sofortige Ermittlung zahlreicher Verkehrsparameter möglich. Dazu zählen neben der Geschwindigkeit auch die zurückgelegte Strecke und die Fahrtrichtung. Mit Hilfe dieser Daten ist im Falle einer Katastrophe oder Großveranstaltung eine sofortige Darstellung der aktuellen Verkehrssituation möglich.

Damit das VABENE-System allerdings zukünftig auch für eine Betrachtung der Parkraumbelegung innerhalb der Großstädte eingesetzt werden kann, wird in diesem Beitrag eine Methodik entwickelt, die basierend auf der vorangehenden Verkehrsprozessierung alle stehenden Fahrzeuge aufsucht und anschließend eine Unterteilung in "am Verkehr teilnehmend" und "parkend" vollzieht. Darüber hinaus ist durch diese Methodik auch eine Bereinigung der Verkehrsdaten möglich, in dem die innerorts am Straßenrand entlang der Fahrtrichtung parkenden Fahrzeuge, die bisher als stehender Verkehr miterfasst wurden, aus den eigentlichen Verkehrsdaten entfernt werden. Dabei bleiben verkehrsbedingt stehende Fahrzeuge, wie z.B. im Stau oder vor einer roten Ampel, weiterhin in den Verkehrsdaten enthalten. Diese Klassifizierung der Fahrzeuge in "parkend" und "am Verkehr teilnehmend" basiert neben der Fuzzy-Logik auch auf vermessungstechnischen Grundüberlegungen und wurde unter Verwendung der Programmierbibliothek OpenCV vollzogen. Daher war neben der Statistik auch ein Bezug zur Geoinformatik ein wichtiger Grundstein für die Entwicklung.

2 Methodik

Als Datengrundlage dienen die vorab ermittelten Verkehrsparameter. Die finale Unterscheidung wird hauptsächlich unter Betrachtung der Nachbarfahrzeuge auf demselben Straßenabschnitt realisiert.

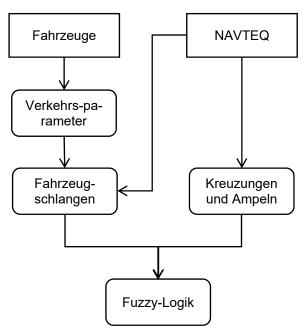


Abb. 2: Die Methodik für die Unterscheidung in "am Verkehr teilnehmend" und "parkend" unterliegt dem dargestellten Prozessdiagramm.

Aus diesem Grund werden Fahrzeugschlangen generiert, die sich aus hintereinanderfahrenden Fahrzeugen desselben Straßenabschnittes zusammensetzen. Darüber hinaus ist jede generierte Fahrzeugschlange parallel zur Mittelachse der Straße und verfügt nur über Fahrzeuge derselben Fahrtrichtung. Im Anschluss daran wird die endgültige Unterteilung mithilfe von Fuzzy-Logik vollzogen. Hierfür wird separat für die Fahrzeugschlangen und Fahrzeuge ohne Nachbarschaft

ein Fuzzy-System aufgebaut. Innerhalb eines solchen Systems fließen die Verkehrsparameter und die unmittelbare Umgebung der Fahrzeuge in die endgültige Bewertung mit ein.

2.1 Identifikation der Fahrzeugschlangen

Um Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Fahrzeugen untereinander herstellen zu können, wird zu Beginn eine Delaunay Triangulation durchgeführt. Alle Fahrzeugpositionen werden hierbei zu Dreiecken vermascht. Das Ergebnis ist ein Delaunay Graph, der aus Knoten und Kanten besteht (WESSLER & RÖPCKE 2015: 17). In diesem Fall repräsentieren die Knoten die Fahrzeugpositionen und die Kanten die Verbindungslinien zwischen den benachbarten Fahrzeugen. Unter der Annahme einer dichten Fahrzeugfolge richten sich die Kanten des Graphens vorzugsweise entlang der Fahrwege aus. Weitere Kanten kreuzen die Bereiche zwischen den Straßen.



Abb. 3: Mithilfe der Delaunay Triangulation werden alle Fahrzeuge miteinander vernetzt.

Unter Verwendung der Kanten werden für alle Fahrzeuge die unmittelbaren Nachbarfahrzeuge ermittelt. Um den Delaunay Graph anschließend auf Fahrzeugschlangen reduzieren zu können, wird für jedes Fahrzeug der zugehörige Straßenabschnitt lokalisiert. Im Anschluss daran wird für jede NAVTEQ Linie die zugehörige Fahrtrichtung ermittelt.



Abb. 4: NAVTEQ Straßenabschnitte stellen nahezu die Mittelachse der Straße dar.

Daraufhin wird der Graph auf Fahrzeugschlangen reduziert. Dabei wird das Ziel verfolgt, nur Verbindungslinien zwischen Fahrzeugen zu erhalten, die demselben Straßenabschnitt angehören. Das Nachbarfahrzeug sollte sich demzufolge direkt vor oder dahinter mit derselben Fahrtrichtung befinden. Um dies sicherzustellen, müssen Kanten aus dem Delaunay Graph eliminiert werden. Hierfür werden folgende Kriterien aufgestellt, die eine solche Kante erfüllen muss:

- Kantenrichtung ≈ NAVTEQ Richtung
- Fahrtrichtung \approx NAVTEQ Richtung
- Pro NAVTEQ ID: Pro Fahrzeug nur ein Nachbarfahrzeug
- Pro NAVTEQ ID: Fahrzeug fungiert nur einmal als Nachbar

Die Kantenrichtung ist der Richtungswinkel (GRUBER & JOECKEL 2014, S. 40) vom Fahrzeug zum Nachbarfahrzeug. Dieser Winkel muss nahezu mit der NAVTEQ Richtung übereinstimmen. Dasselbe betrifft die Fahrtrichtung. Für die Erzeugung von Fahrzeugschlangen ist es notwendig pro Fahrzeug nur ein zugehöriges Nachbarfahrzeug zuzulassen. Ebenso darf ein Fahrzeug nur einmal als Nachbarfahrzeug fungieren. Da eine Fahrzeugschlange eine nahezu gerade verlaufende Linie darstellt, ist diese zusätzliche Bedingung erforderlich. Falls eine Kante einer dieser Kriterien nicht erfüllt, wird das Nachbarfahrzeug aus der bestehenden Nachbarschaftsbeziehung ausgeschlossen. Demzufolge werden Fahrzeugschlangen generiert, die nahezu parallel zur Mittelachse der Straße verlaufen.

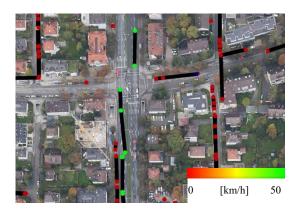


Abb. 5: Die Fahrzeuge werden zu Fahrzeugschlangen gruppiert.

2.2 Identifikation von Straßenkreuzungen und Ampeln

Für die Unterscheidung in "parkend" und "am Verkehr teilnehmend" ist des Weiteren ein Bezug zu den umliegenden Straßenkreuzungen und Ampeln erforderlich. Fahrzeuge, die sich im nahen Umkreis einer Straßenkreuzung oder Ampel befinden nehmen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit am Verkehr teil. Im Gegenzug zu den Ampeln, deren Positionen bekannt sind, müssen die Straßenkreuzungen auf Basis der NAVTEQ Daten erstmalig mittels Template Matching lokalisiert werden. Auf Basis dieser Daten wird im Anschluss geprüft, ob sich Fahrzeuge innerhalb eines solchen Umkreises befinden. Hierfür wird ein separates Binärbild erzeugt, in diesem die Ampel- und Straßenkreuzungen als Kreise repräsentiert werden. Der jeweilige Radius wird durch die Fahrbahnanzahl der umliegenden Straßenabschnitte beeinflusst. Daraufhin werden die Pixelwerte der Fahrzeuge im Binärbild abgegriffen.

2.3 Fuzzy-Logik

Die finale Unterscheidung in parkend und am Verkehr teilnehmend wird abschließend mithilfe der Fuzzy-Logik vollzogen. Für die Fahrzeugschlangen und Fahrzeuge ohne Nachbarschaft wird dabei ein separates Fuzzy-System aufgebaut. Anhand definierter Regeln werden innerhalb eines Systems verschiedene Sachverhalte miteinander verknüpft und bewertet (BOTHE 1995, S.1). Dies sind die Fahrgeschwindigkeit, Fahrzeugdichte innerhalb einer Fahrzeugschlange, Straßenkreuzungen, Ampeln, sowie die Straßen- und Fahrbahnkategorie. Das System erhält und übergibt scharfe Werte. Im Zuge der Fuzzifikation und Defuzzifikation erfolgt eine

Umwandlung der Werte in das jeweils andere System, sodass innerhalb des Systems mit unscharfen Werten gearbeitet wird (BOTHE 1995: 142).

Im Zuge der Fuzzifikation werden die Fahrzeugschlangen und Fahrzeuge innerhalb verschiedener Fuzzy-Systeme betrachtet. Für die Bewertung der örtlichen Gegebenheiten werden bei der Fuzzifikation linguistischen Variablen definiert. Die Variable Geschwindigkeit ist Teil des Systems. Unter Berücksichtigung der Genauigkeit in der Fahrzeugerfassung werden in dieser Arbeit alle Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von weniger als 5km/h als stehend angesehen (HINZ et al. 2007). Da Straßenkreuzungen und Ampeln das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer beeinflussen, ist dies ebenso eine linguistische Variable. Diesbezüglich erfolgte für alle Fahrzeug eine Prüfung, ob in unmittelbarer Umgebung eine Straßenkreuzung oder Ampel existiert. Der Sachverhalt wird anschließend unter Berücksichtigung der Anzahl der Fahrbahnen im System mitberücksichtigt. Eine weitere Einflussgröße ist die Straßenkategorie. Die Straßenabschnitte wurden bezüglich ihrer Funktion und der zulässigen Fahrgeschwindigkeit verschiedenartig klassifiziert (DIGITAL MAP TECHNOLOGY 2017). Die Straßenkategorie ist ausschlaggebend für die besondere Berücksichtigung von Fahrzeugen innerhalb von Wohngebieten. Diese werden innerhalb des Systems speziell gewichtet. Der letzte wichtige Bestandteil ist die Fahrzeugdichte innerhalb der Fahrzeugschlange. Diese Variable ist nur Teil des Systems der Fahrzeugschlangen und gibt Auskunft darüber, wie dicht die Fahrzeuge hintereinanderstehen oder -fahren. Stehen Verkehrsteilnehmer an einer Straßenampel oder Kreuzung sehr dicht hintereinander, so kann davon ausgegangen werden, dass diese verkehrsbedingt stehen. Ein hierfür geeigneter Dichtewert liegt bei mindestens 0,15 (VAN AERDE & RAKHA 2002).

Zur Verknüpfung der einzelnen Sachverhalte werden Fuzzy-Regeln in einer Wenn-Dann-Form formuliert (NOLL 2009: 49). Innerhalb jeder Regel werden die linguistischen Variablen mit einem "und" miteinander verknüpft.

THEN Geschwindigkeit **Dichte Einfluss** Straßenkategorie **Parkend** Langsam Niedrig Niedrig Hoch Langsam Niedrig Hoch Niedrig Langsam Hoch Hoch -Niedrig Schnell _ Niedrig Langsam Hoch Niedrig Hoch Langsam Niedrig Mittel Niedrig Hoch Mittel Hoch Langsam Niedrig Niedrig Hoch Langsam Hoch Mittel Niedrig Langsam Hoch Mittel Niedrig Hoch

Tab. 1: Regeln für Fahrzeugschlangen

IF			THEN
Geschwindigkeit	Ein-	Straßenkategorie	Parkend
Langsam	Niedrig	-	Hoch
Langsam	Hoch	-	Niedrig
Langsam	Mittel	Hoch	Niedrig
Langsam	Mittel	Niedrig	Hoch
Schnell	-	-	Niedrig

Tab. 2: Regeln für Fahrzeuge ohne Nachbarschaft

Im Anschluss daran wird der Zugehörigkeitsgrad zur Regelbasis ermittelt. Die Vektordimension entspricht dabei der Anzahl der jeweiligen Regeln. Hierbei werden die Werte für die in der Regel stehenden linguistischen Terme ermittelt. Da es sich hierbei um eine "und"-Verknüpfung handelt, wird für den Zugehörigkeitsgrad zur jeweiligen Regel das Minimum von allen Werten herangezogen (NOLL 2009: 64). Im Zuge der Akkumulation werden die Teilergebnisse mit einer *Oder*-Verknüpfung zu einem endgültigen Fuzzy-Set kombiniert. Da es sich bei "parkend" oder "am Verkehr teilnehmend" um eine *Oder*-Verknüpfung handelt, wird der Maximum-Operator verwendet (MAYER et al. 1993: 79). Die Ausgangsvariable hierfür ist die linguistische Variable "Parkend" mit den linguistischen Termen "niedrig" und "hoch", wobei "niedrig" für am Verkehr teilnehmend" und "hoch" für parkend steht.

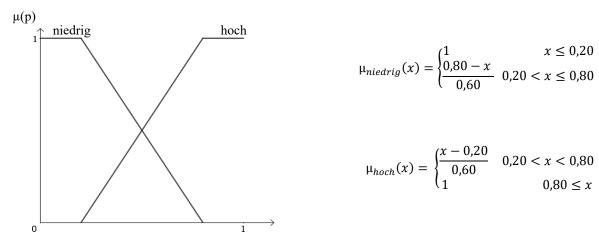


Abb. 6: Mithilfe der linguistischen Variable "Parkend" wird die finale Unterscheidung in "am Verkehr teilnehmend" und "parkend" vollzogen.

Mithilfe der daraus resultierenden Fuzzy-Menge werden für die Fahrzeuge die scharfen Ausgangswerte ermittelt. Für diese Defuzzifikation wird die Maximum Mittelwertverfahren verwendet, sodass sich der scharfe Ausgangswert aus dem arithmetischen Mittel der Maxima ergibt (BOTHE 1995: 146).

3 Prozesskette & Experimente

Die Methode wurde in das operationelle System der Verkehrserfassung aus Luftbildsequenzen übernommen. Die modular aufgebaute Prozesskette besteht somit aus einem Kameramodul, einem Orthoprozessor, dem Verkehrsdetektor (MATTYUS et al. 2013, LEITLOFF et al. 2014) und dem hier vorgestellten Prozess zur Trennung von parkenden und stehenden Fahrzeugen. Diese Module laufen in Echtzeit auf den Computern des 4k Systems an Bord des Hubschraubers. Über den im 4k Kamerasystem installierten C-Band Datenlink werden dann die erzeugten Verkehrsdaten samt Klassifikation in "parkend" oder "stehend" nahezu verzögerungsfrei zu einer

Bodenstation übertragen. Von dort aus können diese den Nutzern des Systems, wie z.B. den Einsatzkräften während eines Großereignisses, zur Verfügung gestellt werden.

Das Kameramodul verbindet dabei die Luftbildaufnahmen mit den Globalen Navigationssatellitensystem (GNSS)- und Fluglagedaten, um die Bilder im nächsten Schritt im Orthoprozessor
unter Berücksichtigung eines geeigneten Digitalen Höhenmodells zu georeferenzieren und zu
orthorektifizieren. Der auf Maschinen-Lernalgorithmen basierende Verkehrsprozessor detektiert im nächsten Schritt in den orthorektifizierten Luftbildern die Fahrzeuge, welche in überlappenden Bereichen der Luftbildsequenzen dann per template-matching getrackt werden. Unterstützt werden die Detektion und das Tracking durch die Berücksichtigung einer Straßendatenbank, wie NAVTEQ oder OpenStreetMap. Somit liegen für die detektierten und getrackten
Fahrzeuge die Parameter wie Position, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit vor, welche dann
im nächsten Schritt in "parkend" oder "verkehrsbedingt stehend" klassifiziert werden. Demnach ist es möglich, die Verkehrsdaten von den parkenden Fahrzeugen zu bereinigen oder Parkräume entlang der Straßen zu identifizieren.

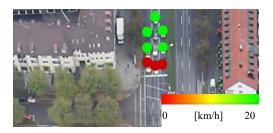


Abb. 7: Mithilfe der Daten ist eine Identifikation der Parkräume möglich.

Durch einen Defekt am Fluglage- & GNSS System, der während des zur Evaluierung der Online-Prozesskette durchgeführten Testflugs am 4.10.2018 auftrat, konnte diese mit der hier vorgestellten Erweiterung bisher noch nicht im Flug getestet werden. Die erweiterte Prozesskette wurde jedoch ausführlich im Postprocessing mit Archivdaten von einem Flug mit dem 4k System am 30.3.2017 über München getestet. Dabei wurden 588 Bilder prozessiert, die über 4 verschiedenen Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen zwischen 13:21 Uhr und 13:50 Uhr UTC aufgenommen wurden.

4 Fazit & Ausblick

Die Unterscheidung unterliegt dem Einfluss der Verkehrserfassung, da mögliche Fehldetektionen in das Endergebnis mit einfließen. Darüber hinaus kann das Ergebnis durch die Bildung von Nachbarschaftsbeziehungen ebenso negativ beeinträchtigt werden. Ist innerhalb einer Fahrzeugschlangen eine Bewegung, so werden alle Fahrzeuge als "am Verkehr teilnehmend" markiert. Die Genauigkeit der NAVTEQ Linien ist ebenso erforderlich, da anhand dieser Daten die Straßenkreuzungen ermittelt werden. Eine Situation vor einer Ampel ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



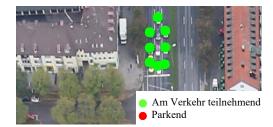


Abb. 8: Fahrzeuge, die vor einer Ampel verkehrsbedingt stehen werden vom Algorithmus als "am Verkehr teilnehmend" klassifiziert.

Die vorderen Fahrzeuge stehen, wobei die hinteren Fahrzeuge eine geringe Fahrgeschwindigkeit aufweisen. Die Fahrzeuge auf der mittleren Spur wurden von der automatischen Verkehrserfassung nicht erkannt. Da die Fahrzeuge sich direkt vor einer Ampel befinden und darüber hinaus dicht hintereinanderstehen, werden sie mithilfe der Methodik als "Am Verkehr teilnehmend" markiert. Das Resultat zeigt die rechte Abbildung. Die am Verkehr teilnehmenden Fahrzeuge werden hier als grüne Punkte dargestellt.

In diesem Beitrag wurde ein gut geeigneter Algorithmus entwickelt, mit dem die Verkehrsdaten neben einer Verkehrssimulation zukünftig auch zur Betrachtung der Parkraumbelegung innerhalb der Großstädte genutzt werden können.

5 Literaturverzeichnis

- BOTHE, H., 1995: Fuzzy Logic Einführung in Theorie und Anwendung, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- DAM, E.: Digital Map Technology Has Arrived, http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/tutorial%208%20dam-%20navteq.pdf, letzter Zugriff 21.11.2017.
- GRUBER, F. & JOECKEL, R., 2014: Formelsammlung für das Vermessungswesen, 17. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- GSTAIGER, V., RÖMER, H., ROSENBAUM, D. & HENKEL, F., 2015: Airborne Camera System for Real-Time Applications Support of a National Civil Protection Exercise. The Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 40(7/W3), 1189-1194.
- GSTAIGER, V., RONALD NIPPOLD, R. & KIEFL, R., 2016: Forschungsprojekt VABENE++: Verkehrsmanagement bei Großereignissen und Katastrophen. Im Einsatz (6), 34-36, Verlag Stumpf & Kossendey GmbH
- HINZ, S., KURZ, F., WEIHING, D., SUCHANDT, S., MEYER, F. & BAMLER, R., 2007: Evaluation of Traffic Monitoring based on Spatio-Temporal Co-Registration of SAR Data and Optical Image Sequences. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 2007(5), 309-325.
- KURZ, F., ROSENBAUM, D., MEYNBERG, O. & MATTYUS, G., 2014: Real-time mapping from a helicopter with a new optical sensor system. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 23, 1-8.
- LEITLOFF, J., ROSENBAUM, D., KURZ, F., MEYNBERG, O. & REINARTZ, P., 2014: An Operational System for Estimating Road Traffic Information from Aerial Images. Remote Sensing, 6(11), 11315-11341.
- MATTYUS, G., KURZ, F. & ROSENBAUM, D., 2013: A real-time optical airborne road traffic monitoring system. Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition, 645-656.
- MAYER, A., MECHLER, B., SCHLINDWEIN, A. & WOLKE, R., 1993: Fuzzy Logic. 1. Auflage, Addison-Wesley, Bonn.

- NOLL, P., 2009: Statistisches Matching mit Fuzzy Logic. 1. Auflage, Vieweg+Teubner, Marburg.
- ROSENBAUM, D., BEHRISCH, M., LEITLOFF, J., KURZ, F., MEYNBERG, O., REIZE, T. & REINARTZ, P., 2011: An airborne camera system for rapid mapping in case of disaster and mass events. Proceedings of the Earth Observation for Global Change, 1-5.
- VAN AERDE, M. & RAKHA, H., 2002: Multivariate Calibration of Single Regime Speed-Flow-Density Relationships. IEEE Xplore, DOI: 10.1109/VNIS.1995.518858.
- WESSLER, M. & RÖPCKE, H., 2015: Graphen und Netzwerktheorie. 1. Auflage, Carl Hanser Verlag München, München.