



IMAGinE

Deliverable 1.1 Einordnung kooperativer Funktionen

AP1.1 Einordnung kooperativer Funktionen

Version:	v1.0
Editor:	MAN Truck & Bus AG
Projektkoordination:	Adam Opel GmbH
Fälligkeitsdatum:	28.02.2017
Erstellungsdatum:	10.04.2017
Veröffentlichung:	17.05.2017

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DOKUMENTENINFORMATION

AUTOREN

Dr. Stefan Gläser (VW)

Thomas Grotendorst (CONTI)

Dr. Anna Julia Karmann (MAN)

Marc Simon (CONTI)

Peter Strauss (MAN)

Dr. Sebastian Strunck (CONTI)

Tito Tang (MAN)

Sebastian Völl (MAN)

Dr. Peter Zahn (BMW)

REVIEWER

Dr. Anna Julia Karmann (MAN)

Maxim Dolgov (BOSCH)

Dr. Peter Zahn (BMW)

KONTAKT

Dr. Anna Julia Karmann

Engineering Research Electronic Systems (EZRES)

MAN Truck & Bus AG

Dachauer Str. 667

80995 München

Tel.: +49-89-1580-5064

E-Mail: anna-julia.karmann-ext@man.eu

INHALTSVERZEICHNIS

Einordnung kooperativer Funktionen	1
1 Was ist Kooperation?	2
1.1 Motivation für kooperatives Verhalten	3
1.2 Ursachen und Voraussetzungen und Modelle für Kooperation im Straßenverkehr	4
1.3 Kooperationsverständnis nach IMAGinE	7
1.4 Stufen der Kooperation	9
2 Kooperative Fahrsituationen	12
Quellenverzeichnis	14

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Hierarchie der Entscheidung zu kooperativem Verhalten im Straßenverkehr ...	5
Abbildung 1.2: Modellierung von kooperativem Verhalten im Straßenverkehr	6

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.2: Übersicht der IMAGinE Kooperationsfähigkeitsstufen	10
Tabelle 2.1: Beispielpfad für das Szenario S2a Auffahrt durch Linkseinbiegen aus Funktion F5	12
Tabelle 2.2: Einordnung Fahrfunktionen und Use Cases zu Metakategorien	13

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AD	Automated Driving
CAM	Cooperative Awareness Message
DENM	Decentralised Environmental Notification Message
EPM	Environmental Perception Message
IKS	IMAGinE-Kooperationsfähigkeitsstufen
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
SAE	Society of Automotive Engineers
StVG	Straßenverkehrsgesetz
UC	Use Case
V2X	Vehicle-to-X

EINORDNUNG KOOPERATIVER FUNKTIONEN

Die Vehicle-to-X-Kommunikation nach dem heutigen Stand zielt darauf ab, verkehrsrelevante Daten über das eigene Fahrzeug anderen Verkehrsteilnehmern mitzuteilen. Diese sollen dazu genutzt werden, die Fahrer anderer Fahrzeuge über mögliche Gefahren oder sonstige Rahmenbedingungen zu informieren. Die Praxistauglichkeit der V2X-Kommunikation wurde bereits im Förderprojekt simTD (Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland, www.simtd.de) demonstriert. Das Projekt IMAGinE setzt daher die Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit „Day One“-Funktionalität (Senden, Empfangen und Verarbeiten der V2X-Nachrichten CAM und DENM) voraus.

IMAGinE untersucht nun darüber hinaus das Potenzial der Absprache von Fahrmanövern unter Mitteilung zusätzlicher Fahrumgebungsdaten mithilfe von V2X-Kommunikation. Dazu wird überprüft, inwieweit technische Erweiterungen von V2X-Kommunikation Fahrzeuge in die Lage versetzen, das menschliche Kooperationsverhalten zu unterstützen.

Der Straßenverkehr ist größtenteils widerspruchsfrei organisiert. Dennoch gibt es Situationen, welche sich allein auf Basis der Straßenverkehrsregeln nicht auflösen lassen. Üblicherweise lösen die Fahrer betroffener Fahrzeuge dies durch Kooperation. Eine technische Unterstützung in solchen kooperativen Situationen soll dabei helfen Stress, Staus und Unfälle zu vermeiden. Des Weiteren kann durch Kooperation die Möglichkeit geschaffen werden, Manöver zu beschleunigen ohne Sicherheit einbüßen zu müssen.

Zunächst soll daher Kooperation definiert werden – allgemein und als Kooperationsverständnis nach IMAGinE. Im Anschluss erfolgen eine Definition der Stufen der Kooperation sowie ein Überblick über Verkehrssituationen, die eine Kooperation der beteiligten Fahrer benötigen. Idealerweise wird jede der beschriebenen Fahrsituationen durch eine der im Rahmen von IMAGinE umgesetzten Funktionen adressiert.

1 WAS IST KOOPERATION?

Durch die Zielsetzung dieses Projektes, die Kooperation im Straßenverkehr durch den Einsatz von zukunftsweisenden Technologien zu verbessern, ergibt sich die Notwendigkeit, die Kooperation von Menschen, insbesondere im Straßenverkehr, besser zu verstehen und als Ausgangspunkt zu nutzen. Zur Unterstützung dieses Zieles soll dieses Kapitel eine Möglichkeit darstellen, wie Kooperation von Menschen beschrieben werden kann und welche Faktoren diese beeinflussen.

Der Begriff der Kooperation wird in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt, sodass es schwer ist, eine allgemeingültige Definition festzulegen. Das Konzept der Kooperation findet beispielsweise in der Robotik (Barnes & Gray, 1991; Bengler, Zimmermann, Bortot, Kienle & Damböck, 2012; Premvuti & Yuta, 1990) sowie in wirtschaftswissenschaftlichen Theorien (Fehr & Schmidt, 1999; Grandner, 1996; Miller, Butts & Rode, 2002) Anwendung, insbesondere aber auch im Kontext von Spieltheorie und Social Dilemma (Balliet, Parks & Joireman, 2009; Balliet, 2010; Kollock, 1998). Auch wird Kooperation von Individuen in der Sozialpsychologie untersucht, voranging bei Theorien zu sozialem Lernen und Gruppendynamiken (Biele, 2007; Jonas, Stroebe & Hewstone, 2014). Für einen detaillierten Überblick über die Bedeutung des Begriffs der Kooperation, und um grundlegende beeinflussende Faktoren zu identifizieren, fokussieren wir zuerst den Begriff der Kooperation im Allgemeinen und darauffolgenden speziell kooperatives Verhalten im Straßenverkehr.

Der Ursprung des Wortes Kooperation stammt aus dem Lateinischen von co (zusammen) und operatio (Arbeit, Arbeiten, Tun). Der Duden definiert zudem die generelle Bedeutung des Wortes als Zusammenarbeit (Duden, 2017). Häufig wird diese Definition dadurch ergänzt, dass ein gemeinsames Ziel vorhanden sein muss, auf das zusammen gearbeitet wird (Khamis et al., 2006; Nisbet, 1968). Khamis et al. (2006) deuten Kooperation so, dass Menschen zusammen an einem gemeinsamen Ziel und nicht gegeneinander im Wettbewerb arbeiten. Frese (2012) geht noch einen Schritt weiter und bezeichnet Kooperation als Erstellung und Ausführung eines gemeinsamen Plans. Vorteilhaft an gemeinsamen Plänen ist, dass Konflikte dadurch vermieden und Synergien genutzt werden können (Biester, 2004; Frese, 2012). Unter gewissen Rahmenbedingungen kann Kooperation selbst dann sinnvoll sein, wenn die Agenten (Menschen oder technische Systeme) individuelle, voneinander unabhängige oder sogar gegensätzliche Ziele haben (Frese, 2012). Kooperative Entscheidungen können eine Verbesserung gegenüber individuellen Entscheidungen der einzelnen Beteiligten erreichen (Frese, 2012). Individuelle bzw. gemeinsame Ziele können dabei beispielsweise sein: die Vermeidung von Konflikten, einen maximalen Output zu generieren oder die kollektive Intelligenz zu steigern (Khamis et al., 2006; Nisbet, 1968; Parsons, 1951; Tuomela, 2000).

Aus der Literatur lassen sich verschiedene Einflussfaktoren für kooperatives Verhalten ableiten. Kooperation wird hierbei häufig mit hilfsbereitem, altruistischem bzw. prosozialem Verhalten in Bezug gesetzt (Khamis et al., 2006). Altruismus definiert die Art von Verhalten, die nicht auf eine extrinsische Belohnung oder einen direkten Nutzen für den Helfenden abzielt, einem anderen

hingegen aber einen Nutzen bringt (Levine & Manning, 2014; Macaulay & Berkowitz, 1970; Piliavin, 2009). Deutlich wird hier, dass Kooperation anscheinend häufig mit wahrgenommenen Nutzen auf der einen Seite, aber auch mit wahrgenommenen Kosten auf der anderen Seite verbunden wird, die dem Helfenden durch sein Handeln entstehen können (Krebs, 1982; Wispé, 1978). Solche Kosten können sein: Anstrengung, Zeitaufwand, Gefahr, Verschiebung oder Unterbrechung einer ausgeführten Tätigkeit (Levine & Manning, 2014; Piliavin, Dovidio, Gaertner & Clark, 1981). Kosten für Nichthilfe hingegen sind häufig Schuldgefühle, Scham oder öffentlicher Tadel (Piliavin et al., 1981). Als Nutzen des Helfens wird u.a. Geld, Berühmtheit, Selbstlob, Vermeidung von Schuld, Dank des Anderen oder innerliche Freude (geholfen zu haben) definiert (Levine & Manning, 2014; Piliavin et al., 1981).

Die Kosten und Nutzen in einer Situation werden gegeneinander abgewogen und es wird sich für den individuell besten Ausgang entscheiden (Tuomela, 2000). Situationsfaktoren, welche die Nettokosten für das Helfen reduzieren oder die Kosten für das Nichthelfen steigern, führen zu kooperativen Handlungen (Dovidio, Piliavin, Gaertner & Clark, 1991; Piliavin et al., 1981). Diese können u.a. sein: grundsätzliches Bemerken des Ereignisses, Wahrnehmen eines Dringlichkeitsempfindens oder einer Notfallsituation, persönliche Verantwortung oder das Vorhandensein von potenziellen Handlungsweisen (Jonas et al., 2014; Latané & Darley, 1970).

Gerade das Bemerken der Situation oder auch das wahrnehmen der Situation setzt oft eine Art der Kommunikation voraus. Diese ist vor allem dann eine Voraussetzung, wenn Verhandlungen zwischen den Beteiligten der Kooperation nötig sind, um zum Beispiel Lösungsvorschläge, Aufgaben oder auch Intentionen auf- bzw. mitzuteilen (Ellinghaus, 1986; Mataric, 1994). Hierbei können verschiedene Arten der Kommunikation unterschieden werden (Khamis et al., 2006). Bei der lokalen Kooperation kommunizieren die beteiligten Parteien direkt miteinander, um Informationen auszutauschen. Im Gegensatz hierzu findet bei der stigmergischen Kooperation nur ein indirekter Informationsaustausch statt, wie zum Beispiel durch die Manipulation der Umwelt. Einen Sonderfall stellt hierbei das Internet da. Hier werden Informationen ohne direkten Ansprechpartner zum Vorteil vieler angeboten. Dieses Phänomen beschreiben Khamis et al. (2006) als Kooperation ohne Kommunikation.

1.1 Motivation für kooperatives Verhalten

In vielen menschlichen Kulturen besitzt Fairness einen hohen emotionalen Wert. Die meisten Menschen kooperieren daher freiwillig. Sie erwidern kooperative Handlungen, neigen aber auch dazu, unkooperative Handlungen zu bestrafen.

Vermutlich ist dies allen Menschen aufgrund ihrer langen biologischen Vergangenheit gemein, auch wenn das Ausmaß kooperativer Verhaltensweisen kulturabhängig ist. So zeigen sich allgemein folgende Zusammenhänge bezüglich Kooperation: Je größer die Bevölkerungsdichte, desto geringer die Hilfsbereitschaft. Je schneller der Lebensrhythmus, desto geringer die Hilfsbereitschaft. Je reicher die Bevölkerung, desto geringer ihre Hilfsbereitschaft (Levine, 2003).

Grundsätzlich lässt sich kulturübergreifend festhalten: Je höher der Vorteil ist, der durch Kooperation erzielt werden kann, desto mehr ist Kooperation verbreitet. Menschen handeln kooperativ, wenn sie davon überzeugt sind, dass die meisten anderen es ebenfalls tun (Fehr, 2002). Im Endeffekt bedeutet dies, dass Menschen stets darauf bedacht sind, fair behandelt zu werden. Im direkten Vergleich mit anderen ist es dem Menschen wichtig, nicht benachteiligt zu werden. Das gilt auch in Win-win-Situationen: Auch wenn der Mensch von einer Absprache mit einem anderen profitieren würde, so würde er darauf dennoch nicht eingehen, wenn er das Gefühl hat, der andere würde davon (deutlich) mehr profitieren (ARD, 2016). Bei kooperativen Absprachen ist also darauf zu achten, dass beide Kooperationspartner kurz- bis mittelfristig das Gefühl bekommen, dass sie einerseits von der Kooperation profitieren, andererseits aber auch nicht deutlich weniger Profit erhalten als die Kooperationspartner.

Wie kann es also zu Kooperation kommen, wenn sich die beiden Interagierenden nur ein einziges Mal sehen und nur einer von der Kooperation profitiert? Der Grund liegt im sogenannten reziproken Altruismus. Demnach kooperiert man, wenn der Gesamtnutzen des altruistischen Verhaltens positiv ist. Der Mensch geht also davon aus, dass er die erbrachte Kooperation in einer vergleichbaren Situation ebenfalls entgegengebracht bekommt. Dabei funktioniert reziproker Altruismus in der Regel besser, wenn bekannt ist, dass egoistisches Verhalten unmittelbar bestraft werden kann (Fehr, 2002).

1.2 Ursachen und Voraussetzungen und Modelle für Kooperation im Straßenverkehr

Im Gegensatz zu Theorien und Untersuchungen im Bereich der Kooperation im Allgemeinen ist die Anzahl der wissenschaftlichen Literatur zu kooperativem Verhalten im Straßenverkehr derzeit noch begrenzt. Der Fokus liegt hierbei meist nicht auf dem kooperativen Verhalten und dessen Ursachen und Faktoren in der traditionellen Fahrt, sondern meist auf Kooperation von automatisierten Fahrzeugen (Barnes & Gray, 1991; Bengler, Zimmermann, Bortot, Kienle & Damböck, 2012) oder der Unterstützung des Fahrers in diesen, meist automatisierten, Manövern (siehe Deliverable D1.2, Ergebnisse der MMI-Recherchen).

Die Rolle von Kooperation von menschlichen Fahren und der Auswirkungen dieser auf den Straßenverkehr hingegen war eher selten Untersuchungsgegenstand. Einer der wenigen Beispiele ist die Autorengruppe Benmimoun, Neunzig & Maag (2004), die verschiedene Aspekte des kooperativen Verhaltens im Straßenverkehr analysierte. Die Autoren ergänzen die Definition der Kooperation durch den Faktor des Verzichts auf das eigene Recht bzw. der eigenen Vorfahrt. Darüber hinaus unterschieden sie zwischen *partnerschaftlichen* und *professionellen* Verhalten. Partnerschaftliches Verhalten zielt hierbei darauf dem Mobilitätswunsch eines Anderen Vorrang gegenüber der eigenen Intention zu gewähren. Professionelles Verhalten hingegen zielt auf die allgemeine Erhöhung der Verkehrseffizienz. Ein zentrales Ergebnis der Studien von Benmimoun et al. (2004) ist ein vorgeschlagener Entscheidungsbaum der Kooperation (Abbildung 1.1). In diesem Entscheidungsbaum schlagen die Autoren eine Lösungsstrategie von Fahrern vor, und welche Faktoren hierbei vor allem zur Geltung kommen.

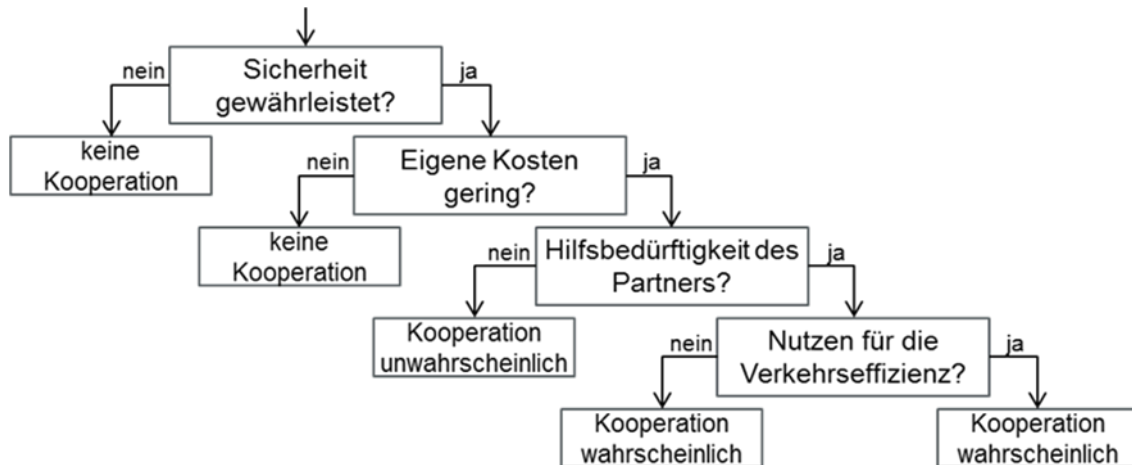


Abbildung 1.1: Hierarchie der Entscheidung zu kooperativem Verhalten im Straßenverkehr (Benmimoun et al., 2004)

Ergänzend zu diesem ersten Modellierungsansatz für kooperatives Verhalten im Straßenverkehr schlugen Haar, Kleen, Albrecht, Schmettow & Verwey (2016) ein weiteres Phasenmodell vor. In diesem Modell werden zusätzlich zu der Sicherheit, den Kosten, der Hilfsbedürftigkeit und der Nutzen der Kooperation noch weitere Faktoren berücksichtigt. Fokus liegt hierbei eher auf kognitiven Faktoren wie etwa der Wahrnehmung der Intention aber auch interpersonellen und intersituativen Unterschieden (Abbildung 1.2).

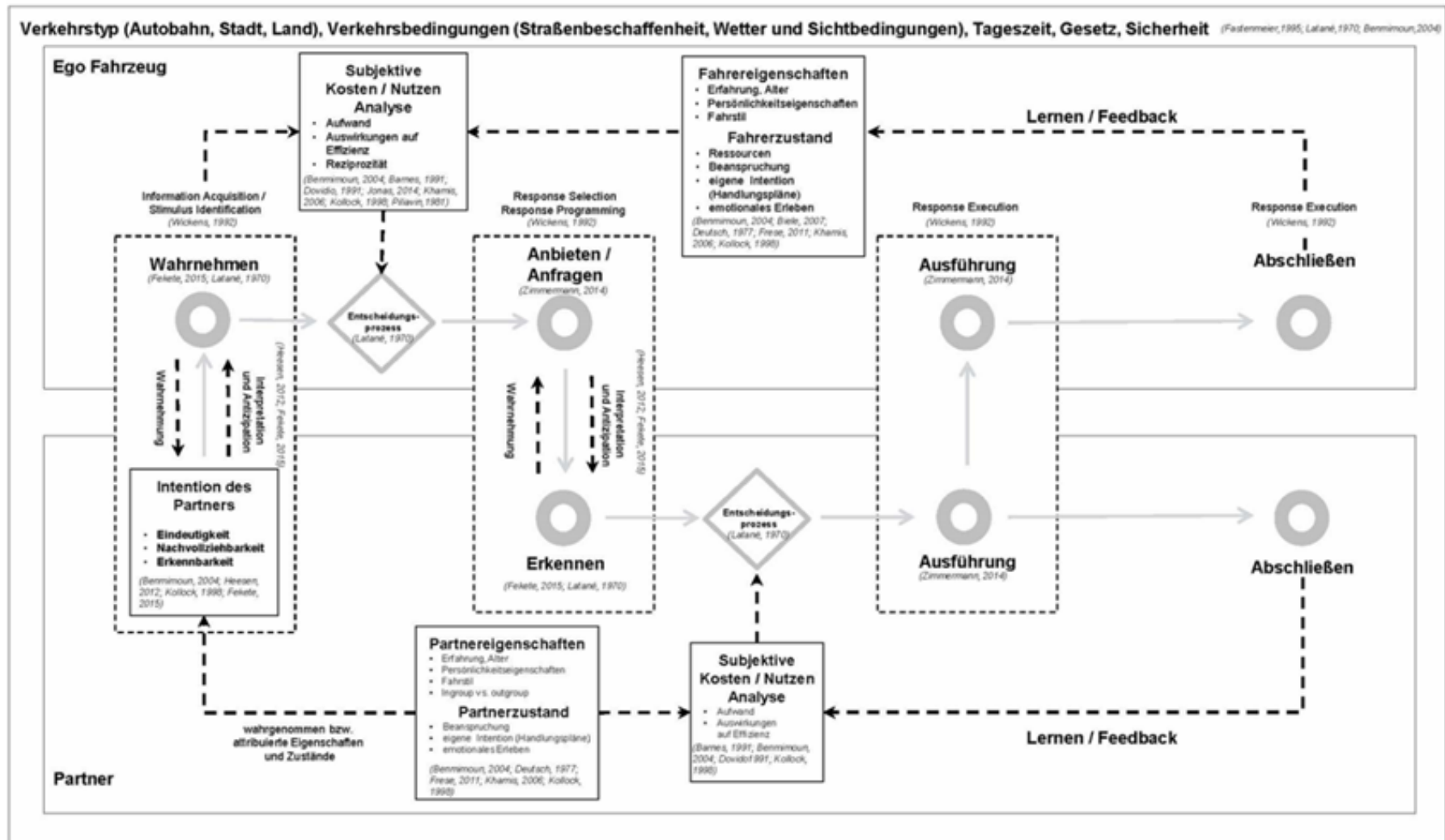


Abbildung 1.2: Modellierung von kooperativem Verhalten im Straßenverkehr (Haar et al., 2016)

Abschließend lässt sich feststellen, dass diese Modellierungsansätze zwar auf Ergebnissen von ersten Studien und der Literatur beruhen, jedoch noch nicht durch empirische Untersuchungen validiert worden sind. Jedoch lassen die Ergebnisse dieser Literaturuntersuchung die Schlussfolgerungen zu, dass die Kosten und Nutzen einer Kooperation zentral in der Entscheidungsfindung für oder gegen eine Kooperation zu sein scheinen. Des Weiteren ist das Wahrnehmen einer Situation bzw. das Kommunizieren eines Kooperationsbedarfes, Voraussetzung für eine erfolgreiche Kooperation. Ein weiterer wichtiger Bestandteil scheinen verschiedene Fahrstile und interpersonelle Persönlichkeitsunterschiede von Auswirkung zu sein.

1.3 Kooperationsverständnis nach IMAGinE

Die nachfolgenden Leitsätze dienen der Abgrenzung der Arbeiten im Rahmen von IMAGinE von anderen kooperativen Forschungsansätzen (Ko-HAF, Ko-FAS). Sie sollen zudem ein gemeinsames Verständnis darüber schaffen, was im Rahmen von IMAGinE unter kooperativem Fahren verstanden wird und in welcher Ausprägung eine Umsetzung erfolgen soll. Hierbei wird nach drei Kriterien unterschieden: allgemein, technisch und IMAGinE-spezifisch.

Unter dem Kriterium „allgemein“ sind all jene Leitsätze gelistet, welche sich grundsätzlich auf Funktionen zum kooperativen Fahren anwenden lassen. Der Fokus liegt hierbei auf dem Blickwinkel des Fahrers, also all jenen Aspekten, welche die Wahrnehmung oder die Erwartung des Fahrers respektive der Insassen eines kooperativen Fahrzeugs betreffen. Die Leitsätze haben zudem Gültigkeit für alle Grade der Automatisierung bis hin zum vollautomatischen Fahren (SAE-Level 5).

Aus den allgemeinen Leitsätzen werden dann „IMAGinE-spezifische“ Leitsätze definiert, die IMAGinE-spezifische Aspekte zu Kooperation eingrenzen. Auch hierbei wird der Blickwinkel des Fahrers eingenommen. Jedoch beziehen sich die Aussagen stets auf die in IMAGinE verwendeten Funktionen.

Im letzten Schritt werden die technischen Leitsätze abgeleitet, die ein technisches, kooperatives System beschreiben. Bei technischen Systemen soll die Interaktion des Fahrers nach wie vor Berücksichtigung finden. Die technischen Leitsätze sind automationsunabhängig und daher gültig für alle SAE-Level.

Kooperatives Fahren

1. [*allgemein*] ist eine Verhaltensweise.
2. [*allgemein*] erfolgt stets willentlich und wissentlich.
3. [*allgemein*] erfordert mindestens zwei Kooperationsteilnehmer.
4. [*allgemein*] ist angepasstes Handeln der Verkehrsteilnehmer zur Erreichung gemeinsamer Ziele.

Kurzfassung: Kooperatives Fahren ist ein Verhalten, bei dem Verkehrsteilnehmer ihre eigenen Fahrmanöver so anpassen, dass sie sich gegenseitig die geplanten Manöver ermöglichen bzw. diese erleichtern und unterstützen.

5. *[allgemein]* Die Zielsetzung von Kooperation besteht darin, verkehrliche Situationen zu lösen, die allein auf Basis bestehender Regeln nicht oder nicht eindeutig lösbar sind.
6. *[allgemein]* Es gibt verschiedene Optimierungsziele, die gegenläufig sein können. Nutzen verschiedener Funktionen können unterschiedliche Schwerpunkte haben. So kann der Nutzen der Kooperation von den Akteuren individuell unterschiedlich wahrgenommen werden.
7. *[allgemein]* Kooperation setzt stets Kommunikation zwischen allen Akteuren voraus. Hierbei braucht die Kommunikation nicht explizit stattzufinden, sondern kann auch implizit durch das Verhalten der Akteure erfolgen.
8. *[allgemein]* Kommunikation muss nicht zwingend bidirektional sein, sondern kann auch allein durch Übertragung von Informationen in eine Richtung erzielt werden.
9. *[IMAGinE-spezifisch]* IMAGinE stellt kooperatives Fahren in definierten Szenarien unter Berücksichtigung des StVG dar.
10. *[IMAGinE-spezifisch]* Im Rahmen von IMAGinE soll Kooperation unter Nutzung verfügbarer Kommunikationstechnologien umgesetzt werden.
11. *[IMAGinE-spezifisch]* Souveränität und Verantwortung des Fahrers bleiben beim kooperativen Fahren unverändert. Der Fahrer kann jederzeit übersteuern und bleibt damit stets für die Fahrzeugführung verantwortlich.
12. *[IMAGinE-spezifisch]* Kooperationsvereinbarungen sind jederzeit widerrufbar, zum Beispiel durch Fahrereingriff.
13. *[IMAGinE-spezifisch]* Es sollen möglichst generische Ansätze (Schemata) verfolgt werden. Spezifische Maßnahmen für viele spezifische Szenarien eines breiten Situationskatalogs sind möglichst zu vermeiden.
14. *[IMAGinE-spezifisch]* Das von außen sichtbare Verhalten der Funktionen soll dem menschlichen Fahrverhalten möglichst gut entsprechen.
15. *[technisch]* Da der Empfang von Nachrichten nicht garantiert werden kann, darf es keine Funktionen geben, die dies voraussetzen.
16. *[IMAGinE-spezifisch]* Jeder Fahrzeugführer (automatisiert oder manuell) bleibt für die eigene Manöverplanung verantwortlich (zum Beispiel Trajektorienplanung, laufende Anpassung, Kontrolle, situations- und verkehrsadäquates Fahren).
17. *[technisch]* Eine Rücknahme einer aktiv mitgeteilten Kooperation durch ein kooperationsgewährendes Fahrzeug an die Kooperationspartner muss wenn möglich gesendet werden.
18. *[technisch]* Der Verkehrsteilnehmer reagiert eigenständig auf Störungen und Planabweichungen bei der Durchführung der geplanten Kooperation.

Thesen

19. [*allgemein*] These: Die Motivation für kooperatives Verhalten setzt stets auch einen konkret erzielbaren Nutzen für den Kooperierenden voraus, wobei noch zu definieren ist, worin dieser Nutzen bestehen kann. Grundsätzlich lässt sich Nutzen in Eigen-, Fremd- und Gesamtnutzen unterteilen.
20. [*allgemein*] These: Kooperatives Verhalten verbessert den (noch zu definierenden) Gesamtnutzen.
21. [*allgemein*] These: Die Robustheit der Kooperation steigt durch technische Kommunikation.
22. [*IMAGinE-spezifisch*] These: Es ist möglich, Kooperation in jeder Verkehrssituation anhand eines einheitlichen Kooperationsschemas abzubilden.
23. [*technisch*] These: Es ist möglich, ein fahrzeugherstellerübergreifendes Regelwerk zur Entscheidung über die Umsetzung einer Kooperation in allen Verkehrssituationen zu definieren.
24. [*technisch*] These: Ein inhärentes Regelwerk kann das kooperative Aushandeln verbessern resp. beschleunigen

1.4 Stufen der Kooperation

Zur vereinfachten Beschreibung einer Situation wurden IMAGinE-Kooperationsfähigkeitsstufen (IKS) definiert, welche eine Einordnung von Fahrzeugen basierend auf ihrer Kooperationsfähigkeit ermöglichen. Diese Einstufung soll sowohl bei der Szenarienbeschreibung als auch später bei der Einordnung von Softwarefunktionen helfen, Unterschiede der Fahrzeuge zu kategorisieren.

Zur Einstufung der Kooperationsfähigkeit wurden sechs Stufen identifiziert, die im Folgenden aufgelistet sind. Dabei wird die Kategorisierung vorwiegend auf die Möglichkeiten eines Fahrzeugs zur Kooperation basierend auf vorhandener Kommunikationsfähigkeit beschränkt. Innerhalb jeglicher Stufe, abgesehen von IKS 0, kann ein Fahrzeug (bzw. Fahrer) sich, abhängig von den vorhandenen technischen Möglichkeiten, kooperativ im Sinne einer Fahrfunktion verhalten.

IKS 0 Es findet keine Kooperation statt.

IKS 1 Grundlegende Kooperation ausdrücklich ohne Funkkommunikation. Innerhalb dieser Stufe wird mit Hilfe der Fahrer (Handzeichen) oder anderer Fahrzeugfunktionen (Lichthupe, Blinker) eine rudimentäre Kommunikation aufgebaut. Ein sensorbasiertes Kooperationssystem kann diese Signale von anderen Fahrzeugen deuten, so dass der Fahrer, bzw. das Fahrzeug auf dieser Basis kooperieren können.

IKS 2 Eine Manöversituation basierend auf Funknachrichten nach dem „Day One“ ETSI Standard, welche sich durch Versendung und Empfang von „Cooperative Awareness Message“ (CAM) und „Decentralised Environmental Notification Message“ (DENM)

auszeichnet. In dieser Stufe wird anderen Fahrzeugen Information über den jeweiligen Fahrzeugzustand mitgeteilt. Ein vorhandenes Kooperationssystem nutzt diese Nachrichten.

- IKS 3** Eine Manöversituation wird unterstützt durch Funkkommunikation sowohl durch „Day One“-Nachrichten als auch durch erweiterte Nachrichten, welche die eigene Umfeldwahrnehmung mitteilen. Ein Kooperationssystem kann auf die erweiterte Umfeldwahrnehmung zugreifen und diese für indirekte Abstimmung nutzen.
- IKS 4** Die Manöverdurchführung wird ermöglicht durch die Verwendung von gegenseitiger Absprache. Ein Manöver-anfragendes Fahrzeug verschickt eine Manöveranfrage und beteiligte Fahrzeuge bestätigen den Empfang beispielsweise durch eine „maneuver proposal accepted“ oder eine „maneuver proposal declined“ Nachricht. Bei positiver Rückmeldung kann das vorgeschlagene Manöver durchgeführt werden.
- IKS 5** Aufbauend auf der Stufe IKS 4 kann in dieser Stufe die Antwort eines angefragten Teilnehmers aufwändiger ausfallen. Von einem Gegenvorschlag bis hin zu vollständigen Manöverplanungen ist innerhalb dieser Stufe jegliche Form der gegenseitigen Abstimmung möglich.

Stufe	Kooperatives Fahren	Technische Kommunikation V2X	Erläuterung zu Kooperation	Erläuterung zu Kommunikation
0	nein	-		ausgeschalteter CAM/DEMN/... Versand, wenn Fahrzeug ausgerüstet
1	ja	nein		
2	Ja	ja (unidirektional)	andere Fahrzeuge werden über den Zustand des kommunizierenden Fahrzeugs versorgt	Kommunikation auf Basis von CAM/DENM
3	ja	ja (unidirektional)	andere Fahrzeuge werden mit zusätzlichen Umfeldinformationen versorgt	Kommunikation zusätzlich auf Basis von EPM
4	ja	ja (bidirektional)	Einzelentscheidungsfindung (ein Fahrzeug (Master) schlägt Verhalten vor („zentrale Planung“)), andere Fahrzeuge akzeptieren oder lehnen dies ab	ein Vorschlag, daraus resultierend ja/nein-Antwort
5	ja (bilateral)	ja (bidirektional)	gemeinsame Entscheidungsfindung („dezentrale Planung“) und gemeinsames Manöver	Antwort mit Alternativen zum Vorschlag

Tabelle 1.1: Übersicht der IMAGinE Kooperationsfähigkeitsstufen

Die IKS sind zwar aufsteigend bezeichnet, es gibt jedoch Fälle, in denen eine höhere Stufe nicht automatisch die niedrigere Stufe beinhaltet. Zum Beispiel muss ein IKS 4-Fahrzeug nicht

automatisch die Verteilung der Umfelddaten nach IKS 3 unterstützen. Ebenso muss ein IKS 5 System nicht automatisch IKS 1 unterstützen, da diese eine spezielle Sensorauswertung benötigt, die in höheren Stufen durch Kommunikation ersetzt werden kann.

Fahrzeuge werden mit Hilfe der IKS kategorisiert. Ein Fahrzeug, welches eine technische Ausstattung nach „Day One“ aufweist, also CAM und DENM senden und empfangen kann, hat somit eine IKS 2. Es wird mögliche Manöver mit seiner Position und Dynamikdaten zu unterstützen. Ein Manöver, welches durch ein IKS 5-Fahrzeug initiiert wird, kann in einer Beschreibung von unterschiedlichen Kooperationspartnern ausgehen, die sich in der IKS unterscheiden und somit auch im Ablauf der kooperativen Manöverfunktion. Diese Analysen lassen im weiteren Verlauf eine Ausleitung eines Ablaufdiagramms für die Funktionsimplementierungen zu.

2 KOOPERATIVE FAHRSITUATIONEN

Die Fahrzeug zu Fahrzeug Kommunikation kann Außerorts eine bedeutende Rolle spielen, da dadurch die indirekte Sensorreichweite erhöht werden kann. Die Reichweite von Nahbereichskommunikationssystemen (ITS-G5) übertrifft heute schon die der bordeigenen Sensorik und kann mit Hilfe einer Mobilfunkintegration nochmal deutlich erweitert werden. Diese Möglichkeiten können zur kollektiven Perzeption genutzt werden, bei der Fahrzeuge die in der eigenen Umgebung erkannten Objekte, anderen Fahrzeugen in Kommunikationsreichweite als Datenpakete zur Verfügung stellen.

Kooperative Funktionen erweitern das bestehende Funktionsspektrum von Fahrzeugen in den Bereichen Fahrerassistenz, aktive Sicherheit sowie automatisiertes Fahren. Sie helfen bei taktischen Fahraufgaben, bewirken eine Erhöhung des Komforts, zum Beispiel durch Reduzierung von Bedienhandlungen/Fahrereingriffen und helfen, schwierige Verkehrssituationen wie das Einfädeln bei dichtem Verkehr besser zu bewältigen. Durch kooperative Funktionen und gegenseitig abgestimmtes Fahrverhalten kann darüber hinaus der Verkehrsfluss verbessert und die Transporteffizienz gesteigert werden. Wenn diese technischen Möglichkeiten geschaffen sind, dann sollen die verwendeten Kooperationsmechanismen für die beteiligten Fahrer nachvollziehbar und akzeptabel gestaltet sein, um ihr Potenzial entfalten zu können.

In Abgrenzung zu anderen Vorhaben, die sich mit den Anforderungen an automatisiertes Fahren im urbanen Raum befassen (UR:BAN, Nachfolgeprojekt @city) widmet sich IMAGinE Fahrsituationen, die den Fahrer aufgrund Perzeptionsreichweite, Reaktionsgeschwindigkeit sowie Verkehrsdichte besonders fordern und im außerstädtischen Verkehr angesiedelt sind. Diese führen zu einheitlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen der darzustellenden Fahrfunktionen sowohl bei technischen Systemen als auch bei der Fahrweise des Verkehrsteilnehmers.

In Tabelle 2.1 ist die Auswahlmetrik für das Szenario S2a der Funktion F5 (Auffahrt auf Landstraßen) dargestellt. Ausgehend von den Kriterien Reaktionszeit, Geschwindigkeit, Manöverraum und Verkehrsdichte wurden Fahrszenarien nach nicht kooperativ automatisiert, absolvierbar ohne notwendige Kooperation sowie kooperativ optimierbar unterteilt.

Geringe Reaktionszeiten resultieren aus dem kleinen Manöverraum (Fahrmanöver als auch Wahrnehmungshorizont) als auch der angenommenen hohen Verkehrsdichte sowie den auf Landstraßenknotenpunkten vorherrschenden hohen absoluten Geschwindigkeiten.

Kriterien zur Einstufung der Fahrsituation			
Reaktionszeit	Hoch (>10sek)	Mittel (5-10sek)	Niedrig(<5sek)
Geschwindigkeit	Hoch (>100kmh)	Mittel (50-100kmh)	Niedrig (0-50kmh)
Manöverraum	Groß (400m-)	Mittel (100m-400m)	Klein (100m)
Verkehrsdichte Anzahl	Viele (>5)	Mittel (3-5)	Wenige (0-3)

Tabelle 2.1: Beispielpfad für das Szenario S2a Auffahrt durch Linkseinbiegen aus Funktion F5

In IMAGinE soll für die ausgewählten Funktionen untersucht werden, inwieweit kooperatives Fahren und der Austausch von Umfeldinformationen Fahrszenarien sicherer, effizienter und komfortabler macht. Besonders hilfreich ist dieser Ansatz wenn die Anforderungen an die bordeigene Sensorik hoch sind und das eigene System an Erfassungsgrenzen stößt.

Daher werden im Rahmen von IMAGinE sechs kooperative Funktionen untersucht, welche, sich teilweise auf die kollektive Perzeption stützend, eine Verbesserung des Fahrens in dichtem Verkehr Außerorts ermöglichen sollen. In Tabelle 2.2 sind diejenigen Use Cases der sechs kooperativen Funktionen dargestellt, die in IMAGinE schwerpunktmäßig untersucht werden sollen. Sie werden dabei den drei Kategorien Sicherheit, Effizienz und Komfort zugeordnet. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass IMAGinE Anwendungsfälle aus allen drei Kategorien adressiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Fahrsicherheit, wobei damit die Vermeidung von kritischen Fahrsituationen gemeint ist.

Fahrsituationen			
Kooperativ IKS/AD Stufen nach SAE		Nicht Kooperativ SAE	
			
Koop. Fahrsituationen			
Kategorie	Sicherheit* Bsp: Fahrmanöver mit hoher menschlicher Fehlquote -> V2X Informationsaustausch von Fahrzeugsystemen -> interpretationsfrei und damit eindeutig -> weniger fehleranfällig	Effizienz * Bsp: Platoonfahren verbessert die Effizienz, Verkehrsrouting verbessert Streckenauslastung -> Stauvermeidung -> weniger Schadstoffausstoß	Komfort* Bsp: Stressfreies Fahren ohne hohe Aufmerksamkeitsanforderungen -> V2X erhöht den Wahrnehmungshorizont und reduziert damit Reaktionszeiten
Beispiele	Abbiegemanöver UC 5.1; UC5.2	Reduzierung Streckenauslastung UC 4.1	Autobahn Cruising
	Fahrmanöver mit hoher Querdynamik UC 5.1; UC5.2; UC 1.1; UC1.2; UC 1.3;	Staufolgefahrt UC 2.1	Landstraße Folgefahrt
	Überholmanöver Landstraße UC 3.1; 3.2	LKW Überholvorgang UC 6.1	Staufolgefahrt UC 2.1
Andere			

Tabelle 2.2: Einordnung Fahrfunktionen und Use Cases zu Metakategorien

QUELLENVERZEICHNIS

- ARD (2016). Manfred Spitzer in Geist und Gehirn „Fairness und Serotonin“, ARD-alpha vom 03.12.2016.
- Balliet, D., Parks, C. & Joireman, J. (2009). Social value orientation and cooperation in social dilemmas: A meta-analysis. *Group Processes & Intergroup Relations*, 12 (4), 533–547.
- Balliet, D. (2010). Communication and Cooperation in Social Dilemmas: A Meta-Analytic Review. *Journal of Conflict Resolution*, 54 (1), 39–57.
- Barnes, D. P. & Gray, J. O. (1991). Behaviour synthesis for co-operant mobile robot control. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (S. 1135–1140). Edinburgh: IEEE.
- Bengler, K., Zimmermann, M., Bortot, D., Kienle, M. & Damböck, D. (2012). Interaction principles for cooperative human-machine systems. *IT - Information Technology*, 54 (4), 157–164.
- Benmimoun, A., Neunzig, D. & Maag, C. (2004). Effizienzsteigerung durch professionelles/partnerschaftliches Verhalten im Straßenverkehr: FAT-Schriftenreihe Nr. 181. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Biele, G. (2007). No man is an island: Cooperation in groups and social learning (Unveröffentlichte Dissertation). Freie Universität Berlin, Berlin.
- Biester, L. (2004). Der Einsatz von Kooperation zwischen Mensch und Maschine im Kraftfahrzeug. In *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (S. 263–278). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Brooks, R.A. (1991): Intelligence Without Reason, in J. Myopoulos, R. Reiter (Hrsg.): *Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, Bd. 1, Morgan Kaufmann Publishers Inc., Sydney, Australia, Aug. 1991, S. 569–595
- Dovidio, J. F., Piliavin, J. A., Gaertner, S. L. & Clark, R. D. (1991). The arousal: cost-reward model and the process of intervention. In M. S. Clark (Hrsg.), *Prosocial behavior* (S. 86–118). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Duden. (2017). Kooperation. Zugriff am 9. Januar 2017 auf <http://www.duden.de/>
- Ellinghaus, D. (1986). Rücksichtslosigkeit und Partnerschaft: Eine sozialpsychologische Untersuchung über den Umgang unter Kraftfahrern im Straßenverkehr. Köln: UNI-ROYAL Verkehrsuntersuchungen.
- Fehr, E. & Schmidt, K. M. (1999). A theory of fairness, competition, and cooperation. *The Quarterly Journal of Economics*, 114 (3), 817–868.

- Fehr, E. (2002). Reziproker Altruismus hält auch die Mafia zusammen. in: Spektrum der Wissenschaft Dossier, S. 58-59, 2002
- Frese, C. (2012). Planung kooperativer Fahrmanöver für kognitive Automobile (Bd. 10; J. Beyerer, Hrsg.). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Grandner, T. (1996). Territoriale Evolution von Kooperation in einem Gefangenendilemma (Unveröffentlichte Dissertation). Wirtschaftsuniversität Wien, Wien.
- Haar, A., Kleen, A., Albrecht, L. Schmettow, M., & Verwey, W.B. (2016). Intentionen wahrnehmen und Umfeld verstehen: kognitive Prozesse in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern. VDI Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren, Wolfsburg.
- Jonas, K., Stroebe, W. & Hewstone, M. (Hrsg.). (2014). Sozialpsychologie (6. Aufl.). Berlin: Springer.
- Khamis, A. M., Kamel, M. S. & Salichs, M. A. (2006). Cooperation: Concepts and general typology. In IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (S. 1499–1505). Bloomington: IEEE.
- Kollock, P. (1998). Social dilemmas: The anatomy of cooperation. Annual Review of Sociology, 24 , 183–214.
- Krebs, D. (1982). Altruism: A rational approach. In N. Eisenberg (Hrsg.), The development of prosocial behavior (S. 53–76). New York: Academic Press.
- Latané, B. & Darley, J. M. (1970). The unresponsive bystander: Why doesn't he help? New York: Appleton-Century-Crofts.
- Levine (2003): Hilfsbereitschaft unter Fremden. In: Spektrum der Wissenschaft, S. 26-33, August 2003.
- Levine, M. & Manning, R. (2014). Prosoziales Verhalten. In K. Jonas, W. Stroebe & M. Hewstone (Hrsg.), Sozialpsychologie (S. 357–400). Berlin: Springer.
- Macaulay, J. & Berkowitz, L. (1970). Altruism and helping behavior: Social psychological studies of some antecedents and consequences. New York: Academic Press.
- Mataric, M. J. (1994). Interaction and intelligent behavior (Unveröffentlichte Dissertation). Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- Miller, J. H., Butts, C. T. & Rode, D. (2002). Communication and cooperation. Journal of Economic Behavior & Organization, 47 (2), 179–195.
- Nisbet, R. A. (1968). Cooperation. In D. L. Sills (Hrsg.), International Encyclopedia of the Social Sciences (Bd. 3, S. 384–390). New York: Macmillan/Free Press.
- Parsons, T. (1951). The social system. New York: The Free Press of Glencoe.

- Piliavin, J. A. (2009). Altruism and helping: The evolution of a field. *Social Psychology Quarterly*, 72 , 209–225.
- Piliavin, J. A., Dovidio, J. F., Gaertner, S. L. & Clark, R. D. (1981). *Emergency intervention*. New York: Academic Press.
- Premvuti, S. & Yuta, S. (1990). Consideration on the cooperation of multiple autonomous mobile robots. In *IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Towards a New Frontier of Applications* (S. 59–63). Bloomington: IEEE.
- Tuomela, R. (2000). *Cooperation: A philosophical study*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Wispé, L. (1978). *Altruism, sympathy, and helping: Psychological and sociological principles*. New York: Academic Press.