

**Fabian Lücke, Johannes Weyer, Robin D. Fink**

**STEUERUNG KOMPLEXER SYSTEME –  
Ergebnisse einer soziologischen  
Simulationsstudie**

**Soziologisches Arbeitspapier Nr. 33/2013**

**Herausgeber  
Prof. Dr. H. Hirsch-Kreinsen  
Prof. Dr. J. Weyer**

**Steuerung komplexer Systeme –  
Ergebnisse einer soziologischen  
Simulationsstudie**

**Fabian Lücke / Johannes Weyer / Robin D. Fink**

**Arbeitspapier Nr. 33 (April 2013)**

ISSN 1612-5355

## **Herausgeber:**

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie  
is@wiso.tu-dortmund.de  
www.wiso.tu-dortmund.de/is

Prof. Dr. Johannes Weyer  
Fachgebiet Techniksoziologie  
johannes.weyer@tu-dortmund.de  
<http://www.wiso.tu-dortmund.de/ts>

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät  
Technische Universität Dortmund  
D-44221 Dortmund

## **Kontakt:**

[is@wiso.tu-dortmund.de](mailto:is@wiso.tu-dortmund.de)

Die Soziologischen Arbeitspapiere erscheinen in loser Folge. Mit ihnen werden Aufsätze (oft als Preprint), sowie Projektberichte und Vorträge publiziert. Die Arbeitspapiere sind daher nicht unbedingt endgültig abgeschlossene wissenschaftliche Beiträge. Sie unterliegen jedoch in jedem Fall einem internen Verfahren der Qualitätskontrolle. Die Reihe hat das Ziel, der Fachöffentlichkeit soziologische Arbeiten aus der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dortmund vorzustellen. Anregungen und kritische Kommentare sind nicht nur willkommen, sondern ausdrücklich erwünscht.

# Steuerung komplexer Systeme.

## Ergebnisse einer soziologischen Simulationsstudie

*Fabian Lücke, Johannes Weyer, Robin D. Fink*

### **Abstract**

Die Frage, ob sich komplexe Systeme steuern lassen, beschäftigt die Sozialwissenschaften seit geraumer Zeit. Der folgende Beitrag bearbeitet das Thema „Steuerung komplexer Systeme“ mit Mitteln der experimentellen Soziologie, um auf diese Weise die Wirkung und die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Governance-Modi empirisch zu überprüfen. Zu diesem Zwecke wurde das Simulationsframework SUMO-S entwickelt, dessen soziologische Grundlagen das Modell soziologischer Erklärung (Esser) und das Modell der Frame-Selektion (Kroneberg) bilden. Die Performance von Governance wurde mittels dreier Makro-Indikatoren und zweier Mikro-Indikatoren vermessen. Überraschenderweise erreicht die zentrale Steuerung in der Regel bessere Werte als die dezentrale Koordination. Aber offenbar kommt es nicht allein auf den Governance-Modus an; denn es gibt einen – bislang wenig erforschten – Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit der Governance-Modi und der Zusammensetzung der Agentenpopulation.

### **Governance of complex systems – results of a simulation study**

Social sciences have discussed on the issue of governance of complex systems for a long time. The following paper tackles the issue „governance of complex systems“ by means of experimental sociology, in order to investigate the performance of different modes of governance empirically. The simulation framework developed is based on Esser’s model of sociological explanation as well as on Kroneberg’s model of frame selection. The performance of governance has been measured by means of three macro and two micro indicators. Surprisingly, central control mostly performs better than decentralized coordination. However, results do not only depend on the mode of governance, but there is a relation between performance and the composition of actor populations, which has yet not been investigated sufficiently.

### **Keywords**

dt.: Governance, Steuerung, Komplexität, Computersimulation, Modell soziologischer Erklärung

engl.: governance, control, complexity, agent based modeling and simulation (ABMS), model of sociological explanation

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Theoretische Vorüberlegungen .....</b>	<b>7</b>
	2.1. Begriffs-Definitionen .....	7
	2.2. Governance-Modi .....	9
	2.3. Das soziologische Mikro-Makro-Modell .....	10
<b>3.</b>	<b>SUMO-S – Eine soziologische Verkehrs-Simulation.....</b>	<b>11</b>
	3.1. Agentenbasierte Modellierung und Simulation.....	11
	3.2. Konzeption des Simulationsframeworks .....	12
	3.3. Governance-Modi in der Praxis .....	15
	3.4. Implementation des Modells der Frame-Selektion .....	16
	3.5. Fahrertypen.....	17
	3.6. Fahrer-Mischverhältnisse .....	18
	3.7. Erfolgskriterien von Governance .....	18
	3.8. Zwischenfazit .....	20
<b>4.</b>	<b>Experimente und Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
	4.1. Makro-Indikator Gesamtzeit .....	21
	4.2. Makro-Indikator Systemstabilität .....	22
	4.3. Makro-Indikator Geschwindigkeit.....	24
	4.4. Mikro-Indikator Fahrzeit.....	25
	4.5. Mikro-Indikator Wunschparkplatz .....	26
	4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	26
<b>5.</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>27</b>
	5.1. Überprüfung der Annahmen .....	27
	5.2. Einschränkungen und weiterführende Perspektiven .....	28
<b>6.</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>29</b>

## 1. Einleitung

Die Frage, ob sich komplexe Systeme steuern lassen, ist seit geraumer Zeit Gegenstand von Debatten in den Sozialwissenschaften (sowie in den Naturwissenschaften). Dabei wird immer wieder auf die Grenzen der Steuerbarkeit und Kontrollierbarkeit derartiger Systeme verwiesen, die ihre Ursache unter anderem in der Undurchschaubarkeit der Prozesse in komplexen Systemen habe (Luhmann 1988: 325; Mayntz 1987: 104; Grote 2009).

Auf der anderen Seite findet sich immer wieder ein verhaltener Steuerungsoptimismus (vgl. Simonis 1995), der jedoch meist mit einem Plädoyer für neuartige Steuerungsformen einhergeht, sei es die dezentrale Selbstorganisation, seien es Mixed-mode-Ansätze. Letztere gehen davon aus, dass eine Organisation mehr als nur einen Governance-Modus beherrschen und zudem in der Lage sein muss, entweder zwischen verschiedenen Modi zu wechseln oder diese Modi intelligent zu kombinieren (LaPorte/Consolini 1991; Roberts 1993).

Der vorliegende Beitrag unterbreitet einen Vorschlag, wie man das Thema „Steuerung komplexer Systeme“ experimentell untersuchen kann. Die Grundlage derartiger Experimente ist ein soziologisches Mikro-Makro-Modell, das Annahmen enthält, wie die Entscheidungen einer Vielzahl von Akteuren auf der Mikro-Ebene zu emergenten und sich dynamisch verändernden Systemzuständen auf der Makro-Ebene führen. Die soziologische Fundierung bildet Hartmut Essers Modell soziologischer Erklärung (MSE, vgl. Esser 1999), das die Systemdynamik der Makro-Ebene mit dem Handeln von Akteuren auf der Mikro-Ebene verknüpft und die Wechselwirkungen der beiden Ebenen in den Fokus der Analyse rückt.

Über Esser hinausgehend, enthält unser Modell zudem Ansatzpunkte für Interventionen, die – je nach gewähltem Governance-Modus – unterschiedlich konfiguriert werden können. Auf diese Weise wird es möglich, die Wirkungsweise und die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Modi experimentell zu überprüfen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt eine konkrete Implementation des soziologischen Mikro-Makro-Modells, die sich der Methode der agentenbasierten Modellierung und Simulation (ABMS) bedient. Das von uns entwickelte Simulationsframework<sup>1</sup> verfolgt den Zweck, ein komplexes *soziales* System nachzubilden, dessen Dynamik sich aus der Wechselwirkung von Mikro- und Makro-Ebene ergibt. Darüber hinaus ist unser Anliegen, unterschiedliche Governance-Modi technisch zu implementieren und experimentell zu überprüfen. Wir wollen zeigen, dass Simulations-Experimente mit komplexen Systemen zu gehaltvollen Aussagen in Bezug auf steuerungstheoretische Fragen führen und die Debatte um die Steuerbarkeit komplexer Systeme bereichern können.

Mit Hilfe der Methode der Computersimulation haben wir Daten generiert, die es ermöglichen, die Wirkung steuernder Eingriffe in komplexe Systeme zu vermessen, um so unterschiedliche Governance-Modi vergleichen zu können, und zwar insbesondere die Modi der hierarchischen Steuerung und der dezentralen Koordination. Die z.T. überraschenden Ergebnisse, die sich aus diesen Experimente ergaben, stehen wie bei jeder Simulationsstudie unter dem Vorbehalt, dass die Resultate nicht unmittelbar auf beliebige Realsysteme übertragen werden können. Es sind

---

<sup>1</sup> Ein Simulationsframework enthält aus softwaretechnischer Sicht die Basisbestandteile, die für die Entwicklung von Szenarien erforderlich sind, z.B. Komponenten, Prozesse und Mechanismen. Es muss durch konkrete Szenarien ergänzt werden, um Simulationsexperimente durchführen zu können.

weitere Untersuchungen und Replikationen mit verschiedenen Szenarien notwendig, um unsere Befunde zu erhärten und zu verallgemeinern.

Die folgende Abschnitt 2 beschreibt kurz das soziologische Modell, das als Basis des Simulationsframeworks dient, welches in Abschnitt 3 entwickelt wird. Abschnitt 4 beschreibt die Experimente und wertet die Daten mit Blick auf die Arbeitshypothesen aus, bevor Abschnitt 5 ein Fazit zieht und Ideen für künftige Forschungen entwickelt.

## **2. Theoretische Vorüberlegungen<sup>2</sup>**

Komplexe Systeme zeichnen sich durch nicht-lineare Verknüpfungen einer Vielzahl heterogener Elemente aus. Da die System-Komponenten (z.B. die individuellen Akteure) gewisse Freiheitsgrade besitzen, ist es schwer, ihre Entscheidungen, vor allem aber das aggregierte Ergebnis ihrer Einzelentscheidungen auf der Makro-Ebene des Systems vorherzusagen, selbst wenn man die Regeln kennt, nach denen auf der Mikro-Ebene entschieden wird. Denn die Akteure werden nicht nur durch den momentanen Systemzustand beeinflusst; sie beeinflussen sich in ihren Handlungen auch wechselseitig, so dass das System permanent im Fluss ist und zum Teil überraschende Dynamiken generieren kann, die dann wiederum zum Input der Akteur-Entscheidungen werden (Richter/Rost 2004; Weyer/Schulz-Schaeffer 2009).

Bei komplexen Systemen, die in Echtzeit operieren, verschärft sich die Problematik der Intransparenz noch einmal durch den raschen Wechsel der Systemzustände sowie den Zeitdruck, unter dem sämtliche Aktionen stehen – die der einzelnen Akteure, aber auch die der Systemsteuerer. Ob derartige Systeme steuerbar und beherrschbar sind, ist somit eine offene Frage.

Will man das Thema „Steuerung komplexer Systeme“ theoretisch modellieren und experimentell überprüfen, so benötigt man zunächst präzise Definitionen der verwendeten Begriffe.

### **2.1. Begriffs-Definitionen**

#### *Governance*

Der Begriff „Governance“ wird in den Sozialwissenschaften teilweise zur Kennzeichnung einer spezifischen Form nicht-hierarchischer Steuerung, teilweise aber auch als Oberbegriff für unterschiedliche Formen der Koordination und Steuerung verwendet (Benz et al. 2007; Treib et al. 2007). Aus pragmatischen Gründen entscheiden wir uns für folgende Definition:

(DEF-1) Governance ist ein Oberbegriff für unterschiedliche Formen der Koordination und Steuerung in sozialen Systemen.

#### *Steuerung*

Auch bezüglich steuerungstheoretischer Fragen herrscht nur teilweise Konsens in der Community. Dem Luhmann'schen Steuerungspessimismus (1988) steht ein verhaltener Steuerungsoptimismus beispielweise bei Willke (1989, 2007) oder Mayntz und Scharpf (1995) gegenüber, die sich – ungeachtet aller Eigendynamiken und Resistenzen – eine planvolle Gestaltung und Veränderung sozialer Systeme durchaus vorstellen können. Wir schlagen daher folgende Definition vor:

---

<sup>2</sup> Dieser Abschnitt fasst Überlegungen zusammen, die in Weyer et al. 2012 ausführlicher beschrieben sind.

(DEF-2) Steuerung ist die intentionale Intervention in soziale Systeme mit dem Ziel, intendierte Veränderungen zu bewirken.

Diese Definition geht davon aus, dass Steuerung durchaus misslingen bzw. an der Resistenz der gesteuerten Systeme scheitern kann. Steuerung ist demnach der *Versuch*, in Systeme zu intervenieren und dort Effekte zu erzielen, nicht jedoch die Fähigkeit, Systeme nach Belieben zu manipulieren. Zu Definition DEF-2 gelten daher folgende Randbedingungen:

(RB-1) Steuerung vollzieht sich als gerichtete Beziehung zwischen einem Steuerungssubjekt und einem oder mehreren Steuerungsobjekten. (Diese analytische Unterscheidung greift auch dann, wenn Steuerungssubjekt und -objekt identisch sind – etwa im Fall von Selbststeuerung.)

(RB-2) Steuerung wirkt mittels (vom Steuerungssubjekt gesetzten) Anreizen, die den Steuerungsobjekten eine Wahl lassen – ihnen also die Möglichkeit eröffnen, sich zwischen verschiedenen Handlungsalternativen zu entscheiden.

Steuerung ist demnach eine gerichtete Beziehung zwischen Steuerungssubjekt und -objekt, die auf strategiefähige Akteure einwirkt, welche eigene Ziele verfolgen und eigenständige Entscheidungen treffen. Das Ziel von Steuerung sind jedoch letztlich nicht die Akteure; sondern Steuerung ist von der Intention getragen, auf dem Umweg über Verhaltensänderungen der Akteure (messbare) Effekte auf der Systemebene zu erzielen.

#### *Koordination*

Die wechselseitige Abstimmung (und gegenseitige Beeinflussung) gleichberechtigter Akteure grenzen wir von Steuerung ab, und zwar im Sinne der folgenden Definition:

(DEF-3) Koordination meint die wechselseitige Abstimmung gleichberechtigter Akteure, die mit dem Ziel betrieben wird, eine für alle Beteiligten tragfähige Problemlösung zu erreichen.

Die Begriffe ‚Steuerung‘ und ‚Koordination‘ lassen sich zwar begrifflich-analytisch unterscheiden; in der Praxis der Governance sozialer Systeme sind sie jedoch oftmals miteinander verwoben, etwa beispielsweise derart, dass mittels Koordination konsensfähige Lösungen gefunden werden, die dann mittels Steuerung umgesetzt werden.

#### *Mehrebenen-Architektur von Governance*

Dies verweist auf die drei Ebenen von Governance: a) die Abstimmungsprozesse in Verhandlungssystemen, b) die Regulierung funktioneller Teilsysteme und c) deren operative Steuerung (sowie die Interdependenzen dieser drei Ebenen).<sup>3</sup> Wir fokussieren hier auf einen Teilbereich, nämlich den operativen Betrieb eines funktionellen Teilsystems. Mayntz und Scharpf definieren funktionelle Teilsysteme – in Abgrenzung von den gesellschaftlichen Teilsystemen Luhmann’scher Provenienz – „als gesellschaftsweit institutionalisierte, funktionspezifische Handlungszusammenhänge“ (Mayntz 1988: 17), die „spezialisierte Leistungen“ (ebd.: 18) erbringen. Darunter fassen sie beispielsweise das Gesundheitssystem, das Bildungssystem, aber auch technische Infrastruktursysteme wie beispielsweise den Straßenverkehr (vgl. Mayntz/Scharpf 1995).

---

<sup>3</sup> Zu dieser Unterscheidung vgl. ausführlich Weyer et al. 2012.



## 2.2. Governance-Modi

In der Governance-Forschung besteht ein gewisser Konsens dahingehend, dass es neuartige Governance-Modi jenseits der klassischen Typen dezentrale Koordination (Markt) und zentrale Steuerung (Hierarchie) gibt. Wie viele derartige Zwischentypen, Mischformen oder Modus-Kombinationen existieren und wie sie konturiert werden können, ist hingegen weniger klar. Oftmals wird auf eine Art „dritten Weg“ verwiesen, der Elemente der klassischen Modi kombiniert, sei es in Form des Netzwerks (Mayntz 1993; Willke 1995), des „mixed scanning“ (Etzioni 1967), oder der losen Kopplung im Sinne von Weick (Grote 2009). Dies sind allesamt Konzepte, die bei aller Unterschiedlichkeit neuartige Governance-Modi jenseits des traditionellen Dualismus von Markt und Hierarchie auszuloten versuchen.

Auch hier wählen wir einen pragmatischen Weg, um das Thema Governance empirisch untersuchen zu können. Wir verwenden folgende Typologie von Governance mit drei idealtypischen Konstellationen (vgl. Abbildung 1):

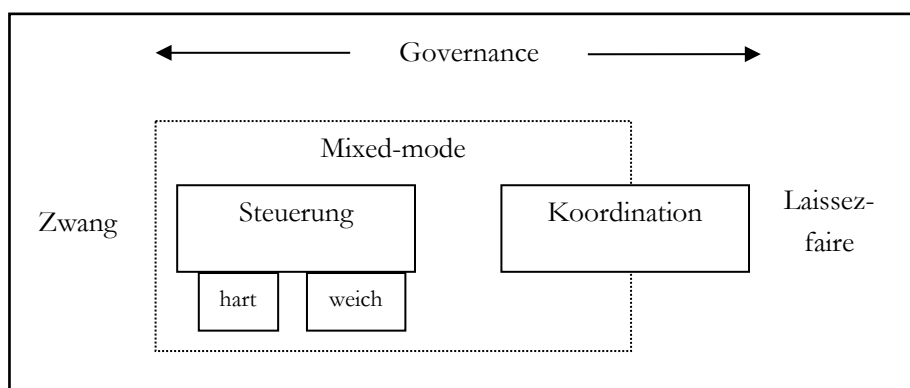


Abbildung 1: Typologie von Governance-Modi

*Steuerung* ist, wie bereits definiert, eine gerichtete Beziehung zwischen Steuerungssubjekt und Steuerungsobjekt, die entweder mit ‚harten‘ Maßnahmen (Verboten) oder mit ‚weichen‘ Maßnahmen (Anreizen) operiert. Es gibt also einen privilegierten Akteur; insofern sprechen wir auch von zentraler bzw. hierarchischer Steuerung. Auch in der Variante der harten Steuerung besteht jedoch ein Misslingens-Risiko, da die gesteuerten Akteure immer die Wahl haben, wie sie mit Verboten umgehen. Dieser Modus grenzt sich also vom *Zwang* ab, der den Steuerungsobjekten keine Wahl lässt.

*Koordination* – oben definiert als dezentrale Abstimmung gleichrangiger Akteure – unterscheidet sich vom *Laissez-faire* (z.B. auf dem Schwarzmarkt oder in „failed states“) durch ihre institutionelle Einbettung in Regelsysteme (wie beispielsweise das Rechtssystem, das bei Versagen selbstorganisierter Koordination aktiv werden kann).

*Mixed-mode* sind alle dazwischen liegenden Mischtypen, die

- entweder eine intelligente *Kombination* unterschiedlicher Governance-Modi beinhalten (wie beispielsweise mixed-scanning oder Policy-Netzwerke, aber auch Formen der weichen Steuerung)
- oder die Option beinhalten, zwischen verschiedenen Modi zu wechseln („*Switch*“), was nur möglich ist, wenn die betreffende Organisation mehrere Modi beherrscht, und wenn die Mitarbeiter wissen, wann es angebracht ist, den geltenden Regeln zu folgen und wann nicht.

In der Forschung herrscht ein gewisser Konsens, dass moderne Formen der selbstorganisierten Koordination (bottom-up) traditionellen Formen hierarchischer, planwirtschaftlicher Intervention (top-down) überlegen sind (Resnick 1995; Langlois/Robertson 1992; Rifkin 2010). Allerdings gibt es auch Zweifel, ob man sich ausschließlich auf Selbstorganisation verlassen kann oder ob es nicht vielmehr Sinn macht, unterschiedliche Governance-Modi intelligent zu kombinieren (Willke 1995; Surowiecki 2005).

Auf Grundlage der hier skizzierten Debatte haben wir folgende Arbeitshypothesen entwickelt:

(A1) Im Falle komplexer Systeme ist die dezentrale Koordination der hierarchischen Steuerung überlegen.

(A2) Im Fall komplexer Systeme ist die weiche Steuerung der harten Steuerung überlegen.

Anhand welcher Indikatoren die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Governance-Modi vermessen werden kann, bleibt in der Governance-Debatte jedoch offen, so dass wir diese Indikatoren im Folgenden im Rahmen des Simulations-Modells entwickeln müssen.

### **2.3. Das soziologische Mikro-Makro-Modell**

Das Mikro-Makro-Modell bildet das Handeln der Akteure auf der Mikro-Ebene sowie die Wechselwirkungen mit den emergenten und sich dynamisch verändernden Systemzuständen auf der Makro-Ebene ab. Es enthält zudem Ansatzpunkte für Interventionen, die – je nach gewähltem Governance-Modus – unterschiedlich konfiguriert werden können.

Das Modell enthält folgende Komponenten:

#### *Akteure*

Auf der Mikro-Ebene befindet sich eine Vielzahl heterogener, strategiefähiger Akteure, die individuelle Ziele verfolgen und regelbasiert miteinander interagieren. Die Handlungslogik der Akteure basiert auf dem Esser'schen Modell soziologischer Erklärung (1999), insbesondere der Logik der Situation und der Logik der Selektion; d.h. die Akteure selektieren im Rahmen der situativ wahrgenommenen Opportunitäten die Handlungsalternative, die ihren subjektiven Erwartungsnutzen maximiert (vgl. auch die Ausführungen zum Modell der Frame-Selektion (MFS) in Abschnitt 3.4).

#### *System*

Die Makro-Ebene des Systems strukturiert die Aktionen der Akteure, und zwar im doppelten Sinne: als Einschränkung (constraint), aber auch als Möglichkeitsraum. Im Fall eines funktionellen Teilsystems wie des Straßenverkehrs stehen den Akteuren beispielsweise nur die vorhandenen Straßen zur Verfügung (infrastrukturelle „constraints“) – aber auch nur dann, wenn dort kein Verkehrsstau besteht (situationale „constraints“, die sich als emergentes Resultat der Interaktionen ergeben). Diese Struktur bietet den Akteuren also einerseits Optionen für Entscheidungen (auch in Form der Interaktion mit anderen Akteuren), die ihnen ansonsten nicht zur Verfügung stünden. Zugleich sind die Akteure jedoch in ihren Handlungswahlen durch die sich eröffnenden Möglichkeiten eingeschränkt.

#### *Wechselwirkungen Mikro-Makro*

Das Modell enthält Regeln für die Interaktion der Akteure mit ihrer sozialen (aber auch ihrer infrastrukturellen) Umwelt, und zwar in zweierlei Weise: Es definiert, in welcher Weise die Akteure die Umwelt wahrnehmen (Logik der Situation); und es enthält Mechanismen, wie die Ak-

teure die Umwelt verändern. Dadurch, dass alle Akteure auf einer gemeinsamen, strukturierten Makro-Ebene agieren, können die Einzelaktionen sämtlicher Akteure zu System-Zuständen aggregiert werden, welche sich im zeitlichen Verlauf dynamisch verändern können. Diese Mikro-Makro-Transformation entspricht der Esser'schen „Logik der Aggregation“ – wobei die Methode der Computersimulation hilft, die Transformationsregeln abzubilden (vgl. Abschnitt 3.1).

#### *Governance*

Über Esser hinausgehend, enthält das Modell zudem Ansatzpunkte für Interventionen auf der Systemebene, mit deren Hilfe die Situation verändert und so das Verhalten der Akteure beeinflusst werden kann. Dies setzt Ziele auf der Systemebene voraus wie beispielsweise die Aufrechterhaltung der Systemstabilität (Stichwort: Stauvermeidung im Straßenverkehr) oder die Veränderung des Systems (Stichwort: Energiewende). Daher stehen unterschiedliche Governance-Modi zur Verfügung, um die Intensität derartiger Interventionen in Anlehnung an soziologische Konzepte wie zentrale Steuerung oder dezentrale Koordination konfigurieren zu können.

#### *Indikatoren*

Zudem verfügt das Modell über Messfühler zur Diagnose des aktuellen Systemzustands, welcher sich aus den aggregierten Handlungen der Akteure ergibt. Darüber hinaus gibt es Mikro-Indikatoren, welche die Erreichung der individuellen Ziele der Akteure messen, sowie Makro-Indikatoren, mit deren Hilfe die Erreichung bzw. Nicht-Erreichung der Ziele auf der Systemebene vermessen werden kann.

Die Leistungsfähigkeit der Governance-Modi soll also sowohl anhand von Makro-Indikatoren, welche die Effizienz von Governance auf der Systemebene anzeigen, als auch anhand von Mikro-Indikatoren überprüft werden, die den Grad der Zielerreichung auf Seiten der Akteure messen. Denn es ist nicht unwahrscheinlich, dass es zu Zielkonflikten kommt, wenn beispielsweise ein steuernder Eingriff, dessen Ziel es ist, das System zu stabilisieren, einen Teil der Akteure daran hindert, ihre individuellen Ziele zu erreichen – oder umgekehrt.

### **3. SUMO-S – Eine soziologische Verkehrs-Simulation**

Das von uns entwickelte Verkehrs-Simulationsframework SUMO-S (wobei S für soziologisch steht) unterscheidet sich von der Basisversion SUMO<sup>4</sup> durch die softwaretechnische Umsetzung der in Abschnitt 2 entwickelten theoretischen Konzepte. Dies umfasst insbesondere die mikro-soziologisch fundierte Handlungslogik der Agenten, die dynamische Veränderung des Systemzustands sowie die Möglichkeit steuernder Eingriffe – je nach Governance-Modus in unterschiedlicher Intensität. Im Folgenden werden sämtliche Komponenten von SUMO-S detailliert dargestellt, allerdings unter Verzicht auf eine Reproduktion des Quellcodes der Software.

#### **3.1. Agentenbasierte Modellierung und Simulation**

Die Methode der Computersimulation bietet sich als ein Ansatzpunkt zur Untersuchung komplexer Systeme an. Agentenbasierte Simulationsmodelle sind in der Lage, eine Vielzahl eigenständig handelnder Agenten gleichzeitig zu simulieren (vgl. Schneider/Bauer 2009: 44ff.; Kron 2010: 218ff.). Zudem lassen sich, worauf Esser schon 1991 hingewiesen hat, mit Hilfe dieser

---

<sup>4</sup> Das Verkehrssimulations-Framework SUMO (Simulation of Urban Mobility) wird am Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt (SUMO 2010).

Methode Prozesse der Aggregation empirisch untersuchen, was mit kaum einer anderen soziologischen Methode möglich ist (1991: 41; vgl. Weyer et al. 2011).

Die agentenbasierte Modellierung und Simulation (ABMS) sozialer Systeme greift Ideen auf, die Schelling (1969) erstmals im Rahmen seines Segregationsmodells entwickelt hatte. Sie stellt ihre Vorzüge besonders dann unter Beweis, wenn die Interaktionen heterogener Agenten komplex und nichtlinear sind und so emergente Effekte entstehen können, die sich nicht mit einfachen Flussmodellen oder Systemen rekonstruieren lassen, welche durch Differentialgleichungen beschrieben werden (Bonabeau 2002: 51).

Die Methode der Computersimulation erlaubt, die Wechselwirkungen zwischen der Mikro- und der Makro-Ebene eines sozialen Systems experimentell zu untersuchen (Kron 2010: 218ff.). Sie ermöglicht eine dynamische Modellierung sozialer Systeme, deren Veränderungen im Zeitablauf damit beobachtbar werden; und sie eignet sich insbesondere zur Implementation soziologischer Theorien wie des Esser'schen Modells soziologischer Erklärung (MSE, vgl. Esser 1991, 1993, 1999), das mit der Logik der Situation, der Logik der Selektion und der Logik der Aggregation drei Teilelemente enthält, die im theoretischen Modell bereits stark formalisiert sind. Ähnliches gilt für das Modell der Frame-Selektion (Kroneberg 2005), das es möglich macht, die *Situation* (vermittelt über Brückenhypothesen) und damit sowohl die im System geltenden Regeln als auch die Entscheidungsspielräume der Akteure bei der Modellierung von Handlungswahlen zu berücksichtigen.

Die Methode einer handlungstheoretisch fundierten, agentenbasierten Modellierung und Simulation sozialer Systeme (vgl. Fink/Weyer 2011) eignet sich also, um Handlungswahlen einer großen Anzahl heterogener Akteure abzubilden. Wir vermuten daher, dass sie sich auch zur Untersuchung von Governance-Themen eignet und somit dazu beitragen könnte, offene Fragen der Governance-Forschung, insbesondere die nach der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Modi, zu beantworten.

### **3.2. Konzeption des Simulationsframeworks**

SUMO-S wurde entwickelt, um die Strukturen und Prozesse in einem funktionellen Teilsystem (im Sinne von Mayntz/Scharpf, s.o.) zu untersuchen, und zwar am Beispiel der Verkehrssteuerung rund um den Signal Iduna Park (das ehemalige Westfalenstadion) in Dortmund. Die Verkehrsbetriebe der Stadt Dortmund haben dort einen Leitstand aufgebaut, in dem die Daten aus Messschleifen und ferngesteuerten Kameras zusammenfließen. Zudem kann der Verkehr großräumig mithilfe unterschiedlicher Techniken (Hinweistafeln, Straßensperrungen etc.) gesteuert werden.

Die Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe, die wir bei ihrer Arbeit beobachten und mit denen wir Interviews führen konnten, haben im Laufe der letzten Jahre beträchtliche Erfahrungen im Umgang mit diesem System gesammelt, so dass es in Dortmund während der Frauenfußball-Weltmeisterschaft im Jahr 2011 nicht zu dem Chaos kam wie rund um das Stadion in Mönchengladbach, wo bis dato noch keine Verkehrssteuerung implementiert war.

Das globale Ziel, das die Verkehrsbetriebe mit diesem System verfolgen, besteht darin, dass alle per Pkw anreisenden Zuschauer eine Route zu einem der Parkplätze wählen, die es ermöglicht, dass sie rechtzeitig zum Anpfiff des Fußballspiels im Stadion sind.

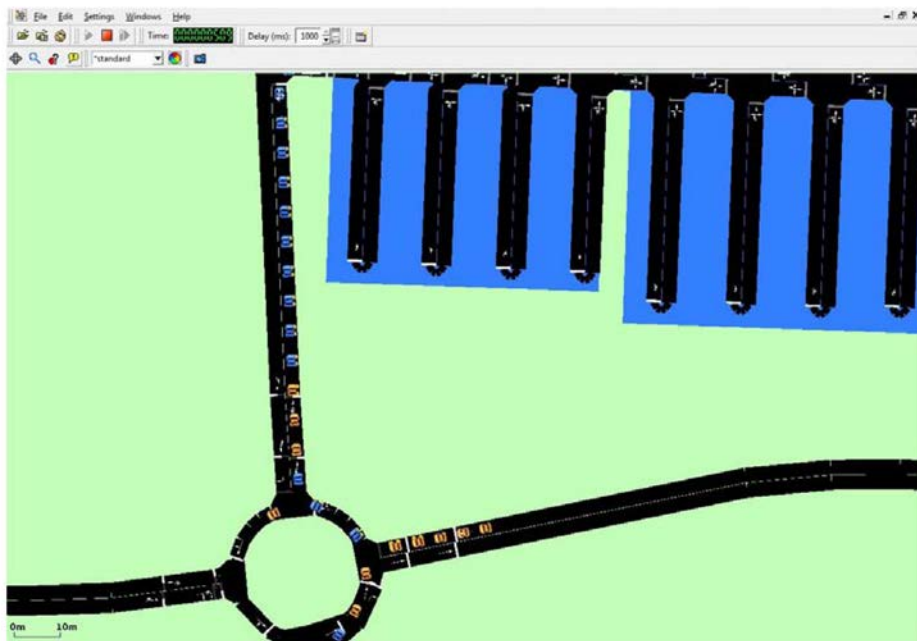


Abbildung 2: SUMO-S Screenshot (Ausschnitt): Kreisverkehr und Parkplatz (blau hinterlegt)

Das individuelle Ziel eines jedes Verkehrsteilnehmers besteht darin, auf seinen Wunschparkplatz zu gelangen, von dem aus er das Stadion möglichst optimal erreichen kann (bzw. nach Spielende möglichst rasch abreisen kann). Dieser Wunsch ist bei einheimischen Fans aufgrund der Ortskenntnis naturgemäß stärker ausgeprägt als bei Fans, die von auswärts anreisen.

Aus den Interviews, die wir mit den Mitarbeitern des Leitstands geführt haben, wurde zudem deutlich, dass es Sinn macht, unterschiedliche Fahrertypen zu implementieren, die auf steuernde Impulse unterschiedlich reagieren (vom konsequenten Befolgen bis hin zum beharrlichen Ignorieren). Das Simulationsframework sollte möglichst viele dieser Facetten abbilden.

#### *SUMO und SUMO-S*

Das Verkehrssimulations-Framework SUMO bildet die technische Basis von SUMO-S und enthält viele der für die Modellierung benötigten Grundlagen. Diese umfassen insbesondere die Infrastruktur, ein *physikalisches* Fahrzeugfolgemodell für die Agenten, Messschleifen sowie die (für unsere Zwecke erweiterte) Möglichkeit, skriptgesteuert in die Simulation einzugreifen und bspw. einzelne Objekte zu verändern. Das rein physikalisch begründete Fahrverhalten der Agenten basiert auf dem mikroskopischen Fahrzeugfolgemodell von Krauß, welches auf der Annahme beruht, dass „Fahrzeuge sich in der Regel kollisionsfrei bewegen“ (Krauß 1998).

Für das *soziologische* Fahrermodell in SUMO-S mussten wir die Routenwahl der Agenten modellieren, wobei wir auf das Modell soziologischer Erklärung (MSE, Esser 1999) sowie das Modell der Frame-Selektion (MFS, Kroneberg 2005) zurückgegriffen haben. Beide Modelle sind für diesen Zweck gut geeignet, da sie es ermöglichen, unterschiedliche Präferenzen der Agenten

sowie variable Umgebungsbedingungen zu integrieren. Zudem sind sie parametrisierbar, d.h. mit ihrer Hilfe lassen sich beispielsweise unterschiedliche Fahrertypen modellieren.<sup>5</sup>

Aufgabe der Agenten (Fahrer) ist es, einen ihren individuellen Präferenzen entsprechenden Parkplatz anzusteuern. Sie orientieren sich dabei an der aktuellen Verkehrslage sowie an Routen-Empfehlungen bzw. Straßensperrungen (vgl. Abschnitt 3.3). Die eigentliche Fahraufgabe (Spurhalten, Geschwindigkeit regulieren) wird in unserem Framework von allen Agenten gleich erledigt.

Insgesamt wurden pro Versuchslauf jeweils ca. 6750 Fahrzeuge modelliert, die zeitlich gestaffelt in das Straßensystem einfahren und einen Parkplatz aufsuchen (vgl. ausführlich Kroniger/Lücke 2010).

Schließlich mussten die Instrumente zur *Systemsteuerung* modelliert und als Erweiterung von SUMO implementiert werden.

#### *Interventions-Techniken*

Als Eingriffsmöglichkeiten stehen den Systemsteuerern zwei Systeme zur Verfügung:

- das Verkehrsleitsystem (VLS), welches rechtlich bindende Informationen wie Straßensperrungen kommuniziert, und zwar per Beschilderung und ggf. Beschränkung;
- das Parkleitsystem (PLS), welches lediglich Empfehlungen für die Routenwahl anzeigt.

Es ist damit möglich, Fahrern mit dem Ziel „Stadion“ eine andere Route zu empfehlen als Fahrern mit dem Ziel „Westfallenhallen“.

#### *Messfühler*

Angelehnt an das Realsystem stehen auch im hier untersuchten Szenario Messwerte von Induktionsschleifen zur Verfügung, die an unterschiedlichen Stellen installiert sind. Dabei wurde als Kriterium die aktuell gefahrene Durchschnitts-Geschwindigkeit genutzt. Wenn diese zu stark absinkt, kann von einem Stau ausgegangen werden. Daneben stehen für alle Parkplätze die genauen Füllstände zur Verfügung. Die in den Versuchsläufen erhobenen Werte der Induktionsschleifen werden später auch in der Auswertung genutzt.

#### *Das Problem der Verallgemeinerbarkeit*

Die Methode der Computersimulation arbeitet immer mit konkreten Szenarien und steht damit vor dem Problem der Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse sowie deren Übertragbarkeit auf andere Bereiche.

Ein Vorzug unseres Ansatzes besteht darin, dass wir in den Szenarien mit Daten (z.B. von Messschleifen) arbeiten konnten, die uns die Stadt Dortmund freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat. Auf diese Weise war es möglich, ein Modell zu entwickeln, das nahe an der Realität ist, das also die Praxis von Governance in einem funktionellen Teilsystem widerspiegelt. Die Alternative zu diesem Verfahren wären abstrakte Szenarien und Modelle, die theoriegestützt entwickelt werden, dann aber den Beweis führen müssten, dass ihre Annahmen realistisch sind.

---

<sup>5</sup> Unseres Wissens handelt es sich um den ersten Versuch einer simulativen Implementierung des MFS. Wir können auf diesen Aspekt in der vorliegenden Abhandlung leider nicht eingehen.

### 3.3. Governance-Modi in der Praxis

Die in Abschnitt 2.2 definierten Governance-Modi lassen sich nun auf den konkreten Fall projizieren. In der Praxis findet man vor allem folgende drei Modi:

#### *Dezentrale Koordination (KOOR)*

Die Verkehrszentrale greift nicht ein, sondern beschränkt sich auf eine Beobachterrolle. Die Pkw-Fahrer lösen ihre Aufgabe, den Wunschkampplatz zu finden, durch lokale Optimierung und Koordination mit anderen Verkehrsteilnehmern. Im ungünstigsten Fall fahren sie nacheinander eine Reihe bereits voller Parkplätze an, da keinerlei Informationen über den Grad der Belegung zur Verfügung stehen.

#### *Weiche Steuerung (STRG\_W)*

Die Verkehrszentrale setzt das Parkleitsystem (PLS) ein und empfiehlt Routen, auf denen sich freie Parkplätze erreichen lassen. Sie setzt damit Anreize, denen die Fahrer folgen können, aber nicht müssen. Die Zentrale weiß jedoch nicht, ob diese Routen auch den Wünschen der jeweiligen Fahrer entsprechen; denn sie hat diesbezüglich keinerlei Informationen und bekommt auch kein Feedback. Dieser Modus ist insofern interessant, als der Steuerer nicht wissen kann, ob seine Eingriffe Wirkung zeigen, weil es der Entscheidung jedes individuellen Agenten obliegt, den Empfehlungen zu folgen oder nicht (was unter anderem vom Fahrertyp abhängt, s.u.). Denn in die Handlungswahl jedes einzelnen Agenten gehen unterschiedliche Faktoren ein, unter anderem die lokal verfügbaren Informationen, die globalen, von der Systemzentrale zur Verfügung gestellten Informationen sowie die eigenen Ziele und Präferenzen.

#### *Harte Steuerung (STRG\_H)*

Das Verkehrsleitsystem (VLS) ermöglicht direktere Eingriffe, z.B. mithilfe von Straßensperrungen, die nicht nur physische Barrieren darstellen, sondern auch rechtlich bindenden Charakter haben. Doch auch dieser Fall ist steuerungstheoretisch interessant, weil den Fahrern in den meisten Fällen dennoch Wahlmöglichkeiten bleiben. Sie sind in ihrer Routenwahl zwar eingeschränkt, müssen aber dennoch Entscheidungen fällen, welche Route sie anstelle der gesperrten wählen. Hier kann z.B. das Parkleitsystem eine Entscheidungshilfe bieten.

Die oben beschriebenen Modi spezifizieren jeweils die *maximal* verfügbare Eingriffstiefe aus Sicht des Systemsteuerers, die es ihm ermöglicht, die verfügbaren Modi flexibel einzusetzen, also ggf. auch weniger hart einzugreifen, als der gewählte Modus es zulassen würde. Der Verkehrszentrale stehen immer mehrere Optionen zur Verfügung; und sie kann bei Bedarf zwischen verschiedenen Modi hin- und herschalten („Switch“).

Der Modus der harten Steuerung (STRG\_H) impliziert beispielsweise, dass das System phasenweise auch in einem anderen Modus, z.B. der weichen Steuerung (STRG\_W), operieren kann, aber auch dass der stärkere Durchgriff nur partiell wirksam wird, beispielsweise nur an neuralgischen Punkten des Systems, nicht aber im gesamten Streckennetz.

Bei der Modellierung haben wir daher die verschiedenen Modi über die maximal mögliche Eingriffstiefe definiert, um sie (künstlich) zu isolieren und unter kontrollierten Laborbedingungen zu testen, auch wenn die anderen verfügbaren Modi im Hintergrund mitlaufen und das Ergebnis teilweise beeinflussen.

### 3.4. Implementation des Modells der Frame-Selektion

Das Modell der Frame-Selektion (MFS) ist eine Erweiterung des Modells soziologischer Erklärung (MSE), welches der Tatsache Rechnung trägt, dass nicht in jeder Situation ein rationaler Prozess der Handlungswahl vollzogen wird. Dies gilt insbesondere wenn die Situation eine hinlänglich bekannte Struktur hat (z.B. Frame „Ampel rot“) und ein bewährtes Muster der Handlungswahl (z.B. Skript „anhalten“) verfügbar ist, das die Aktion “bremsen” zwangsläufig nach sich zieht. Für eine soziologische Erklärung sind Frames insofern von großer Bedeutung, als sie subjektive Interpretationen der Situation beinhalten und somit Ansatzpunkte für Steuerung darstellen – ein Aspekt, auf den hier allerdings nicht näher eingegangen werden kann.

Wir haben für unser Framework folgende Frames definiert (ausführlich Kroniger/Lücke 2010: 72ff.) und zudem festgelegt, dass stets der Frame mit dem kleinsten Index gewählt wird:

- $F_0$  Verkehrsleitsystem: Ein Schild des Verkehrsleitsystems ist auf der aktuell befahrenen Straße geschaltet.
- $F_1$  Parkleitsystem: Eine Routenempfehlung durch das Parkleitsystem ist auf der aktuell befahrenen Straße geschaltet.
- $F_2$  Parkplatz voll: Der Fahrer erhält Kenntnis, dass der von ihm angestrebte Parkplatz voll ist.
- $F_3$  Stau: Der Fahrer fährt seit mehr als 120 sec mit sehr langsamer Geschwindigkeit.
- $F_4$  Normales Fahren: Solange keiner der anderen Frames gewählt wird, bleibt der Fahrer im Frame  $F_4$ , d.h. er führt nur die normale Fahraufgabe aus, was durch das oben erwähnte physikalische Fahrermodell modelliert wird.

In der nachfolgenden Skript-Selektion gibt es zwei Möglichkeiten, auf vorstrukturierte Bündel von Aktionen bzw. Handlungsprogramme zurückzugreifen (falls diese dem Fahrer zur Verfügung stehen):

- $S_0$  Route überdenken: Der Fahrer überdenkt die Route, falls er auf dieses Skript zurückgreifen kann (z.B. wenn er es gewohnt ist, Hinweise des PLS zu befolgen, oder wenn er damit gute Erfahrungen gemacht hat).
- $S_1$  Route nicht überdenken: Der Fahrer bleibt bei seiner Routenwahl, falls er auf ein Skript zurückgreifen kann, das sich in ähnlichen Situationen bewährt hat.<sup>6</sup>

In der abschließenden Selektion einer Aktion stehen die folgenden Möglichkeiten zur Auswahl:

- $A_0$  Route beibehalten (Diese Aktion wird automatisch gewählt, wenn Skript  $S_1$  gewählt wurde.)
- $A_1$  Durch VLS oder PLS vorgegebene Route nutzen.
- $A_2$  In Abwägung aller verfügbarer Informationen eigener neuer Route zum aktuell gewählten Parkplatz folgen.
- $A_3$  In Abwägung aller verfügbarer Informationen eigener neuer Route zu neuem Parkplatz folgen.

---

<sup>6</sup> In unserem Modell hat Frame  $F_4$  automatisch die Wahl von Skript  $S_1$  zur Folge; bei anderen Frames hängt es vom Fahrertyp ab, welches Skript gewählt wird.



### 3.5. Fahrerotypen

In Anlehnung an das MFS-/SEU-Konzept geht das soziologische Fahrermodell davon aus, dass Handlungswahlen gemäß individueller Präferenzen getroffen werden, gegebenenfalls auch automatisch-spontan. Die Individualität der Agenten lässt sich entweder durch Randomisierung ihrer Eigenschaften (vgl. Epstein/Axtell 1996) oder durch eine Definition von Typen erzeugen. Die U-Werte (für die Wertigkeit von Zielen) und p-Werte (für die Wahrscheinlichkeit der Erreichung von Zielen mittels bestimmter Aktionen), welche die Basis für SEU-Kalkulationen bilden, können entweder vom Experimentator vorgegeben (Fink/Weyer 2011) oder durch Befragungen erhoben werden, um das Modell auf diese Weise mit Realdaten zu kalibrieren (Winkler 2011).

Wir haben uns im vorliegenden Fall für eine Art Mittelweg entschieden, nämlich uns auf die Einschätzungen der Mitarbeiter des Leitstandes zu verlassen, die unterschiedliche Fahrerotypen definiert haben, welche auf unterschiedliche Art und Weise auf externe Vorgaben reagieren (vgl. Kroniger/Lücke 2010: 208ff.). Diese konkreten Fahrerotypen korrespondieren in gewisser Weise mit den Schimank'schen Akteurmodellen (2000: 19ff.; vgl. Kron 2010: 17ff.).<sup>7</sup>

Die Charakteristika der Fahrerotypen haben wir in folgende Modellparameter übersetzt:

#### *Der Folgsame ( $F_F$ )*

Der Folgsame nutzt nach Möglichkeit alle ihm zur Verfügung stehenden Informationen, um ohne eigene Anstrengung eine gute Route zu finden. Dabei verlässt er sich besonders auf die durch Park- und Verkehrsleitsystem vermittelten Hinweise. Ein Stau ist für ihn kein Grund, die aktuelle Route zu ändern. In der Realität verhalten sich vor allem ortsfremde Fahrer mit geringen bis gar keinen Ortskenntnissen auf diese Art und Weise. (Der Folgsame entspricht in etwa dem Akteurmodell des normbefolgenden Homo sociologicus.)

#### *Der Denker ( $F_D$ )*

Der Denker trifft seine Routenwahl strategisch kalkulierend, verlässt sich dabei jedoch nur auf Informationen, die er selbst aus dem Verkehrsbild gewonnen hat. Somit ignoriert er die Empfehlungen des Parkleitsystems und reagiert nur auf Staus und Straßensperrungen. (Der Denker entspricht in etwa dem Akteurmodell des nutzenmaximierenden Homo oeconomicus, das ebenfalls auf den folgsamen Denker zutrifft.)

#### *Der folgsame Denker ( $F_{FD}$ )*

Im Gegensatz dazu versucht der folgsame Denker, alle ihm zur Verfügung stehenden Informationen in seine Routenkalkulation einfließen zu lassen.

#### *Der Sturkopf ( $F_S$ )*

Der Sturkopf bildet einen Fahrerotyp ab, welcher die Gegebenheiten vor Ort gut kennt und bereits im Vorhinein weiß, über welche Route er einen bestimmten Parkplatz ansteuern möchte. Von diesem Plan lässt er sich nur durch Straßensperrungen (oder einen bereits vollen Parkplatz) abhalten. (Der Sturkopf lässt sich mit Hilfe der Schimank'schen Akteurmodelle am schlechtesten fassen; am ehesten treffen auf ihn einige Charakteristika des Identitätsbehaupters zu. Er agiert zudem wie ein Homo oeconomicus, der jedoch – im Gegensatz zu den beiden Denker-

---

<sup>7</sup> Das Problem der Devianz können wir auf diese Weise nur insofern abbilden, dass einzelnen Typen von der Norm abweichen, nicht aber dahingehend, dass einzelnen Agenten die Handlungslogik ihres Typs missachten.

Typen – stets im vorab gewählten Frame bleibt. Später bezeichnen wir ihn – ein wenig verkürzt – als rationalen Egoisten.)

Diese unterschiedlichen Fahrertypen sind insofern von Relevanz, als der Erfolg von Governance, wie sich später zeigen wird, nicht ausschließlich vom gewählten Modus abhängt, sondern auch vom Mischungsverhältnis der Fahrertypen. Es wäre ja auch unrealistisch, eine homogene Fahrer-Population zu unterstellen. Zudem machen es die oben angestellten Überlegungen zur Wechselwirkung von Mikro- und Makro-Ebene plausibel, verschiedene Agententypen zu konstruieren, um so emergente Effekte unterschiedlicher Konfigurationen untersuchen zu können – und zwar unterschiedlicher Konfigurationen nicht nur auf der Ebene von Governance, sondern auch auf der Ebene der Agenten (Fahrer).

### 3.6. Fahrer-Mischverhältnisse

In den Experimenten werden verschiedene Mischungsverhältnisse der vier Fahrertypen betrachtet; ausgehend von einer realitätsnahen Mischung ( $Mix_1$ ) lassen sich sowohl folgsamere ( $Mix_2$ ) als auch sturere ( $Mix_3$ ) Populationen abbilden. Zusätzlich wird der hypothetische Fall untersucht, dass ausschließlich folgsame Fahrer im Spiel sind ( $Mix_0$ ). Die Anzahl der beiden Denker-Typen ( $F_D$  und  $F_{FD}$ ) wurde in allen Versuchsläufen konstant gehalten, um nicht zu viele Variablen zu verändern.

Somit ergeben sich die folgenden Fahrer-Mischverhältnisse:

$Mix_0$  ausschließlich folgsame Fahrer

$Mix_1$  realitätsnahe Mischung, basierend auf den Angaben der Leitstand-Mitarbeiter (Sturkopf 47%; Denker 29%; Folgsame 13%; folgsame Denker 11%).<sup>8</sup>

$Mix_2$  mehr Folgsame als in  $Mix_1$  (folgsame Denker 39%; Folgsame 32%; Sturkopf 19%; Denker 10%); diese Mischung enthält einen größeren Anteil Fahrer, die den Empfehlungen folgen.

$Mix_3$  mehr Sturköpfe als in  $Mix_1$  (Sturköpfe 60%; Denker 20%; andere jeweils 10%); diese Gruppe ist schwerer von außen zu beeinflussen.

### 3.7. Erfolgskriterien von Governance

Wie in Abschnitt 2.2 erwähnt, enthält die Fachliteratur kaum konkrete Hinweise auf Kriterien, mit deren Hilfe man den Erfolg von Governance vermessen sowie die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Modi vergleichen könnte. Wir verwenden daher die folgenden Indikatoren auf der Makro- und auf der Mikro-Ebene.

#### *Systemziele (Makro-Ebene)*

Als globales Systemziel lässt sich – auf Basis der Interviews, die wir geführt haben – das möglichst gute Funktionieren des Systems, also der möglichst reibungslose Verkehrsfluss zum (bzw. vom) Stadion definieren.

Als Global-Indikatoren für die Leistungsfähigkeit des Systems soll daher erstens die Zeit  $t$  dienen, die benötigt wird, bis alle Fahrzeuge einen Parkplatz erreicht haben, und zweitens die Durchschnittsgeschwindigkeit  $v$  aller Fahrzeuge während eines Versuchslaufs. Auf diese Weise

---

<sup>8</sup> Die pseudo-präzisen Prozentangaben erklären sich dadurch, dass wir die geschätzten absoluten Zahlen, die uns von den Leitstand-Mitarbeitern genannt wurden, in Prozentzahlen umrechnen mussten.

wollen wir Anhaltspunkte gewinnen, um unterschiedliche Governance-Modi miteinander zu vergleichen.

Ein dritter Indikator ergibt sich aus folgender Überlegung: Aus Sicht der Steuerer ist es optimal, wenn das System sich über einen längeren Zeitraum in einem einigermaßen stabilen Zustand befindet, wenn also allzu starke Schwankungen (wie Staus, Stop-and-go-Verkehr etc.) vermieden werden können.

Wir verwenden daher Staus an neuralgischen Punkten des Straßennetzes als Indikatoren für Systemstabilität und messen dies anhand der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrzeuge auf dem betreffenden Streckenabschnitt. Wir postulieren, dass die Performance des Systems umso besser ist, je weniger die Durchschnittsgeschwindigkeit (auf neuralgischen Streckenabschnitten) schwankt.<sup>9</sup> Schwankt die Durchschnittsgeschwindigkeit stark, ist das Gesamtsystem gleichsam „aus dem Takt geraten“, während eine gleichförmige Durchschnittsgeschwindigkeit auf ein intaktes System schließen lässt. Und je höher diese ist, umso besser funktioniert das gesamte System.

Zur Operationalisierung der Systemstabilität verwenden wir daher die folgende Formel, in der die Schwankungen der Durchschnittsgeschwindigkeit auf einzelnen, neuralgischen Streckenabschnitten zu der globalen Variable  $S$  aggregiert werden.<sup>10</sup>

$$S = 100 \cdot \frac{1}{T-1} \cdot \sum_{t=2}^T \left( \text{abs} \left( \log \left( \frac{\bar{v}_t}{\bar{v}_{t-1}} \right) \right) \right)$$

Abbildung 3: Maßzahl  $S$  für Systemstabilität

Die Maßzahl  $S$  setzt, gemittelt über die gesamte Simulationsdauer  $T$  (in Minuten), die Durchschnittsgeschwindigkeit ( $\bar{v}_t$ ) im Zeitfenster  $t$  ins Verhältnis zu derjenigen in der vergangenen Minute ( $\bar{v}_{t-1}$ ). Da bei Betrachtung dieses Quotienten jedoch die Werte für eine Geschwindigkeitsverdopplung (2) bzw. eine Geschwindigkeitshalbierung (0,5) unterschiedlich „weit“ von konstanter Geschwindigkeit (1) sind, logarithmieren wir die Ergebnisse, wodurch die beiden genannten Fälle mit den Werten -0,301 und 0,301 jeweils gleich weit vom Idealfall (0) entfernt sind.

	$\frac{\bar{v}_t}{\bar{v}_{t-1}}$	$\log \left( \frac{\bar{v}_t}{\bar{v}_{t-1}} \right)$	$\text{abs} \left( \log \left( \frac{\bar{v}_t}{\bar{v}_{t-1}} \right) \right)$
Verdopplung	2	-0,301	0,301
Halbierung	0,5	0,301	0,301
Keine Änderung	1	0	0

Tabelle 1: Vergleich logarithmischer Berechnungen

Der Absolutbetrag *abs* schließlich entfernt die Vorzeichen – denn sonst würden sich bei der Mittelwertbildung gleichförmige Schwankungen nach oben und unten gegenseitig eliminieren, der Faktor würde also nicht das Gewünschte abbilden. Ein niedriger Wert für  $S$  steht somit für eine bessere System-Performance.

<sup>9</sup> Die neuralgischen Punkte, z.B. ein ‚Nadelöhr‘ in Form eines Kreisverkehrs südöstlich des Stadions, haben wir den Beschreibungen der Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe entnommen, die auf diese Punkte ein besonderes Augenmerk richten. Diese haben sich auch in unseren Versuchsläufen als „kritisch“ dargestellt.

<sup>10</sup> Unser Dank für die Unterstützung bei der Entwicklung dieser Formel geht an Tobias Liboschik.

Die Maßzahl  $S$  ist jedoch gleichgültig gegenüber der Geschwindigkeit; ein kontinuierlich und gleichmäßig, aber sehr langsam sich bewegender Verkehr würde gleich gut bewertet wie ein flüssiger und zügiger Verkehr. Daher haben wir zusätzlich eine Maßzahl  $P$  für die Systemperformance gebildet, die als gewichtete Summe der beiden Teilmaßzahlen Durchschnittsgeschwindigkeit  $v$  und Maßzahl  $S$  gebildet wird, die auf die jeweiligen Maximalwerte  $v_{\max}$  und  $S_{\max}$  aller Versuchsläufe normiert wurden:<sup>11</sup>

$$P = \left(1 - \frac{S}{S_{\max}}\right) \cdot 0,5 + \frac{v}{v_{\max}} \cdot 0,5$$

*Abbildung 4: Maßzahl P für Systemperformance*

*Akteurziele (Mikro-Ebene)*

Die Konzeption von Governance, die wir verwenden, unterstellt gewisse Freiheitsgrade der Akteure bei der Handlungswahl (vgl. Abschnitt 2.1). Diese haben somit auch ein eigenständiges Interesse an der Zielerreichung (z.B. auf ihrem Wunschparkplatz zu landen) – was zu Konflikten zwischen Akteur- und Systemzielen und somit zu unvorhersehbarem Systemverhalten führen kann.

Anstatt den aufwändigen Weg zu gehen, die realen Ziele und Präferenzen der Akteure zu erheben, haben wir uns auch hier auf die Einschätzung der Leitstand-Mitarbeiter verlassen. Unsere Experimente basieren auf der – empirisch noch genauer zu untersuchenden – Vermutung, dass die meisten Fahrer einen Plan haben, auf welchem Parkplatz sie parken und auf welchem Weg sie dorthin gelangen wollen. Dabei gilt für auswärtige Fans, dass sie weniger stark an ihren Plänen festhalten, auch wenn sie (aus Modellierungsgründen) ebenfalls eine Liste priorisierter Parkplätze haben. Zudem unterstellen wir, dass alle Fahrer (gemäß SEU-Logik) eine möglichst kurze Fahrtzeit präferieren.

Als Indikator zur Messung der Zielerreichung auf der Mikro-Ebene verwenden wir daher die Zeit, welche die Fahrer durchschnittlich von der Einfahrt ins simulierte Gebiet benötigen, bis sie auf irgendeinen Parkplatz gelangt sind.

Zusätzlich untersuchen wir, inwiefern der letztendlich erreichte Parkplatz den Wünschen der Fahrer entspricht. Dazu statten wir jeden simulierten Fahrer mit einer individuellen, geordneten Liste von drei Wunschparkplätzen aus, was uns in die Lage versetzt, durch Vergleich mit dem tatsächlich erreichten Parkplatz den Grad der Zielerreichung zu messen.

### **3.8. Zwischenfazit**

Mit dem Basis-Framework SUMO und seinen Erweiterungen um ein soziologisches Handlungsmodell (MSE/MFS) und um unterschiedliche Fahrertypen stehen nunmehr alle Komponenten zur Verfügung, die zur Modellierung der Mikro-Ebene erforderlich sind. Die Landschaft in Form einer Verkehrssimulation sowie die Fahremischverhältnisse und die Governance-Modi bilden die benötigten Komponenten der Makro-Ebene. Die Wechselwirkungen zwischen Mikro- und Makro-Ebene sind softwaretechnisch einerseits durch Anwendung des Esser'schen Dreischritts (Logiken der Situation, der Selektion und der Aggregation) abgebildet; hinzu kommen für den konkreten Fall die Interventionstechniken des Parkleit- und Verkehrsleitsystems

---

<sup>11</sup> Da bei der Maßzahl  $S$  ein kleiner Wert besser ist als ein großer, musste der normierte Wert zudem invertiert werden.

sowie die unterschiedlichen Indikatoren, mit deren Hilfe sich nicht nur die individuelle Zielerreichung, sondern auch die aggregierten Effekte auf der Systemebene vermessen lassen.

## 4. Experimente und Ergebnisse

Mit dem in Abschnitt 3 entwickelten Modell, bestehend aus dem Verkehrs-Simulationsframework SUMO-S und dem dort beschriebenen Verkehrs-Szenario, wurden 6000 Simulationsläufe durchgeführt, und zwar jeweils 500 mit jeder der 12 möglichen Kombinationen der drei Governance-Modi (STRG\_H, STRG\_W, KOOR) sowie der vier Fahrer-Mischungen (Mix<sub>0</sub> bis Mix<sub>3</sub>).<sup>12</sup> Um zu vermeiden, dass die zufällig gewählten Startwerte immer wieder das gleiche Ergebnis produzieren und dies ggf. zu falschen Schlussfolgerungen führen könnte, wurde die Ausgangskonstellation einer ansonsten deterministisch ablaufenden Simulation durch Randomisierung der Startzeiten der einzelnen Fahrzeuge leicht variiert.

Bei den Simulationsläufen wurden Verkehrsströme simuliert (z.B. von Norden in das simulierte Gebiet einführende Autos mit Fans der Gastmannschaft), wie sie typischerweise bei einem Bundesligaspiel an einem Samstagnachmittag auftreten.<sup>13</sup> Außer Betracht geblieben sind die – teils gleichzeitig, teils versetzt – anfallenden Verkehre zu den Dortmunder Westfalenhallen in unmittelbarer Nähe.

### 4.1. Makro-Indikator Gesamtzeit

Der erste Global-Indikator ist die Gesamtzeit (gemessen als Dauer des Simulationslaufs), die benötigt wird, bis sämtliche Fahrer einen Parkplatz erreicht haben. Überraschenderweise unterscheiden sich die Governance-Modi an diesem Punkt nicht so stark, wie ursprünglich vermutet.<sup>14</sup>

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix <sub>0</sub> (nur Folgsame)	Mix <sub>1</sub> (realitätsnah)	Mix <sub>2</sub> (mehr Folgsame)	Mix <sub>3</sub> (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	12.796	13.845	13.035	14.206	13.695
STRG_Weich (PLS)	13.984	13.117	13.020	13.158	13.098
KOORdination	14.561	14.025	14.068	14.100	14.064
<i>Spalten-Mittelwert</i>	<i>13.780</i>	<i>13.662</i>	<i>13.374</i>	<i>13.821</i>	

Tabelle 2: Durchschnittliche Simulationsdauer (kleine Werte sind besser als große)

Wie Tabelle 2 belegt, schneidet die weiche Steuerung (STRG\_W) mit einem (Zeilen-)Mittelwert von 13.098 am besten ab, der den Durchschnitt der Ergebnisse für Mix<sub>1</sub> bis Mix<sub>3</sub> darstellt. Die harte Steuerung (STRG\_H: 13.695) und die dezentrale Koordination (KOOR: 14.064) weisen

<sup>12</sup> Die hohe Zahl an Replikationen wurde gewählt, um möglichst kleine Konfidenzintervalle der Mittelwerte unterschiedlicher Indikatoren zu erhalten und damit eine hohe Reliabilität der Simulationsergebnisse zu gewährleisten. Zur Methodik der Konfidenzintervalle siehe Cohen 1994.

<sup>13</sup> Die Modellierung der dabei auftretenden Verkehrsströme basiert auf den Daten, die von der Stadt Dortmund (Tiefbauamt, Frank Spies) zur Verfügung gestellt wurden.

<sup>14</sup> In den folgenden Ausführungen wird der hypothetische Mix<sub>0</sub> nur als Referenz-Szenario mit betrachtet; er ist daher in den Tabellen grau hinterlegt.

deutlich schlechtere Mittelwerte auf. Die Konfidenzintervalle sind zudem hinlänglich schmal und überschneiden sich nicht.<sup>15</sup>

Im Modus der weichen Steuerung (STRG\_W) findet sich auch der beste Einzelwert von 13.020, und zwar für den Mix<sub>2</sub> mit mehr folgsamen Fahrern, der sich zudem deutlich von den anderen Fahrer-Mischverhältnissen (Mix<sub>1</sub> und Mix<sub>3</sub>) im Modus der weichen Steuerung abhebt.<sup>16</sup>

Dieser Wert liegt aber nur knapp unter dem Wert von 13.035 für STRG\_H. Da sich die Konfidenzintervalle hier überschneiden und auch der t-Test fehlschlägt, kann hieraus allenfalls eine Überlegenheit von Steuerung gegenüber Koordination abgeleitet werden, jedoch keine Differenz zwischen den beiden Steuerungs-Modi.<sup>17</sup>

## 4.2. Makro-Indikator Systemstabilität

Der zweite Indikator auf Systemebene ist die Systemstabilität, für die wir die Maßzahl *S* verwenden (vgl. Abschnitt 3.7). Da Steuerung, wie oben erwähnt, immer auf dem Umweg über die Mikro-Ebene der Akteure funktioniert (vgl. Abschnitt 2), kommt es hier ebenfalls darauf an, in welchem Zustand sich das Steuerungsobjekt befindet, konkret: welche Fahrertypen in welchem Mischungsverhältnis simuliert wurden (vgl. Abschnitt 3.6).

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix <sub>0</sub> (nur Folgsame)	Mix <sub>1</sub> (realitätsnah)	Mix <sub>2</sub> (mehr Folgsame)	Mix <sub>3</sub> (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	5,858	8,011	9,340	9,308	8,886
STRG_Weich (PLS)	6,301	10,187	5,820	9,591	8,533
KOORdination	8,500	10,064	10,181	10,603	10,283
Spalten-Mittelwert	6,886	9,421	8,447	9,834	

Tabelle 3: Maßzahl *S* für alle Fahrermischungen und Governance-Modi (kleine Werte sind besser als große)

Die Zahlen in Tabelle 3 verdeutlichen, dass ein pauschaler Vergleich der Governance-Modi (also eine zeilenweise Betrachtung) wenig aussagekräftig ist. Die weiche Steuerung (STRG\_W: 8,533) schneidet ein wenig besser ab als die harte Steuerung (STRG\_H: 8,886); die dezentrale Koordination (KOOR: 10,283) fällt hingegen deutlich ab.<sup>18</sup> Aber eine derartige Betrachtung der Mittelwerte ist wenig aussagekräftig, weil die Werte innerhalb der Zeilen stark streuen. Denn der gute Durchschnittswert für die weiche Steuerung (STRG\_W) resultiert maßgeblich aus dem Wert 5,820 für Mix<sub>2</sub>, der mit großem Abstand den besten Wert aller realistischen Szenarien bildet und zudem deutlich unter den Werten von 10,181 für dezentrale Koordination (KOOR)

<sup>15</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle (ohne Mix<sub>0</sub>) sind: STRG\_H [13644; 13747] STRG\_W [13094; 13103], KOOR [14061; 14067]. Wenn die Konfidenzintervalle der Mittelwerte zweier zu vergleichender Gruppen überschneidungsfrei sind, kann von tatsächlichen Unterschieden zwischen diesen Gruppen gesprochen werden.

<sup>16</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle für STRG\_W sind: Mix<sub>1</sub> [13112; 13122]; Mix<sub>2</sub> [13016; 13025], Mix<sub>3</sub> [13152; 13164].

<sup>17</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle für Mix<sub>2</sub> sind: STRG\_H [12995; 13074], STRG\_W [13016; 13025].

<sup>18</sup> Dies bestätigen auch die 95%-Konfidenzintervalle: STRG\_H [8,740; 9,032], STRG\_W [8,412; 8,653], KOOR [10,219; 10,346].

und 9,340 (STRG\_H) für denselben Mix liegt.<sup>19</sup> Offenbar lässt sich mit Hilfe von Anreiz-Steuerung die Performance in Mix<sub>2</sub> erheblich verbessern, während mit einer Erhöhung der Steuerungsintensität in Richtung harter Steuerung wenig zu gewinnen ist.

In den beiden anderen Fahrer-Mischverhältnissen (Mix<sub>1</sub> und Mix<sub>3</sub>) ist hingegen der Unterschied zwischen weicher Steuerung (STRG\_W) und dezentraler Koordination (KOOR) deutlich geringer. Fahrer-Mischverhältnisse mit mehr Sturköpfen als in Mix<sub>2</sub> führen offenbar nicht zu einer Verbesserung der Performance beim Wechsel von Koordination zu weicher Steuerung.<sup>20</sup>

#### „Actors matter“ (Mix<sub>2</sub>)

Man kommt offenkundig nicht umhin, die Ebene der Akteure mit einzubeziehen, um zu gehaltvollen Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Governance zu gelangen. Denn die Performance der Governance-Modi hängt stark vom Mischungsverhältnis der Fahrer ab. Weiche Steuerung (STRG\_W) funktioniert am besten in Kombination mit Mix<sub>2</sub>, der durch einen höheren Anteil folgsamer Fahrer als im realitätsnahen Szenario gekennzeichnet ist. Folgsamkeit bedeutet in diesem Kontext nicht, dass die Fahrer wie Automaten funktionieren, sondern lediglich dass ein höherer Anteil (nämlich 32 % statt 13 %) bereit ist, den Anweisungen bzw. Hinweisen zu folgen, statt an den eigenen Plänen unbeirrt festzuhalten wie beispielsweise der Denker bzw. der Sturkopf (vgl. Abschnitt 3.6).

Überraschenderweise unterschreitet der Wert von 5,820 (Mix<sub>2</sub>) sogar den Vergleichswert von 6,301, der für weiche Steuerung im Mix<sub>0</sub>, einem eher fiktiven Szenario mit nur folgsamen Fahrern, erzielt wurde. Offenkundig ist Folgsamkeit ein wichtiger Faktor für das Gelingen von Governance (Mix<sub>2</sub>); aber zu viele Agenten, die sich willenlos vom System steuern lassen, sind offenbar auch nicht vorteilhaft (Mix<sub>0</sub>). Es kommt vielmehr, wie bereits Ostrom (2000) in Bezug auf das Problem kollektiven Handelns herausgefunden hat, auf die Mischung multipler Spielertypen an. Denn die Akteure funktionieren nicht wie Automaten, sondern haben Spielräume für eigene Entscheidungen, die je nach Typ unterschiedlich genutzt werden. Und gerade diese Heterogenität scheint der Schlüssel zum Erfolg zu sein.

#### Mix<sub>1</sub> und Mix<sub>3</sub>

Ein zweiter Wert fällt auf, nämlich der Wert von 8,011 für harte Steuerung (STRG\_H) im Mix<sub>1</sub>, der den zweitbesten Wert aller realistischen Szenarien darstellt. Wir hatten bereits festgestellt, dass bei einer Population mit mehr folgsamen Fahrern (Mix<sub>2</sub>) mit harter Steuerung nichts zu gewinnen ist. In einem realistischen Szenario (Mix<sub>1</sub>), das durch einen höheren Anteil rationaler Egoisten gekennzeichnet ist, zeigen ‚harte‘ Interventionen hingegen eine deutliche Wirkung, nämlich in Form einer Verbesserung von Werten knapp über 10 (für STRG\_W bzw. KOOR) auf 8,011 (für STRG\_H). Wenn der Anteil der Sturköpfe noch weiter steigt (Mix<sub>3</sub>), ist der Effekt von harter Steuerung mit einer Verbesserung auf nur 9,308 hingegen kaum spürbar.<sup>21</sup> Offenkundig ist im hier untersuchten Szenario ein Mischungsverhältnis nachteilig, das zu viele rationale Egoisten enthält, die durch harte Steuerung weniger leicht zu beeinflussen sind..

---

<sup>19</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle sind: STRG\_H [9,208; 9,469], STRG\_W [5,790; 5,849], KOOR [10,050; 10,312].

<sup>20</sup> Bei Mix<sub>1</sub> überschneiden sich zudem die Konfidenzintervalle: STRG\_W [10,038; 10,335], KOOR [9,970; 10,157].

<sup>21</sup> Die Überschneidung der 95%-Konfidenzintervalle für STRG\_H [8,957; 9,657] und STRG\_W [9,442; 9,739] belegt zudem, dass diese Differenz nicht relevant ist.

### 4.3. Makro-Indikator Geschwindigkeit

Der dritte Makro-Indikator bestätigt zunächst die bereits getroffenen Aussagen, nämlich dass dezentrale Koordination (KOOR: 11,064) im Durchschnitt deutlich schlechtere Werte liefert als die beiden Governance-Modi weiche Steuerung und harte Steuerung.

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix <sub>0</sub> (nur Folgsame)	Mix <sub>1</sub> (realitätsnah)	Mix <sub>2</sub> (mehr Folgsame)	Mix <sub>3</sub> (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	12,111	14,090	13,278	14,549	13,972
STRG_Weich (PLS)	10,915	12,007	13,504	11,910	12,474
KOORdination	9,426	11,110	11,097	10,984	11,064
Spalten-Mittelwert	10,817	12,402	12,626	12,481	

Tabelle 4: Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrzeuge (große Werte sind besser als kleine)

Bei der Durchschnittsgeschwindigkeit schneidet nun die harte Steuerung (STRG\_H: 13,972) deutlich besser ab als die weiche Steuerung (STRG\_W: 12,474).<sup>22</sup> Die Einzelwerte zeigen jedoch eine auffällige Ausnahme: Bei einem größeren Anteil folgsamer Fahrer in Mix<sub>2</sub> ist die weiche Steuerung etwas besser (STRG\_W: 13,504) als die harte Steuerung (STRG\_H: 13,278).<sup>23</sup> Die harte Steuerung ist hingegen, wie schon beim Makro-Indikator Systemstabilität (vgl. Abschnitt 4.2), besonders effizient, wenn sie auf einen größeren Anteil rationaler Egoisten trifft; hier finden sich die beiden Spitzenwerte von 14,549 (Mix<sub>3</sub>) und 14,090 (Mix<sub>1</sub>).

Die Maßzahl  $P$ , welche die (normierte) Durchschnittsgeschwindigkeit mit der (normierten) Systemstabilität kombiniert, bestätigt dieses Bild:

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix <sub>0</sub> (nur Folgsame)	Mix <sub>1</sub> (realitätsnah)	Mix <sub>2</sub> (mehr Folgsame)	Mix <sub>3</sub> (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	0,761	0,780	0,728	0,769	0,759
STRG_Weich (PLS)	0,715	0,672	0,806	0,680	0,719
KOORdination	0,625	0,646	0,643	0,631	0,640
Spalten-Mittelwert	0,700	0,699	0,726	0,693	

Tabelle 5: Maßzahl  $P$  (große Werte sind besser als kleine)

Das Gefälle zwischen harter Steuerung (STRG\_H: 0,758), weicher Steuerung (STRG\_W: 0,719) und dezentraler Koordination (KOOR: 0,640) ist unübersehbar<sup>24</sup> – wiederum mit Ausnahme von Mix<sub>2</sub>, der im Fall weicher Steuerung (STRG\_W) den Spitzenwert von 0,806 aufweist. Der zweit- und der drittbeste Wert findet sich jedoch bei harter Steuerung (STRG\_H) im realitätsna-

<sup>22</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle sind: STRG\_H [13,939; 14,004], STRG\_W [12,436; 12,512], KOOR [11,053; 11,074]

<sup>23</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle bestätigen dies: STRG\_H [13,255; 13,300], STRG\_W [13,483; 13,525].

<sup>24</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle sind: STRG\_H [0,755; 0,762], STRG\_W [0,716; 0,723], KOOR [0,639; 0,642].



hen Mix<sub>1</sub> (0,780) bzw. im Mix<sub>3</sub> (0,769) mit einem hohem Anteil rationaler Egoisten.<sup>25</sup> Dies bestätigt folgende, oben bereits angedeutete Feststellungen:

- Weiche Steuerung ist bei einem hohem Anteil folgsamer Fahrer (Mix<sub>2</sub>) besonders wirksam, in anderen Fällen hingegen kaum besser als dezentrale Koordination.
- Ein Wechsel von weicher zu harter Steuerung ist im Fall von Mix<sub>2</sub> kontraproduktiv, bei einem höheren Anteil rationaler Egoisten (Mix<sub>1</sub> und Mix<sub>3</sub>) hingegen produktiv.
- Dezentrale Koordination ist in allen Fällen den anderen Governance-Modi unterlegen.

#### 4.4. Mikro-Indikator Fahrzeit

Wie bereits erwähnt, soll der Erfolg von Governance nicht nur anhand von Makro-Indikatoren (zur Vermessung der System-Performance), sondern auch anhand von Mikro-Indikatoren (zur Vermessung des Grades der individuellen Zielerreichung) untersucht werden, und zwar mithilfe der Indikatoren „Fahrzeit“ sowie „Wunschkampplatz“.

Denn es ist zu vermuten, dass der Erfolg von Governance auf Systemebene – zumindest auf längere Sicht – mit dem Erfolg der individuellen Akteure zusammenhängt. So wäre es ist durchaus denkbar, dass das System seine Ziele erreicht, nämlich alle Fahrzeuge vor Spielbeginn auf einen Parkplatz zu lotsen, dass dies jedoch den individuellen Zielen der einzelnen Akteure zuwiderläuft, beispielsweise ihre angestammte Route zu nutzen bzw. ihren Wunschkampplatz zu erreichen. Derartige Interessenkonflikte können das Vertrauen in das System schwächen und so nicht nur zu einer suboptimalen Nutzung der Möglichkeiten führen, die das System bietet, sondern auch die Nachhaltigkeit von Steuerungsbemühungen beeinträchtigen.

Wir vermuten, dass eine Systemsteuerung nur dann langfristig erfolgreich sein kann, wenn auch die Akteure – gemessen an ihren je individuellen Zielen – zufrieden sind und nicht in größerer Zahl aus dem System ausscheiden (Exit-Option) bzw. ihren Unmut kundtun (Voice). Dieser Aspekt der Nachhaltigkeit von Governance ist unseres Wissens bislang von der einschlägigen Forschung nicht thematisiert bzw. empirisch erforscht worden.

Die Daten für die durchschnittliche Fahrzeit, die alle Agenten bis zur Erreichung irgendeines Parkplatzes benötigten, ergeben folgendes Bild:

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix0 (nur Folgsame)	Mix1 (realitäts-nah)	Mix2 (mehr Folgsame)	Mix3 (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	438,0	465,0	430,8	462,4	452,7
STRG_Weich (PLS)	570,3	626,3	466,7	641,2	578,1
KOORdination	799,3	789,0	781,4	814,7	795,0
Spalten-Mittelwert	602,5	626,8	559,6	639,4	

Tabelle 6: Durchschnittliche Fahrzeiten aller Agenten (kleine Werte sind besser als große)

Zu unserer Überraschung reproduzieren die Daten der Mikro-Ebene nahezu vollständig das Bild, das sich bereits bei der Analyse der Makro-Indikatoren ergeben hatte. Angesichts mögli-

<sup>25</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle bestätigen dieses Bild. Sie überschneiden sich in den Spalten nicht und in den Zeilen nur in zwei Fällen (Mix<sub>1</sub>/Mix<sub>3</sub> – STRG\_H und Mix<sub>1</sub>/Mix<sub>2</sub> – KOOR), wo die Mittelwerte ohnehin dicht beieinander liegen.

cher Interessenkonflikte zwischen System und Akteuren hatten wir eher mit Differenzen gerechnet und nicht mit folgendem Ergebnis:

- Dezentrale Koordination (KOOR: 795,0) führt zu einem deutlich schlechteren Ergebnis als weiche Steuerung (STRG\_W: 578,1) und harte Steuerung (STRG\_H: 452,7) – und zwar nicht nur bei den (Zeilen-) Mittelwerten, sondern auch für jeden einzelnen Fahrer-Mix.<sup>26</sup>
- Die offenkundigste Abweichung von diesem Muster findet sich bei der Kombination von weicher Steuerung und Fahrer-Mix<sub>2</sub>, wo ein sehr gutes Ergebnis (466,7) erzielt wird, das dicht an den Ergebnissen für harte Steuerung liegt.
- Allerdings hängt die Leistungsfähigkeit weicher Steuerung stark von der Zusammensetzung der Agenten-Typen ab; denn bei einem höheren Anteil rationaler Egoisten (Mix<sub>1</sub> oder Mix<sub>3</sub>) sinkt die Performance auf mittelmäßige Werte von über 600.

#### 4.5. Mikro-Indikator Wunschkampplatz

Neben der Fahrzeit haben wir untersucht, wie hoch der Anteil der Agenten ist, die einen ihrer drei Wunschkampplätze erreicht haben:

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix1 bis Mix3)
	Mix0 (nur Folgsame)	Mix1 (realitätsnah)	Mix2 (mehr Folgsame)	Mix3 (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	69,0%	73,2%	72,8%	73,2%	73,1%
STRG_Weich (PLS)	69,3%	69,5%	69,8%	70,7%	70,0%
KOORdination	75,2%	71,3%	70,5%	72,3%	71,4%
Spalten-Mittelwert	71,2%	71,3%	71,0%	72,1%	

Tabelle 7: Anteil der Agenten, die einen der drei Wunschkampplätze erreicht haben (große Werte sind besser als kleine)

Zunächst überrascht die erstaunliche hohe Quote von circa 70 Prozent von Agenten, die auf einem ihrer Wunschkampplätze gelandet sind. Das Erreichen der Systemziele und das Erreichen der Akteurziele scheint – zumindest in unserem Szenario – weit weniger Konflikte zu produzieren als ursprünglich vermutet.

Zudem liegen die Werte so dicht beieinander, dass keine qualitativ sinnvolle Interpretation der Unterschiede zwischen den Modi und den Fahrer-Mixen möglich ist.<sup>27</sup>

#### 4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Sowohl die Analyse der Makro-Indikatoren als auch die Analyse der Mikro-Indikatoren führt zu Ergebnissen, die größtenteils in die gleiche Richtung weisen:

<sup>26</sup> Dies wird durch die 95%-Konfidenzintervalle bestätigt, die sehr schmal sind und sich zudem sowohl in den Spalten als auch in den Zeilen nicht überschneiden.

<sup>27</sup> Die 95%-Konfidenzintervalle sind bis auf eine Ausnahme disjunkt: Bei STRG\_H überschneiden sie sich für Mix<sub>1</sub> [0,7310; 0,7320] und Mix<sub>3</sub> [0,7314; 0,7323].

	Makro-Indikatoren			Mikro-Indikatoren	
	Gesamtzeit	Stabilität (S)	System-performance (P)	Fahrzeit	Parkplatz
<b>Arbeits-hypothesen</b>					
(A1) Steuerung besser als Koordination	Ja	Ja	Ja	Ja	(Ja)
(A2) Weiche Steuerung besser als harte Steuerung	Ja	Ja	Nein	Nein	(Nein)
(Z3) Bester Wert für Mix2/STRG_W	Ja	Ja	Ja	Ja	(Nein)
(Z4) Harte Steuerung leistungsfähig bei rationalen Egoisten (Mix1 und Mix3)	Nein	Ja	Ja	(Ja)	(Ja)

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse (Klammern = nur geringfügige Unterschiede)

Sämtliche von uns untersuchten Indikatoren verweisen darauf, dass der Governance-Modus der Steuerung in der Regel zu einer besseren Performance führt als der Modus der dezentralen Koordination (Annahme A1). Ob dabei die weiche Steuerung besser abschneidet als die harte Steuerung, lässt sich nicht pauschal beantworten (Annahme A2); dies hängt offensichtlich stark von der Zusammensetzung der Fahrertypen ab (Zusatzannahme Z3). Denn hier zeigt sich das eindeutigste Ergebnis unserer Analysen: Die Kombination von weicher Steuerung und Fahrer-Mix<sub>2</sub> mit mehr folgsamen Fahrern führt bei allen Indikatoren zu dem besten Wert, der zum Teil erheblich über bzw. unter den entsprechenden Vergleichswerten für andere Modi bzw. Mixe liegt. Bei einem höheren Anteil rationaler Egoisten scheint hingegen harte Steuerung besser abzuschneiden (Zusatzannahme Z4).

## 5. Fazit

In dieser Abhandlung haben wir ein Angebot unterbreitet, wie man die Begriffe „Steuerung“ und „Governance“ so definieren und operationalisieren kann, dass sie von einer empirisch-experimentell ausgerichteten Sozialforschung genutzt werden können. Mit Hilfe der Methode der agenten-basierten Modellierung und Simulation haben wir ein komplexes System nachgebaut, mit dem wir Simulationsläufe in unterschiedlichen Governance-Modi durchgeführt haben. Damit wollten wir zunächst zeigen, dass es möglich ist, den Gegenstand „Steuerung komplexer Systeme“ experimentell zu erforschen und die Mechanismen von Governance, insbesondere die Wechselwirkung von Mikro- und Makro-Ebene, zu analysieren.

Ein Großteil der Theorie-Angebote, die wir in der reichhaltigen Governance-Literatur vorgefunden haben, erwies sich als hilfreich und brauchbar. Unser Ansatz unterscheidet sich vom bisherigen Stand der Forschung lediglich dahingehend, dass er auf die wichtige Rolle der Akteure (bzw. der Typen von Akteuren) verweist, deren Zusammensetzung den Erfolg von Governance offenbar stark beeinflusst.

### 5.1. Überprüfung der Annahmen

Die Ausgangsfrage, welcher Governance-Modus am besten geeignet ist, das Problem der Steuerung komplexer Systeme zu bewältigen, lässt sich anhand unserer Analysen nicht pauschal beantworten. Die Überprüfung der beiden Arbeitshypothesen führt vielmehr zu einem uneindeutigen Bild.

### *Arbeitshypothese A1*

Unsere Auswertungen widerlegen zunächst die Annahme, dass die dezentrale Koordination der hierarchischen Steuerung überlegen ist; dieser Governance-Modus schneidet vielmehr deutlich schlechter ab als die beiden Modi der weichen und der harten Steuerung.

Eine Erklärung dieses Befundes könnte daran ansetzen, dass eine Bewältigung krisenhafter Situationen (z.B. Stau an einem neuralgischen Punkt) in komplexen Systemen, die unter Hochlast-Bedingungen operieren, nur möglich ist, wenn globale Informationen zur Verfügung stehen, die typischerweise nur die zentrale Steuerungsinstanz hat. Diesen Zusammenhang von Krisenmanagement und Governance genauer zu untersuchen, wäre eine Aufgabe künftiger Forschung.

### *Arbeitshypothese A2*

Vergleicht man harte und weiche Steuerung, so ergibt sich ein unklares Bild. Einige Indikatoren weisen auf eine Überlegenheit der weichen Steuerung hin, andere führen zu gegenteiligen Ergebnissen. Allerdings verbieten sich hier pauschale Urteile; wie der Vergleich unterschiedlicher Fahrer-Mischverhältnisse zeigt, hängt es in hohem Maße von der Zusammensetzung der Agentenpopulation ab, wie gut Governance funktioniert. Bei einem höheren Anteil folgsamer Fahrer erzielt die weiche Steuerung Spitzenwerte, die allerdings weit entfernt von den Werten sind, die im Fall anderer Mischungsverhältnisse der Agententypen erreicht werden.

Insofern erscheint es sinnvoll, den Blickwinkel zu erweitern und das Problem der Governance auch von den Akteuren bzw. den Agenten her zu denken.

Insgesamt zeigen unsere Experimente, dass es möglich ist, das Thema „Steuerung komplexer Systeme“ mit Hilfe experimenteller Methoden zu analysieren und auf diesem Wege zu teilweise unerwarteten neuen Erkenntnissen zu gelangen, die weitere Forschungsarbeit erforderlich machen. Dies gilt insbesondere für den Zusammenhang von Governance-Modi und Mischungsverhältnissen von Akteur-Typen. Aber auch das Thema Mixed-mode bedarf zweifellos weiterer Untersuchungen.

## **5.2. Einschränkungen und weiterführende Perspektiven**

Die vorliegende Abhandlung ist ein erster Versuch, sich dem Thema Governance aus der Perspektive der experimentellen Soziologie zu nähern. Da wir unser Modell an einem konkreten Fall entwickelt haben, muss die Frage der Belastbarkeit der Ergebnisse wie auch ihrer Verallgemeinerbarkeit offen bleiben. Zudem haben wir bislang lediglich die operative Steuerung eines funktionellen Teilsystems untersucht. Es bleibt eine Aufgabe künftiger Forschung zu überprüfen, ob sich dieser Ansatz auch auf andere Ebenen von Governance übertragen lässt und ob es möglich ist, das Zusammenspiel unterschiedlicher Ebenen von Governance zu modellieren.

Ferner haben wir zwar die Agenten der Mikro-Ebene (die Fahrer) handlungstheoretisch modelliert, und zwar mithilfe von MSE und MFS, nicht aber die Systemsteuerer, deren Aktionen wir zunächst mechanisch implementiert haben, um das Modell, vor allem aber die Auswertungen nicht zu verkomplizieren. Die Dynamik komplexer Systeme als emergentes Resultat der Aktionen von Akteuren zu modellieren, die auf unterschiedlichen Ebenen agieren (Fahrer, Systemsteuerer, Verkehrspolitik etc.), bleibt eine Herausforderung für künftige Forschung und ist Gegenstand eines zurzeit laufenden Projekts.

Auch unser Ergebnis, dass ein höherer Anteil folgsamer Fahrer den Erfolg von Governance steigert, bietet Anschlussmöglichkeiten für weitere Forschung; denn es wäre – auch in prakti-

scher Hinsicht – zu überlegen, wie man die Folgsamkeit erhöhen kann. Ein Ansatzpunkt ist zweifellos Information; denn es ist zu vermuten, dass gut informierte Akteure eher ein systemkonformes Verhalten an den Tag legen werden als schlecht informierte.

Darüber hinaus ist eine Reihe von Erweiterungen unserer Modells denkbar, z.B. ein Verkehrs-Szenario mit smarten Fahrzeugen, die sich dezentral koordinieren (ähnlich Car-2-Car); eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Governance-Modi bei der Bewältigung von Störfällen; oder aber Labor-Experimente mit Probanden (Fahrern wie Systemsteuerern), bei denen beispielsweise auch der Switch zwischen verschiedenen Steuerungsmodi untersucht werden könnte.

## 6. Literatur

- Benz, Arthur et al. (Hg.), 2007: Handbuch Governance. Theoretische Grundlagen und empirische Anwendungsfelder. Wiesbaden: VS Verlag.
- Bonabeau, Eric, 2002: Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 99 (90003): 7280–7287.
- Cohen, Jacob, 1994: The earth is round ( $p < .05$ ). In: American Psychologist, 49 (12): 997-1003.
- Epstein, Joshua M./Robert Axtell, 1996: Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up. Washington, D.C.: Brookings Inst. Press.
- Esser, Hartmut, 1991: Alltagshandeln und Verstehen. Zum Verhältnis von erklärender und verstehender Soziologie am Beispiel von Alfred Schütz und 'Rational Choice'. Tübingen: Mohr.
- , 1993: Soziologie. Allgemeine Grundlagen. Frankfurt/M.: Campus.
- , 1999: Soziologie. Spezielle Grundlagen, Bd. 1: Situationslogik und Handeln. Frankfurt/M.: Campus.
- Etzioni, Amitai, 1967: Mixed Scanning: A "Third" Approach to Decision-Making. In: Public Administration Review 27 (5): 385-392, <http://dspace.wrlc.org/bitstream/1961/378/1/A49.pdf>.
- Fink, Robin D./Johannes Weyer, 2011: Autonome Technik als Herausforderung der soziologischen Handlungstheorie. In: Zeitschrift für Soziologie 40 (2): 91-111, [www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/view/3061](http://www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/view/3061).
- Grote, Gudela, 2009: Management of Uncertainty. Theory and Application in the Design of Systems and Organizations. Berlin: Springer.
- Kroniger, Jens/Fabian Lücke, 2010: Analyse und Evaluation von Steuerungsmodellen am Beispiel von Verkehrstelematiksystemen (Diplomarbeit, TU Dortmund).
- Krauß, Stefan, 1998: Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics (PhD thesis). Köln: Universität zu Köln, <http://sumo.sourceforge.net/docs/KraussDiss.pdf>.
- Kron, Thomas, 2010: Zeitgenössische soziologische Theorien. Zentrale Beiträge aus Deutschland. Wiesbaden: VS Verlag.
- Kroneberg, Clemens, 2005: Die Definition der Situation und die variable Rationalität der Akteure. Ein allgemeines Modell des Handelns. In: Zeitschrift für Soziologie 34: 344-363.
- Langlois, Richard N./Paul L. Robertson, 1992: Networks and innovation in a modular system: Lessons from the microcomputer and stereo component industries. In: Research Policy 21: 297-313.
- LaPorte, Todd R./Paula M. Consolini, 1991: Working in Practice But Not in Theory: Theoretical Challenges of "High Reliability Organizations". In: Journal of Public Administration Research and Theory 1: 19-47.
- Luhmann, Niklas, 1988: Die Wirtschaft der Gesellschaft. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Mayntz, Renate, 1987: Politische Steuerung und gesellschaftliche Steuerungsprobleme - Anmerkungen zu einem theoretischen Paradigma. In: Thomas Ellwein et al. (Hg.), Jahrbuch zur Staats- und Verwaltungswissenschaft. Baden-Baden: Nomos, 89-110.
- , 1988: Funktionelle Teilsysteme in der Theorie sozialer Differenzierung. In: dies. et al. (Hg.), *Differenzierung und Verselbständigung. Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme*. Frankfurt/M.: Campus, 11-44.
- , 1993: Policy-Netzwerke und die Logik von Verhandlungssystemen. In: Adrienne Héritier (Hg.), *Policy-Analyse. Kritik und Neuorientierung* (Sonderheft 24 der Politischen Vierteljahresschrift). Opladen: Westdeutscher Verlag, 39-56.
- Mayntz, Renate/Fritz W. Scharpf, 1995: Steuerung und Selbstorganisation in staatsnahen Sektoren. In: dies. (Hg.), *Gesellschaftliche Selbstregulung und politische Steuerung*. Frankfurt/M.: Campus, 9-38.
- Ostrom, Elinor, 2000: Collective action and the evolution of social norms. In: The Journal of Economic Perspectives 14: 137-158, <http://192.12.12.16/events/workshops/images/b/b3/Ostrom2000.pdf>.
- Resnick, Michael, 1995: Turtles, Termites, and Traffic Jams. Explorations in Massively Parallel Microworlds (Complex Adaptive Systems). Cambridge/Mass.: MIT Press.
- Richter, Klaus/Jan-Michael Rost, 2004: Komplexe Systeme. Frankfurt/M.: Fischer.

- Rifkin, Jeremy, 2010: Die emphatische Zivilisation. Wege zu einem globalen Bewusstsein. Frankfurt/M.: Campus.
- Roberts, Karlene A. (Hg.), 1993: New Challenges to Understanding Organisations. New York: Macmillan.
- Scharpf, Fritz W., 1993: Positive und negative Koordination in Verhandlungssystemen. In: Adrienne Héritier (Hg.), Policy-Analyse. Kritik und Neuorientierung (Sonderheft 24 der Politischen Vierteljahresschrift). Opladen: Westdeutscher Verlag, 57-83.
- Schelling, Thomas, 1969: Models of segregation. In: The American Economic Review 59: 488-493.
- Schimank, Uwe, 2000: Handeln und Strukturen. Einführung in eine akteurtheoretische Soziologie. München: Juventa.
- Schneider, Volker/Johannes M. Bauer, 2009: Von der Governance- zur Komplexitätstheorie. Entwicklungen der Theorie gesellschaftlicher Ordnung In: Johannes Weyer/Ingo Schulz-Schaeffer (Hg.), Management komplexer Systeme. Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos. München: Oldenbourg, 31-53.
- Simonis, Georg, 1995: Ausdifferenzierung der Technologiepolitik - vom hierarchischen zum interaktiven Staat. In: Georg Simonis/Renate Martinsen (Hg.), Paradigmenwechsel in der Technologiepolitik. Opladen: Leske + Budrich, 381-404.
- SUMO 2010: SUMO: Simulation of Urban Mobility (0.12). German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems, <http://sumo.sourceforge.net>.
- Surowiecki, James, 2005: The Wisdom of Crowds. New York: Anchor Books.
- Treib, Oliver/Holger Bähr/Gerda Falkner, 2007: Modes of Governance: towards a conceptual clarification. In: Journal of European Public Policy 14: 1-20.
- Weyer, Johannes/Ingo Schulz-Schaeffer (Hg.), 2009: Management komplexer Systeme. Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos. München: Oldenbourg.
- Weyer, Johannes/Robin D. Fink/Tobias Liboschik, 2011: Softwarebasierte Methoden der Netzwerkanalyse. In: Johannes Weyer (Hg.), Soziale Netzwerke. Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung (2. Aufl.). München: Oldenbourg, 109-131.
- Weyer, Johannes et al., 2012: Steuerung komplexer Systeme - Ein theoretisches Modell (Ms.).
- Willke, Helmut, 1995: Systemtheorie III: Steuerungstheorie. Grundzüge einer Theorie der Steuerung komplexer Sozialsysteme. Stuttgart: Gustav Fischer.
- Willke, Helmut, 2007: *Smart Governance. Governing the Global Knowledge Society*. Frankfurt/M.: Campus.
- Winkler, Fabian, 2011: Essenswahl in der Mensa. Ein empirisch fundiertes Handlungsmodell (Bachelorarbeit). Dortmund: TU Dortmund, Fachgebiet Techniksoziologie.

## Bereits erschienene Soziologische Arbeitspapiere

- 1/2003 Hartmut Hirsch-Kreinsen, David Jacobsen, Staffan Laestadius, Keith Smith  
Low-Tech Industries and the Knowledge Economy: State of the Art and Research Challenges  
(August 2003)
- 2/2004 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
"Low-Technology": Ein innovationspolitisch vergessener Sektor  
(Februar 2004)
- 3/2004 Johannes Weyer  
Innovationen fördern – aber wie? Zur Rolle des Staates in der Innovationspolitik  
(März 2004)
- 4/2004 Konstanze Senge  
Der Fall Wal-Mart: Institutionelle Grenzen ökonomischer Globalisierung  
(Juli 2004)
- 5/2004 Tabea Bromberg  
New Forms of Company Co-operation and Effects on Industrial Relations  
(Juli 2004)
- 6/2004 Gerd Bender  
Innovation in Low-tech – Considerations based on a few case studies in eleven European countries  
(September 2004)
- 7/2004 Johannes Weyer  
Creating Order in Hybrid Systems. Reflexions on the Interaction of Man and Smart Machines  
(Oktober 2004)
- 8/2004 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Koordination und Rationalität  
(Oktober 2004)
- 9/2005 Jörg Abel  
Vom Kollektiv zum Individuum? Zum Verhältnis von Selbstvertretung und kollektiver Interessenvertretung in Neue Medien-Unternehmen (Juli 2005)
- 10/2005 Johannes Weyer  
Die Raumfahrtspolitik des Bundesforschungsministeriums  
(Oktober 2005)
- 11/2005 Horst Steg  
Transnationalisierung nationaler Innovationssysteme  
(Dezember 2005)
- 12/2006 Tobias Haertel  
UsersAward: Ein Beitrag zur optimalen Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen in der Logistik  
(Februar 2006)
- 13/2006 Doris Blutner, Stephan Cramer, Tobias Haertel  
Der Mensch in der Logistik: Planer, Operateur und Problemlöser  
(März 2006)
- 14/2006 Johannes Weyer  
Die Zukunft des Autos – das Auto der Zukunft. Wird der Computer den Menschen ersetzen?  
(März 2006)

- 15/2006 Simone Reineke  
Boundary Spanner als Promotoren des Wissensmanagementprozesses  
(Juli 2006)
- 16/2006 Johannes Weyer  
Die Kooperation menschlicher Akteure und nicht-menschlicher Agenten. Ansatzpunkte einer Soziologie hybrider Systeme  
(Juli 2006)
- 17/2006 Jörg Abel/Sebastian Campagna/Hartmut Hirsch-Kreinsen (Hg.)  
Skalierbare Organisation - Überlegungen zum Ausgleich von Auftragsschwankungen -  
(August 2006)
- 18/2007 Tabea Bromberg  
Engineering-Dienstleistungen in der Automobilindustrie: Verbreitung, Kooperationsformen und arbeitspolitische Konsequenzen  
(Mai 2007)
- 19/2007 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Lohnarbeit  
(September 2007)
- 20/2008 Katrin Hahn  
Der Lissabon-Prozess: Das Innovationskonzept und die Auswirkungen auf die Politikgestaltung  
(März 2008)
- 21/2008 Anja J. Lorenz/ Johannes Weyer (Hrsg.)  
Fahrerassistenzsysteme und intelligente Verkehrssteuerung. Soziologische Analysen hoch automatisierter Verkehrssysteme  
(Juni 2008)
- 22/2008 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Innovationspolitik: Die Hightech-Obsession  
(August 2008)
- 23/2008 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Multinationale Unternehmen  
(September 2008)
- 24/2009 Jörg Abel/ Hartmut Hirsch-Kreinsen/ Peter Ittermann  
Einfacharbeit in der Industrie. Status quo und Entwicklungsperspektiven  
(Mai 2009)
- 25/2009 Robin D. Fink  
Attributionsprozesse in hybriden Systemen. Experimentelle Untersuchung des Zusammenspiels von Mensch und autonomer Technik  
(Juli 2009)
- 26/2009 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Innovative Arbeitspolitik im Maschinenbau?  
(September 2009)
- 27/2010 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Technological Innovation and Finance  
(Oktober 2010)
- 28/2010 Robin D. Fink, Tobias Liboschik  
Bots - Nicht-menschliche Mitglieder der Wikipedia-Gemeinschaft  
(Dezember 2010)
- 29/2011 Jörg Abel, Peter Ittermann, Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Ernährungsindustrie  
(Februar 2011)



- 30/2012 Jörg Abel, Peter Ittermann, Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Gummi- und Kunststoffindustrie  
(Januar 2012)
- 31/2012 Peter Ittermann, Jörg Abel, Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Metallbearbeitung  
(Februar 2012)
- 32/2013 Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie, Lehrstuhl Arbeits- und Produktionssysteme  
Wandel von Industriearbeit. Herausforderungen und Folgen neuer Produktionssysteme in  
der Industrie  
(März 2013)
- 33/2013 Fabian Lücke, Johannes Weyer, Robin D. Fink  
Steuerung komplexer Systeme. Ergebnisse einer soziologischen Simulationsstudie  
(April 2013)