

Müller, Marcus; Stern, Guillaume; Jacob, Ansgar; Kirn, Stefan

**Working Paper**

## Verhaltensmodelle für Softwareagenten im Public Goods Game

FZID Discussion Paper, No. 26-2011

**Provided in Cooperation with:**

University of Hohenheim, Center for Research on Innovation and Services (FZID)

*Suggested Citation:* Müller, Marcus; Stern, Guillaume; Jacob, Ansgar; Kirn, Stefan (2011) : Verhaltensmodelle für Softwareagenten im Public Goods Game, FZID Discussion Paper, No. 26-2011, Universität Hohenheim, Forschungszentrum Innovation und Dienstleistung (FZID), Stuttgart, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:100-opus-5875>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/44972>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# FZID Discussion Papers

**CC Information Systems and  
Communication Technologies**

**Discussion Paper 26-2011**

## **VERHALTENSMODELLE FÜR SOFTWAREAGENTEN IM PUBLIC GOODS GAME**

**Marcus Müller, Guillaume Stern,  
Ansgar Jacob, Stefan Kirn**

Discussion Paper 26-2011

## **Verhaltensmodelle für Softwareagenten im Public Goods Game**

Marcus Müller, Guillaume Stern, Ansger Jacob, Stefan Kirn

Download this Discussion Paper from our homepage:

<https://fzid.uni-hohenheim.de/71978.html>

ISSN 1867-934X (Printausgabe)  
ISSN 1868-0720 (Internetausgabe)

Die FZID Discussion Papers dienen der schnellen Verbreitung von Forschungsarbeiten des FZID. Die Beiträge liegen in alleiniger Verantwortung der Autoren und stellen nicht notwendigerweise die Meinung des FZID dar.

---

FZID Discussion Papers are intended to make results of FZID research available to the public in order to encourage scientific discussion and suggestions for revisions. The authors are solely responsible for the contents which do not necessarily represent the opinion of the FZID.

# Verhaltensmodelle für Softwareagenten im Public Goods Game

Marcus Müller, Guillaume Stern, Ansgar Jacob, Stefan Kirn  
Wirtschaftsinformatik 2  
Universität Hohenheim  
Schwerzstraße 35, 70599 Stuttgart  
{marcus.mueller, guillaume.stern,  
ansger.jacob, stefan.kirn}@uni-hohenheim.de

## Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist das Verhaltensmodell von Softwareagenten in einem Public Goods Game. Agenten im Sinne der Arbeit besitzen jeweils eigene, individuelle Ziele und müssen sich im Hinblick auf ein übergeordnetes Gesamtziel im Multiagentensystem koordinieren. Dabei hängen die individuell und kollektiv erzielbaren Ergebnisse von der Wahl der Verhaltensmodelle der Agenten ab. Die Wahl eines rein eigennützigem Verhaltens kann zu Nutzeneinbußen führen; die Wahl eines selbstlosen Verhaltens kann die individuell erzielbaren Ergebnisse eines Agenten massiv beeinträchtigen, falls andere Agenten im System eigennützig spielen. Die Auswirkungen verschiedener, aus der sozio-ökonomischen Theorie entlehnter Verhaltensmodelle in unterschiedlich gestalteten Agenten-Gesellschaften wird mittels einer Simulation untersucht.

Die vorliegende Arbeit soll somit einen Beitrag liefern, um auf Basis deskriptiver sozio-ökonomischer Verhaltensmodelle Aussagen über das Verhalten von Softwareagenten (präskriptive Modelle) zu erlauben. Die Erkenntnisse helfen Entwicklern von Multiagentensystemen bei der Implementierung eines problemadäquaten Agentenverhaltens.

**Keywords:** Agent, multi-agent technologies, Public Goods Game, Verhaltensmodelle

# 1 Einführung

In einer Agentengesellschaft, deren zugrundeliegendes realweltliches Problem (z.B. Koordination in der Lieferkette) stark auf Kooperation beruht bzw. diese sogar unabdinglich voraussetzt, kann das Konzept der individuellen Rationalität zu erheblichen individuellen und kollektiven Nachteilen führen. Es sei bspw. ein System gegeben, in dem die einzelnen individuell rationalen Agenten die Möglichkeit haben, über ihren Einsatz im System (z.B. Arbeitseinsatz etc.) zu entscheiden. Die Kooperationsrente wird zu gleichen Teilen und unabhängig vom individuellen Einsatz an die Agenten ausgekehrt. Jeder Agent wird versuchen, seinen Einsatz zu minimieren, um so vom (Mehr-)Einsatz der anderen zu profitieren (Trittbrettfahrerverhalten). Da zusätzlich jeder Agent annehmen muss, dass auch jeder andere, eigennützige Agent im System dasselbe Verhalten aufweisen wird, hat er keinerlei Gründe, sich anders zu entscheiden. Für alle Agenten ergibt sich somit die individuell rationale – jedoch kollektiv irrationale – Entscheidung den eigenen Einsatz zu minimieren (s. Public Goods Game, z.B. [15]).

Es zeigen sich individuelle und kollektive Nutzeneinbußen aufgrund eigennützigem Verhalten und falscher Annahmen über das Verhalten der anderen Agenten. Die verhaltensorientierte Wirtschaftswissenschaft (Behavioral Economics) kennt weitere solcher Beispiele (Ultimatum Game, Dictator's Game, Traveler's Dilemma, Prisoner's Dilemma oder das Steward-Problem). Die Multiagenten-Forschung hat zwar auf Erkenntnisse aus dem Bereich der Behavioral Economics reagiert, verfügt jedoch noch über keine ausreichende theoretische Fundierung der Konzepte oder eine Implementierungsunterstützung der dort zugrundegelegten sozio-ökonomischen Verhaltensmodelle.

Im Rahmen des vorliegenden Aufsatzes wird zunächst mit der BDI-Architektur ein konkretes Verhaltensmodell für Softwareagenten vorgestellt und das Public Goods Game eingeführt. Daran anschließend wird näher auf das Problem der Abhängigkeit des individuellen und kollektiven Ergebnisses von der Wahl des Verhaltensmodells eingegangen. Der Stand der Forschung gliedert sich in die Bereiche Agentenverhalten und sozio-ökonomische Verhaltensmodelle. Ferner wird dargelegt, welche Verhaltensannahmen sich in konkreten MAS-Implementierungen – exemplarisch untersucht anhand von Systemen aus dem Bereich Logistik – in der Literatur finden lassen.

Auf der Grundlage der dargelegten sozio-ökonomischen Verhaltensannahmen werden in Abschnitt 3 Agenten-Verhaltensmodelle erstellt. Die modellierten Agenten werden in Abschnitt 4 in eine Simulation überführt, wobei das Ergebnis anhand der individuellen Wohlfahrt und der Gesamtwohlfahrt gegenübergestellt und bewertet wird. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und einem Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

## 1.1 Gegenstand

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist das Verhaltensmodell von Softwareagenten in einem Public Goods Game. Da in dieser Arbeit sozio-ökonomische Modelle als Grundlage für die Verhaltensbeschreibung dienen, soll das BDI-Modell [5] (Beliefs, Desires, Intentions) zur Agentenmodellierung herangezogen werden. Das BDI-Modell hat seinen Ursprung in der philosophischen Theorie Bratmans und dient (ursprünglich) zur Erklärung des rationalen Verhaltens von Menschen. Das Modell wurde jedoch für die Konstruktion rationaler Softwareagenten uminterpretiert. Die gleichzeitige Nähe zur philosophischen Anthropologie als auch zur Entwicklung technischer Softwareagenten prädestiniert das BDI-Modell für das Vorhaben, Verhaltensvorhersagen für Softwareagenten auf der Grundlage sozio-ökonomischer Beschreibungsmodelle zu tätigen.

Wie im Anschluss gezeigt, sind folgende Elemente für die Verhaltensbeschreibung eines Spielers im Public Goods Game notwendig: (1) Ziele, die der Spieler verfolgt, (2) Wissen über die Regeln des Spiels im Sinne der Ergebnisberechnung, (3) eigene Strategien/Pläne zur Zielerreichung und (4) Annahmen über die Verhaltensweisen der anderen Spieler. Dies lässt sich direkt in das BDI-Modell nach der PRS-Architektur (Procedural Reasoning System) von [18] überführen (siehe Abbildung 1).

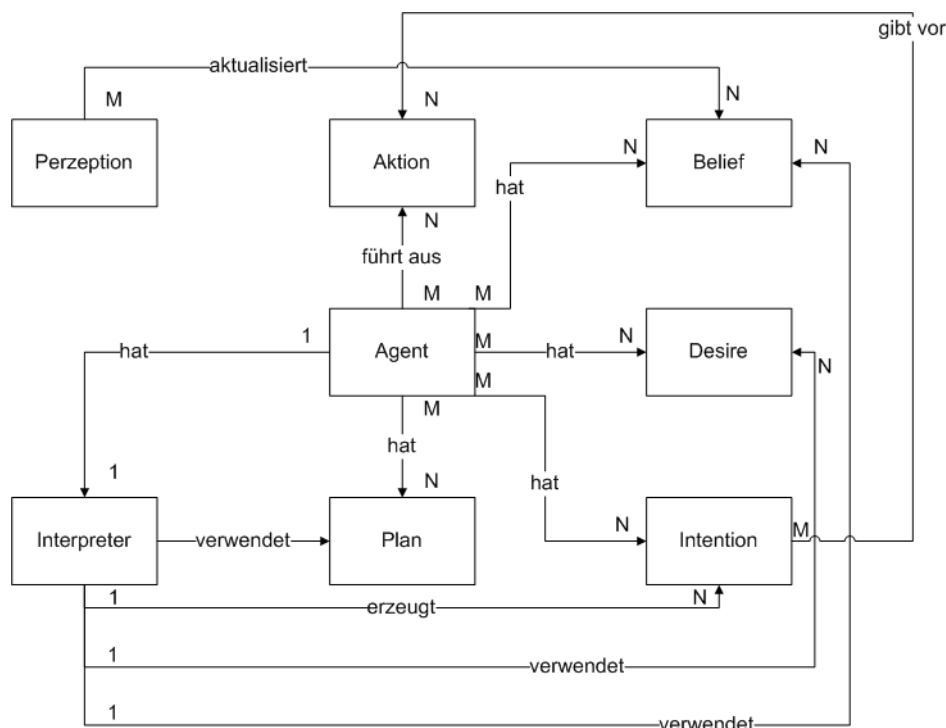


Abbildung 1: BDI Agentenmodell nach der PRS-Architektur

Es existieren somit Repräsentationen für das Wissen (Beliefs, z.B. über die Spielregeln oder das Verhalten der anderen Agenten), die Wünsche (Desires, z.B. in Form von (eigenen) Zielfunktionen), die Intentionen (Intentions, z.B. die Strategien zur Zielerreichung)

und die Pläne (Plans) des Agenten. Dabei wird zwischen Intentions (aktiv verfolgte Pläne) und Planvorlagen (Plans) unterschieden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich in Abschnitt 3 auf die Beliefs sowie die Zielfunktionen der Agenten.

In dem im weiteren Verlauf der Arbeit verwendeten Public Goods Game existieren  $n \in \mathbb{N}^*$  Spieler (Softwareagenten). Jeder Spieler bestimmt über seinen individuellen Einsatz im Rahmen der Kooperation. Der maximal mögliche Einsatz (Anfangsvermögen) jedes Spielers ist  $e \in \mathbb{R}^{*+}$ . Die Spieler wählen gleichzeitig ihren Beitrag zur Kooperation in Höhe von  $ak_i \in \mathbb{R}$  mit  $0 \leq ak_i \leq e$ . Die über die Kooperation geschaffene Wertschöpfung (Soziale Wohlfahrt,  $ER \in \mathbb{R}^+$ ) beträgt das 1,1-fache der Summe aller individuellen Beiträge und wird zu gleichen Anteilen an alle Spieler ausgeschüttet. Das Ergebnis  $er_i$  eines Spielers  $i$  lautet somit

$$er_i = e - ak_i + \frac{1,1}{n} \sum_{j=1}^n ak_j$$

## 1.2 Problemstellung

Die Gesamtwohlfahrt sowie die individuelle Wohlfahrt jedes Agenten hängen in entscheidendem Maße vom Verhalten der Spieler ab. Versucht jeder Spieler sein eigenes Ergebnis zu maximieren, so beträgt der private Grenzertrag des Einsatzes jedes Spielers im dargestellten Public Goods Game  $-1 + \frac{1,1}{n}$ . Bei  $n \geq 2$  ist dieser Grenzertrag für alle Strategien negativ. Bei der Annahme der Eigennutzmaximierung folgt die für jeden Spieler  $i$  dominante Strategie  $ak_i = 0$ .

Jeder Spieler  $i$  verbleibt somit auf seinem Einsatz:  $er_i = e$ . Das Ergebnis des Gesamtsystems ist  $ER = e \cdot n$ . Maximal erreichbar gewesen wären für jeden Spieler  $i$   $er_i = 1,1e$  bzw.  $ER = 1,1e \cdot n$ . Aufgrund des eigennutzmaximierenden Verhaltens der Spieler verbleiben die individuellen sowie das gesamte Ergebnis unterhalb der erreichbaren Werte. Es bleiben daher Kooperationspotenziale ungenutzt.

Ist ein Spieler gemeinwohlorientiert und nimmt an, auch die anderen Spieler folgen diesem Verhaltensmodell, so wird er stets sein gesamtes Budget in die Kooperation einbringen. Grund hierfür ist, dass der Grenzertrag des Gemeinschaftsbeitrags für ihn – in der Erwartung – positiv ist. Dies gilt jedoch nur solange das erwartete gemeinwohlorientierte Verhalten der anderen Spieler tatsächlich vorherrscht. Verhalten sich die anderen Agenten (alle oder teilweise) eigennützig, so wird der gemeinwohlorientierte Agent ausgenutzt. Die individuelle Wohlfahrt sinkt.

In Multiagentensystemen werden Agenten auf der einen Seite häufig als rationale Eigennutzmaximierer im Sinne des Homo oeconomicus implementiert [29]. Auf der anderen Seite werden benevolente Agenten unterschiedlicher Definition eingesetzt. Diese Agenten zeichnen sich – je nach Definitionsansatz – dadurch aus, dass sie die Ziele anderer Agenten in unterschiedlicher Weise adaptieren. Das Verhalten reicht hier von völlig selbstlosen Agenten [23] bis zu „unechter“ Benevolenz bei der Agenten nur dann soziale Ziele adaptieren, wenn sie das Erreichen eigener Ziele befördern [13]. Die Benevolenz kann aber die

individuelle Wohlfahrt des Agenten gefährden.

Für den Entwickler eines Agenten ergibt sich nun das Problem, mit welchem Verhaltensmodell der von ihm programmierte Agent ausgestattet werden soll.

### 1.3 Untersuchungsperspektive

Die Problemstellung wird im Rahmen einer Simulation untersucht. In der in Abschnitt 4 vorgestellten Simulation sollen Erkenntnisse über die Frage gewonnen werden, unter welchen gesellschaftlichen Bedingungen welches Verhalten vorteilhaft ist. Es wird von folgender Aussage ausgegangen:

*A1: Je mehr selbstlose Agenten in einer Gesellschaft existieren, desto höher ist die Soziale Wohlfahrt.*

Die Arbeit folgt dem in Abbildung 2 schematisch dargestellten Vorgehensmodell nach [38]. In Abschnitt 3 erfolgt die Erstellung des mathematischen Modells unterschiedlicher Verhaltensannahmen, in Abschnitt 4 wird zunächst die Simulationsplanung beschrieben sowie die über die Durchführung gewonnenen Daten dargestellt und ausgewertet.

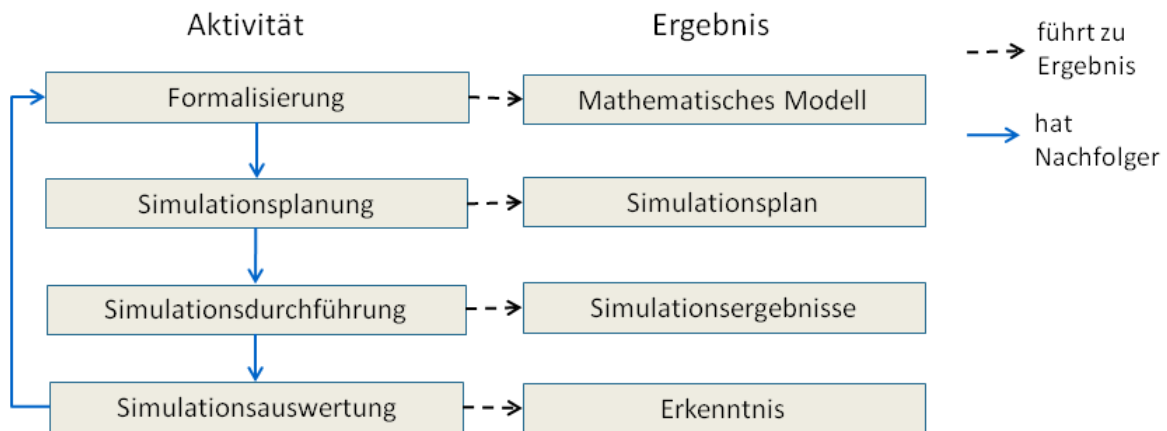


Abbildung 2: Vorgehensmodell in Anlehnung an [38]

## 2 Stand der Forschung

### 2.1 Verhaltensmodelle in MAS

Im Rahmen der Multiagententheorie werden (intelligente) Agenten mit den Eigenschaften Autonomie, Reaktivität und Proaktivität belegt. Zudem werden sogenannte soziale



Fähigkeiten vom Agenten verlangt [39]. Darunter versteht man die Verwendung mentalistischer Konzepte zur Beschreibung und Realisierung von Agenten ermöglicht es, das Verhalten intensionaler Artefakte sinnvoll zu beschreiben und vorherzusagen [12]. In der Literatur finden sich zwar Ansätze für die Beschreibung von Agentenverhalten in sozialen Interaktionssituationen, über die individuelle und soziale Konstruktion des Wesens, Handelns und Verhaltens eines Agenten und den dabei hinterlegten theoretischen Grundannahmen machen weder Vorgehensmodelle für das Multiagent System Engineering noch Agentenarchitekturen eine Aussage. Dies spiegelt sich vor allem in den stark vereinfachten Verhaltensannahmen der Agenten in bereits implementierten Systemen wider.

**Beschreibung von Agentenverhalten** In der Agentenliteratur lassen sich die Ansätze zur Verhaltensbeschreibung in acht Konzepte untergliedern: *Eigennützigkeit*, *Benevolenz*, *soziale Selbstverpflichtung*, *Selbstlosigkeit*, *Altruismus*, *Reziprozität*, *Fairness* und *Normativität*. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über diese Konzepte. Die Übersicht basiert auf [28] und wurde um spätere Arbeiten ergänzt.

Zu erkennen ist, dass die Untersuchung von Agentenverhalten im Umfeld der Ziel-Adaption eingebettet ist. So werden bspw. bei [7] im Rahmen der sozialen Selbstverpflichtung vier Agententypen definiert, die sich durch ihr unterschiedliches Verhalten bzgl. der Ziel-Übernahme unterscheiden: (1) *eagerly helpful*, (2) *grudgingly helpful*, (3) *selfish*, (4) *(stronger) vindictive*. (1): übernehmen Ziele anderer Agenten, ohne dass diese Fragen müssen; (2): übernehmen Ziele anderer Agenten, wenn diese nicht im Konflikt zu den eigenen stehen; (3): Verfolgen nur die eigenen Ziele; (4): Lehnen die Adaption von Zielen generell ab, auch wenn sie den eigenen Zielen entsprechen. In einer strengeren Definition: Verhindern das Erreichen von gesellschaftlichen Zielen.

In ihren Untersuchungen zum Sozialverhalten von Agenten gehen [21] davon aus, dass eigennütige und gemeinnützige Ziele jeweils mit einem gewissen Anteil verfolgt werden. Es werden fünf Agenten-Verhaltenstypen aufgezeigt (in Klammer jeweils die Anteile Eigennutz:Gemeinnutz): *Selfless* (0:1), *Selfish* (1:0), *Balanced* (0,5:0,5), *Social tendency* (0,25:0,75), *Selfish tendency* (0,75:0,25).

Die Evaluation erfolgte in homogenen Gesellschaften mit Agenten gleichen Typs. Im Evaluationsszenario „Phoenix Fire Fighting“ wurden die Einzelleistung der Agenten und die Leistung des Gesamtsystems untersucht. Bei einer geringen Ressourcenausstattung zeigt sich, dass auf der Ebene der individuellen Leistungen die Rangfolge *balanced* > *selfless* > *selfish tendency* > *selfish* > *social tendency* gilt. Auf Ebene der Gesamtsystemleistung stellt sich die Reihenfolge *balanced* > *selfless* > *social tendency* > *selfish*  $\approx$  *selfish tendency* ein.

Die Studien von [22] zeigen, dass bereits eine Abstufung in eigennützig, benevolente und selbstlose Agenten unterschiedliche Ergebnisse zur Folge hat. Bezogen auf das Evaluationskriterium Soziale Wohlfahrt erzielten selbstlose Agenten bessere Ergebnisse als benevolente und diese wiederum bessere Ergebnisse als eigennützig Agenten. Bezogen auf das Kriterium der individuellen Wohlfahrt verhält sich die Rangfolge genau

umgekehrt. Bei einer Kombination beider Kriterien erzeugen selbstlose und eigennützige Agenten ähnliche Ergebnisse die jedoch besser sind als die Ergebnisse benevolenter Agenten.

In ihren Studien modellieren [8] Maus-Agenten, die sich entweder im Normalzustand (kein Hunger und keine drohende Gefahr) befinden, Hunger haben oder sich Gefahren erwehren. Bei der Futtersuche oder der Gefahrenabwehr können sich die Agenten helfen lassen oder alleine arbeiten. Mäuse im Normalzustand können anderen helfen oder (weiter) eigenes Futter suchen. Es werden vier Verhaltenstypen unterschieden: *Einzelgängerisch* (helfen nicht und lassen sich nicht helfen), *parasitär* (lassen sich bei allem helfen, helfen aber selbst nicht), *eigennützig* (lassen sich bei Gefahren helfen, suchen ihr Futter – auch im Normalzustand – selbst) und *sozial* (lassen sich bei Gefahren helfen, suchen ihr Futter selbst, helfen aber im Normalzustand anderen Mäusen).

Untersucht wurde die Anzahl überlebender Mäuse nach 500 Simulationsrunden in homogenen Gesellschaften. Bei Ressourcenknappheit zeigt sich die Rangfolge eigennützig > einzelgängerisch > sozial > parasitär. Bei ausreichend Ressourcen ist die Rangfolge sozial  $\approx$  eigennützig > einzelgängerisch > parasitär.

In ihren spieltheoretischen Untersuchungen auf Basis eines iterierten Gefangenendilemmas zeigen [1], dass eine homogene Gruppe aus altruistischen Agenten auf lange Sicht die höchsten Auszahlungen generiert. Auf kurze Sicht überzeugt eine homogene Gesellschaft aus eigennützigen Agenten. Beide homogenen Gruppen waren jedoch heterogenen Gruppen überlegen.

**Multiagent System Engineering** In ihrer Vergleichsstudie von zehn Vorgehensmodellen zur Konstruktion von Multiagentensystemen konnten [37] feststellen, dass zwar Ziele und Aufgaben der Agenten sowie auch die Bekanntschaftsverhältnisse und Interaktionen berücksichtigt werden, es fehlen jedoch Modelle zur adäquaten Repräsentation des Verhaltens. Jedem untersuchten Vorgehensmodell fehlt „the ability to manifest attributes of a 'believable' human character“ [37]. Neben den aufgeführten Modellen Gaia, Tropos, MAS-CommonKADS, Prometheus, Passi, ADELFE, MaSE, RAP, Message und Ingenias kann dieses Defizit ebenfalls für AALAADIN [17] konstatiert werden. Im Ergebnis bieten demnach die aktuell in Anwendung befindlichen Multiagent System Engineering-Vorgehensmodelle keine Unterstützung bei der Bestimmung und Modellierung des Verhaltens.

**In MAS realisierte Verhaltensmodelle** In ihrer Analyse von 56 agentenbasierten Systemen in der Transportlogistik kommen [10] zu dem Ergebnis, dass in 19 Systemen (34%) von eigennützigen Agenten ausgegangen wird. Dagegen setzen 35 Systeme (62,5%) auf benevolente Agenten und 2 Systeme (3,5%) auf eine Mischung beider Verhaltenseigenschaften. Eigennützigkeit zeichnet sich hier durch das Verfolgen eigener Ziele, benevolentes Verhalten durch das Verfolgen globaler Ziele – sowie durch Befolgen sozialer Gesetze – aus.

Tabelle 1: Übersicht über Ansätze zur Verhaltensbeschreibung von Agenten

<b>Konzept</b>	<b>Autor(en)</b>	<b>Beschreibung</b>
Eigennützigkeit	[16,35]	Vernunftgeleitete Entwicklung und Erwägung von Zielen, die ein Agent bewußt erreichen möchte. Er ist rational, „wenn er seine Mittel auf die Ziele ausrichtet, die er selbst erreichen möchte“.
	[6]	Benevolente Agenten adaptieren die Ziele anderer Agenten auf Nachfrage; später: Benevolente Agenten sollten die Ziele des anderen auch „spontan“ und ohne Nachfrage adaptieren.
Benevolenz	[40]	Benevolente Agenten helfen, wenn sie gefragt werden.
	[22]	Benevolente Agenten führen alle Anfragen nach dem first-come first-serve Prinzip aus.
	[23]	Benevolente Agenten „accept all request made“.
	[26]	Benevolente Agenten akzeptieren Anfragen, ohne weitere Bewertung dieser Anfragen.
	[33]	Benevolente Agenten „hold common goals“.
	[34]	Annahme: Alle Agenten haben allgemeine, nicht-konfliktäre Ziele. Agenten helfen sich gegenseitig, diese allgemeinen Ziele zu erreichen („benevolent agent assumption“).
soz. Selbstverpflichtung	[13]	Benevolenz tritt nur dann auf, wenn damit Belohnungen verbunden sind.
	[7]	Vier Agententypen: (1) eagerly helpful, (2) grudgingly helpful, (3) selfish, (4) (stronger) vindictive.
Selbstlosigkeit	[22]	Selbstlose Agenten verfolgen ausschließlich solche Ziele, die der Gesellschaft zugute kommen.
Altruismus	[1]	„act without an anticipation of increased payoff at any time“.
	[4]	Der altruistische Agent versucht die Zielfunktion der anderen Agenten zu maximieren.
	[2]	Der Nutzen anderer Agenten fließt positiv in die Nutzenfunktion des altruistischen Agenten ein. Die altruistische Handlung stiftet somit Nutzen für den Geber.
Reziprozität	[36]	Agenten helfen nur den Agenten, die ihnen in der Vergangenheit auch geholfen haben bzw. die ihnen in der Zukunft helfen können.
Fairness	[11]	Basierend auf [15] werden die Konzepte Ungleichheitsaversion, Bewußtsein über sozialer Rangfolgen und reziproke Fairness implementiert.
Normativität	[25]	Verhaltensbegrenzung durch (1) Verpflichtungen, (2) Verbote, (3) soz. Bindungen und (4) soz. Codes.

Die zehn bei [19] aufgeführten weiteren MAS-Implementierungen für das Management von Wertschöpfungssystemen zeichnen sich allesamt durch ein eigennütziges Agentenverhalten aus. In [9] finden sich zudem die beiden Systeme RedAgent und MAGNET. Auch diese Systeme basieren auf dem Paradigma der Eigennützigkeit.

Die Analyse zeigt neben der Verteilung der Verhaltenseigenschaften auch gleichzeitig die vorherrschende Beschränkung der Implementierungen auf die beiden Extremkonzepte Benevolenz und Eigennützigkeit.

## 2.2 Sozio-ökonomische Verhaltensmodelle

In diesem Abschnitt werden Modelle zur Verhaltensbeschreibung aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften vorgestellt. Die Modelle zeigen dabei Vorstellungen, Ansichten und Abbildungen gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Verhaltensweisen auf. Die Ausführungen dienen im folgenden Abschnitt 3 als Grundlage für die Modellierung der Agenten innerhalb der Simulation.

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich, ob der Vielfalt existenter Verhaltensmodelle (beginnend beim *zoon logon echon*, beschrieben von Aristoteles, über den *Homo superior* Friedrich Nietzsches bis zum REMM [24, 27] als Weiterentwicklung des *Homo oeconomicus*), auf die Verhaltensmodelle *Homo oeconomicus*, *Homo soziologicus* und dem *Homo reziprocans*. Die Konzepte werden, ausgehend von den sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Literaturquellen in der Tabelle 2 gegenüber gestellt.

**Homo oeconomicus** Der *Homo oeconomicus* ist ein eigennützig orientiertes, rational handelndes und seine eigenen Handlungsziele optimierendes Individuum. Dabei gelten drei zentrale Annahmen:

1. Methodischer Individualismus: Entscheidungen werden unabhängig von anderen Individuen getroffen
2. Rationalität: Entscheidungen werden rational getroffen. Der *Homo oeconomicus* ist dabei jedoch beschränkt rational und kann Informationen nur begrenzt verarbeiten, um daraus Handlungsalternativen abzuleiten
3. Eigennutzmaximierung: Das (wirtschaftliche) Verhalten orientiert sich rein an der Maximierung des eigenen Nutzens

Der *Homo oeconomicus* agiert im Rahmen seiner Budgetbeschränkungen und besitzt stabile Präferenzen, die er in einer Nutzenfunktion ausdrückt. Die Präferenzen sind darauf ausgerichtet, eigene Freude (z.B. Einkommen, Besitz) zu mehrern und dabei Leid (z.B. Arbeitsanstrengungen) zu vermeiden.

Der Homo oeconomicus benötigt demnach Wissen über seine Budgetbeschränkungen und drückt seine Wünsche als Nutzenfunktion aus. Die Strategie des Homo oeconomicus ist es, jederzeit den eigenen Nutzen zu maximieren.

**Homo soziologicus** Der Homo soziologicus handelt nach gesellschaftlichen Vorgaben wie Normen, Rollenerwartungen und sozialen Regeln. Er wird beschränkt durch Sanktionen für rollenaverses und Belohnungen für rollenkonformes Verhalten. Das Individuum wird definiert als Träger sozialer Rollen. Somit bildet der Homo soziologicus den Schnittpunkt zwischen Individuum und Gesellschaft.

Der Homo soziologicus strebt grundsätzlich nach Kooperationen, handelt aber auf Märkten gemäß der rollenabhängigen Verhaltenserwartungen. Er agiert als offene Marktpersönlichkeit in Abhängigkeit seiner im Rahmen der sozialen Rolle getroffenen und erwarteten Entscheidungen. Ferner besitzt er ebenfalls ein beschränktes Budget. Wesentliche Merkmale des Homo soziologicus sind [20]:

1. er internalisiert soziale Normen und kulturelle Werte
2. er ist Träger sozialer Rollen und verhält sich weitgehend rollenkonform
3. er verhält sich gruppenkonform

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Gesellschaft in Gruppen untergliedert ist und jede Gruppe bestimmte Werte und Normen besitzt. Der Einzelne als Mitglied einer Gruppe verhält sich gemäß diesen Werten und Normen. Der Homo soziologicus wird durch die „Gesellschaft als Einrichtung der sozialen Kontrolle“ [14] gelenkt und kontrolliert. In seinem Handeln hält sich der Homo soziologicus an die sozialen Spielregeln und sieht dabei die Gesellschaft als Mittelpunkt seines Handelns und Seins.

In Anbetracht unterschiedlicher Rollengefüge im Rahmen der Integrität in die soziale Gemeinschaft ist es notwendig, unterschiedliche Rollen innerhalb des Beziehungsgeflechts zwischen Gruppenmitgliedern gegeneinander abzugrenzen.

Der Homo soziologicus benötigt demnach Wissen über die Gruppen in denen er agiert, über die Rollen die er ausfüllt sowie über die damit verbundenen Erwartungen im Sinne von Belohnungen und Sanktionen. Zudem benötigt er Wissen über seine Budgetbeschränkungen. Der Wunsch des Homo soziologicus ist es, alle Rollen möglichst gleichgewichtet zu erfüllen, um so Bestrafungen aus der Untererfüllung einer Rolle zu umgehen. Ferner ist er bestrebt, die an ihn gestellten Erwartungen zu erfüllen, um so Belohnungen zu erhalten. Die Erwartungen an eine Rolle werden von den anderen Mitgliedern der gesellschaftlichen Gruppe definiert und können bspw. deren Zielfunktionen sein. Bei einer solchen Definition benötigt der Homo soziologicus jedoch Wissen über die Zielfunktionen der anderen Gruppenmitglieder. Die Strategie des Homo soziologicus ist es, die Zielfunktionen anderer Gruppenmitglieder möglichst gleichgewichtet zu maximieren.

**Homo reciprocans** „Die Reziprozitätsnorm besagt, dass (1) altruistisches nicht mit opportunistischem Verhalten erwidert werden sollte und (2) dass, durch altruistisches, kooperatives Verhalten anderer Akteure erlangte Vorteile langfristig durch eigene Akteure altruistischen Verhaltens ausgeglichen werden sollten“ [32]. Ökonomisch gesehen bezeichnet der Begriff Reziprozität die „Interdependenz der Präferenzen“ und versucht die Dissonanz zwischen eigennützigem und uneigennützigem Verhalten aufzuheben [31].

Der „Homo reciprocans is thus neither the selfless altruist of utopian theory, nor the selfish hedonist of neoclassical economics. Rather, he is a conditional cooperator whose penchant for reciprocity can be elicited under the proper circumstances“ [3]. Es wird zwischen positiver und negativer Reziprozität unterschieden. Bei ersterer werden positive Erfahrungen positiv zurückgegeben. Umgekehrt werden negative Erfahrungen auch wieder negativ vergolten. Bei der direkten Reziprozität werden die Gegenleistungen an die Person zurückgegeben von der die Ursprungsleistung empfangen wurde. Bei der indirekten Reziprozität wird die Leistung nicht an die gleiche Person zurückgegeben sondern über Dritte vergolten. Die indirekte Reziprozität ist in den gesellschaftlichen Normen verankert. Indirekte Reziprozität setzt somit „information storage and transfer as well as strategic thinking“ voraus [30].

Der Homo reciprocans benötigt demnach Wissen über von anderen empfangene und an andere abgegebene Leistungen. Er besitzt ebenfalls eine Budgetbeschränkung. Der Wunsch des Homo reciprocans ist es, über die Zeit hinweg empfangene und abgegebene Leistungen im Gleichgewicht zu halten. Dazu entscheidet er zu jedem Zeitpunkt  $t$ , ob er den eigenen Nutzen durch kooperatives Verhalten mehrt. Dies wird durch den Vergleich diskontierter zukünftiger Kooperationsgewinne mit dem (einmaligen) Gewinn aus nicht-kooperativem Verhalten modelliert. Dazu benötigt der Homo reciprocans Wissen über den Diskontfaktor  $\delta$ . Zu beachten ist hierbei die Gefahr der Rückwärtsinduktion weshalb im Modell das Ende einer kooperativen Beziehung nicht absehbar sein darf. Die Reziprozität schlägt sich in den Strategien des Homo reciprocans nieder. Im iterierten Spiel wählt er Trigger-Strategien (z.B. Tit-for-Tat oder Grim Strategy), um auch sein Gegenüber zu kooperativem Verhalten anzuhalten.

Tabelle 2: Übersicht über sozio-ökonomische Verhaltensmodelle

	Homo oeconomicus	Homo soziologicus	Homo reciprocans
Bekannte Vertreter	John Stuart Mill, Adam Smith, Vilfredo Pareto	Ralf Dahrendorf	Theodor Litt, Niklas Luhmann, Bronislaw Malinowski
Grundhaltung Anreiz	Rational, optimierend Eigener Nutzen	Sozial, integrativ Integration in soz. Gruppen, Anpassung an soz. Normen	Fair, nachhaltig, langfristig Nachhaltiges, sozialverträgliches, wohltätiges Handeln
Handlungsmotivation	Eigener Nutzen, Eigeninitiative, individualistisches Verhalten, Wert- und zweckrationales Handeln	Integration in soz. Gruppen, Anpassung an soz. Normen, Erfüllung von Erwartungen und Normen des soz. Umfeldes, Sanktionen bei rollenabweichendem Verhalten	Nachhaltiges, wohltätiges, faires Verhalten
Ein-schränkungen durch	Budgetbeschränkungen	Gesellschaftliche Erwartungshaltung, soziale Anerkennung, Rollenerwartungen, Gruppenintegration	Andere Marktteilnehmer und Zwang, Kooperation jeglicher Art einzugehen
Perspektive	vernünftig, rational-logisch	subjektiv, nicht-logisch, Handeln nach sozialen Spielregeln, Handlungsmittelpunkt: Gesellschaft	Sozialer Kontext als Perspektive nachhaltigen Handelns
Ergebnisorientierung	Egoistisch, Eigennutzenmaximierung	Abhängig vom sozialen Rollenverständnis	Soziale Fairness
Kooperatives Verhalten	Nur mit Eigennutzsteigerung	Grundsätzlich möglich jedoch abhängig von sozialer Rolle	Bedingte, nicht vollständig durchgeführte Kooperation aufgrund fehlender Gegenleistungsansprüche
Handeln auf Märkten	Auf Kooperation mit Marktakteuren angewiesen	Abhängig v. rollenbezogenen Erwartungen	Interaktion in Form direkter & indirekter Reziprozität

### 3 Simulationsmodell

Wie beschrieben liegt der Fokus der vorliegende Beitrag auf der Wissensbasis und den Desires in Form von Zielfunktionen für Agenten. Neben zunächst allgemeinen Darlegungen werden anschließend spezifische Wissensbasen und Zielfunktionen für die drei Verhaltensmodelle Homo oeconomicus, Homo soziologicus und Homo reziprocans herausgearbeitet.

Die Wissensbasis eines Agenten besteht aus einer Menge an Wissensselementen. Es existieren die folgenden allgemeinen Wissensselemente:

$e_{i,t} \in \mathbb{R}^+$	Budgetrestriktion des Agenten $i$ zum Zeitpunkt $t \in \mathbb{N}$
$er_{i,t} \in \mathbb{R}^+$	Spielergebnis von $i$ in $t$
$n \in \mathbb{N}^*$	Anzahl der Agenten im Spiel
$x \in \mathbb{R}$	Zielgröße der Agenten. Mit $x = er_{i,t}$ für Homo oeconomicus, $x = ER_t$ für Homo soziologicus und $x = ea_{i,t}$ (individuelle Kooperationsrente) für Homo reziprocans
$ER_t = \sum_{i=1}^n er_{i,t}$	Soziale Wohlfahrt in $t$

Die Zielfunktion  $z$  eines Agenten bildet die Zielgröße auf eine reelle Zahl ab. Somit gilt:

$$\begin{aligned} z : \mathbb{R} &\rightarrow \mathbb{R} \\ x &\mapsto z(x) \end{aligned}$$

Eine Aktion  $ak_{i,t}$  wird als numerischer Beitrag des Agenten  $i$  zur Kooperation zum Zeitpunkt  $t$  verstanden. Der Agent kann dabei nicht mehr beitragen, als seine Budgetrestriktion zulässt. Zu jedem Zeitpunkt  $t$  kann der Agent maximal das in der Vorperiode erzielte Ergebnis in die Kooperation einbringen. Es gilt daher  $0 \leq ak_{i,t} \leq e_{i,t}$  mit  $e_{i,t} = er_{t-1}$ .

#### 3.1 Homo oeconomicus

Der Homo oeconomicus besitzt keine weiteren über die allgemeinen Beliefs hinausgehenden Wissensselemente.

Die Zielfunktion des Homo oeconomicus berücksichtigt lediglich die Werte, die der Agent selbst aus der Ausführung der Aktion bzw. deren Ergebnis zieht. Dabei wurde mit der Wurzelfunktion eine gängige von Neumann-Morgenstern Nutzenfunktion gewählt, die dem ersten Gossenschen Gesetz gehorcht:

$$z_{i,ho}(er_{i,t}) = \sqrt{er_{i,t}}$$



Die Strategie des Agenten bei diesem Verhaltensmodell ist es, die eigene Zielfunktion zu maximieren:  $\max_{ak_{i,t}} z_{i,ho}(er_{i,t})$ . Dies erreicht er durch die Maximierung von  $er_{i,t}$ , was durch die Minimierung von  $ak_{i,t}$  möglich wird.

### 3.2 Homo soziologicus

Der Homo soziologicus besitzt folgende, über die allgemeinen Beliefs hinausgehenden Wissensselemente:

$m_i$	Anzahl der durch $i$ ausgefüllten Rollen
$r : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$	Rolle definiert als Belohnungs-/Bestrafungsfunktion
$\alpha \mapsto r(\alpha)$	abhängig vom, der Rolle zugewiesenen Gewicht $\alpha$ .
$erw_k : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$	Erwartungen an die Rolle $k$ in Abhängigkeit des Er-
$ER_t \mapsto erw_k(ER_t)$	gebnisses

Die Zielfunktion des Homo soziologicus berücksichtigt die Erwartungen welche an den Rolleninhaber gestellt werden. Zudem berücksichtigt sie die Belohnungs-/Bestrafungsfunktion in Abhängigkeit des Rollengewichts.

$$z_{i,hs}(ER_t) = \sum_{k=1}^{m_i} [r(\alpha_k) + erw_k(ER_t)]$$

Dabei gilt  $0 \leq \alpha_k \leq 1$  und  $\sum_{k=1}^{m_i} \alpha_k = 1$ . Die Belohnungs-/Bestrafungsfunktion wird mit  $r(\alpha_k) = -(\alpha_k - \frac{1}{m_i})^2$  so ausgelegt, dass ihr Minimum bei einer Gleichgewichtung der Rollen liegt. Jede Abweichung von der Gleichgewichtung führt zu einer Bestrafung.

Die Strategie des Homo soziologicus ist es, die Zielfunktion zu maximieren:  $\max_{ak_{i,t}} z_{i,hs}(ER_t)$ .

Werden die Erwartungen an die Rolle in Form von nicht-eigennützigem Verhalten definiert, so kann bspw. gelten:  
 $erw_k(ER_t) = ER_t$  mit  $\frac{\partial erw_k(ER_t)}{\partial ak_{i,t}} > 0$ . Da der Grenzertrag jedes Gemeinschaftsbeitrages positiv ist, wird der Homo soziologicus sein  $ak_{i,t}$  maximal setzen. Er vernachlässigt hierdurch die eigenen Präferenzen zugunsten der gesamtgesellschaftlichen Wohlfahrt.

### 3.3 Homo reciprocans

Der Homo reciprocans besitzt folgende, über die allgemeinen Beliefs hinausgehenden Wissensselemente:

$ea_{i,t} \in \mathbb{R}$	Individuelle Kooperationsrente als Saldo der von $i$ bisher empfangenen / abgegebenen Leistungen. Es gilt: $ea_{i,t} = er_{i,t-1} - ak_{i,t-1}$ mit $ea_{i,0} = 0$
$\delta_i \in \mathbb{R}$	Diskontfaktor mit $0 < \delta_i < 1$

Die Zielfunktion des Homo reciprocans berücksichtigt die zukünftig realisierten Nutzenwerte, die empfangenen / abgegebenen Leistungen sowie den Diskontfaktor. Letzterer gibt an, wie stark der Homo reciprocans die zukünftig realisierten Zielfunktionswerte gewichtet. Bei  $\delta \rightarrow 0$  werden zukünftige Werte nicht abgezinst und sind somit den Gegenwartswerten gleichgestellt. Bei  $\delta \rightarrow 1$  werden die Zukunftswerte stark abgezinst. Die Gegenwartswerte gewinnen somit an Gewicht.

Mit dem in der Zielfunktion links vom Minuszeichen notierten Bestandteil berechnet der Homo reciprocans den Gegenwartswert der zukünftigen individuellen Kooperationsrente zuzüglich des in  $t$  vorhandenen Budgets. Er geht also davon aus, dass im Falle einer Kooperation stets das selbe Ergebnis erzielt wird, wie in  $t - 1$ .

Rechts vom Minuszeichen berücksichtigt der Homo reciprocans den Fall der Nicht-Kooperation. Hierbei erzielt er zu allen zukünftigen Zeitpunkten sein Budget  $e_{i,t}$ .

$$\begin{aligned}
 z_{i,hr}(ea_{i,t}) &= \sum_{w=0}^{\infty} \frac{e_{i,t} + ea_{i,t}}{(1 + (\delta_i))^w} - \sum_{w=0}^{\infty} \frac{e_{i,t}}{(1 + (\delta_i))^w} \\
 \Rightarrow z_{i,hr}(ea_{i,t}) &= \frac{ea_{i,t}(1 + \delta_i)}{\delta_i}
 \end{aligned}$$

Da gilt  $\delta_i > 0$  hängt die Kooperationsbereitschaft des Homo reciprocans vom Saldo der in der Vorperiode empfangenen / abgegebenen Leistungen ab ( $ea_{i,t}$ ). Im Rahmen seiner Strategie entscheidet der Homo reciprocans zu jedem Zeitpunkt  $t$  ob er sich kooperativ oder eigennützig verhält (Realisierung des Tit-for-Tat Triggers). Wenn gilt  $ea_{i,t} = 0$  und somit  $z_{i,hr}(ea_{i,t}) = 0$ , so befinden sich das Individuum und die Gesellschaft im Ausgleich. Da der Homo reciprocans stets die Kooperation anstrebt, wird er ein  $ak_{i,t} = e_{i,t}$  wählen. Gleiches gilt für die Situation, in der das Individuum mehr von der Gesellschaft empfangen hat, als es abgegeben hat ( $ea_{i,t} > 0$  und somit  $z_{i,hr}(ea_{i,t}) > 0$ ).

Falls der Agent in der Vorperiode mehr an die Gesellschaft abgegeben hat, als er empfangen hat ( $ea_{i,t} < 0$  und somit  $z_{i,hr}(ea_{i,t}) < 0$ ), so wählt er ein  $ak_{i,t}$  in Höhe von 0.

Der Ausgleich findet im Modell lediglich über die Gesellschaft als Ganzes statt. Demnach wurde nur die indirekte Reziprozität berücksichtigt. Außerdem besitzt der Homo reciprocans im Modell ein auf die Vorperiode beschränktes Gedächtnis und die Auszahlungen werden als sicher betrachtet. Ferner wird ein über die Zeit konstantes  $\delta$  angenommen.

## 4 Simulationsexperiment

Zur Simulation der im vorangegangenen Abschnitt dargelegten sozio-ökonomischen Verhaltensmodelle wird das eingangs aufgeführte Public Goods Game in ein Simulationswerkzeug überführt. Es werden neun homogene Gesellschaften und drei heterogene Gesellschaften mit je zehn Agenten ( $n = 10$ ) simuliert und anhand der Kriterien individuelle sowie insgesamte Spielauszahlung verglichen. Die Tabelle 3 stellt den Simulationsplan dar. Die allgemeine Wissensbasis enthält in jedem Durchlauf die folgenden Elemente:

$e_{i,0} = 10 \forall i$	Budgetrestriktion in $t = 0$
$er_{i,t} = e_{i,t} - ak_{i,t} + \frac{1,1}{n} \sum_{j=1}^n ak_{j,t}$	Rechenvorschrift zur Berechnung des individuellen Ergebnisses unabhängig vom Verhaltensmodell

Parameter	Beschreibung
Zielgröße	Individuelle und insgesamte Spielauszahlung
Einflussgrößen	Anzahl der Individuen mit dem Verhaltensmodell Homo oeconomicus, Homo soziologicus und Homo reziprocans innerhalb der Gesellschaft
Experimentierbereich	[0, 10]
Stufe	1
Dimensionalität	Dreidimensional
Anzahl Simulationenläufe	50
Stufenkombinationen	{10; 0; 0}; {0; 10; 0}; {0; 0; 10}; {4; 3; 3}; {3; 4; 3}; {3; 3; 4}; {8; 1; 1}; {1; 8; 1}; {1; 1; 8}; {6; 2; 2}; {2; 6; 2}; {2; 2; 6}; {9; 1; 0}; {8; 2; 0}; {7; 3; 0}; {6; 4; 0}; {5; 5; 0}; {4; 6; 0}; {3; 7; 0}; {2; 8; 0}; {1; 9; 0}
Simulationsdauer	$t = 30$
Messzeitpunkt	In jedem $t$

Tabelle 3: Simulationsplanung

## 4.1 Homo oeconomicus & Homo soziologicus

Wie bereits zu anfangs dargelegt, maximiert der Homo oeconomicus seine Zielfunktion, wenn er zu jedem Zeitpunkt  $ak_{i,t} = 0$  wählt, da sein Grenzertrag negativ ist. Als individuelles Ergebnis erhält jeder Agent  $er_{i,t} = e_0 = 10$  in jedem Simulationslauf. Die insgesamt Spielauszahlung bei jedem Lauf beträgt  $ER = en = 100$ .

Bezogen auf den Homo soziologicus wird in der Simulation von einer Gesellschaft mit nur einer Gruppe ausgegangen. Der Homo soziologicus wählt ein  $\alpha_1 = 1$  wodurch die Belohnungs-/Bestrafungsfunktion den Wert  $r(1) = -(1 - \frac{1}{1})^2 = 0$  annimmt. Da der Grenzertrag des Gemeinschaftsbeitrags positiv ist, bringt er demnach zu jedem Zeitpunkt sein gesamtes Budget  $e_{i,t}$  ein; daher gilt  $ak_{i,t} = e_{i,t}$ :

$$er_{i,t} = e_{i,t} - ak_{i,t} + \frac{1,1}{n} \sum_{j=1}^n ak_{j,t}$$

$$ER_t = \sum_{i=1}^n er_{i,t} = \sum_{i=1}^n e_{i,t} - \sum_{i=1}^n ak_{i,t} + 1,1 \sum_{i=1}^n ak_{i,t}$$

$$ER_t = \sum_{i=1}^n e_{i,t} + 0,1 \sum_{i=1}^n ak_{i,t}$$

$$\frac{\partial ER_t}{\partial ak_{i,t}} = 0 + 0,1 = 0,1 > 0$$

Im Durchschnitt erhält ein Homo soziologicus eine individuelle Spielauszahlung in Höhe von 66,346. Die gesamte Spielauszahlung beträgt 663,459.

## 4.2 Homo reciprocans

Im Rahmen der Simulation wählt jeder Homo reciprocans den ersten Beitrag zur Kooperation  $ak_{i,0}$  sowie sein  $\delta_i$  als gleichverteilte Zufallszahl. Die Tabelle 4 enthält die erreichten Ergebnisse je Agent  $er_i$  – je im Durchschnitt über alle Simulationsläufe.

Tabelle 4: Ergebnisse Homo reciprocans

<b>i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$er_{i,t}$	31,202	31,694	31,798	31,796	31,954
<b>i</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$er_{i,t}$	31,38	31,282	31,564	31,895	31,708

Im Durchschnitt erhält ein Homo reciprocans demnach ein Ergebnis von  $(\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} er_{i,t} =)$  31,627. Das durchschnittliche insgesamt Ergebnis beträgt 316,274.

### 4.3 Ergebnisse homogener Gesellschaften

Die Tabelle 5 zeigt, dass eine homogene Gesellschaft aus *Homines oeconomici* gegenüber den anderen Verhaltensmodellen zu den geringsten Auszahlungen sowohl auf individueller als auch auf kollektiver Ebene führt. Eine Gesellschaft die dem Verhaltensmodell des *Homo reciprocans* folgt, führt zu rund 30% besseren Ergebnissen. Da das zugrunde gelegte Spiel stark auf Kooperation beruht, ragen die Leistungen einer Gesellschaft aus ausschließlich *Homines soziologicus* weit über die der beiden anderen Verhaltensmodelle hinaus. Zu beachten ist jedoch, dass in heterogenen Gesellschaften der *Homo soziologicus* ausgenutzt werden kann und so seine individuellen Ergebnisse geschwächt werden.

Tabelle 5: Ergebnisse homogener Gesellschaften

Modell	er	ER
Homo oeconomicus	10,000	100,000
Homo soziologicus	66,346	663,459
Homo reciprocans	31,627	316,274

### 4.4 Ergebnisse heterogener Gesellschaften

Es werden neun heterogene Gesellschaften simuliert. In allen neun Gesellschaften existieren alle drei Verhaltensmodelle. Dabei werden die Verhältnisse der Modelle *Homo oeconomicus* : *Homo soziologicus* : *Homo reciprocans* variiert. Die über die 50 Simulationsrunden durchschnittlich erzielten Ergebnisse (im arithmetischen Mittel über alle Zeitpunkte) auf individueller sowie auf kollektiver Ebene werden in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Ergebnisse heterogener Gesellschaften

Verhältnis	Homo oeconomicus	Homo soziologicus	Homo reciprocans	Kollektiv-ergebnis
(1) 4:3:3	27,670	0,626	1,168	116,064
(2) 3:4:3	38,789	1,078	1,831	126,172
(3) 3:3:4	38,394	1,077	1,850	125,813
(4) 8:1:1	12,744	0,091	0,454	102,494
(5) 1:8:1	146,669	8,141	12,450	224,244
(6) 1:1:8	110,137	6,081	9,352	191,034
(7) 6:2:2	17,494	0,253	0,670	106,813
(8) 2:6:2	64,019	2,292	3,660	149,109
(9) 2:2:6	59,672	2,224	3,561	145,156

Zu sehen ist, dass der *Homo oeconomicus* von einer heterogenen Gesellschaft profitiert. Stärkster Verlierer in heterogenen Gesellschaften ist der *Homo soziologicus*. Das Gesamtergebnis bleibt zwar stets über dem einer homogenen Gesellschaft aus *Homines*

oeconomici, erreicht jedoch nie die Werte einer homogenen Gesellschaft basierend auf den beiden anderen Verhaltensmodellen.

In Tabelle 7 und Abbildung 3 wird der Zusammenhang zwischen der Anzahl an selbstlosen Agenten in der Gesellschaft und der über die Simulationsdauer durchschnittlich erzielten Sozialen Wohlfahrt dargestellt. In diesen Gesellschaften existieren nur je zwei der drei Verhaltensmodelle. Dabei werden die Verhältnisse der Modelle Homo oeconomicus : Homo soziologicus variiert. Auf der Basis dieser Gesellschaften wird untersucht, ob die Aussagen „A1: Je mehr selbstlose Agenten in einer Gesellschaft existieren, desto höher ist die Soziale Wohlfahrt“ zutrifft.

Tabelle 7: Homo oeconomicus : Homo soziologicus

Verhältnis Homo oeconomicus : Homo soziologicus	Homo oeconomicus	Homo soziologicus	Kollektiv- ergebnis
9:1	11,2310	0,0399	101,1191
8:2	12,7949	0,0910	102,5408
7:3	14,8471	0,1589	104,4065
6:4	17,6580	0,2535	106,9618
5:5	21,7403	0,3943	110,6730
4:6	28,1962	0,6262	116,5420
3:7	39,8639	1,0796	127,1490
2:8	66,3154	2,3206	151,1958
1:9	153,6469	8,5490	230,5881

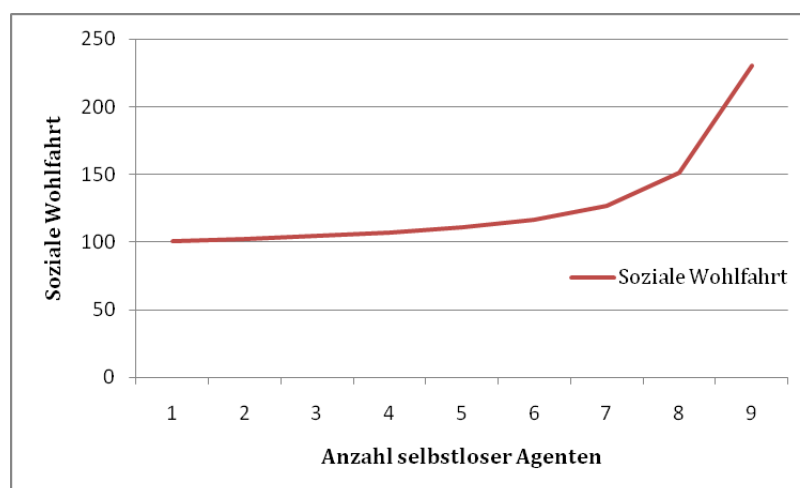


Abbildung 3: Anzahl selbstloser Agenten und Soziale Wohlfahrt

Für die individuelle Wohlfahrt eines Homo oeconomicus ergibt sich

$$er_{i,t}^{oec} = 10 + 10\left(\frac{1,1\alpha}{n}\right)^t$$

Für die individuelle Wohlfahrt eines Homo soziologicus ergibt sich

$$er_{i,t}^{soz} = 10\left(\frac{1,1\alpha}{n}\right)^t$$

Wobei  $\alpha \in \mathbb{N}^*$  mit  $\alpha \leq 10$  die Anzahl an Agenten mit dem Verhaltensmodell Homo soziologicus beschreibt. Für die Soziale Wohlfahrt  $ER_t$  ergibt sich bei  $n = 10$  Agenten

$$\begin{aligned} ER_t &= (10 - \alpha)er_{i,t}^{oec} + \alpha er_{i,t}^{soz} \\ ER_t &= (10 - \alpha)\left(10 + 10\left(\frac{1,1\alpha}{n}\right)^t\right) + \alpha\left(10\left(\frac{1,1\alpha}{n}\right)^t\right) \\ \Rightarrow ER_t &= 10\left(10 + 10\left(\frac{1,1\alpha}{n}\right)^t - \alpha\right) \end{aligned}$$

Da  $\alpha$  keinen Wert größer 10 annehmen kann und da  $\alpha, n, t > 0$  folgt aus letzterem Term, dass  $ER_t$  mit steigendem  $\alpha$  ebenfalls steigt.

Vice versa gilt: Die individuelle Wohlfahrt eines Homo soziologicus sinkt, je geringer  $\alpha$  ist. Es gilt daher: Je mehr eigennützige Agenten in einer Gesellschaft existieren, desto geringer ist die individuelle Wohlfahrt eines selbstlosen Agenten (s. Abbildung 4).

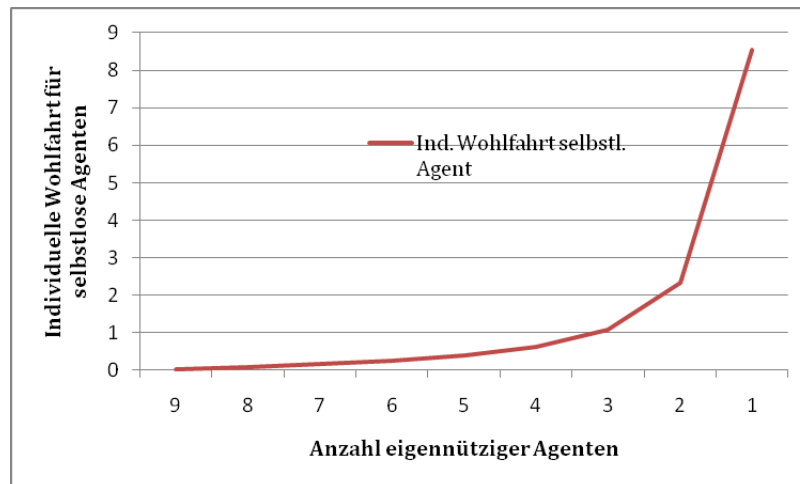


Abbildung 4: Anzahl eigennütziger Agenten und individuelle Wohlfahrt selbstloser Agenten

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden Wissens- und Zielmodelle sowie Strategien für BDI-Agenten auf Basis sozio-ökonomischer Verhaltensmodelle entwickelt. Dabei konnte am Beispiel des Public Goods Games gezeigt werden, dass unterschiedliche Verhaltensannahmen zu unterschiedlichen individuellen und kollektiven Ergebnissen führen. Ferner ist die

Heterogenität bzw. Homogenität der Verhaltensannahmen innerhalb der Gesellschaft ein weiterer Einflussfaktor auf die Ergebnisse.

Übertragen auf realweltliche Probleme, z.B. der MAS-basierten Koordination von Wertschöpfungssystemen bedeuten die Ergebnisse, dass die Implementierung des Verhaltensmodells des Homo soziologicus die höchsten Profite verspricht – und dies sowohl auf individueller als auch auf kollektiver Ebene. Dysfunktionales Verhalten im Rahmen interdependenter Entscheidungen ist in homogenen Gesellschaften bestehend aus Homini soziologici ausgeschlossen.

Beim Auftreten nur eines Homo oeconomicus in der Gesellschaft kann dieser jedoch massiv die altruistisch orientierten Partner ausnutzen. Das Problem des dysfunktionalen Verhaltens tritt hier auf. Im Rahmen weiterer Arbeiten sollen zur Lösung dieses Problems die Konzepte Ungleichheitsaversion und direkte Reziprozität Berücksichtigung finden.

Im Beitrag wurde nicht berücksichtigt, dass Agenten über die Zeit hinweg ihr Verhalten anpassen. Eine Anpassung kann bspw. von Vorteil sein, wenn die Agenten aus vergangenen Ergebnissen auf den Verhaltenstyp der jeweils anderen Agenten schließen können. Eine solche Lernfunktion wurde ebenfalls nicht implementiert.

In der weiteren Forschungsarbeit werden zusätzliche Bestandteile der Zielfunktionen, z.B. die Implementierung einer Ungleichheitsaversion insbesondere beim Homo soziologicus oder die Aufnahme des Konzepts der direkten Reziprozität für den Homo reciprocans berücksichtigt und deren Auswirkungen betrachtet. Außerdem werden größere Agentengesellschaften mit mehreren sozialen Gruppen implementiert. Dies verbessert die Untersuchung unterschiedlicher Mischverhältnisse in heterogenen Gesellschaften.

## Literatur

- [1] A. L. C. Bazzan, R. H. Bordini, and J. A. Campbell. Moral sentiments in multi-agent systems. In *Proc. of the 5th Intern. Workshop on Agents Theories, Architectures, and Languages (ATAL-98)*, 1998.
- [2] T. J. M. Bench-Capon, K. Atkinson, and P. McBurney. Altruism and agents: an argumentation based approach to designing agent decision mechanisms. In C. Sierra, C. Castelfranchi, K. S. Decker, and J. S. Sichman, editors, *AAMAS (2)*, pages 1073–1080. IFAAMAS, 2009.
- [3] S. Bowles, R. Boyd, E. Fehr, and H. Gintis. Homo reciprocans: A research initiative on the origins, dimensions, and policy implications of reciprocal fairness. *Advances in Complex Systems*, 4:1–30, 1997.
- [4] S. Brainov. Altruistic cooperation between self-interested agents. In *12th Europ. Conf. on Artificial Intelligence (ECAI 96)*. John Wiley & Sons, Ltd., 1996.



- 
- [5] M. E. Bratman. *Intention, Plans, and Practical Reason*. Cambridge University Press, March 1999.
- [6] C. Castelfranchi. Modeling social action for ai agents. In *IJCAI'97: Proc. of the 15th intern. joint conf. on Artificial intelligence*, pages 1567–1576, San Francisco, CA, USA, 1997. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [7] L. Cavedon, A. Rao, and G. Tidhar. *Intelligent Agent Systems: Theoretical and Practical Issues (Based on a workshop held at PRICAI' 96)*, chapter Social and Individual Commitment. Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- [8] A. Cesta, M. Miceli, and P. Rizzo. Effects of different interaction attitudes on a multi-agent system performance. In *7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, MAAMAW '96*, pages 128–138, 1996.
- [9] B. Chaib-draa and J. Müller. *Multiagent based Supply Chain Management (Studies in Computational Intelligence)*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
- [10] P. Davidsson, L. Henesey, L. Ramstedt, J. Törnquist, and F. Wernstedt. An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13(4):255 – 271, 2005. Agents in Traffic and Transportation: Exploring Autonomy in Logistics, Management, Simulation, and Cooperative Driving.
- [11] S. de Jong, K. Tuyls, and K. Verbeeck. Artificial agents learning human fairness. In L. Padgham, D. C. Parkes, J. Müller, and S. Parsons, editors, *AAMAS (2)*, pages 863–870. IFAAMAS, 2008.
- [12] D. Dennett. Intentional systems theory. *The Journal of Philosophy*, 68:87–106, 1971.
- [13] E. H. Durfee, V. R. Lesser, and D. D. Corkill. *Distributed Artificial Intelligence*, chapter Cooperation Through Communication in Distributed Problem Solving Network, pages 29–58. Kaufmann, San Mateo, California, 1987.
- [14] H. Esser. *Soziologie: allgemeine Grundlagen*. Campus Fachbuch Verlag GmbH, 1999.
- [15] E. Fehr and K. M. Schmidt. A theory of fairness, competition, and cooperation. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3):817–868(52), August 1999.
- [16] J. Ferber. *Multiagentensysteme. Eine Einführung*. Addison Wesley, 2001.
- [17] J. Ferber and O. Gutknecht. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In *ICMAS '98: Proc. of the 3rd Intern. Conf. on Multi Agent Systems*, page 128, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society.
- [18] M. P. Georgeff and A. L. Lansky. Reactive reasoning and planning. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence (AAAI-87)*, 1987.

- 
- [19] S. Grolik, T. Stockheim, O. Wendt, S. Albayrak, and S. Fricke. Dispositive supply-web-koordination durch multiagentensysteme. *Wirtschaftsinformatik*, 43(2):143–155, 2001.
- [20] K.-H. Hillmann. *Ein Modell des homo sociologicus und seine Relevanz für die Analyse des Konsumentenverhaltens in der modernen Wohlstandsgesellschaft*. 1970.
- [21] L. Hogg and N. R. Jennings. Variable sociability in agent-based decision making. In N. R. Jennings and Y. Lespérance, editors, *ATAL*, volume 1757 of *LNCS*, pages 305–318. Springer, 1999.
- [22] N. R. Jennings and J. R. Campos. Towards a social level characterisation of socially responsible agents. *IEE Proceedings - Software*, 144(1):11–25, 1997.
- [23] N. R. Jennings and S. Kalenka. Socially responsible decision making by autonomous agents. In *Proceeding of Fifth Int. Colloq. on Cognitive Science*, San Sebastian, Spain, 1998.
- [24] M. Jensen and W. Meckling. The Nature of Man. *Journal of Applied Corporate Finance*, 7(2):4–19, 1994. MICHAEL C. JENSEN Harvard Business School; The Monitor Company; Social Science Electronic Publishing (SSEP), Inc. WILLIAM H. MECKLING University of Rochester Simon School (Deceased).
- [25] F. López y López, M. Luck, and M. d’Inverno. Constraining autonomy through norms. In *AAMAS ’02: Proc. of the 1st intern. joint conf. on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 674–681, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [26] M. Luck and M. d’Inverno. Engagement and cooperation in motivated agent modeling. In *Distributed Artificial Intelligence Architecture and Modeling: Proceedings of the First Australian Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, pages 70–84. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [27] W. H. Meckling. Values an the choice of the model of the individual in the social sciences. *Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik*, 112(4):545–559, 1976.
- [28] A. M. Mohamed. *Benevolent Agents*. PhD thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, College of Engineering and Information Technology, University of South Carolina, 2000.
- [29] A. Newell. The knowledge level. *Artificial Intelligence*, 19:87–127, 1982.
- [30] M. A. Nowak and K. Sigmund. Evolution of indirect reciprocity. *NATURE*, 437(27):1291–1298, October 2005.
- [31] A. Ockenfels. *Fairneß, Reziprozität und Eigennutz: ökonomische Theorie und experimentelle Evidenz*, volume 1. Auflage. Mohr Siebeck, Magdeburg, Magdeburg, 1999.

- 
- [32] K. Riemer. *Sozialkapital und Kooperation*. Mohr Siebeck, 2005.
- [33] J. S. Rosenschein. *Rational Interaction: Cooperation Among Intelligent Agents*. PhD thesis, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, California, USA, 1985.
- [34] J. S. Rosenschein and M. R. Genesereth. Deals among rational agents. In A. Joshi, editor, *IJCAI-85*, pages 91–95. Morgan Kaufmann Publishers Inc., California, USA, 1985.
- [35] S. J. Russell and P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 2003.
- [36] S. Sen. Reciprocity: A foundational principle for promoting cooperative behavior among self-interested agents. In *In Proceedings of the Second International Conference on Multiagent Systems*, pages 322–329. AAAI Press, 1996.
- [37] Q.-N. N. Tran and G. C. Low. *Agent-oriented methodologies*, chapter Comparison of Ten Agent-Oriented Methodologies, pages 341–365. Idea Group Publishing, 2005.
- [38] Verein Deutscher Ingenieure. *Experimentplanung und -auswertung (VDI 3633 Blatt 3)*, chapter Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Beuth Verlag, Berlin, 1997.
- [39] M. Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley, 2nd edition, July 2009.
- [40] M. Wooldridge and N. Jennings. Agent theories, architecture, and languages: A survey. In *Proceeding ECAI-94: Workshop on Agent Theories, Architecture, and Languages*. Springer-Verlag, Berlin, 1995.

## FZID Discussion Papers

### Competence Centers:

IK:	Innovation and Knowledge
ICT:	Information Systems and Communication Systems
CRFM:	Corporate Finance and Risk Management
HCM:	Health Care Management
CM:	Communication Management
MM:	Marketing Management
ECO:	Economics
SE:	Sustainability and Ethics

Download FZID Discussion Papers from our homepage: <https://fzid.uni-hohenheim.de/71978.html>

<b>Nr.</b>	<b>Autor</b>	<b>Titel</b>	<b>CC</b>
01-2009	Julian P. Christ	NEW ECONOMIC GEOGRAPHY RELOADED: Localized Knowledge Spillovers and the Geography of Innovation	IK
02-2009	André P. Slowak	MARKET FIELD STRUCTURE & DYNAMICS IN INDUSTRIAL AUTOMATION	IK
03-2009	Pier Paolo Saviotti and Andreas Pyka	GENERALIZED BARRIERS TO ENTRY AND ECONOMIC DEVELOPMENT	IK
04-2009	Uwe Focht, Andreas Richter, and Jörg Schiller	INTERMEDIATION AND MATCHING IN INSURANCE MARKETS	HCM
05-2009	Julian P. Christ and André P. Slowak	WHY BLU-RAY VS. HD-DVD IS NOT VHS VS. BETAMAX: THE CO-EVOLUTION OF STANDARD-SETTING CONSORTIA	IK
06-2009	Gabriel Felbermayr, Mario Larch, and Wolfgang Lechthaler	UNEMPLOYMENT IN AN INTERDEPENDENT WORLD	ECO
07-2009	Steffen Otterbach	MISMATCHES BETWEEN ACTUAL AND PREFERRED WORK TIME: Empirical Evidence of Hours Constraints in 21 Countries	HCM
08-2009	Sven Wydra	PRODUCTION AND EMPLOYMENT IMPACTS OF NEW TECHNOLOGIES – ANALYSIS FOR BIOTECHNOLOGY	IK
09-2009	Ralf Richter and Jochen Streb	CATCHING-UP AND FALLING BEHIND KNOWLEDGE SPILLOVER FROM AMERICAN TO GERMAN MACHINE TOOL MAKERS	IK

<b>Nr.</b>	<b>Autor</b>	<b>Titel</b>	<b>CC</b>
10-2010	Rahel Aichele and Gabriel Felbermayr	KYOTO AND THE CARBON CONTENT OF TRADE	ECO
11-2010	David E. Bloom and Alfonso Sousa-Poza	ECONOMIC CONSEQUENCES OF LOW FERTILITY IN EUROPE	HCM
12-2010	Michael Ahlheim and Oliver Frör	DRINKING AND PROTECTING – A MARKET APPROACH TO THE PRESERVATION OF CORK OAK LANDSCAPES	ECO
13-2010	Michael Ahlheim, Oliver Frör, Antonia Heinke, Nguyen Minh Duc, and Pham Van Dinh	LABOUR AS A UTILITY MEASURE IN CONTINGENT VALUATION STUDIES – HOW GOOD IS IT REALLY?	ECO
14-2010	Julian P. Christ	THE GEOGRAPHY AND CO-LOCATION OF EUROPEAN TECHNOLOGY-SPECIFIC CO-INVENTORSHIP NETWORKS	IK
15-2010	Harald Degner	WINDOWS OF TECHNOLOGICAL OPPORTUNITY DO TECHNOLOGICAL BOOMS INFLUENCE THE RELATIONSHIP BETWEEN FIRM SIZE AND INNOVATIVENESS?	IK
16-2010	Tobias A. Jopp	THE WELFARE STATE EVOLVES: GERMAN KNAPPSCHAFTEN, 1854-1923	HCM
17-2010	Stefan Kirn (Ed.)	PROCESS OF CHANGE IN ORGANISATIONS THROUGH eHEALTH	ICT
18-2010	Jörg Schiller	ÖKONOMISCHE ASPEKTE DER ENTLOHNUNG UND REGULIERUNG UNABHÄNGIGER VERSICHERUNGSVERMITTLER	HCM
19-2010	Frauke Lammers and Jörg Schiller	CONTRACT DESIGN AND INSURANCE FRAUD: AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION	HCM
20-2010	Martyna Marczak and Thomas Beissinger	REAL WAGES AND THE BUSINESS CYCLE IN GERMANY	ECO
21-2010	Harald Degner and Jochen Streb	FOREIGN PATENTING IN GERMANY, 1877-1932	IK
22-2010	Heiko Stüber and Thomas Beissinger	DOES DOWNWARD NOMINAL WAGE RIGIDITY DAMPEN WAGE INCREASES?	ECO
23-2010	Mark Spoerer and Thomas Beissinger	GUNS AND BUTTER – BUT NO MARGARINE: THE IMPACT OF NAZI ECONOMIC POLICIES ON GERMAN FOOD CONSUMPTION, 1933-38	ECO

<b>Nr.</b>	<b>Autor</b>	<b>Titel</b>	<b>CC</b>
24-2011	Dhammika Dharmapala and Nadine Riedel	EARNINGS SHOCKS AND TAX-MOTIVATED INCOME-SHIFTING: EVIDENCE FROM EUROPEAN MULTINATIONALS	ECO
25-2011	Michael Schuele	QUALITATIVES, RÄUMLICHES SCHLIEßEN ZUR KOLLISIONSERKENNUNG UND KOLLISIONSVERMEIDUNG AUTONOMER BDI-AGENTEN	ICT
26-2011	Marcus Müller, Guillaume Stern, Ansgar Jacob and Stefan Kirn	VERHALTENSMODELLE FÜR SOFTWAREAGENTEN IM PUBLIC GOODS GAME	ICT



FORSCHUNGSZENTRUM FZID

Universität Hohenheim  
Forschungszentrum  
Innovation und Dienstleistung  
Fruwirthstr. 12

D-70593 Stuttgart

Phone +49 (0)711 / 459-22476

Fax +49 (0)711 / 459-23360

Internet [www.fzid.uni-hohenheim.de](http://www.fzid.uni-hohenheim.de)