

SOZIO-ÖKOLOGISCHE MODELLBILDUNG MIT MAS AUF LANDSCAPE-LEVEL

Christian Hüning

Agenda

1. Motivation & Historie
2. Herausforderungen für die Informatik
3. Szenariobeispiel
4. Stand der Forschung
5. Mein Fokus

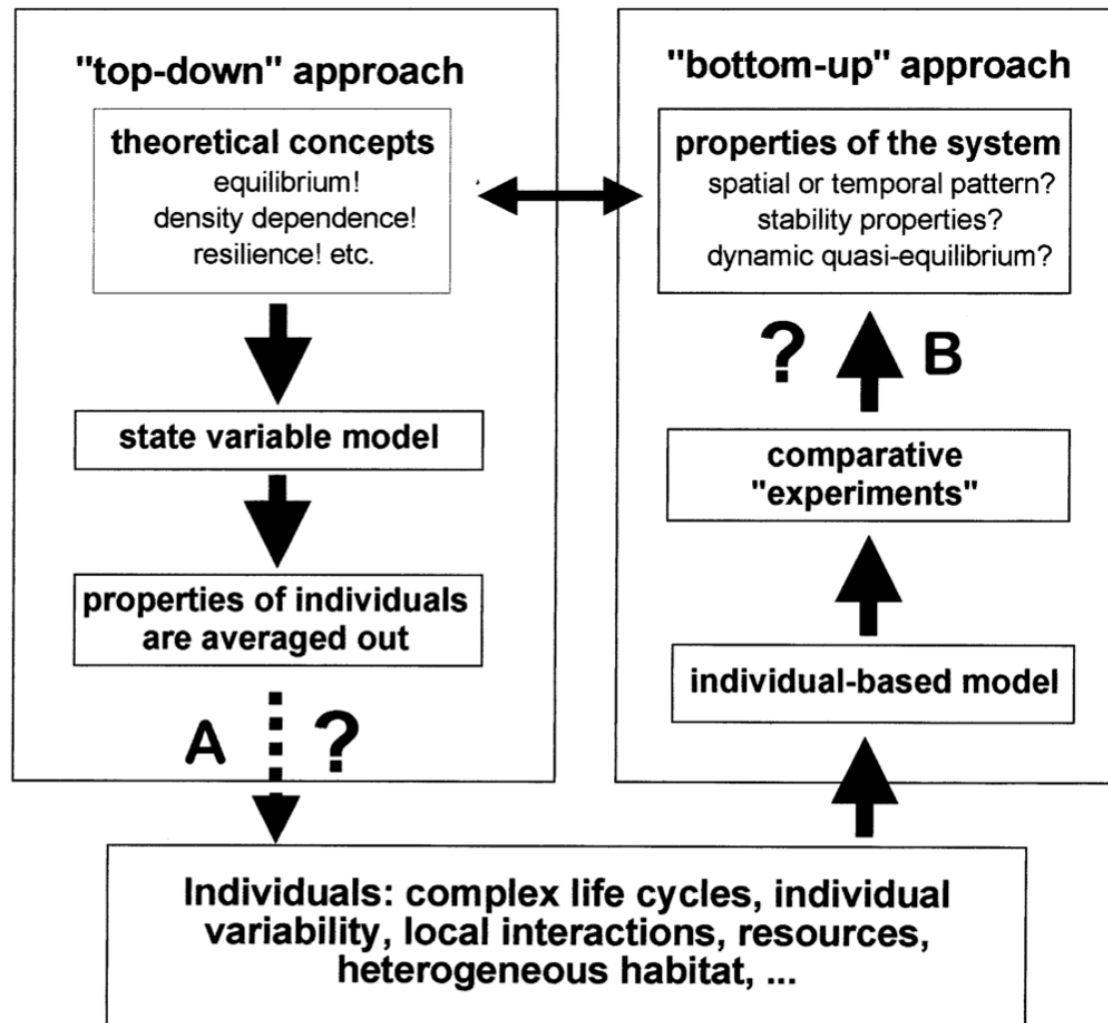
Motivation & Historie

- [\(Huston et al., 1988\)](#) betonen den Nutzen von Individual Based Modelling (IBM) für ökologische Modelle.
- Modelle bis dahin verletzen wesentliche Regeln:
 - Jedes Individuum ist anders.
 - Interaktionen sind inhärent lokal.
- Mit Zustandsvariablen (z.B. Populationsgröße) lässt sich das nicht abbilden.

Motivation & Historie

- Ten years of individual-based modelling (Grimm, 1999)
 - „Individual-based modelling is MODELLING“ – Ohne Modellierung keine Emergenz.
 - „Change the level of aggregation“ – Die Auflösung eines Modells in Sub-Modellen zu verfeinern, ist eine gute Idee um Problemen auf ihrer Abstraktionsebene zu begegnen
 - „The most important purpose of modelling is understanding“ – Modellieren ohne die Hintergründe zu erforschen und zu verstehen, ist eigentlich zwecklos.

Motivation & Historie



Motivation & Historie

- „We have found succesful ways to formulate and solve problems in all these languages; what’s difficult [...] is [...] to formulate [...] higher-level problems, whose complexity is such that they escape definition through a single, consistent system of metaphors.“ - ([Villa F., 2001](#))
- Verbindung verschiedener Modelle kennt min. 3 Dimensionen:
 - **Representation:** Eine einheitliche Semantik bzgl. der Abbildung von Raum, Zeit und Verhalten im jeweiligen Modell.
 - **Domain:** Die genaue Trennung der Domänenräume zwischen den Modellen muss klar sein.
 - **Scale:** Modelle müssen Daten in kompatibler Skalierung bzgl. Raum / Zeit austauschen / transformieren
- IMA: Integrating Modelling Architecture

Motivation & Historie

- „[...], it is critical to move beyond the existing approaches for studying coupled systems [...] and to build an international network for interdisciplinary research spanning local, regional, national and global levels.“ [\(Liu J. et al., 2007\)](#)

Motivation & Historie

- „The spatial component implies that a heterogenous landscape needs to be represented, heightening the needs [...] for accurate integration with other sub-models that simulate ecological or bio-physical dynamics.“ ([Filatova et al., 2013](#))
- Analyse des Fortschritts in 4 wesentlichen Feldern:
 - Design & Parametrisierung von Entscheidungsmodellen
 - Mehr Arbeit nötig um fallspezifische Modelle besser wählen zu können
 - Verifikation, Validation
 - Iterative Prozesse sollten Validation verbessern
 - Integration sozialer, ökologischer und bio-physischer Modelle
 - Notwendigkeit für 2-Wege Feedback in sozio-umwelt Simulationen
 - Spatiale Repräsentation

Motivation & Historie

- Sozio-Ökologische Wechselwirkungen ([Liu J. et al., 2007](#)):
 - sind sehr komplex
 - bergen Überraschungen
 - haben häufig sehr große Dimensionen (global processes)
 - haben spatiale & temporale Ausdehnung
 - sind verschiedentlich resilient
 - sind heterogen bzgl. Raum, Zeit & Organisationseinheiten
- Land-Use-Change / Global-Change Maßnahmen brauchen lange bis sie ihre Wirkung zeigen
 - Waldtypen in Wolong heute, bestimmt durch Holzabbau vor 30-90 Jahren
- Mögliche negative Folgen mit Hilfe simulierter Prognosen vermindern / Entscheidungshilfen bieten

Wechselwirkungen (Liu J. et al., 2007)

Wolong Nature Reserve for Giant Pandas



- **Überraschung:**

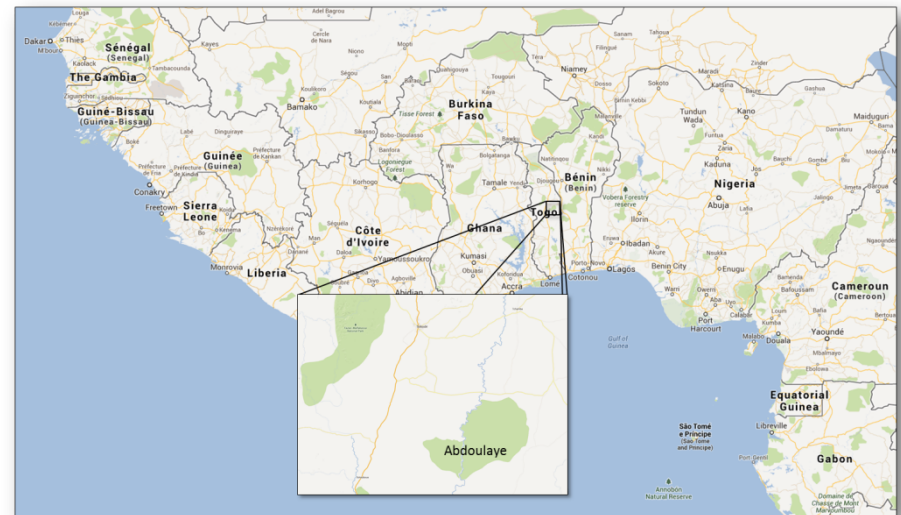
- Waldschutzprogramm wurde 2001 eingerichtet: Prämie pro Haushalt
- Unerwartet viele Haushalte gesplittet um die Belohnung pro Haushalt zu nutzen
- Weniger Leute je Haus → Mehr Häuser → Mehr Platz & Feuerholz benötigt

- **Heterogenität:**

- Zunächst Betrachtung des Wolong Reserves als abgeschlossenes System
- Über die Zeit steigende Zahl von Touristen, bindet das Naturschutzgebiet stärker und stärker an die nationale und globale Ökonomie
- Einwirkungen über die Grenzen des Systems hinaus

Szenariobeispiel – Abdoulaye [\(Pereki H., 2013\)](#)

- Naturschutzgebiet der IUCN Kategorie IV seit 1951
- Ca. 300 km² groß in Zentral-Togo
- Ca. 4 Millionen Bäume
- Akteure: Bauern, Nomaden, Ranger, Regierung
- Ärmste Region Togos
- Stark geprägt durch Landwirtschaft



Problem:

Landnutzung der Bauern im Kontrast zum CO₂-Haushalt des Waldes

Herausforderungen für die Informatik

- Grundsätzliche Architektur
- Skalierbarkeit
- Erweiterbarkeit
- Wiederverwendbarkeit von Simulationsmodellen ([Holst, 2013](#))
- Mit unterschiedlichen spatio-temporale Skalierungen auf Datenebene umgehen können ([Thiel-Clemen, 2013](#))
- Universalität bzgl. der umsetzbaren Modelle
- Visualisierung ([Vigueras et al., 2013](#))

Skalierbarkeit

Ein Begriff, zwei Interpretationen:

1. Skalierung über multiple Experimente des gleichen Modells.
 - Dient z.B. der Kalibration von Modellen
 - Vertreter: James II ([Himmelspach & Uhrmacher, 2007](#)), GAMA ([Amouroux et al., 2007](#))
2. Skalierung über Vergrößerung eines Modells
 - Möglichkeit Modelle mit großen räumlichen wie quantitativen Dimensionen zu simulieren
 - Vertreter: ([Vigueras et al., 2013](#)), ([Cicirelli et al., 2010](#)), WALK ([Thiel, 2013](#))

Stand der Forschung

Konferenzen

- WinterSim (Berlin '12) - www.wintersim.org
- SIMUTools Konferenz - www.simutools.org
 - Parallel & Distributed (Network) Simulations, GPU Simulations
- (IF)AAMAS - www.ifaamas.org
- HB-CMI (Human Behavior-Computational Modeling and Interoperability conference)

Journals

- Journal „Ecological Modelling“, Elsevier
- Journal „Ecological Informatics“, Elsevier
- Journal „Environmental Modelling & Software“, Elsevier
 - Themen ([Filatova et al., 2013](#)): Farming, Urban Development, Water Management, Ecosystem Management, Tourism.

Stand der Forschung

ACM Gruppen

- TOMACS : Transactions on Modeling and Computer Simulation
- TIST: Transactions on Intelligent Systems and Technology
- SIGSIM : <http://www.acm-sigsim-mskr.org/>

Gruppen & Personen

- Gruppe um J. Liu ([Liu et al., 2007](#))
- Gruppe um V. Grimm ([Grimm V., 1999](#)) , ([Grimm V., 2006](#))
- Gruppe um A. Uhrmacher ([Himmelpach & Uhrmacher, 2007](#))
- Tatiana Filatova,

Stand der Forschung – Aktuelle Arbeiten

- MASE ([Ralha, 2013](#)) :
 - Land Use /Cover Change Simulation mit dem Ziel robuste Landnutzungsstrategien zu entwickeln. UseCase: Cerrado in Brasilien
 - Benutzt methodischen, empirischen Parametrisierungsprozess für menschliches Verhalten in MAS von ([Smajgl et al., 2011](#))
 - Implementiert mit JADE ([Bellifemine, 2007](#)) und Matlab

Stand der Forschung – Aktuelle Arbeiten

- LUDAS ([Le et al., 2008](#)) : Land-Use Dynamic Simulator
 - „all agents“ – Ansatz mit 4 Komponenten:
 1. Human Population with behaviour patterns
 2. Landscape environment with multiple attributes
 3. Policy factors important for land-use choices
 4. Decision-Making procedure integrating 1. - 3.
 - Implementiert in NetLogo

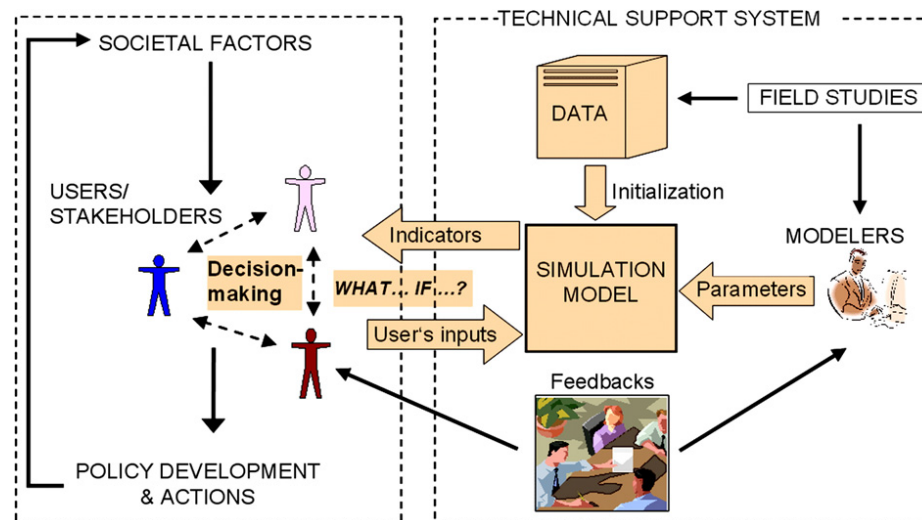
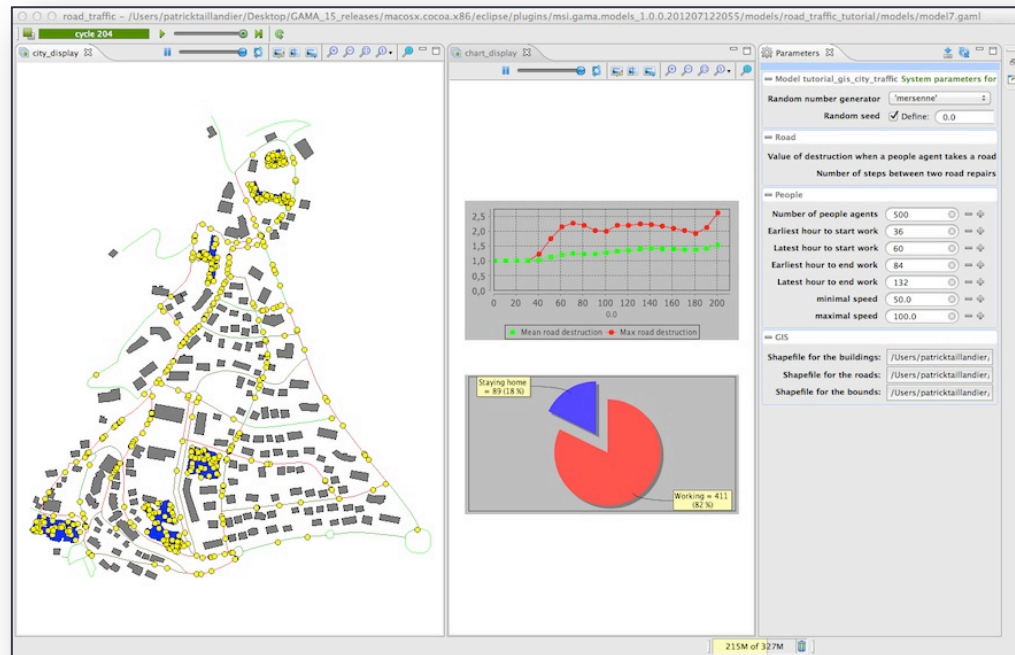


Fig. 2 – Simulation model as technical support system for policy decision-making processes. Synthesized from Bernabo (1998) and Kemp-Benedict (2004).

Stand der Forschung– MAS im Vergleich

- GAMA ([Amouroux et al., 2007](#))
 - Basiert auf RepastJ
 - Eigene Modellbeschreibungssprache GAML
 - Starke Visualisierungseigenschaften insbesondere auch aus GIS-Daten
 - Performanzgrenze bei ca. 80.000 Agenten (ein Simulationsschritt dauert bereits > 800ms)
 - Erweiterbar über Eclipse-Plugins
 - Nicht verteilbar



Stand der Forschung

- Architektur von [\(Vigueras et al., 2013\)](#)
 - Entwickelt für interaktive Simulationen
 - Massiv verteilt und asynchron
 - Synchronisation nur wenn nötig
 - Skaliert sehr gut mit mehr Hardware
 - Potentiell unpräzise, da asynchron
- Mehr Konzept als konkretes System!

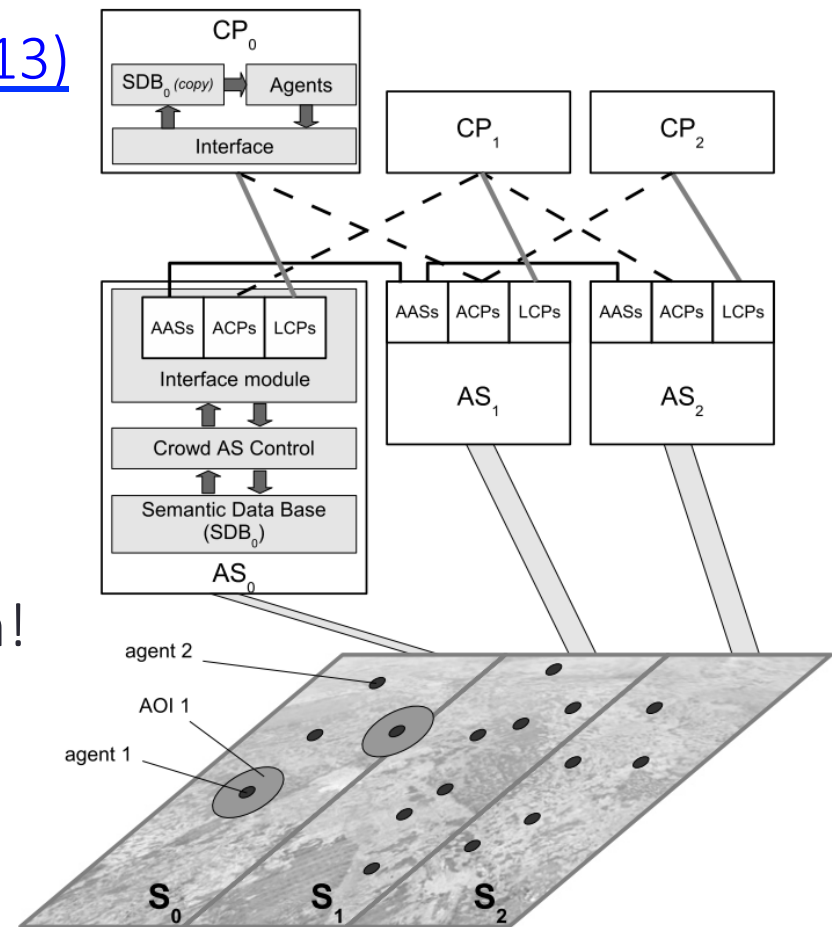
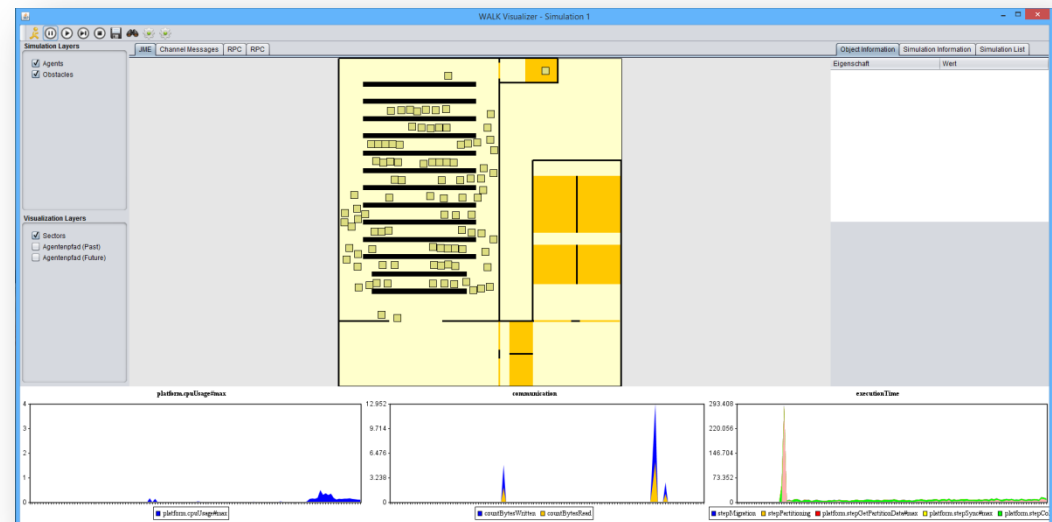


Fig. 1. General scheme of the distributed multiagent system architecture.
Quelle: (Vigueras et al., 2013)

Stand der Forschung– MAS im Vergleich

- WALK
 - Entwickelt von Christian Thiel für Evakuierungsszenarien
 - Modular aufgebaut, alle Komponenten austauschbar
 - Entkoppelte Visualisierung in 2D oder 3D
 - GIS vorgesehen, aber nicht implementiert
 - Fokus auf intelligente Distribution von Agenten auf Simulationsknoten: 300.000 Agenten simultan und performant berechnet.
 - Keine Beschreibungssprache
 - Stark auf Fußgänger-simulationen zugeschnitten



Mein Fokus

- Eigene Architekturidee (WALK 2.0) im Bachelor als proof-of-concept entwickelt
- Layer-basierter Ansatz für Modellentwicklung
- Fokus auf effiziente und intelligente, dynamische Partitionierung & horizontale Skalierbarkeit dieser Layer
- Kooperative Entwicklung von WALK 2.0 im Projektteam
- Nutzung dieser Architektur bei der Umsetzung des Abdoulaye-Modells mit Pereki Hodabalo ([Pereki H., 2013](#))

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Fragen?

Quellen

- **(Thiel-Clemen, 2013)** : T. Thiel-Clemen. Information integration in ecological informatics and modelling. In J. Wittmann and M. Müller, editors, *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Workshop Leipzig*, pages 89–96. GI, Shaker, 2013.
- **(Liu J. et al., 2007)** : Complexity of coupled human and natural systems. *Science* 317, 1513–1516.
- **(Pereki H., 2013)** : Tropical dry forests above-ground biomass measurements in West Africa, Abdoulaye Wild Reserve (Togo).
- **(Villa F., 2001)** : Integrating modelling architecture: a declarative framework for multi-paradigm, multi-scale ecological modelling. *Ecological Modelling* 137, 23-43.
- **(Huston et al., 1988)** : Huston, M., DeAngelis, D., Post, W., 1988. New computer models unify ecological theory. *BioScience* 38, 682–691.
- **(Grimm V., 1999)** : Grimm, Volker. 1999. Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecological Modelling*, 115(2-3), 129–148.
- **(Grimm V., 2006)** : Grimm, Volker. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198(1-2), 115–126.
- **(Cicirelli et al., 2010)** : Cicirelli, Franco, Furfaro, Angelo, Giordano, Andrea, & Nigro, Libero. 2010. Parallel Simulation of Multi-agent Systems Using Terracotta. 2010 IEEE/ACM 14th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, Oct., 219–222.
- **(Vigueras et al., 2013)** : Vigueras, Guillermo, Orduña, Juan M., Lozano, Miguel, & Jégou, Yvon. 2013. A scalable multiagent system architecture for interactive applications. *Science of Computer Programming*, 78(6), 715–724.

Quellen

- **(Himmelspach & Uhrmacher, 2007)** : J. Himmelspach and A. M. Uhrmacher, "Plug'n simulate," Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium. IEEE Computer Society, 2007, pp. 137-143.
- **(Thiel, 2013)** : Thiel, Christian. 2013. Analyse von Partitionierungen und partieller Synchronisation in stark verteilten multiagentenbasierten Fußgängersimulationen. Master Thesis, Hamburg University of Applied Sciences.
- **(Ralha, 2013)** : Ralha, Célia G. et al., 2013. A multi-agent model system for land-use change simulation. Environmental Modelling & Software, 42(Apr.), 30–46.
- **(Smajgl et al., 2011)** : Smajgl, A. et al., 2011. Empirical characterisation of agent behaviours in socio-ecological systems. Environmental Modelling & Software, 26(7), 837–844.
- **(Bellifemine, 2007)** : Bellifemine, FL, Caire, G, & Greenwood, D. 2007. Developing multi-agent systems with JADE.
- **(Holst, 2013)** : Holst, Niels. 2013. A universal simulator for ecological models. Ecological Informatics, 13(Jan.), 70–76.
- **(Le et al., 2008)** : Le, Quang Bao et al., 2008. Land-Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human–landscape system. I. Structure and theoretical specification. Ecological Informatics, 3(2), 135–153.
- **(Luke et al., 2003)** : Luke, S., 2003. MASON: A Java multi-agent simulation library. Proceedings of the Agent 2003 Conference.
- **(Filatova et al., 2013)** : Filatova, Tatiana, Verburg, Peter H., Parker, Dawn Cassandra, & Stannard, Carol Ann. 2013. Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects. Environmental Modelling & Software, Apr., 1–7.
- **(Amouroux et al., 2007)** : Amouroux, Edouard, Thanh-quang, Chu, Boucher, Alain, & Drogoul, Alexis. 2007. GAMA : An environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations.